

RANCANG BANGUN PENGENDALI LQG UNTUK KECEPATAN MOTOR DC DESIGN AND IMPLEMENTATION CONTROL LQG FOR DC MOTOR VILOCITY

¹Epo Ilham Ajiprasetyo, ²Angga Rusdinar, ³Prasetya Dwi Wibawa

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom
Jalan Telekomunikasi, Dayeuh Kolot Bandung 40257 Indonesia

¹epoilham@students.telkomuniversity.ac.id, ²angga.rusdinar@telkomuniversity.ac.id,

³prasetyadwiwibawa@telkomuniversity.ac.id

ABSTRAK

Tugas Akhir ini didasarkan pada kontroler dan perangkat lunak yang digunakan untuk antarmuka Motor DC. Dengan mengembangkan kontrol Linear Quadratic Gaussian), Program menggunakan Labview 2013, Serta antarmuka Motor DC dan LabView menggunakan DAQ NI USB-6008. Sistem kontrol yang telah diaplikasi ke dalam program akan disambungkan ke Motor DC. Tegangan keluaran DAQ diperkuat dengan Rangkain Chopper. Kemudian menggunakan persamaan matematika untuk memanfaatkan umpan balik dalam mengendalikan kecepatan motor DC. Perangkat lunak ini sangat bermanfaat untuk menguji kemampuan motor DC dengan tampilan yang mudah dimengerti dan dilengkapi dengan fitur penyimpanan data yang memudahkan pengguna dalam menganalisis hasil pengujian.

Kata kunci : LQG, LabView 2013, Motor DC, DAQ NI USB-6008, Rangkain Penguat, identifikasi. *realtime*

ABSTRACT

Final Project is based on the controller and the software used to interface DC motors. By developing control Linear Quadratic Gaussian), program using LabView 2013, as well as interface DC motors and LabView using NI USB-6008 DAQ. The control system that has been applied to the program will be connected to a DC motor. DAQ output voltage is amplified by operational amplifier circuits. then use mathematical equations to utilize the feedback in controlling the speed of a DC motor. This software is very useful to test the ability of a DC motor with a display that is easy to understand and is equipped with a data storage feature that allows users to analyze the test results.

Key Word: *LQG, LabView 2013, DC motor, NI USB-6008 DAQ, operational amplifier circuits, Identification, Realtime.*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Labolatorium Dasar Sistem Kontrol merupakan salah satu laboratorium yang berada di Fakultas Elektro Universitas Telkom. Laboratorium ini bergerak dibidang Kelilmuan Sistem Kendali. Saat ini labolatorium tersebut telah didukung alat-alat dalam melayani praktikum mahasiswa untuk program studi S1 Teknik Elektro.. Pratikum Dasar Sistem Kontrol Laboratorium terdapat Modul mengenai "Proportional, Integral and Derivative Control". Alat yang digunakan dalam pratikum ini adalah Motor DC DCM150F di kontrol secara analog menggunakan PID Unit PID150Y. Kemudian Untuk menampilkan data hasil akusisi dari DaqBoard 1005 Menggunakan DaqView

LabView adalah Sebuah lingkungan Bahasa pemrograman grafis. Antarmuka motor DC dan LabView menggunakan DAQ NI USB-6008. Data acquisition (DAQ) adalah proses sampling sinyal yang mengukur kondisi fisik dunia nyata yang berupa data analog dan mengubah sampel yang dihasilkan menjadi nilai numerik digital yang dapat dimanipulasi oleh komputer. Dari perangkat lunak, Transfer data pertama ke Portabel DAQ. Kemudian DAQ tersebut akan Mengkonversi data menjadi sinyal listrik yang diakuisi oleh motor DC.

Tugas Akhir ini didasarkan pada kontroler dan perangkat lunak yang digunakan untuk antarmuka Motor DC . Dengan mengembangkan pengontrol Linear Quadratic Gaussian (LQG) yang menggunakan persamaan matematika untuk memanfaatkan umpan balik dalam mengendalikan kecepatan motor DC dengan menggunakan LabView 2013.

2. LANDASAN TEORI

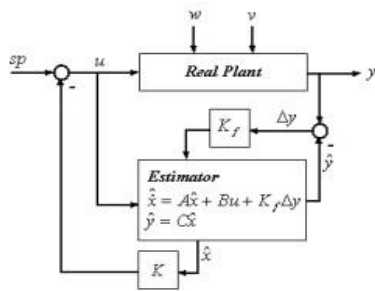
2.1 Linear Quadratic Gaussian (LQG)

Pada konsep LQG diperkenalkan konsep teori pemisahan (separation theorem) atau sering disebut Certainty Equivalence Principle. Dari hasil tersebut penguatan umpan balik dan filter dalam LQG dirancang secara terpisah

$$\dot{x} = Ax + Bu + v(t)$$

$$y = Cx + w(t)$$

(2.1)



Gambar 2 Kendali umum LQG (Lewis, F.L., 1992)

Keterangan :

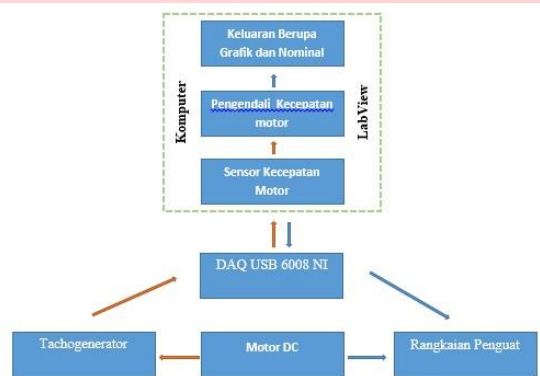
- u : Input proses.
- y : Output proses.
- w : gangguan proses.
- v : gangguan pengukuran (white noise)
- A : Matrik plant.
- B : Matrik kendali input.
- C : Matrik pengukuran.
- K : Penguatan umpan balik (Kalman).f
- K : Penguatan filter kalman.

III. PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

Bab ini menjelaskan untuk mendapatkan model state-space dari Motor DC, Desain LQG, konfigurasi perangkat lunak dan pelaksanaan LQG controller.

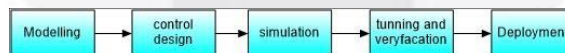
3.1 Gambaran Umum Sistem

Sistem yang telah di realisasikan merupakan sistem yang dapat memberikan kestabilan pada sebuah motor dc.



Gambar 3.1. Blok Diagram Perancangan Sistem

Dalam Advanced Control Engineering [3] terdapat beberapa tahapan dalam perancangan sistem kontrol. hal yang pertama yang dilakukan ialah menentukan spesifikasi performa sistem yang diinginkan, kemudian dipilih komponen-komponen yang akan digunakan pada sistem. Tahapan selanjutnya adalah melakukan pemodelan plant pada sitem. Pastikan pemodelan plant telah memenuhi spesifikasi performa sistem. Jika tidak memenuhi, maka akan dicari alternatif komponen pengganti. Setelah itu, definisikan strategi kontrol yang akan digunakan. Pada Tugas Akhir ini digunakan strategi kontrol Linear Quadratic Gaussian (LQG) yang merupakan salah satu metode State Variable Feedback. Perancangan strategi kontrol dilakukan dalam lima tahap, yaitu modeling, control design, simulation, tuning and verification dan deployment.



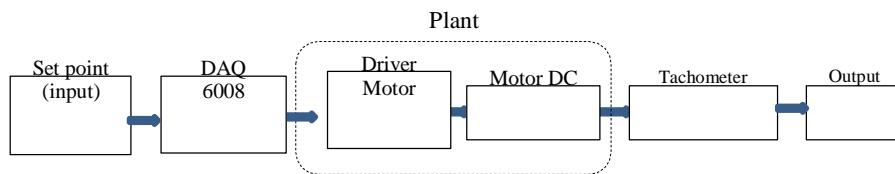
Gambar 3.2. Blok Diagram proses design

Keterangan blok diagram proses mendesain kendali :

1. Modelling – Mengidentifikasi representasi matematis dari sebuah plant/sistem.
2. Control Design - Memilih metode kontrol dan mendesain kontroler.
3. Simulation – Menerapkan “point-by-point” dengan pendekatan sebuah simulasi waktu.
4. Tuning and Verification - Memperkenalkan keadaan real-nonlinier, tuning, dan memverifikasi algoritma kontrol.
5. Deployment- Menerapkan sistem kontrol.

3.2 Identifikasi Plant

Sub bab ini menjelaskan proses perancangan sistem kontrol *open loop* atau *Plant* menggunakan *NI system identification and control design assistant*. Gambaran sistem *open loop* untuk identifikasi *plant* ditunjukkan

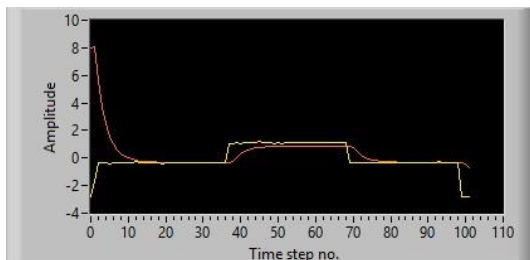


Gambar 3.3. Diagram blok identifikasi Plant

Sistem *open loop* perbedaan antara dua kuantitas: variabel proses (*output* tegangan dari *tachometer* sebagai fungsi dari kecepatan) dan set point (tegangan perintah yang ditentukan).

Dalam mengidentifikasi suatu *plant* di LabView menggunakan add-ons diantaranya:

- *LabView system identification toolkit*
- *LabView control desain and simulation module*



Menggunakan Sampling Interval $h(s) : 0.02$ dan waktu time 102

Gambar 3.4. Grafik Motor DC

Hasil Pemodelan di dapatkan fungsi transfer dari indentifikasi motor dc:

Transfer Function

$$\frac{0.0999344z + 0.211839}{z^2 - 0.82388z + 0.0892006}$$

Dan hasil setelah di ubah menjadi Matriks State-Space adalah

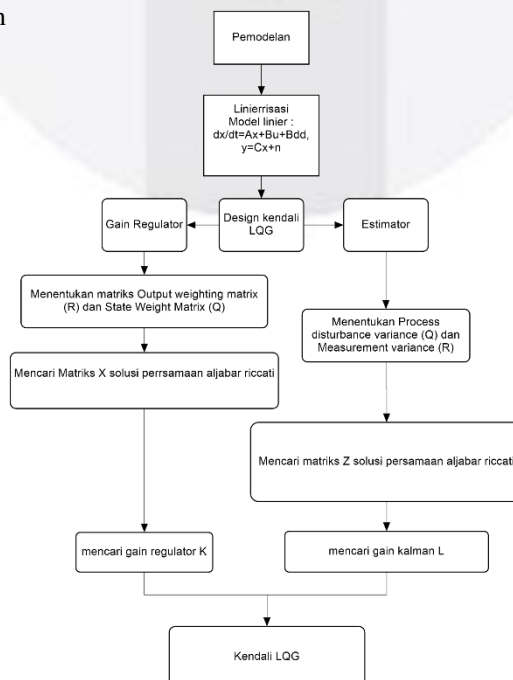
State Space Model

$$\mathbf{x}(k+1) = \begin{bmatrix} 0.82388 & -0.356802 \\ 0.25 & 0 \end{bmatrix} \mathbf{x}(k) + \begin{bmatrix} 4 \\ 0 \end{bmatrix} \mathbf{u}(k)$$

$$\mathbf{y}(k) = \begin{bmatrix} 0.0249836 & 0.211839 \end{bmatrix} \mathbf{x}(k) + \begin{bmatrix} 0 \end{bmatrix} \mathbf{u}(k)$$

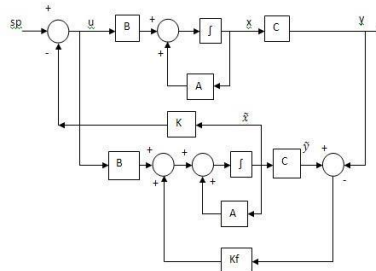
3.3 Perancangan Kontrol Optimal LQG

Kendali LQG di didesign dari model linier bisa dilihat di persamaan matriks-matriks model linier akan didesign kendali LQG untuk model motor dc. Dalam perancangan kendali LQG ada tiga utama yang perlu di design yaitu : gain feedback tegulator, estimator/observer variabel keadaan pada masukan referensi/setpoint. Lihat gambar diagram alih dibawah ini



Gambar 3.6. Flow Chart Design LQG

Perancangan kendali LQG untuk motor dc diawali dengan mendesign gain feedback regulator (k), membuat estimator/observer variabel keadaan agar keluarannya {y} sesuai dengan masukan referensi/setpoint (r) yang di inginkan. Diagram blok dari buku Ogata [8],



Gambar 3.13. Blok diagram LQG

Diagram blok sistem dan implementasi perancangan pengendali ditunjukkan pada Gambar 3.2 untuk memahami sistem secara keseluruhan. Komponen A, B, dan C pada diagram blok tersebut merupakan komponen pemodelan motor dc dalam bentuk persamaan ruang keadaan Sedangkan K dan Kf merupakan gain Kalman dan Filter Kalman.

3.3.1 Membangun feedback regulator (K)

Dalam mencari gain regulator (k), ditentukan terlebih dahulu besarnya metriks pembobot dan R, serta mencari nilai P yang merupakan solusi dari persamaan aljabar riccati. Matriks Q dan R dicari dengan mencoba-coba nilai matriks Q dan R (trial dan error) sampai didapatkan kinerja gain regulator (k) yang sesuai dengan yang diinginkan.

R (LQR)

0	0.9326	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0

Q (LQR)

0	1.3405	0	0
0	0	1.0427	0
0	0	0	0

Jika sudah memperoleh R dan Q pada LQR, Lalu mencari nilai Riccati solution :

Riccati Solution (X)

3.02	1.35	0.00
1.35	2.14	0.00

Gain didapatkan dengan memasukan nilai R,Q dan X. Kemudian di esekusi dengan module LQR yang terdapat pada labview. Ini hasil designnya :

LQR Gain

0.34	0.21
0.00	0.00

3.3.2 Estimator/observer kendali LQG

Matriks gain estimator/gain kalman (L) adalah matriks yang perlu didesain dalam perancangan kendali LQG. Untuk mendapatkan gain estimator/gain kalman (L) sebelumnya harus ditentukan terlebih dahulu Q,R dan solusi Steady-State Kalman Gain (L) dari persamaan aljabar riccati dapat di hitung. Penentuan Q dan R harus mempertimbangkan pengaruh besarnya matriks Q dan R terhadap nilai dari matriks gain estimator.gain kalman agar di dapatkan variabel keadaan hasil estimasi yang sama atau mendekati variabel keadaan yang sebenarnya.

Process disturbance variance Q

0	0.0010	0.0000
0	0.0000	0.0010

Measurement variance R

0	0.0010
0	

Jika sudah memperoleh Process disturbance variance Q dan Measurement variance R pada Kalman Filter, Lalu mencari nilai Steady-State Kalman Gain (L):

Steady-State Kalman Gain (L)

0.05	0	0
0.04	0	0
0	0	0

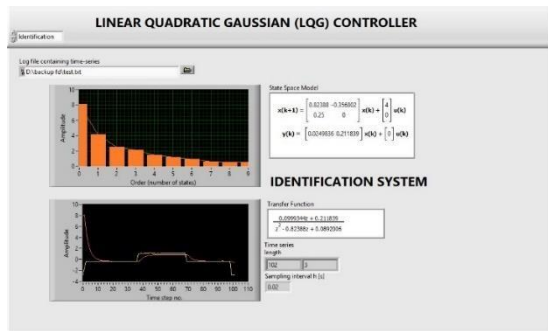
Hasil gain estimator.gain kalman yang di dapatkan adalah :

Kalman Gain

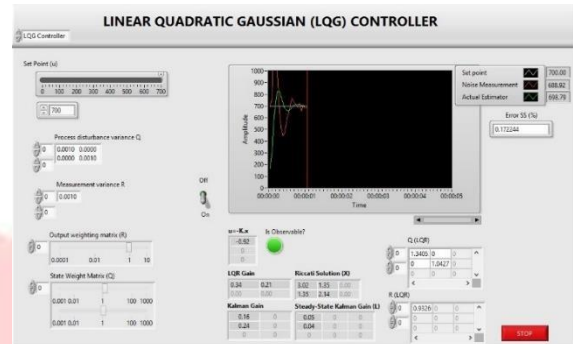
0.16	0
0.24	0
0	0

3.4 Antar Muka Sistem

Antar muka (*user interface*) sistem digunakan untuk menghubungkan sistem dengan pengguna. Perancangan antar muka sistem yang terintegrasi dengan program sistem dilakukan dengan perangkat lunak LabVIEW. Pada antar muka sistem, pengguna dapat memberikan nilai *set point* (input). Pengguna juga dapat melihat keluran sistem berupa nilai kecepatan motor dan grafik respon sistem. Selain itu juga terdapat hasil simulasi sistem yang menunjukkan nilai keluaran simulasi sistem dan grafik respon keluaran simulasi sistem. Hal tersebut digunakan sebagai pembandingan antara sistem sesungguhnya dengan simulasi. Antar muka sistem ditunjukkan pada Gambar 3.14 dan Gambar 3.15.



Gambar 3.14 Identifikasi Motor DC



Gambar 3.15. Antarmuka LQG Controller

4. PENGUJIAN DAN ANALISIS

Bab empat merupakan simulasi untuk menguji kendali LQG yang telah dirancang pada bab tiga. Bab empat terdiri dari tiga sub bab, yaitu implementasi kinerja dan pembandingan analisis.

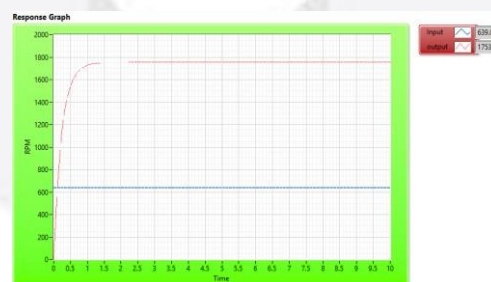
4.1 Implementasi Motor DC

Dalam Implementasi ini ada dua pengujian yaitu pengujian kinerja kendali LQG sistem *open loop* dan pengujian kinerja menggunakan LQG dalam menstabilkan motor dc.

4.1.1 Pengujian Kinerja Tanpa Kendali LQG

Pengujian Respon Motor DC tanpa pengendali digunakan untuk melihat respon dan karakteristik motor DC.

Pengujian dilakukan pada motor tanpa pengendali LQG dengan sistem *open loop* yang diberi nilai *set point* sebesar 1700 RPM (2 V). Respon motor DC tanpa pengendali LQG ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Respon Motor DC Tanpa Pengendali LQG

Performansi respon motor DC tanpa pengendali LQG ditunjukkan pada Tabel 4.1.

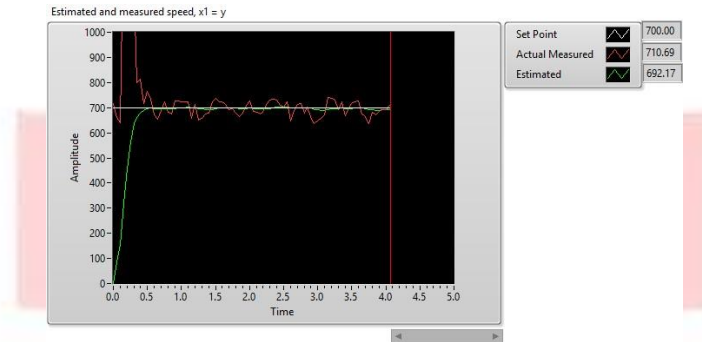
<i>Set point</i>	639 RPM
<i>Steady State</i>	1714,85 RPM
<i>Rise Time</i>	1,2 detik
<i>Settling Time</i>	1,5986 detik
<i>Steady State Error</i>	172,006 %

Tabel 4.1 Performansi Respon Motor DC Tanpa Pengendali LQG

Respon sistem tanpa pengendali memiliki *rise time* yang cukup kecil namun butuh waktu yang cukup lama untuk mencapai kondisi tunak. Respon sistem tidak terdapat *overshoot*, tetapi memiliki *error steady state* yang besar.

4.1.2 Penguji Kinerja Kendali LQG

Pada pengujian ini digunakan hasil simulasi penstabilan respon motor motor dc dengan metode LQG yang telah di rancang pada bab 3. Kondisi awalnya setpointnya 2 volt kondisi tersebut mendapatkan hasil ditunjukkan pada Gambar 4.3



Gambar 4.2 Respon Motor DC dengan LQG secara real time

Dalam hasil, pengabungan design regulator LQG menghubungkan Kalman filter dan LQR (Gain K) bisa lihat di Bab 3 dapat memperoleh hasil simulasi.

Terlihat hasil simulasi di gambar 4.2 dengan real time gambar 4.4 berbeda hasilnya dikarenakan banyak noise dari luar. Terlebih motor dc sebagai plant kurang baik untuk melakukan percobaan dikarenakan motor tersebut sudah lama.

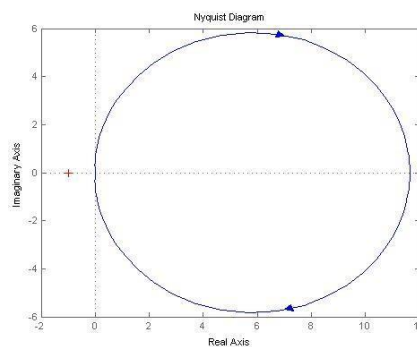
<i>Set point</i>	700 RPM
<i>Steady State</i>	692,17 RPM
<i>Rise Time</i>	0,6291 detik
<i>Settling Time</i>	1,2986 detik
<i>Steady State Error</i>	0,266 %

4.2 Pengujian Kestabilan

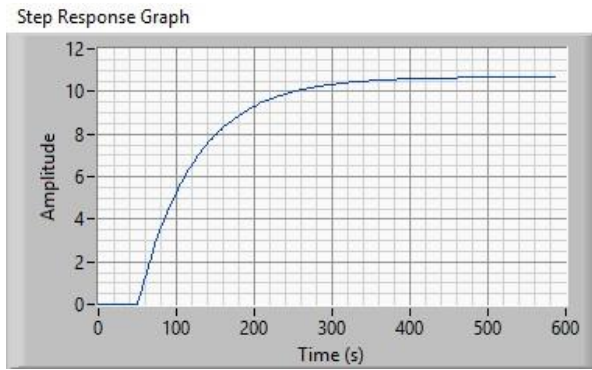
Pengujian kesetabilan digunakan untuk melihat kesetabilan sistem yang telah dirancang.

Fungsi transfer open loop :

$$e^{-50s} \frac{-0.0804689s - 0.0227767}{s^2 + 0.000174784s + 0.0283449} \tag{4.1}$$



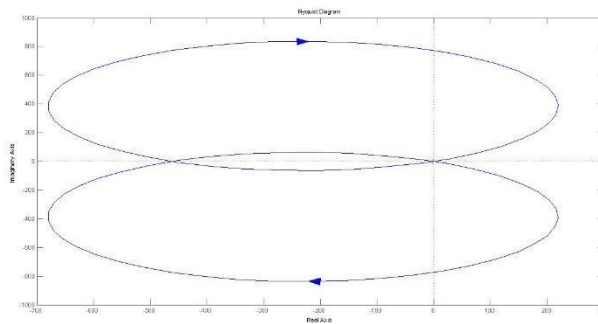
Gambar 4.1 Plot nyquist Open Loop sistem



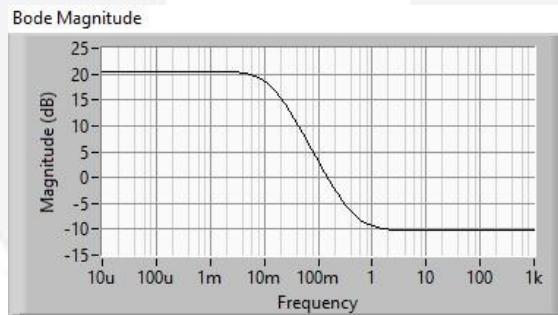
Gambar 4.2 Step Respon Motor DC dengan LQG secara real time

Fungsi transfer closed loop

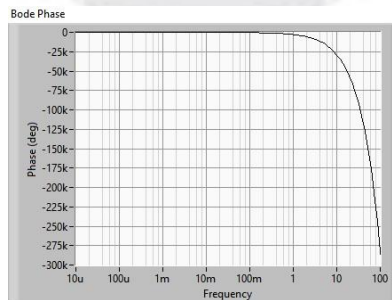
$$e^{-50.120849s} \frac{0.302362s^2 + 0.160241s + 0.006655}{s^2 + 0.0591718s + 0.00062267} \tag{4.2}$$



Gambar 4.3 Plot nyquist close loop sistem



Gambar 4.4 Bode magnitude sistem



Gambar 4.5 Bode phase sistem

Dari syarat-syarat kestabilan nyquist. Dilihat hasil dari sistem open Loop dan closed loop sistem telah stabil. Terbukti sistem close loop dari LQG dapat menjamin kestabilan sistemnya.

4.3 Perbandingan dan analisis

Perbandingan step respon dari sistem loop terbuka dan sistem loop tertutup dengan LQG regulator. Kurva dari step respon sistem terbuka adalah redaman berosilasi perlahan. Tapi kurva step respon sistem loop tertutup dengan LQG regulator, setelah sedikit overshoot pelemahan segera datar.

Ini berarti bahwa ketika sistem mendapat step gangguan, seperti fluktuasi listrik atau switching kebisingan, LQG regulator dapat menyesuaikan dan membuat sistem menjadi state yg cepat stabil. Hal ini mirip dengan respon impuls dari sistem terbuka dan loop tertutup sistem dengan LQG regulator. Ini berarti bahwa ketika sistem mendapatkan gangguan pulsa, seperti beban-fluktuasi kebisingan motor, LQG regulator dapat membuat sistem menjadi keseimbangan dan keadaan cepat stabil.

Hal ini merefleksikan bahwa kontrol optimal LQG adalah hasil yang ideal, dan kurva sangat baik. Dan hasil tes kestabilan menggunakan metode nyquist sistem teruji stabil.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dalam hasil pengujian dan analisis pada Bab IV dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Hasil fungsi pemindahan regulator LQG menghubungkan Kalman filter dan LQR sebagai K gain;
2. LQG memberi cara yang bagus untuk merancang pengontrol untuk nominal sistem. Tapi tidak ada jaminan tentang stabilitas / kinerja jika sistem yang sebenarnya sedikit berbeda. Tidak ada cara yang jelas untuk menyesuaikan spesifikasi controller LQG untuk meningkatkan setiap kurangnya ketahanan.
3. Menggunakan teori kontrol klasik dapat dirancang sistem kontrol sederhana. Tapi bagi banyak sistem kontrol baru dan kompleks, seperti sistem MIMO atau sistem yang lebih tinggi, mungkin perlu untuk menetapkan strategi pengendalian yang optimal berdasarkan pada model state-space.

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya, penyusun menyarankan beberapa hal.

1. Implementasikan sistem pada plant dengan orde lebih tinggi untuk melihat pengaruh kontrol optimal LQG pada sistem.
2. Lakukan perancangan sistem pada LabVIEW menggunakan jaringan yang lebih luas.
3. Matriks Q dan R dicari dengan mencoba-coba nilai matriks Q dan R (trial dan error) bisa digantikan secara menggunakan metode fuzzy logic agar otomatis.

Daftar pustaka :

1. Kasuhiko, Ogata. 1995. *Modern Control Engineering 4th edition*. United states of America, University Minnesota : Prentice-Hall inc.
2. Kasuhiko, Ogata. 1995. *Discrete Time Control Systems 2nd edition*. United states of America, University Minnesota : Prentice-Hall inc.
3. Asisten, Tim. 2012. *Modul Praktikum Dasar Sistem Kontrol*. Bandung : Laboratorium Dasar Sistem Kontrol Fakultas Elektro dan Komunikasi, Institut Teknologi Telkom.
4. Lukman, Firmansyah. 2011. *Desain dan Implementasi Aplikasi Pengendali dan Akuisisi Data B*
5. *erbasis PC dengan Interface Daqboard/1005 Untuk Modul Praktikum Kontrol Kecepatan Motor Servo DC*. Bandung: Fakultas Elektro dan Komunikasi Institut Teknologi Telkom.
6. Pratama, Harry. 2012. *Desain dan Implementasi Aplikasi Modul Praktikum Kontrol Kecepatan Motor DC Melalui Jaringan*. Bandung : Fakultas Elektro dan Komunikasi Institut Teknologi Telkom.