

LAPORAN PRAKTIKUM**TEMPAT KEDUDUKAN AKAR****Muhammad Fadhil Syahputra, Ismail Ragi Alfarugi .**

Universitas Lambung Mangkurat

Email korespondensi : syahputraf112@gmail.com

PENDAHULUAN

Dalam analisis dan perancangan sistem kendali, pemahaman terhadap karakteristik frekuensi dari suatu sistem sangatlah penting untuk memastikan kestabilan dan performa yang diinginkan. Salah satu metode yang digunakan untuk menganalisis tanggapan frekuensi adalah Diagram Bode. Diagram ini menyajikan informasi mengenai bagaimana suatu sistem merespons sinyal masukan dengan berbagai frekuensi dalam bentuk dua grafik utama, yaitu grafik magnitude (penguatan) dan grafik fasa terhadap frekuensi, yang keduanya diplot pada skala logaritmik.

Analisis tanggapan frekuensi dilakukan dengan mensubstitusi variabel kompleks s pada fungsi alih sistem $G(s)H(s)$ menjadi $G(j\omega)H(j\omega)$, sehingga diperoleh $G(j\omega)H(j\omega)$ yang merupakan bilangan kompleks. Grafik magnitude menunjukkan besar penguatan terhadap frekuensi dalam satuan desibel (dB), sedangkan grafik fasa menunjukkan pergeseran fasa dalam derajat terhadap frekuensi.

Dua parameter penting yang dapat dievaluasi melalui Diagram Bode adalah Gain Margin (GM) dan Phase Margin (PM). Gain Margin merupakan ukuran seberapa banyak penguatan sistem dapat ditambah sebelum sistem menjadi tidak stabil, sedangkan Phase Margin menunjukkan seberapa besar toleransi sistem terhadap perubahan fasa sebelum kehilangan kestabilan. Sistem dinyatakan berada pada ambang batas kestabilan saat nilai magnitude mencapai 0 dB (atau 1 kali penguatan) bersamaan dengan nilai fasa -180° .

Berbeda dengan metode lain seperti analisis tempat kedudukan akar (Root Locus), Diagram Bode memberikan keuntungan

dalam hal visualisasi pengaruh elemen-elemen sistem (seperti pole dan zero) terhadap tanggapan frekuensi. Dengan demikian, metode ini tidak hanya berguna dalam menentukan kestabilan sistem, tetapi juga dalam menyusun kompensator untuk memenuhi spesifikasi performa tertentu.

TINJAUAN PUSTAKA

Salah satu bentuk penyajian data secara visual yang berfungsi untuk mempermudah pembacaan, analisis, dan penyampaian poin penting dari hasil data yang diperoleh selama penelitian atau pengamatan disebut grafik (chart). Bentuk pada grafik umumnya berdasarkan dari perolehan angka yang diolah menjadi gambaran lebih sederhana dan rinci. Fungsi lain grafik adalah membandingkan beberapa data yang berbeda perlakuan dengan maksud mengamati perkembangan dan keunggulan dari masing-masing perlakuan. Jenis grafik berdasarkan bentuknya dibedakan menjadi 3 yaitu grafik garis (line chart) yang menyediakan data angka dengan bentuk garis dalam sebidang grafik, grafik batang (bar chart) menggambar hasil dalam bentuk batang, dan grafik lingkaran (pie chart) menyajikan data dalam bentuk lingkaran dan persentase nilai keseluruhan (Sinaga et al., 2022).

Batas perubahan besarnya ukuran penguatan sistem dapat ditingkatkan (atau dikurangi) tanpa membuat sistem menjadi tidak stabil disebut dengan gain margin yang memiliki kemampuan untuk menahan perubahan besar dalam parameter sistem sebelum adanya ketidakstabilan dalam loop tertutup. Perubahan ukuran dari pergeseran fase tambahan yang dapat ditoleransi pada frekuensi persilangan penguatan (di mana besarnya fungsi transfer loop terbuka adalah 1) sebelum sistem menjadi tidak stabil disebut phase margin (Siaahan, 2020). Gain margin dan phase margin digunakan untuk mengukur

robustness dari suatu sistem atau menjadi indikator ukuran yang digunakan untuk menilai stabilitas sistem kontrol dalam domain frekuensi. Robustness adalah kemampuan suatu metode analisis, model uji statistik, atau sistem untuk tetap memberikan hasil konsisten dan akurat meskipun ada perubahan atau gangguan pada input atau kondisi pengujian (Dwiastuti, 2022).

Diagram Bode merupakan salah satu representasi grafis dan metode analisis frekuensi yang sangat penting dalam perancangan dan evaluasi sistem kendali. Diagram ini menyajikan informasi tentang besarnya respon sistem (magnitude) dan

METODE PENELITIAN

Percobaan ini dilakukan menggunakan perangkat lunak MATLAB dan Simulink pada sebuah PC untuk menganalisis tanggapan frekuensi dari beberapa sistem kendali melalui diagram Bode. Langkah pertama dimulai dengan mendefinisikan fungsi alih sistem dalam bentuk rasio polinomial terhadap variabel kompleks s , yang kemudian dimodelkan menggunakan perintah `tf()` pada MATLAB. Setelah itu, perintah `bode()` digunakan untuk menampilkan diagram Bode yang terdiri dari grafik magnitude dan fasa terhadap frekuensi, serta grid on untuk memperjelas tampilan. Selanjutnya, dilakukan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Respons Unit Step

Fungsi Alih	orde	Tipe	GM	wGM	PM	wPM	Diagram Bode
$G(s)H(s) = \frac{100s + 100}{0.001s^4 + 0.13s^3 + 4.2s^2 + 130s + 100}$	4	0	GM: 3.70 dB	w_GM: 62.00 rad/s	PM: 50.32°	w_PM: 38.42 rad/s	

pergeseran fasa (phase) terhadap perubahan frekuensi dengan menggunakan skala logaritmik. Dua parameter utama dalam diagram bode yang sering digunakan untuk menganalisis stabilitas sistem adalah Gain Margin (GM) dan Phase Margin (PM). Letak pole dan zero dari fungsi alih sistem juga berpengaruh dalam diagram bode. Pole dan zero ini menentukan bentuk kurva magnitude dan fasa, serta karakteristik frekuensi sistem seperti resonansi dan kecepatan respons (Laksono, 2017). Karakteristik seperti $1 + G(s)H(s) = 0$, di mana $G(s)$ adalah fungsi alih sistem dan $H(s)$ adalah fungsi umpan balik (Ray et al., 2022).

pendekatan lain menggunakan fungsi `freqs()` untuk menghitung respons frekuensi langsung dari sistem berdasarkan nilai numerik pembilang dan penyebut fungsi alih. Nilai magnitude dikonversi ke dalam desibel dan fasa dalam derajat, lalu ditampilkan menggunakan `semilogx()` pada dua subplot. Setelah kedua metode tersebut diterapkan dan dibandingkan pada fungsi alih yang sama, peserta diminta untuk menerapkannya pada beberapa fungsi alih lainnya yang telah disediakan. Terakhir, seluruh hasil dibandingkan dan dianalisis, baik secara numerik maupun visual, serta dilakukan penggambaran diagram Bode secara analitik untuk memperdalam pemahaman terhadap karakteristik frekuensi masing-masing sistem.

$G(s)H(s) = \frac{1 \times 10^5 + 1 \times 10^4}{s^4 + 112s^3 + 1320s^2 + 1.3 \times 10^5 s + 1 \times 10^5}$	4	0	GM: 11.37 dB	w_GM: 33.63 rad/s	PM: 44.73°	w_PM: 13.22 rad/s	
$G(s)H(s) = \frac{1 \times 10^5 + 1 \times 10^4}{s^4 + 116s^3 + 1760s^2 + 1.7 \times 10^5 s + 1 \times 10^5}$	4	0	GM: 16.77 dB	w_GM: 39.90 rad/s	PM: 95.66°	w_PM: 11.43 rad/s	
$G(s)H(s) = \frac{100s + 100}{s^4 + 111s^3 + 1110s^2 + 1000s}$	4	0	GM: 1100.00 dB	w_GM: 31.62 rad/s	PM: 89.37°	w_PM: 0.10 rad/s	

PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil simulasi diagram Bode untuk empat sistem fungsi alih terbuka $G(s)H(s)G(s)H(s)$, diperoleh informasi penting mengenai karakteristik kestabilan sistem melalui nilai gain margin (GM), phase margin (PM), serta frekuensi masing-masing margin (w_{GM} dan w_{PM}).

Untuk fungsi alih 1, sistem memiliki GM sebesar 3,70 dan PM sebesar 50,32°, dengan w_{GM} di sekitar 62 rad/s dan w_{PM} sekitar 38,42 rad/s. Nilai GM dan PM ini menunjukkan bahwa sistem masih dalam kondisi stabil dengan margin yang cukup aman terhadap perubahan gain maupun fase.

Pada fungsi alih 2, sistem menunjukkan GM sebesar 11,37 dan PM sebesar 44,73°, dengan w_{GM} sebesar 33,63 rad/s dan w_{PM} sebesar 13,22 rad/s. Hal ini menandakan bahwa sistem juga berada dalam kondisi stabil dengan cadangan margin yang baik terhadap perubahan parameter.

Fungsi alih 3 memiliki GM sebesar 16,77 dan PM sebesar 95,66°, dengan w_{GM} sebesar 39,90 rad/s dan w_{PM} sebesar 11,43 rad/s. Nilai PM yang sangat besar menunjukkan bahwa sistem ini memiliki cadangan fase yang

tinggi, sehingga sangat stabil terhadap gangguan atau perubahan mendadak.

Sementara itu, fungsi alih 4 menunjukkan GM yang sangat besar yaitu 1100 dan PM sebesar 89,37°, dengan w_{GM} sekitar 31,62 rad/s dan w_{PM} yang sangat kecil yaitu 0,10 rad/s. Meskipun sistem ini secara teori sangat stabil karena margin gain yang tinggi, frekuensi w_{PM} yang sangat rendah menunjukkan bahwa sistem akan merespons sangat lambat terhadap gangguan berfrekuensi rendah. Selain itu, sistem ini merupakan sistem tipe 1 karena memiliki satu pole di titik asal, yang berarti mampu melacak masukan bertipe step dengan error steady-state nol.

Secara keseluruhan, seluruh sistem menunjukkan kestabilan berdasarkan analisis diagram Bode, dengan variasi pada margin dan bandwidth yang mencerminkan kecepatan respons serta sensitivitas terhadap perubahan sistem.

DAFTAR PUSTAKA

Dwiastuti, A. E. (2022). Manajemen Laba di Indonesia Signalling Ataukah Garbling? Peran Kontekstual Kualitas Audit dan Kinerja. Jurnal Perspektif Akuntansi, 5(1), 93-120.

Laksono, H. D. (2017). Perancangan dan Analisa Sistem Kendali dengan Berbagai Pengendali. Lembaga Pengembangan Teknologi Informasi dan Komunikasi (LPTIK) Universitas Andalas, Padang.

Siaahan, V. (2020). Buku Resep Pemrograman MATLAB. Balige Publishing, Toba.

Sinaga, . (2022). Creating The Simple Linear Chart by Students of Panti Budaya Senior High School Kisaran. Jurnal IPTEK Bagi Masyarakat, 1(3), 139-144.