

IMPLEMENTASI ALGORITME EVOLUSIONER NSGA-II PADA OPTIMASI DAYA WIRELESS POWER TRANSFER MULTI-PENERIMA

Sabriansyah Rizqika Akbar^{*1}, Eko Setiawan², Agung Setiabudi³

^{1,2,3}Universitas Brawijaya, Malang

Email: ¹sabrian@ub.ac.id, ²ekosetiawan@ub.ac.id, ³agungsetiabudi@ub.ac.id

^{*}Penulis Korespondensi

(Naskah masuk: 09 Desember 2022, diterima untuk diterbitkan: 27 Desember 2022)

Abstrak

Wireless Power Transfer (WPT) merupakan teknologi yang dapat menghantarkan energi listrik tanpa kabel. Teknologi WPT terus dikembangkan untuk mencapai tujuan yaitu meningkatkan kemampuan sistem dalam memaksimalkan daya yang diserap pada beban di sisi penerima. Teknologi WPT saat ini banyak digunakan dan diterapkan untuk pengisian daya pada perangkat elektronik dengan memanfaatkan konsep koil induktif kopling. Induktif WPT memanfaatkan pasangan koil antara koil primer sebagai sumber, dan koil sekunder sebagai penerima. Salah satu tantangan desain sistem WPT adalah mendapatkan daya optimal dengan batasan-batasan rekayasa yang ada. Untuk mendapatkan daya optimal, diperlukan beberapa langkah sistematis dimulai dengan analisis sistem dan rangkaian, penentuan variabel *state-space*, dan model matematis. Parameter utama (sumber tegangan, kapasitansi, induktansi, dan *mutual inductance*) tercantum dalam model matematis untuk selanjutnya diformulasikan sebagai daya pada multi-penerima sebagai multi *objective-function*. Proses optimasi dilakukan dengan mempertimbangkan batasan rekayasa nilai kapasitansi yang ada di pasaran dan limitasi nilai frekuensi yang dapat beroperasi pada rangkaian listrik. Algoritme evolusioner NSGA-II digunakan untuk menyelesaikan permasalahan multi *objective-function* dan batasannya untuk memperoleh nilai parameter optimal. Selanjutnya, Perolehan nilai parameter optimal dibandingkan dengan hasil aplikasi simulator LTSPICE untuk melakukan validasi nilai daya pada penerima. Dalam proses optimasi dengan NSGA-II, jumlah generasi akan menentukan kecepatan proses optimasi. Untuk itu, evaluasi *running-metric* dilakukan agar dapat mengetahui jumlah generasi yang menunjukkan hasil konvergen pada nilai *objective-function*. Penelitian ini menunjukkan hasil implementasi NSGA-II dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan optimasi daya WPT multi penerima, dan mempertimbangkan jumlah generasi, untuk meningkatkan kecepatan dalam melakukan proses optimasi.

Kata kunci: NSGA-II, Algoritme Evolusioner, Wireless Power Transfer

NSGA-II EVOLUTIONARY ALGORITHM IMPLEMENTATION ON MULTI-RECEIVER WIRELESS POWER TRANSFER POWER OPTIMIZATION

Abstract

Wireless Power Transfer (WPT) can transmit electrical energy without wires. Research on WPT technology is mainly conducted to achieve maximum power absorbed at the load on the receiving side. The current WPT technology is widely used and applied to charging electronic devices using the concept of the inductive coil. Inductive WPT utilizes a pair of coils between the primary coil as a source and the secondary coil as a receiver. The design challenge of the WPT system is obtaining optimal power within existing engineering constraints. In order to obtain optimal power, systematic steps are needed. It starts with the system and circuit analysis, determining state-space variables, and mathematical models. The main parameters (voltage source, capacitance, inductance, and mutual inductance) are used in the mathematical model and further formulated as power in receivers as a multi-objective function. The optimization is conducted by considering engineering constraints on capacitance values on the market and limitations on frequency values that can operate in electrical circuits. The NSGA-II evolutionary algorithm is used to solve multi-objective-function problems and their constraints to obtain optimal parameter values. The obtained optimal parameter values are compared with the results of the LTSPICE simulator application to validate the power value of the receiver. In the optimization process with NSGA-II, the number of generations will determine the speed of the optimization process. For this reason, a running-metric evaluation was carried out to find the number of generations that show convergent results on the objective-function value. This study shows that the implementation of NSGA-II can optimize power in multi-receiver WPT. The running metric analysis can analyze and obtain the number of generations that can get the optimal solution faster.

Keywords: NSGA-II, Evolutionary Algorithm, Wireless Power Transfer

1. PENDAHULUAN

Wireless Power Transfer (WPT) merupakan teknologi yang dapat menghantarkan energi listrik tanpa kabel. Dimulai sejak riset Nicola Tesla (United States Patent No. US649621A, 1900). Teknologi WPT terus dikembangkan untuk mencapai tujuan yaitu meningkatkan kemampuan sistem dalam memaksimalkan daya yang diserap pada beban di sisi penerima. Teknologi WPT saat ini, banyak digunakan dan diterapkan untuk perangkat elektronik dengan memanfaatkan konsep koil induktif kopling, yang dipopulerkan oleh riset dari MIT (Kurs, et al., 2007).

Untuk memaksimalkan daya, berbagai inovasi telah dilakukan antara lain dengan melakukan penambahan rangkaian kompensasi (Zhang & Mi, 2015) baik itu pada rangkaian primer (pengirim), rangkaian sekunder (penerima), atau keduanya. Dengan menambahkan rangkaian kompensasi, berbagai macam teknik dilakukan untuk memaksimalkan daya dengan beberapa Teknik umum seperti memanfaatkan frekuensi resonansi (Ahmet & KAVUT, 2018) ataupun penyamaan impedansi (Beh, Kato, Imura, Oh, & Hori, 2013). Pada riset yang dilakukan sebelumnya, kami mengamati bahwa terdapat kelemahan pada kedua metode tersebut dikarenakan tidak selamanya kondisi maksimal pengiriman daya dapat tercapai (Yamaguchi, Hirata, Yamamoto, & Hodaka, 2014) (Wei, Wang, & Dai, 2014).

Metode lain yang dapat digunakan untuk memaksimalkan daya, adalah optimasi nilai komponen melalui sebuah model matematis dari rangkaian kompensasi. Kompleksitas model yang terdapat pada dari rangkaian kompensasi akan meningkat apabila jumlah penerima bertambah. Lebih lanjut, untuk terdapat batasan (konstrain) yang dihadapi seperti terbatasnya jenis dan nilai komponen maupun limitasi jangkauan frekuensi Industrial, Scientific, Medical (ISM) (Jawad, Nordin, Gharghan, Jawad, & Ismail, 2017).

Untuk menjawab tantangan ini, diperlukan analisis lebih lanjut untuk menemukan sebuah *framework* dan pendekatan optimasi yang dapat digunakan sebagai metode umum meskipun sistem WPT memiliki berbagai macam jenis model rangkaian kompensasi. Oleh karena itu, Penelitian ini mengemukakan kerangka proses optimasi dengan memanfaatkan algoritme evolusioner NSGA-II: Non-dominated Sorting Genetic Algorithm (Deb, Pratap, Agarwal, & Meyarivan, 2002) dalam menjawab permasalahan optimasi termasuk konstrain yang ada pada lingkungan WPT. Pemilihan algoritme evolusioner NSGA-II dilakukan dengan mengamati jenis model matematis yang terdapat pada rangkaian WPT berikut dengan rangkaian kompensasinya. Model matematis yang didapat akan dijadikan sebagai *objective function*, dimana variabel tetap dan bebasnya akan disesuaikan dengan kebutuhan rekayasa sistem.

Dari sisi kebutuhan non-fungsional, pengembangan WPT sistem juga wajib memperhatikan batasan yang ada seperti nilai frekuensi yang diijinkan, maupun nilai komponen yang tersedia di pasaran. Dengan memanfaatkan algoritme evolusioner NSGA-II, daya hantar maksimal dapat diraih sesuai dengan *objective-function*, *constraint* (batasan), dan tantangan rekayasa sistem. Proses optimasi dengan menggunakan algoritme evolusioner NSGA-II membutuhkan waktu yang bergantung dengan jumlah generasi. Waktu kecepatan optimasi pada WPT multi-penerima sangat penting karena kondisi nilai koefisien kopling yang berubah-ubah bergantung dengan jarak antar koil. Selain parameter optimal, penelitian ini juga akan mempertimbangkan jumlah generasi pada NSGA-II untuk mendapatkan kecepatan proses optimasi dengan analisis *running-metric*.

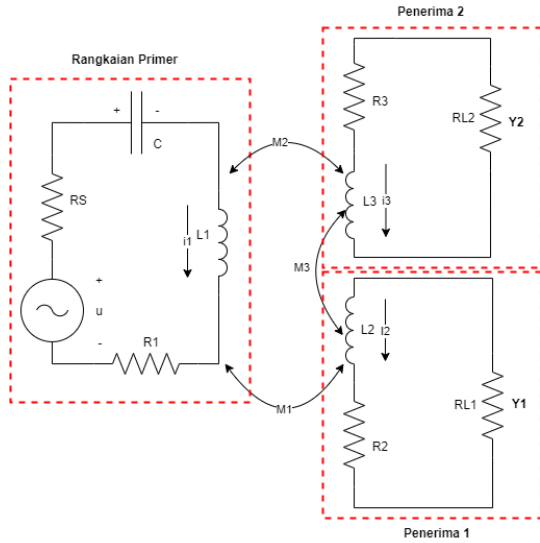
2. ALGORITME OPTIMASI NSGA-II

NSGA-II: Non-dominated Sorting Genetic Algorithm (Deb, Pratap, Agarwal, & Meyarivan, 2002), merupakan pengembangan algoritme genetik yang digunakan untuk menyelesaikan kasus optimasi *multi-objective* dengan batasan dan limitasi nilai parameter atau variabel. Implementasi NSGA-II mampu menyelesaikan beberapa permasalahan *multi-objective* seperti halnya pada bidang teknologi informasi (Eka Wijaya Susilo, 2019), Ekonomi (Tika Mustika, 2013) maupun energi (Gourav Kumar Suman, 2022). NSGA-II, melakukan proses optimasi dan menggunakan *pareto-front* untuk melakukan identifikasi terhadap solusi yang sesuai dengan metode salah.

Untuk melakukan seleksi terhadap solusi yang ditawarkan, beberapa metode dapat digunakan seperti halnya *compromise programming*, *Pseudo-weights*, maupun *high trade-off points*. Untuk melakukan evaluasi terhadap jumlah generasi dipilih metode *running-metrics* (Julian Blank, 2020) dikarenakan hasil pareto-optimal belum diketahui di awal pada permasalahan optimasi daya WPT multi-penerima.

3. PEMODELAN SISTEM

Pemodelan sistem pada WPT dilakukan dengan beberapa langkah (Akbar, Setiawan, Hirata, Yamaguchi, & Hodaka, 2021) yaitu 1.) Melakukan analisis rangkaian dengan pendekatan Kirchoff Current Law (KCL) dan Kirchoff Current Law. 2.) Mendefinisikan state-space variabel. 3.) Memanfaatkan persamaan hubungan input dan output dengan rumus fungsi alih. 4.) Memanfaatkan transformasi fourier untuk mendapatkan variabel frekuensi. 5.) Melakukan analisis tanggapan frekuensi atau transient (analisis *steady-state*).



Gambar 1. Rangkaian WPT Multi-Receiver

Gambar 1 menunjukkan gambar rangkaian WPT multi-penerima yang terdiri dari rangkaian primer, rangkaian penerima satu, dan penerima dua. Komponen utama pada rangkaian primer terdiri dari (u) yang merupakan sumber tegangan yang memiliki frekuensi (ω) dan hambatan internal (R_s). Rangkaian penerima memiliki kapasitor (c) dan induktor koil (L_1). Arus yang mengalir pada L_1 (i_1) menimbulkan medan magnet yang memiliki induktansi mutual dengan rangkaian penerima 1 (M_1) dan rangkaian (M_2). induktansi mutual adalah pengukuran maupun koefisien yang juga dapat dijabarkan dengan rumus $M_1 = k\sqrt{L_1L_2}$ dimana k merupakan koefisien kopling yang bernilai antara (0-1).

Rangkaian Penerima 1 & 2 memiliki koil induktor L_1 dan L_2 dan hambatan koil R_1 dan R_2 serta beban dalam resistor R_{L1} & R_{L2} . Akibat induksi magnet yang muncul pada L_1 , penerima memiliki arus i_2 dan i_3 dan *mutual inductance* pada M_1 , M_2 , dan M_3 . Variabel y_1 dan y_2 secara berurutan, merupakan *output* dalam bentuk tegangan yang terdapat pada beban.

Untuk mendapatkan model matematis dari sistem WPT, langkah awal yang dilakukan adalah analisis dari rangkaian WPT. Sistem WPT merupakan jenis sistem Linear Time Invariant (LTI) dimana pada satu waktu tertentu, output tegangan/daya pada sistem WPT akan stabil/transien. Lebih lanjut, pemodelan sistem LTI WPT dilakukan dengan melakukan perhitungan fungsi alih sistem yang mampu menunjukkan relasi antar komponen elektronik yang ada pada sistem WPT. Melalui rangkaian pada Gambar 1, persamaan *Kirchoff Current Law* (KCL) dan *Kirchoff Voltage Law* (KVL) pada rangkaian primer, rangkaian penerima 1 dan rangkaian penerima 2, dapat didapatkan. Detail perhitungan dapat dilihat pada penelitian sebelumnya (Akbar & Hodaka, 2021).

Persamaan dalam bentuk *state space* dapat dilihat pada (1).

$$\begin{bmatrix} \frac{dv_1}{dt} \\ \frac{di_1}{dt} \\ \frac{di_2}{dt} \\ \frac{di_3}{dt} \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} v_1 \\ i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix} + Bu \quad (1)$$

$$y = C \begin{bmatrix} v_1 \\ i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix}$$

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = C[sI - A]^{-1}B + D \quad (2)$$

Dengan variabel *state-space* pada persamaan (1) dan rumus fungsi alih pada persamaan (2), maka kita mendapatkan bentuk fungsi alih untuk rangkaian penerima pertama dan kedua ditunjukkan pada persamaan (3) (Akbar & Hodaka, 2021).

$$G_{L1}(s) = \frac{CR_{L1}s^2(M_1R_3 + M_1R_{L2} + s(L_3M_1 - M_2M_3))}{\Delta} \quad (3)$$

$$G_{L2}(s) = \frac{CR_{L2}s^2(M_2R_2 + M_2R_{L1} + s(L_2M_2 - M_1M_3))}{\Delta}$$

$$\Delta = Cs^4(L_1L_2L_3 - L_1M_3^2 - L_2M_2^2 - L_3M_1^2 + 2M_1M_2M_3) + Cs^3(L_1L_2R_3 + L_1L_2R_{L2} + L_1L_3R_2 + L_1L_3R_{L1} + L_2L_3R_1 + L_2L_3R_S - M_1^2R_3 - M_1^2R_{L2} - M_2^2R_2 - M_2^2R_{L1} - M_3^2R_1 - M_3^2R_S) + R_2R_3 + R_2R_{L2} + R_3R_{L1} + R_{L1}R_{L2} + s^2(CL_1R_2R_3 + CL_1R_2R_{L2} + CL_1R_3R_{L1} + CL_1R_{L1}R_{L2} + CL_2R_1R_3 + CL_2R_1R_{L2} + CL_2R_3R_S + CL_2R_S R_{L2} + CL_3R_1R_2 + CL_3R_1R_{L1} + CL_3R_2R_S + CL_3R_S R_{L1} + L_2L_3 - M_3^2) + s(CR_1R_2R_3 + CR_1R_2R_{L2} + CR_1R_3R_{L1} + CR_1R_{L1}R_{L2} + CR_2R_3R_S + CR_2R_S R_{L2} + CR_3R_S R_{L1} + CR_S R_{L1}R_{L2} + L_2R_3 + L_2R_{L2} + L_3R_2 + L_3R_{L1})$$

Dengan menggunakan persamaan (3) dilakukan proses transformasi s (Laplace) kedalam bentuk $j\omega$ (Fourier). Untuk kemudian masing-masing komponen diberi dengan Parameter yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Komponen Variabel

Rangkaian	Komponen	Nilai
Primer	L_1	91.53 μ H
	R_1	0.01 Ω
Penerima 1	L_2	42.89 μ H
	R_2	0.01 Ω
	R_{L1}	12 Ω
Penerima 2	L_3	52.14 μ H
	R_3	0.01 Ω
	R_{L2}	20 Ω

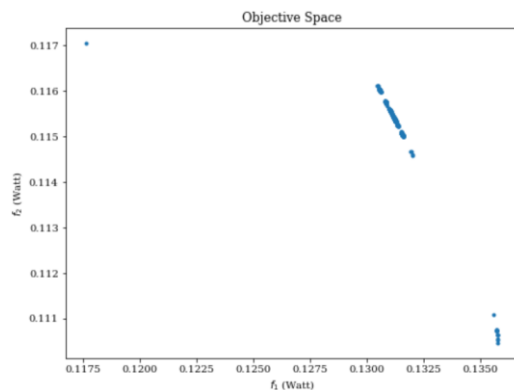
4. IMPLEMENTASI OPTIMASI NSGA-II

Persamaan (4) menunjukkan f_1 dan f_2 dimana f_1 merupakan daya pada rangkaian penerima satu ($G_{L1}(j\omega)^2/R_{L1}$) dan f_2 merupakan daya pada rangkaian kedua ($G_{L2}(j\omega)^2/R_{L2}$). f_1 dan f_2 merupakan *objective-function* untuk lebih lanjut dilakukan proses optimasi menggunakan algoritme evolusioner NSGA-II. Adapun problem set ditunjukkan seperti pada (4) dimana nilai kapasitor dibatasi sesuai dengan yang terdapat dipasaran yaitu 0.1-1 pF. Frekuensi dilimitasi pada 100 - 20 M rad/sec.

Proses optimasi, dilaksanakan dengan menggunakan *tools* Pymoo (Blank & Deb, 2020)

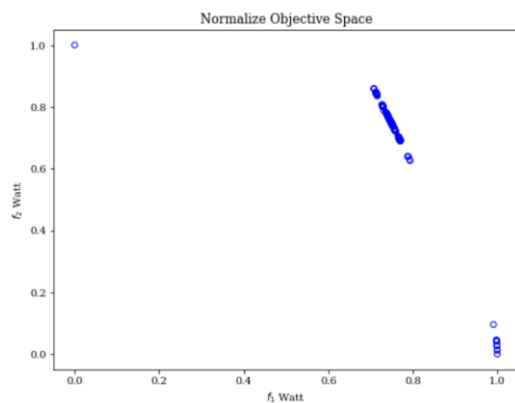
$$\begin{aligned} &\text{Min } -f_1(C, \omega, K_{12}) \\ &\text{Min } -f_2(C, \omega, K_{12}) \\ &\text{s.t } 0.1 \leq C \leq 1\text{pF} \\ &100 \leq \omega \leq 20 \cdot 10^6 \text{ rad/sec} \\ &0.1 \leq K_{12} \leq 0.3 \end{aligned} \quad (4)$$

Dengan menggunakan total populasi sebesar 600 dan total generasi sebanyak 200 generasi dihasilkan output total solusi sebanyak 406 solusi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2, dengan nilai skala f_1 yang didapatkan adalah sekitar 0.130-0.1350 Watt dan f_2 0.11-0.117 Watt.



Gambar 2. Objective Space f_1 dan f_2

Berdasarkan hasil skala nilai daya yang diperoleh f_1 dan f_2 , hasil normalisasi ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil Normalisasi

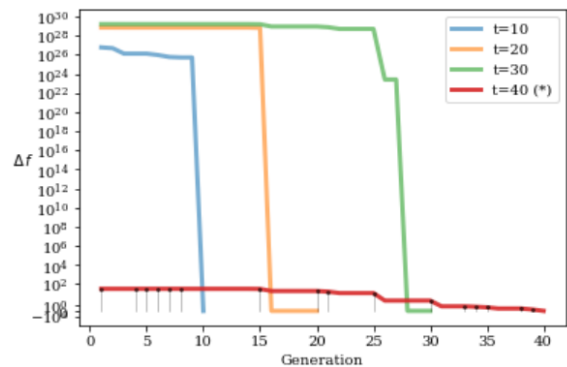
Hasil pengambilan keputusan dilakukan dengan metode *pseudo-weights* pada formula (5) dilakukan

dengan bobot 0.5 f_1 dan 0.5 f_2 . bobot 0.5 dipilih sebagai solusi terbaik karena seimbang.

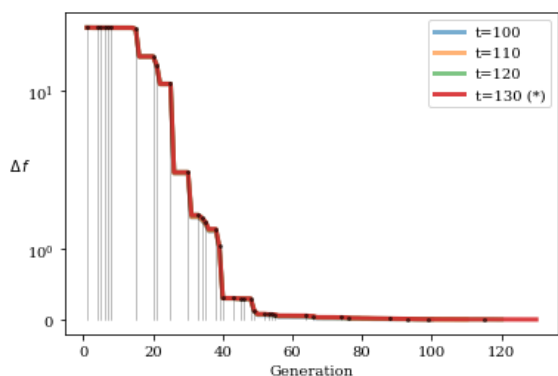
$$w_i = \frac{(f_i^{\max} - f_i(x))/(f_i^{\max} - f_i^{\min})}{\sum_{m=1}^M (f_m^{\max} - f_m(x))/(f_m^{\max} - f_m^{\min})} \quad (5)$$

Pada Gambar 5(a), hasil seleksi *pseudo-weight* ditunjukkan pada titik berwarna merah. Titik tersebut menunjukkan nilai daya pada $f_1 = 0.13$ -Watt $f_2 = 0.11$ -Watt nilai $C^* = 2.5 \times 10^{-7} F$, $\omega^* = 2.1 \times 10^5 \text{ rad/s}$, $K_{12}^* = 0.24$. Total waktu yang dibutuhkan untuk melakukan keseluruhan proses optimasi adalah 193.25 sekon dan menghasilkan total 406 solusi.

Proses evaluasi selama optimasi dilakukan dengan metode *running-metric* untuk melihat perbedaan pada *objective space* dari generasi ke generasi. Hasil analisis *running-metric* ditunjukkan pada Gambar 4. Gambar tersebut menampilkan hasil evaluasi pada generasi 100-130. Pada generasi ke 100-130 konvergensi Δf telah didapatkan. Konvergensi hasil keragaman dalam kumpulan solusi menunjukkan bahwa solusi ekstrim telah didapatkan.



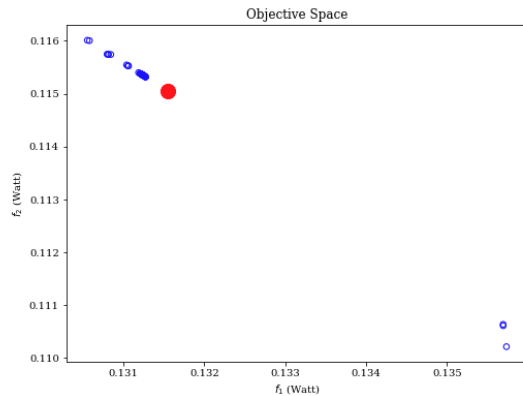
(a) Running-Metric Generasi 10-40



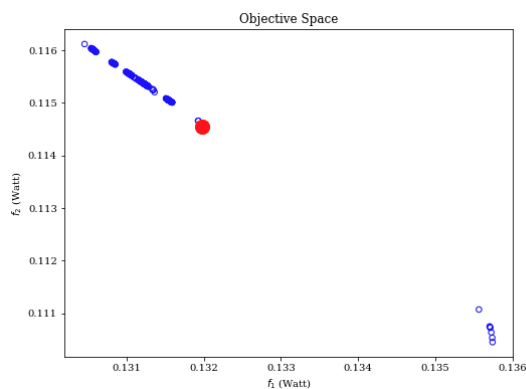
(b) Running-Metric Generasi 100-130

Gambar 4 (a) dan (b). Hasil Evaluasi Running-Metric

Berdasarkan hasil evaluasi *running-metric* pada Gambar 4, proses iterasi dapat dipersingkat pada generasi ke 100-130 dan 160-190. Lebih jauh lagi, hasil optimasi dengan menggunakan 100 dan 160 generasi ditunjukkan pada Gambar 5 (a) dan (b).



(a) Solusi dengan 100 Generasi



(b) Solusi dengan 160 Generasi

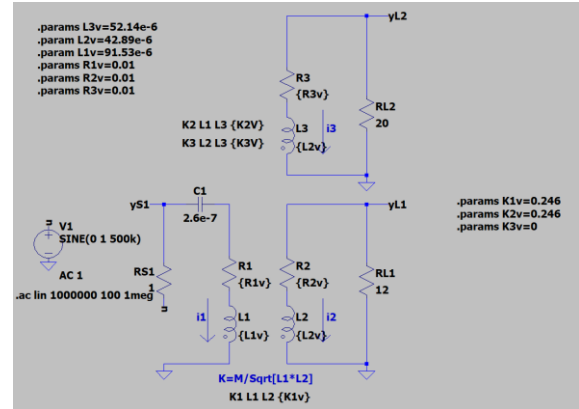
Gambar 5. Solusi yang dihasilkan pada Optimasi NSGA-II

Hasil pengambilan keputusan untuk jumlah generasi 100, 160, dan 200 ditunjukkan pada Tabel 2 dimana seluruh hasil menunjukkan kemiripan dan solusi optimal telah didapatkan sejak jumlah 100 generasi.

Kriteria	100 Generasi	160 Generasi	200 Generasi
Waktu Optimasi (sekon)	90.5	143.7	193.25
Total Solusi	44	242	406
Skala f_1 (Watt)	0.130 – 0.135	0.130 – 0.135	0.130– 0.135
Skala f_2 (Watt)	0.11 – 0.117	0.11 – 0.116	0.110– 0.117
Nilai Optimal f_1	0.131	0.131	0.13
Nilai Optimal f_2	0.115	0.114	0.11
Nilai Capacitor (F)	2.6×10^{-7}	2.8×10^{-7}	2.8×10^{-7}
Nilai Frekuensi (rad/s)	2.01×10^5	2.01×10^5	2.1×10^5
Nilai K_{12}	0.246	0.246	0.24

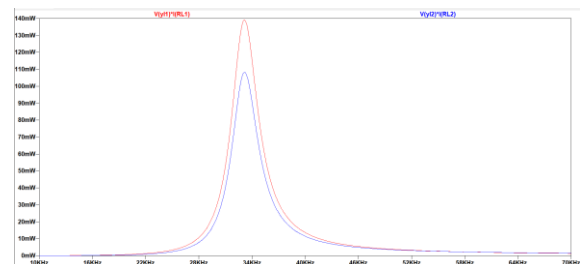
5. HASIL SIMULASI

Berdasarkan hasil optimasi, nilai optimal frekuensi, kapasitor dan kopling koefisien telah didapatkan. Nilai tersebut kemudian dimasukkan sebagai nilai komponen pada rangkaian WPT di lingkungan simulasi LTSPICE pada Gambar 6.



Gambar 6. Rangkaian Simulasi LTSPICE

Untuk mendapatkan nilai daya pada domain frekuensi, simulasi LTSPICE dijalankan dengan *AC Analysis* dengan melakukan frekuensi *sweeping* dari 10 kHz hingga 70 kHz. Titik optimal ditunjukkan telah sesuai dengan hasil perhitungan simulasi dimana frekuensi puncak terletak pada sekitar 33 kHz atau 2.01×10^5 rad/sec. Daya yang diterima pada penerima pertama dan kedua berturut-turut menunjukkan 0.13 dan 0.11-Watt seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Hasil Simulasi LTSPICE

6. KESIMPULAN DAN SARAN

Implementasi metode optimasi NSGA-II telah terbukti dapat menemukan daya maksimal pada sistem Wireless Power Transfer dengan multi penerima. Dalam studi kasus pencarian nilai kapasitansi (C), frekuensi (ω) dan koefisien kopling (K_{12}), algoritme tersebut telah menunjukkan parameter optimal dan menghasilkan daya tinggi yang dibuktikan melalui simulasi dengan menggunakan LTSPICE. Berdasarkan hasil evaluasi analisis algoritme evolusioner NSGA-II pada optimasi daya wireless power transfer multi-penerima, evaluasi *running-metric* dapat digunakan untuk melakukan pelacakan terhadap generasi yang telah menunjukkan hasil konvergen sehingga proses optimasi dapat dilakukan dengan lebih cepat.

Berdasarkan proses optimasi dan *running-metric*, parameter optimal didapatkan pada jumlah generasi 100 (populasi 600) dan mendapatkan daya optimal pada penerima 1 sebesar 0.130-0.135 Watt dan penerima 2 sebesar 0.11-0.117 Watt. Frekuensi optimal didapatkan pada nilai 2.01×10^5 rad/s dan nilai kapasitor optimal pada 2.6×10^{-7} F. Nilai angka

koefisien kopling didapatkan pada 0.246. Kecepatan optimasi ditunjukkan dengan hasil 90.5 sekon.

Sebagai saran, penelitian selanjutnya perlu untuk melakukan evaluasi lebih lanjut dengan mengembangkan purwarupa berdasarkan hasil yang didapat. Tantangan dalam pengembangan sistem purwarupa WPT terletak pada koefisien kopling (k) yang saat ini dihitung menggunakan nilai 0 -1. Proses prediksi nilai koefisien kopling pada WPT sistem dapat dilakukan analisis daya pada domain frekuensi maupun domain waktu, melalui perbandingan antara perhitungan menggunakan model dengan hasil pada purwarupa sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- AHMET, S., & KAVUT, S. 2018. A frequency-tuned magnetic resonance-based wireless power transfer system with A frequency-tuned magnetic resonance-based wireless power transfer system with. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 26, 3168 – 3180. doi:10.3906/elk-1803-98
- AKBAR, S. R., & HODAKA, I. 2021. A Design Approach to Wireless High-Power Transfer to Multiple Receivers with Asymmetric Circuit. *International journal of circuits, systems and signal processing*, 125-134.
- AKBAR, S., SETIAWAN, E., HIRATA, T., YAMAGUCHI, K., & HODAKA, I. 2021. The Frequency Response and Steady-State analysis on Wireless Power Transfer using Square Wave Input. *SIET '21: 6th International Conference on Sustainable Information Engineering and Technology 2021*. Malang.
- BEH, T. C., KATO, M., IMURA, T., OH, S., & HORI, Y. (2013). Automated Impedance Matching System for Robust Wireless Power Transfer via Magnetic Resonance Coupling. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 60(9), 3689-3698. doi:10.1109/TIE.2012.2206337
- BLANK, J., & DEB, K. 2020. Pymoo: Multi-Objective Optimization in Python. *IEEE Access*, 89497-89509. doi:doi:10.1109/ACCESS.2020.2990567
- DEB, K., PRATAP, A., AGARWAL, S., & MEYARIVAN, T. 2002. A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 6(2), 182-197. doi:10.1109/4235.996017
- EKA WIJAYA SUSILO, H. N. 2019. Multi-Objective Optimization Untuk Container Scheduling Menggunakan Algoritma E-NSGA-II. *Jurnal Infra*.
- GOURAV KUMAR SUMAN, J. M. 2022. Stability of microgrid cluster with Diverse Energy Sources: A multi-objective solution using NSGA-II based controller. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 50(101834). doi:doi.org/10.1016/j.seta.2021.101834.
- JAWAD, A. M., NORDIN, R., GHARGHAN, S. K., JAWAD, H. M., & ISMAIL, M. 2017. Opportunities and Challenges for Near-Field Wireless Power Transfer: A Review. *Energies*, 10(7).
- JULIAN BLANK, K. D. 2020. A Running Performance Metric and Termination Criterion for Evaluating Evolutionary Multi-and Many-objective Optimization Algorithms. *2020 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)* (hal. 1-8). Glasgow, UK: IEEE.
- KURS, A., KARALIS, A., MOFFATT, R., JOANNOPOULOS, J. D., FISHER, P., & SOLJACIC, A. M. 2007. Wireless power transfer via strongly coupled magnetic resonances. *science*(317(5834)), pp.83-86.
- TESLA, N. 1900, May 15. *United States Paten No. US649621A*.
- TIKA MUSTIKA, N. S. 2013. *Penerapan Metode Nsga-Ii Pada Masalah Optimisasi Multi-Objektif Porsi Bagi Hasil Dalam Investasi Syariah*. Bandung: PERPUSTAKAAN DIGITAL ITB.
- WEI, X., WANG, Z., & DAI, H. 2014. A Critical Review of Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances. *Energies*, 7(7), 4316-4341. doi:10.3390/en7074316
- YAMAGUCHI, K., HIRATA, T., YAMAMOTO, Y., & HODAKA, I. 2014. Resonance and efficiency in wireless power transfer system. *WSEAS Transactions on Circuits and Systems*, 13, hal. 218-223.
- ZHANG, W., & MI, C. C. 2015. Compensation Topologies of High-Power Wireless Power Transfer Systems. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 4768 - 4778. doi:10.1109/TVT.2015.2454292