

Perancangan dan Analisis Kendali Lead pada Rangkaian RLC Berdasarkan Pendekatan Root Locus

Muhammad Alvin Andrianto¹, Ulinnuha Latifa²

^{1,2}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang

^{1,2}Jl. HS.Ronggo Waluyo, Puseurjaya, Telukjambe Timur, Karawang, Jawa Barat 41361, Indonesia

²Teknik Elektro Universitas Singaperbangsa Karawang

¹2210631160013@student.unsika.ac.id

²ulinnuha.latifa@ft.unsika.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

diajukan : 02-05-2026
revisi : 15-05-2026
diterima : 22-05-2026
dipublish : 30-06-2026

ABSTRAK

Penelitian ini membahas perancangan kontroler *lead* berbasis metode root locus pada sistem rangkaian RLC paralel untuk meningkatkan performa respon transien sistem. Sistem dimodelkan dalam domain Laplace dan dianalisis menggunakan MATLAB melalui karakteristik *step response*, root locus, pole-zero, diagram Bode, dan diagram Nyquist. Hasil analisis sistem awal menunjukkan bahwa sistem berada dalam kondisi stabil dengan seluruh pole terletak di sisi kiri bidang kompleks dan kurva Nyquist tidak mengelilingi titik kritis. Namun, sistem masih memiliki performa transien yang kurang optimal dengan *overshoot* sebesar 29,7% dan *settling time* sekitar 7,94 ms. Untuk memperbaiki karakteristik tersebut, dirancang kontroler *lead* menggunakan pendekatan root locus berdasarkan spesifikasi maksimum *overshoot* kurang dari 10%, *settling time* kurang dari 5 ms, dan *steady-state error* sebesar 0,01. Hasil simulasi setelah penambahan kontroler *lead* menunjukkan peningkatan *phase margin* hingga 157,35° dan sistem tetap stabil berdasarkan analisis Nyquist. Akan tetapi, respon step menghasilkan nilai yang tidak valid sehingga menunjukkan bahwa parameter kontroler belum optimal. Selain itu, sistem cenderung mengalami kondisi *overdamped* akibat *phase margin* yang terlalu tinggi dan penempatan pole serta zero yang belum tepat. Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa metode root locus mampu digunakan dalam perancangan kontroler *lead* untuk meningkatkan kestabilan sistem RLC, namun diperlukan proses *tuning* ulang parameter kontroler agar diperoleh performa dinamis yang lebih optimal sesuai spesifikasi yang diinginkan.

Kata kunci : Rangkaian RLC, Root Locus, Kontroler Lead, MATLAB, Kestabilan Sistem.

PENDAHULUAN

Perkembangan sistem kendali modern menuntut adanya metode analisis dan perancangan yang mampu menghasilkan sistem dengan respons cepat, stabil, serta memiliki kesalahan tunak yang minimal, khususnya pada sistem dinamis seperti rangkaian RLC yang memiliki karakteristik orde tinggi dan perilaku transien kompleks sebagaimana ditunjukkan pada sistem yang dianalisis dengan *overshoot* mencapai 29,7% meskipun telah stabil secara internal. Salah satu pendekatan klasik namun masih sangat relevan dalam perancangan sistem kendali adalah metode root locus, yang digunakan untuk menganalisis pergerakan pole sistem tertutup terhadap variasi gain dan menjadi dasar dalam desain berbagai kontroler seperti PID maupun kompensator *lead* dan *lag* (Yang, 2023). Dalam beberapa penelitian lima tahun terakhir, metode root locus terbukti efektif dalam meningkatkan performa sistem, seperti pada pengendalian posisi turret gun yang mampu menurunkan *overshoot* hingga 4,51% dan mencapai *error steady-state* nol (Wiguna et al., 2021), serta pada sistem *ball and beam* yang menunjukkan peningkatan kestabilan dan akurasi melalui simulasi berbasis MATLAB (Fadillah et al., 2022). Selain itu, penelitian terkait kompensator *lead-lag* menunjukkan bahwa kontroler *lead* mampu mempercepat respon sistem dan meningkatkan stabilitas, sedangkan lag berfungsi memperkecil *error steady-state*, sehingga kombinasi keduanya sering digunakan untuk memenuhi spesifikasi performa sistem secara menyeluruh (Simanjorang et al., 2020). Studi lain juga menegaskan bahwa kompensator berbasis root locus dapat meningkatkan kualitas respons sistem seperti mempercepat *steady-state* dan mengurangi *overshoot* pada sistem generator DC

(Sukirman et al., 2022), sementara penelitian terbaru menunjukkan pentingnya penempatan pole dominan dalam menjaga kestabilan sistem, terutama pada sistem dengan delay yang kompleks (Halder & Das, 2024). Metode root locus juga telah dikembangkan lebih lanjut untuk menganalisis pengaruh delay menggunakan pendekatan Padé, yang menunjukkan bahwa perubahan parameter dapat menggeser pole dan mempengaruhi kestabilan sistem secara signifikan (Muhammad et al., 2025). Dalam konteks aplikasi modern, metode ini tetap digunakan dalam berbagai bidang seperti sistem tenaga dan mikrogrid untuk meningkatkan *tracking* tegangan dan stabilitas sistem (Haque et al., 2022), serta dalam analisis kestabilan sistem tenaga melalui pendekatan karakteristik locus yang berkaitan erat dengan konsep root locus (Zhang et al., 2023). Bahkan dalam studi komparatif sistem kendali, metode konvensional seperti root locus masih menjadi acuan dasar dalam mengevaluasi performa algoritma kontrol yang lebih kompleks (Ataka et al., 2023). Berdasarkan landasan teori dan hasil penelitian tersebut, maka permasalahan dalam penelitian ini difokuskan pada bagaimana merancang kontroler *lead* berbasis pendekatan root locus pada sistem rangkaian RLC untuk memperbaiki karakteristik transien terutama *overshoot* dan kecepatan respon, dengan tujuan memperoleh sistem yang lebih optimal sesuai spesifikasi performa yang diinginkan, dengan batasan analisis dilakukan pada domain Laplace melalui simulasi tanpa implementasi hardware, serta dengan harapan bahwa penambahan kontroler *lead* yang dirancang secara tepat akan mampu menggeser pole sistem ke kiri bidang kompleks sehingga meningkatkan

redaman, mempercepat respon, dan tetap menjaga kestabilan sistem.

TEORI

A. Rangkaian RLC

Rangkaian RLC merupakan salah satu sistem dinamis dalam bidang teknik elektro yang tersusun dari komponen resistor (R), induktor (L), dan kapasitor (C), yang memiliki karakteristik respons transien dan frekuensi yang kompleks. Secara umum, rangkaian ini dapat dimodelkan dalam domain Laplace sehingga menghasilkan fungsi alih yang merepresentasikan hubungan antara input dan output sistem. Perilaku dinamis rangkaian RLC dipengaruhi oleh parameter redaman dan frekuensi alami, yang menentukan apakah sistem bersifat *underdamped*, *critically damped*, atau *overdamped*. Dalam penelitian modern, rangkaian RLC tidak hanya digunakan sebagai model dasar sistem linier, tetapi juga digunakan untuk menganalisis fenomena kompleks seperti bifurkasi dan ketidaklinieran pada sistem daya, yang dapat mempengaruhi stabilitas sistem secara signifikan (Wu et al., 2024). Selain itu, simulasi rangkaian RLC menggunakan perangkat lunak menunjukkan bahwa pengendalian terhadap parameter sistem dapat meningkatkan kestabilan serta memperbaiki respon transien seperti *rise time* dan *settling time* (Moensaku et al., 2022).

B. Metode Root Locus

Dalam sistem kendali, salah satu metode analisis yang umum digunakan adalah pendekatan root locus, yaitu metode grafis yang menunjukkan pergerakan pole sistem tertutup sebagai fungsi dari variasi gain. Metode ini sangat penting dalam

menentukan kestabilan dan performa sistem karena posisi pole pada bidang kompleks secara langsung mempengaruhi karakteristik respons sistem. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa metode root locus masih relevan digunakan untuk berbagai aplikasi sistem kendali modern, termasuk sistem dengan *delay* melalui pendekatan Padé, yang memungkinkan analisis kestabilan dilakukan meskipun sistem memiliki karakteristik nonrasional (Muhammad et al., 2025). Selain itu, penerapan root locus dalam berbagai sistem seperti pengendalian posisi dan sistem mekanik menunjukkan bahwa metode ini mampu menghasilkan performa sistem yang baik dengan *overshoot* kecil dan *error steady-state* yang rendah (Wiguna et al., 2021).

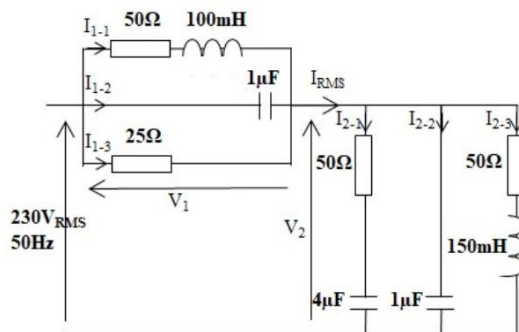
C. Kontroler Lead

Kontroler lead merupakan salah satu jenis kompensator yang digunakan untuk memperbaiki respon transien sistem, terutama dalam meningkatkan kecepatan respon dan margin fase. Secara prinsip, kontroler *lead* bekerja dengan menambahkan zero yang lebih dekat ke origin dibandingkan pole, sehingga menggeser pole sistem ke arah kiri bidang kompleks dan meningkatkan redaman sistem. Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan kontroler *lead* dalam pendekatan root locus dapat meningkatkan stabilitas dan mempercepat respon sistem, sedangkan kontroler *lag* lebih berperan dalam memperbaiki *error steady-state*, sehingga kombinasi keduanya sering digunakan untuk memenuhi spesifikasi sistem secara menyeluruh (Simanjorang et al., 2020). Implementasi kontroler lead-lag berbasis root locus juga telah terbukti

mampu mengoptimalkan performa sistem pada berbagai aplikasi, termasuk sistem generator dan sistem kontrol tegangan (Sukirman et al., 2022).

METODOLOGI

Pada sistem rangkaian listrik yang digunakan pada penelitian ini adalah rangkaian beban yang terdiri dari tiga cabang RLC yang tersusun paralel, masing-masing terdiri dari kombinasi resistor dan komponen reaktif (kapasitor dan induktor).



Gambar 1. Rangkaian RLC yang digunakan pada penelitian.

Plant yang akan dikendalikan adalah rangkaian pasif listrik yang merespons tegangan masukan $V_s(s)$ menjadi tegangan keluaran $V_2(s)$ pada beban di sisi kanan rangkaian yang dimana akan menghasilkan persamaan:

$$H(s) = \frac{V_2(s)}{V_s(s)} \quad (1)$$

Untuk memodelkan sistem secara matematis, seluruh rangkaian dianalisis dalam domain frekuensi menggunakan transformasi Laplace, di mana setiap komponen digantikan oleh impedansinya dalam bentuk fungsi dari variabel kompleks s yang dimana akan didapat persamaan sebagai berikut:

$$H(s) = \frac{V_2(s)}{V_s(s)} = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad (2)$$

$$= \frac{\left(\frac{1}{50 + \frac{4 \times 10^6}{s} + \frac{1}{10^6} + \frac{1}{50 + 0,15s}} \right)^{-1}}{\left(\frac{1}{50 + 0,15s} + \frac{s}{10^6} + \frac{1}{25} \right)^{-1} + \left(\frac{1}{50 + \frac{4 \times 10^6}{s} + \frac{1}{10^6} + \frac{1}{50 + 0,15s}} \right)^{-1}} \quad (3)$$

Fungsi transfer di cari berdasarkan hasil persamaan model matematika $H(s)$. Kemudian persamaan dibuat menggunakan MATLAB, sehingga didapat fungsi transfer dari sistem tersebut sebagai berikut:

```
Fungsi Alih H(s) =
H =
0.5 s^4 + 6.042e04 s^3 + 1.655e09 s^2 + 1.745e12 s + 4e14
-----
s^4 + 1.108e05 s^3 + 1.7e09 s^2 + 2.022e12 s + 5.333e14
Continuous-time transfer function.
```

Gambar 2. Fungsi Transfer Sistem Rangkaian RLC.

Berdasarkan fungsi transfer, fungsi tersebut dikonversi menjadi bentuk state-space sehingga didapat hasil sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \end{bmatrix} = 10^5 \cdot$$

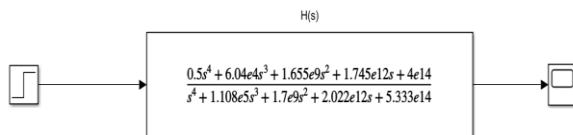
$$\begin{bmatrix} -1.1080 & -0.5188 & -0.0753 & -0.0194 \\ 0.3277 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.0819 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.0102 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 256 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} u \quad (4)$$

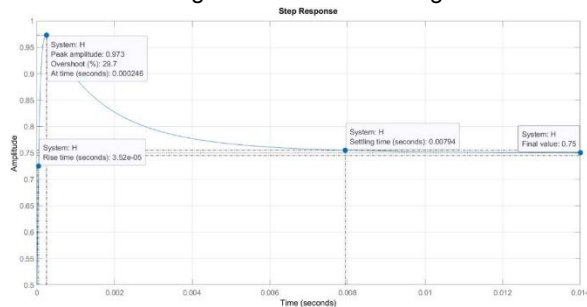
$$y = [19.6094 \quad 95.9635 \quad 10.6811 \quad 1.8950]$$

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} + 0.5u \quad (5)$$

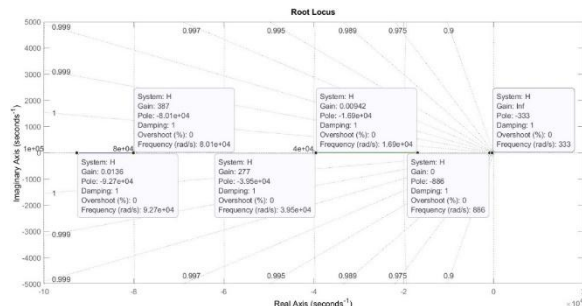
Dari fungsi transfer, didapat diagram blok, *step response*, root locus, diagram bode dan nyquist beserta karakteristiknya sebagai berikut:



Gambar 3. Diagram Blok Sistem Rangkaian RLC.



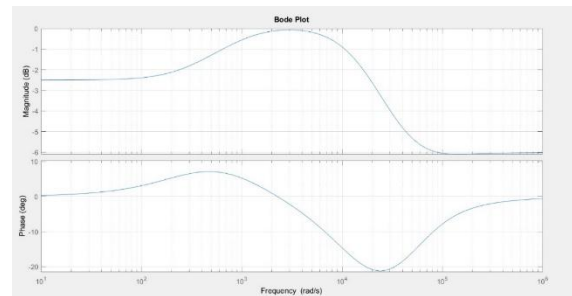
Gambar 4. Step Response Sistem Rangkaian RLC.



Gambar 5. Root Locus Sistem Rangkaian RLC.

```
>> pole(H)    >> zero(H)
ans =
    1.0e+04 *
    -9.2734
    -1.6828
    -0.0886
    -0.0386
    1.0e+04 *
    -8.0000
    -3.9745
    -0.0755
    -0.0333
```

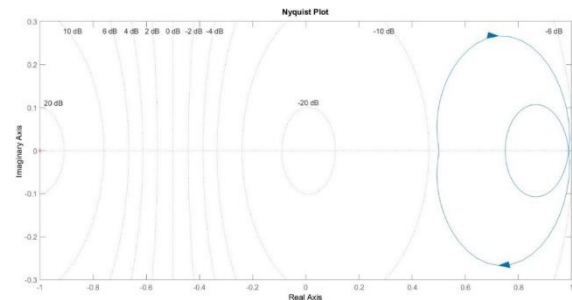
Gambar 6. Pole dan Zero Sistem Rangkaian RLC.



Gambar 7. Diagram Bode Sistem Rangkaian RLC.

Gain Margin = Inf dB pada NaN rad/s
Phase Margin = Inf° pada NaN rad/s

Gambar 8. Karakteristik Diagram Bode Sistem Rangkaian RLC.



Gambar 8. Diagram Nyquist Sistem Rangkaian RLC.

Sistem memiliki *rise time* 35ms, *settling time* sekitar 7,94ms, overshoot 29,7%, nilai akhir dari respon sistem mencapai 0,75 yang dimana sesuai dengan nilai set point maka sistem ini tidak memiliki *Steady-State Error*, seluruh pole dan zero pada sistem berada di sisi kiri sumbu imajiner pada bidang kompleks. pada diagram bode, sistem memiliki kedua margin bernilai *infinite* (∞), dan kurva Nyquist sistem tidak mengelilingi titik kritis $-1 + j0$.

Berdasarkan root locus sistem awal, akan dilakukan perancangan kontroler Lead menggunakan pendekatan root locus untuk sistem awal dengan spesifikasi sistem yang diinginkan sebagai berikut:

- *Maximum Overshoot* (M_p) = $<10\% = 0,1$

- *Settling Time* (T_s) = $\leq 5 \text{ ms} = 0.005$
- *Steady State Error* = 0.01

Dikarenakan pole dan zero dari sistem awal telah diketahui, selanjutnya melakukan perhitungan untuk menentukan *design point* yang dimana didapat:

$$P_1 = -800 \pm j1105.04 \quad (6)$$

Design point yang didapat akan digunakan untuk menentukan kontroler *lead* dengan menghitung P_{Lead} menggunakan $Z_{Lead} = -886$ sebagai *pole cancellation* pada pole dominan dari sistem yang dekat dengan *design point*, lalu menghitung $\sum \theta_Z - \sum \theta_P$ yang akan digunakan untuk menghitung posisi $\theta_{P_{Lead}}$, sehingga didapat kontroler *lead* sebagai berikut:

$$G_{Lead}(s) = K_c \frac{(s+886)}{(s-785.88)} \quad (7)$$

Selanjutnya diperlukan menentukan nilai K_c untuk menyelesaikan penentuan kontroler *lead*. Penentuan nilai K_c menggunakan *magnitude criterion* $|L(s)| = 1$, maka didapat

$$|K_c| = 1.652439 \quad (8)$$

Sehingga didapat kontroler *lead*,

$$G_{Lead}(s) = 1.652439 \cdot \frac{s+886}{s-785.88} \quad (9)$$

Maka plant sistem awal dengan menggunakan kontroler *lead*,

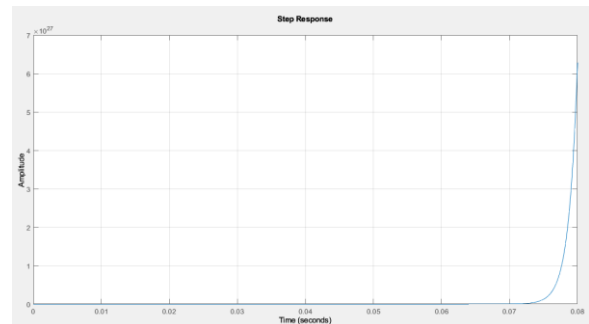
$$G_{Lead+Plant}(s) = G_{Lead}(s) \cdot G_{Plant}(s)$$

$$= 1.652439 \cdot \frac{s+886}{s-785.88}$$

$$\frac{0.5s^4 + 6.042 \cdot 10^4 s^3 + 1.655 \cdot 10^9 s^2 + 1.745 \cdot 10^{12} s + 4 \cdot 10^{14}}{s^4 + 1.108 \cdot 10^5 s^3 + 1.7 \cdot 10^9 s^2 + 2.022 \cdot 10^{12} s + 5.33 \cdot 10^{14}} \quad (10)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari fungsi transfer *plant* sistem awal menggunakan kontroler *lead*, didapat karakteristik sistem melalui simulasi MATLAB sebagai berikut:



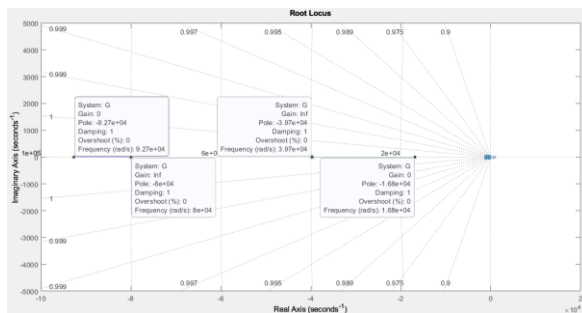
Gambar 9. Step Response Sistem Rangkaian RLC dengan Kontroler *Lead*.

```
=== Karakteristik Step Response ===
Rise Time (s)      : NaN
Settling Time (s)  : NaN
Overshoot (%)      : NaN
Undershoot (%)     : NaN
Peak (nilai puncak) : Inf
Peak Time (s)      : Inf
Steady State Value : NaN
```

Gambar 10. Karakteristik *Step Response* Sistem Rangkaian RLC dengan Kontroler *Lead*.

Karakteristik *step response* yang ditampilkan berupa nilai-nilai seperti NaN (*Not a Number*) untuk *Overshoot*, T_r , T_s , dan lainnya, serta nilai Inf (tak hingga) untuk *Peak* dan *PeakTime* menunjukkan bahwa sistem tidak memberikan respons yang valid terhadap masukan step. Hal ini menandakan bahwa sistem mengalami ketidakstabilan. Salah satu penyebab utama kondisi ini adalah adanya pole sistem yang telah ditambahkan kendali berada di sebelah kanan sumbu imajiner yang membuat sistem menjadi tidak stabil. Bentuk step respon juga menunjukkan kondisi yang lebih buruk dari sistem awal. Selain itu, kesalahan dalam

perhitungan juga bisa menyebabkan kontroler lead-lag yang digunakan memperburuk stabilitas, dimana kontroler tersebut menambahkan zero atau pole dominan yang mendekati atau berada di sebelah kanan sumbu real.



Gambar 11. Root Locus Sistem Rangkaian RLC dengan Kontroler *Lead*.

Pole sistem: Zero sistem:

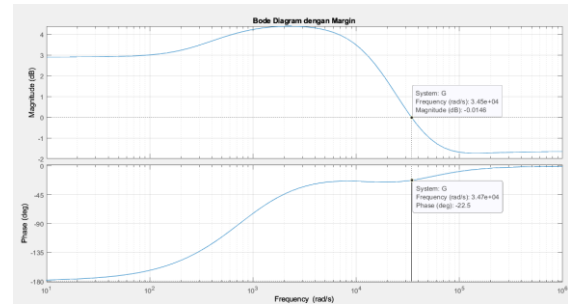
```
ans =      ans =

    1.0e+04 *    1.0e+04 *
    -9.2695    -8.0018
    -1.6833    -3.9734
     0.0786    -0.0886
    -0.0887    -0.0755
    -0.0385    -0.0333
```

Gambar 12. Pole dan Zero Sistem Rangkaian RLC dengan Kontroler *Lead*.

Berdasarkan pole dan zero yang diperoleh, seluruh pole sistem berada di sebelah kiri bidang s, sehingga sistem berada dalam kondisi stabil. Namun, terdapat pole yang dekat dengan nol yang menunjukkan adanya pole dominan sehingga respons sistem cenderung lambat. Selain itu, distribusi zero yang juga berada dekat dengan pole menunjukkan bahwa kontroler lead belum optimal dalam mendorong root locus lebih jauh ke kiri. Akibatnya, meskipun kestabilan tercapai, peningkatan performa dinamis seperti *rise*

time dan *settling time* belum signifikan, sehingga parameter kontroler masih perlu dioptimalkan.



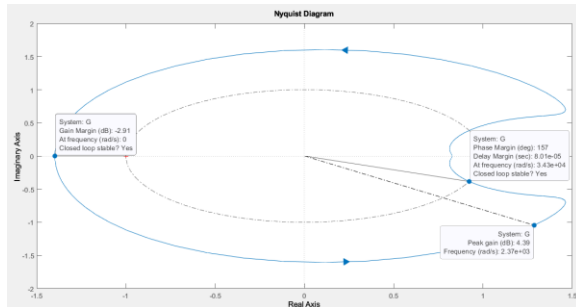
Gambar 13. Diagram Bode Sistem Rangkaian RLC dengan Kontroler *Lead*.

Gain Margin (dB): -2.91 dB
Phase Margin (deg): 157.35 deg
Frekuensi Gain Crossover (rad/s): 0.00 rad/s
Frekuensi Phase Crossover (rad/s): 34279.52 rad/s

Gambar 14. Karakteristik Diagram Bode Sistem Rangkaian RLC dengan Kontroler *Lead*.

Berdasarkan hasil diagram Bode setelah penambahan kontroler *lead*, diperoleh nilai *Gain Margin* (GM) sebesar -2.91 dB, *Phase Margin* (PM) sebesar 157.35°, frekuensi *gain crossover* (ω_{gc}) sebesar 0 rad/s, dan frekuensi *phase crossover* (ω_{pc}) sebesar 34279.52 rad/s. Nilai *phase margin* yang sangat besar menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat kestabilan yang tinggi dengan cadangan fase yang besar. Namun, nilai *gain crossover* sebesar 0 rad/s menunjukkan bahwa kurva *magnitude* tidak memotong titik 0 dB sehingga titik *crossover* tidak terbentuk secara normal. Kondisi ini menyebabkan *gain margin* menjadi kurang representatif dan menghasilkan nilai negatif. Secara karakteristik, sistem cenderung berada pada kondisi sangat stabil tetapi memiliki respon yang terlalu lambat atau *overdamped* akibat peningkatan fase yang berlebihan dari

kontroler lead. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa penempatan pole dan zero pada kontroler *lead* masih perlu dilakukan tuning ulang agar diperoleh karakteristik frekuensi yang lebih baik.



Gambar 15. Diagram Nyquist Sistem Rangkaian RLC dengan Kontroler *Lead*.

Plot Nyquist dari sistem RLC yang telah ditambahkan kontroler *lead* menunjukkan lintasan yang tidak mengelilingi titik kritis $(-1+j0)$ sehingga berdasarkan kriteria Nyquist sistem masih dapat dikategorikan stabil. Hal ini juga diperkuat oleh indikator *closed loop stable* yang menunjukkan kondisi sistem tetap stabil setelah penambahan kontroler. Namun, bentuk lintasan yang melebar cukup jauh pada sisi kanan bidang kompleks menunjukkan bahwa pengaruh kontroler lead menghasilkan peningkatan respons fase yang sangat besar. Karakteristik ini sejalan dengan hasil *phase margin* yang tinggi, yaitu sebesar 157° , yang menandakan sistem memiliki cadangan kestabilan fase yang sangat besar tetapi cenderung menyebabkan respon sistem menjadi terlalu lambat atau *overdamped*. Selain itu, lintasan yang membentuk lekukan dan *loop* kecil di sisi kanan menunjukkan adanya ketidakseimbangan dinamika frekuensi akibat penempatan pole dan zero kontroler yang belum optimal.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pemodelan dan analisis sistem rangkaian RLC paralel menggunakan metode root locus, diperoleh bahwa sistem awal berada dalam kondisi stabil namun masih memiliki performa transien yang kurang optimal karena *overshoot* dan *settling time* yang cukup besar. Penambahan kontroler lead mampu meningkatkan kestabilan sistem yang ditunjukkan melalui diagram Bode dan Nyquist, tetapi respon sistem masih cenderung lambat dan *overdamped* akibat parameter kontroler yang belum optimal. Oleh karena itu, diperlukan tuning ulang pada kontroler lead agar diperoleh keseimbangan yang lebih baik antara kestabilan dan kecepatan respon sistem sesuai spesifikasi yang diinginkan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada diri sendiri atas usaha dan ketekunan selama proses penelitian, dan juga kepada kedua orang tua atas doa, sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Ataka, A., Sandiwan, A., Tnunay, H., Utomo, D. R., & Cahyadi, A. I. (2023). Inverted Pendulum Control: A Comparative Study from Conventional Control to Reinforcement Learning. *Jurnal Nasional Teknik Elektro Dan Teknologi Informasi*, 12(3), 197–204. <https://doi.org/10.22146/JNTETI.V12I3.7065>

- Fadillah, E. P., Endryansyah, E., Rusimamto, P. W., & Zuhri, M. S. (2022). Desain Sistem Pengaturan Keseimbangan Posisi Bola pada Sistem Ball and Beam Menggunakan Metode Kendali Root Locus Berbasis MATLAB. *JURNAL TEKNIK ELEKTRO*, 11(1), 136–145. <https://doi.org/10.26740/JTE.V11N1.P136-145>
- Halder, K., & Das, S. (2024). Stabilizing regions of dominant pole placement for second order lead processes with time delay using filtered PID controllers. *PLOS ONE*, 19(6), e0304128. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0304128>
- Haque, M. Y. Y. U., Islam, M. R., Ahmed, T., & Sheikh, M. R. I. (2022). Improved voltage tracking of autonomous microgrid technology using a combined resonant controller with lead-lag compensator adopting negative imaginary theorem. *Protection and Control of Modern Power Systems* 2022 7:1, 7(1), 10–. <https://doi.org/10.1186/S41601-022-00231-4>
- Moensaku, R. L., Laponi, L. A. S., & Warsito, A. (2022). RESPON TRANSIEN TERAPAN METODE PID DALAM PROSES PENGISIAN MUATAN PADA RANGKAIAN RLC. *Jurnal Fisika: Fisika Sains Dan Aplikasinya*, 7(2), 67–73. <https://doi.org/10.35508/FISA.V7I2.9349>
- Muhammad, A., Yanuar, L., Asnan Said, F., Diaz Pramudya, R., Ma'rifat, J., Faiz, A., & Andrasto, T. (2025). Aplikasi Metode Root-Locus dengan Aproksimasi Padé untuk Analisis Pengaruh Time Delay pada Kestabilan Sistem Kendali. *JURAL Riset RUMPUN ILMU TEKNIK*, 4(2), 28–40. <https://doi.org/10.55606/JURRITEK.V4I2.5467>
- Putri, D. A., & Huda, D. N. (2024). Perancangan Simulasi Besaran Fisis dan Grafik pada Rangkaian RLC Seri dengan Memanfaatkan Program Graphic User Interface (GUI) Matlab. *Navigation Physics: Journal of Physics Education*, 6(2), 184–193. <https://doi.org/10.30998/NPJPE.V6I2.2731>
- Simanjanrang, I. B., Desvend Sinaga, D., & Lourenza, S. (2020). Desain Kompensator Motor Servo Dc 734 Pada Laboratorium Dasar Sistem Kendali. *Jurnal ELPOTecs*, 3(2), 22–33. <https://doi.org/10.51622/ELPOTecs.V3I2.468>
- Sukirman, I., Rusli, M., & Yudanangtyas, E. (2022). PERANCANGAN ALGORITMA KOMPENSATOR LEAD-LAG PADA SISTEM KONTROL TEGANGAN GENERATOR DC DENGAN METODE ROOT LOCUS. *Jurnal Mahasiswa TEUB*, 10(1). <https://elektro.studentjournal.ub.ac.id/index.php/teub/article/view/1716>
- Wiguna, Y. K., Rusimamto, P. W., Suprianto, B., & Zuhrie, M. S. (2021). Desain Sistem Pengendali Posisi Sumbu Azimuth Pada Turret Gun Dengan PI Controller Metode Root-Locus. *JURNAL TEKNIK ELEKTRO*, 10(3), 817–825.

<https://doi.org/10.26740/JTE.V10N3.P817-825>

Wu, M., Jiang, W., Zhong, C., & Yuan, F. (2024). Research on the complex dynamical behavior of H-bridge inverter with RLC load. *Scientific Reports* 2024 14:1, 14(1), 23916-.
<https://doi.org/10.1038/s41598-024-74812-8>

Yang, W. (2023). Design and analysis of root locus based controllers. *Journal of Physics: Conference Series*, 2634(1).
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/2634/1/012020>

Zhang, Q., Gan, D., Huang, W., Xu, H., Wu, S., Huang, R., & Zeng, P. (2023). Power system small-disturbance stability analysis and control design: A characteristic locus method. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 148, 108998.
<https://doi.org/10.1016/J.IJEPES.2023.108998>