Jurnal Sains dan Ilmu Terapan, Vol.2 No.2, 2019, ISSN : 2621-766X

Perbandingan Sistem Kendali Pid Dan Kendali Lqr Pada Sistem Suspensi Aktif Bus (1/4) Menggunakan Simulasi Matlab

Muhammad Ridwan

Program Studi Teknik Informatika, Politeknik Kampar
Email: ridwanpolkam@gmail.com

Intisari—**Sistem suspensi kendaraan harus mampu mengisolasi atau meredam getaran badan kendaraan akibat permukaan jalan yang tidak rata. Untuk mengatasi keadaan seperti di atas, diperlukan suatu kontroler pada aktuator (suspensi aktif) untuk meredam osilasi bodi. Pada penelitian ini dirancang sebuah kontroler pada seperempat sistem suspensi bus dengan menggunakan kontrol LQR (Linear Quadratic Regulator) dan membandingkannya dengan kontrol PID. Sistem ini akan dimodelkan dengan model State Space dan Transfer Function menggunakan Matlab 2011. Hasil yang diperoleh adalah sistem kendali LQR lebih baik dari PID. Pada LQR nilai ρ adalah 0.1 dan pada PID nilai gain adalah Kp = 832 100, Ki = 624 075 dan 208 025 pada Kd = PID. Pengontrol LQR lebih lambat mencapai kondisi stabil dibandingkan dengan pengontrol PID. Kondisi stabil akan tercapai dalam waktu 30 detik sebelum kontrol dan setelah menggunakan kontroler, waktu stabilitas menjadi 3 detik.**

Kata kunci—PID Control, LQR Control.

Abstract— **A vehicle suspension system must be able to isolate or reduce the vibration of vehicle body due to unevenness of the road surface. To solve the situation as above, it was needed a controller on the actuator (active suspension) to dampen oscillations of body. In this study, it was designed a controller at a quarter of the suspension system bus using control LQR (Linear Quadratic Regulator) and compared it with PID control. This system will be modeled by State Space and Transfer Function models using Matlab 2011. The results obtained were LQR control system was better than the PID. In LQR, the value of ρ was 0.1 and in PID, the value of gain is Kp = 832 100, Ki = 624 075 and 208 025 on the Kd = PID. LQR controller slower reach steady state compared with PID controllers. Stable conditions will be achieved within 30 seconds before the control and after using controller, time of stability to be 3 seconds.**

Keywords—PID Control, LQR Control.

I. PENDAHULUAN

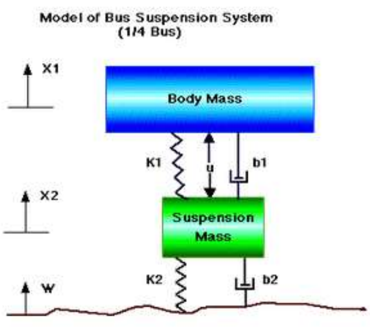
Sistem suspensi kendaraan harus mampu mengisolasi atau mengurangi getaran yang terjadi pada badan kendaraan akibat ketidakrataan dari permukaan jalan.Ketika bus mengalami gangguan jalan (yaitu masuk lubang, jalan retak, dan aspal yang tidak rata), badan bus tidak seharusnya memiliki osilasi yang besar, dan osilasi harus menghilang dengan cepat.Untuk membuat keadaan seperti diatas, di perlukan suatu pengendali pada actuator (suspensi aktif) untuk meredam osilasi yang terjadi. Untuk merancang suatu pengendali pada suatu sistem, sistem tersebut harus dimodelkan terlebih dahulu agar dapat dilihat keluaran dan tingkat kestabilan dari sistem tersebut.

Pada penelitian ini akan dibahas bagaimana memodelkan sistem ¼ suspensi aktif bus (suspensi pada salah satu roda) dan bagaimana mengendalikan getaran akibat gangguan jalan yang tidak rata. Tujuan dari penelitian adalah membuat model sistem ¼ suspensi aktig bus menggunakan fungsi transfer dan *state spac*, merancang pengedali LQR dan membandingkan pengendali LQR dengan pengendali PID pada sistem suspensi bus tersebut.Metodologi Penelitian

Bagian ini menjelaskan secara rinci tentang penelitian yang dilakukan termasuk rancangan, teknik pengumpulan data dan analis data, gambaran sistem yang dibuat.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Hasil Sebuah sistem suspensi dari sebuah bus (salah satu dari 4 roda) dapat di gambarkan sebagai berikut :



Gambar 1Ilustrasi Seperempat Suspensi Bus

Sumber : Matlab tutorial, 2012

Dimana :

k1 = Konstanta suspensi pegas
k2 = Konstanta pegas antara ban dan jalan
b1 = Konstanta peredam suspensi
b2 = Konstanta peredam antara ban dan jalan
u = gaya pegas yang akan dikontrol (suspensi aktif)
w = disturbance (gangguan pada jalan yang tidak rata, berlubang yang nilai nya diasumsikan).

Jarak X1-W sangat sulit untuk diukur dan perubahan bentuk ban (X2-W) bisa diabaikan, maka akan digunakan jarak X1-X2 sebagai output dalam masalah ini. Hal yang perlu diingat bahwa ini adalah estimasi.

Gangguan jalan (W) dalam masalah ini akan disimulasikan dengan *step input*. *Step input* ini bisa dianalogikan ketika bus keluar dari sebuah lubang besar. Di sini akan dirancang pengontrol umpan balik sehingga output (X1-X2) memiliki osilasi yang paling minimum. Misalnya, ketika bus keluar dari lubang setinggi 10 cm, badan bus akan berosilasi seminimum mungkin dan dalam waktu secepat mungkin.

A. Permodelan persamaan State Space dan Fungsi Transfer

Permodelan pertama dilakukan dengan menggunakan persamaan *State Space* agar dapat dirancang pengendali LQR karena pengendali LQR menggunakan persamaan *State Space*.

Persamaan umum dari *state space* adalah :

$$\dot{x} = Ax + Bu$$
$$y = Cx + Du$$

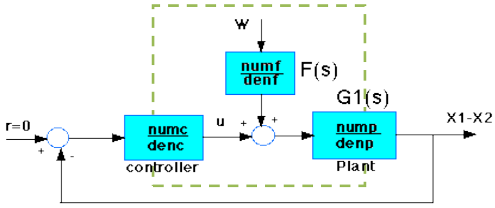
Dengan menggunakan hukum newton, didapatkan persaamaan *state space*, sehingga matrik persaman state variabel nya dapat di susun dari persamaan $\dot{x_1}, \ddot{x_1}, \dot{y_1}, \dot{y_2}$ sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} \dot{x_1} \\ \ddot{x_1} \\ \dot{y_1} \\ \dot{y_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\frac{b_1}{m_1}\frac{b_2}{m_2} & 0 & \frac{b_1}{m_1}\left(\frac{b_1}{m_1}+\frac{b_1}{m_2}+\frac{b_2}{m_2}\right)-\frac{k_1}{m_1} & -\frac{b_1}{m_1} \\ \frac{b_2}{m_2} & 0 & -\left(\frac{b_1}{m_1}+\frac{b_1}{m_2}+\frac{b_2}{m_2}\right) & 1 \\ \frac{k_2}{m_2} & 0 & -\left(\frac{k_1}{m_1}+\frac{k_1}{m_2}+\frac{k_2}{m_2}\right) & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ \dot{x_1} \\ y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \frac{1}{m_1} & \frac{b_1}{m_1}\frac{b_2}{m_2} \\ 0 & -\frac{b_2}{m_2} \\ \left(\frac{1}{m_1}+\frac{1}{m_2}\right) & -\frac{k_2}{m_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ w \end{bmatrix}$$

Karena yang digunakan sebagai output adalah jarak X1-X2, yang mana dalam hal ini dimisalkan dengan y1 maka hasil keluarannya dalam state space adalah :

$$y = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ \dot{x_1} \\ y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ w \end{bmatrix}$$

Permodelan sistem dalam bentuk persamaan Fungsi Tranfer diperlukan dalam mendesain pengendali PID. Dalam desain pengendali PID, akan lebih mudah apabila sistem di pisah antara model sistem disturbance dengan sistem yang akan dikontrol. Seperti gambar di bawah ini :



Gambar 2. Skema desain kendali dalam persamaan Fungsi Transfer

Sumber : Matlab tutorial, 2012

Untuk menghitung fungsi transfernya dapat digunakan hukum newton yang telah dijabarkan pada persamaan gaya m1(massa rangka bus) dan m2 (massa suspensi) pada gambar 1 diatas.

Di sini akan manghasilkan dua fungsi transfer dalam bentuk *laplace*dari output (X1 dan X2) dengan 2 masukan yaitu U dan W. Ketika mempertimbangkan input u(s), maka w(s) = 0 sehingga :

$$G1(s) = \frac{(m_1 + m_2)s^2 + b_2 s^2 + K_2}{(m_1 s^2 + b_1 s + K_1).\left(m_2 s^2 + (b_1 + b_2)s + (K_1 + K_2)\right) - (b_1 s + K_1)(b_1 s + K_1)}$$

Ketika mempertimbangkan input w(s), maka u(s) = 0 sehingga :

$$G2(s) = \frac{-m_1 b_2 s^3 - m_1 k_2 s^2}{(m_1 s^2 + b_1 s + K_1).\left(m_2 s^2 + (b_1 + b_2)s + (K_1 + K_2)\right) - (b_1 s + K_1)(b_1 s + K_1)}$$

$G2(s)$adalah plant atau sistem suspensi bus tersebut, sehingga :

$$F(s).G1(s) = G2(s)$$
$$F(s) = \frac{G2(s)}{G1(s)}$$

Karena invers A (Δ) nya adalah sama maka :

$$F(s) = \frac{num\ G2(s)}{num\ G1(s)}$$

$$F(s) = \frac{-m_1 b_2 s^3 - -m_1 k_2 s^2}{(m_1 + m_2)s^2 + b_2 s^2 + K_2}$$

B. Pengendali LQR

Pengendali LQR termasuk sistem kendali modern.Sebuah model yang di model kan dalam bentuk state space mempunyai bentuk umum :

$$\dot{x} = Ax + Bu$$
$$y = Cx + Du$$

Untuk memudahkan dalam pengecekan, pola matrik sistem *state space* dapat dipetakan sebagai berikut :

Plant(system)

	n	m
r	A	B
l	C	D

Pengendali LQR dirancang untuk meminimalkan fungsi

$$J_{LQR} \coloneqq \int_0^\infty z(t)'Qz(t) + \rho u'(t)Ru(t)dt$$

Dimana

$$z(t) = Gx + Hu$$

$$Q_{ii} = \frac{1}{maximum\ acceptable\ value\ of\ z_i^2},$$
$$i \in \{1,2,3, \dots, l\}$$

$$R_{ii} = \frac{1}{maximum\ acceptable\ value\ of\ u_j^2},$$
$$j \in \{1,2,3, \dots, m\}$$

Karena keluaran (feedback) yang diambil sama dengan z maka $y(t) = z(t)$sehingga :

G = C dan H = D

Nilai Q dan R merupakan nilai titik kerja maksimal keluaran (z) dan masukan (u) dari sebuah sistem real melalui pengukuran. Karena sistem real nya tidak ada (hanya dalam bentuk simulasi), maka nilai Q dan R dapat ditentukan dengan nilai estimasi yaitu :

$$\bar{Q} = G^T G$$
$$\bar{R} = H^T H + \rho I$$

Nilai ρ adalah nilai konstan positif dan di gunakan untuk memilih beberapa tujuan yang berbeda yaitu :

1. Ketika memilih ρ sangat lebih besar, dibutuhkan gain kontrol yang lebih kecil untuk meminimumkan performace index
2. Ketika memilih ρ yang kecil, maka dibutuhkan gain control yang lebih besar untuk meminimumkan *performance index*

Pada sistem ini akan di berikan beberapa nilai ρ. Untuk nilai u(t) dapat di tentukan dengan :

$$u(t) = -Kx$$

Sehingga :

$$\dot{x} = Ax + B(-Kx)$$
$$\dot{x} = Ax - BKx)$$
$$\dot{x}(t) = (A - BK)x$$

sedangkan nilai K adalah matrik (mxn) didapat dari :

$$K = (H'QH + \rho R)^{-1}(B'P + H'QG)$$

Nilai P ditentukan dengan menggunakan Algebraic Riccati Equation (ARE)

$$A'P + PA + G'QG - (PB + G'QH)(H'QH + \rho R)^{-1}(B'P + H'QG) = 0$$

C. Pengendali PID

PID (dari singkatan bahasa Proportional–Integral–Derivative controller) merupakan kontroler untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem tesebut.Komponen kontrol PID ini terdiri dari tiga jenis yaitu Proportional, Integratif dan Derivatif. Ketiganya dapat dipakai bersamaan maupun sendiri-sendiri tergantung dari respon yang kita inginkan terhadap suatu plant. Dalam sistem pengendali kontinu blok pengendali dibuat dalam domain *s*. Secara umum bentuk pengendali PID adalah :

$$MV(t) = Kc\left[E(t) + \frac{1}{T_I}\int_0^\infty E(t')dt' - T_d\frac{dCV}{dt}\right]$$

Dimana :

- $MV(t)$ merupakan sinyal keluaran dari kontrol PID
- $E(t)$merupakan nilai error pada sistem
- CV merupakan hasil keluaran sistem yang sudah dikontrol atau nilai feedback
- Kc adalah gain kontroler
- Ti adalah integral time
- Td adalah derriative time

Fungsi transfer $MV(t)$ terhadap E(t) dalam dalam domain s atau bentuk laplace pada pengendali kontinu dapat di nyatakan sebagai berikut :

$$G_c(s) = Kc + \frac{Kc}{T_i S} - KcT_d S$$

dimana :

Kc = Kp adalah gain untuk model kontrol propsional (parameter P) dengan sinyal masukan E(t)

$\frac{Kc}{T_i S}$ = Ki adalah gain untuk model kontrol Integral (parameter I) dengan sinyal masukan E(t)

$KcT_d S$= Kd adalah gain untuk model kontrol derivative (parameter D) dengan sinyal masukan CV

1. Hasil dan Pembahasan

Dalam penelitian ini ada dua metoda kendali yang akan dibandingkan yaitu kendali konvensional (PID) dan kendali modern (LQR). Masing-masing teknik kendali ini membutuhkan permodelan sistem dengan model persamaan yang berbeda. Kendali PID dimodelkan dengan persamaan fungsi tranfer sedangkan LQR dimodelkan dengan persamaan ruang keadaan (*state space*).

Hasil Permodelan State Space dan Kendali LQR pada suspensi ¼ bus.

Dalam permodelan sistem suspensi bus baik dalam persamaan ruang keadaan ataupun persamaan fungsi transfer dibutuhkan parameter-parameter seperti berat rangka bus, berat suspensi, konstanta suspensi, konstanta ban dan lain-lain. Dalam kasus ini parameter-parameter yang digunakan adalah parameter yang terdapat dalam tutorial matlab (Matlab, 2012) yaitu :

Masa rangka (m1) = 2500 kg
Masa suspensi (m2) = 320 kg
Konstanta suspensi pegas (k1) = 80.000 N/m
Konstanta pegas ban-jalan(k2) = 500.000 N/m
Konstanta peredam suspensi (b1) = 350 Ns/m
Konstanta peredam ban-jalan (b2) = 15.020 Ns/m

Untuk memodelkan sistem suspesi dalam persamaan state space digunakan persamaan state variabel yang telah diturunkan dan disusun pada bahasan sebelumnya yaitu :

$$\begin{bmatrix} \dot{x_1} \\ \ddot{x_1} \\ \dot{y_1} \\ \dot{y_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -6{,}57125 & 0 & -25{,}256 & -0{,}14 \\ 46{,}9375 & 0 & -48{,}17125 & 1 \\ 1562{,}5 & 0 & -1844{,}5 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ \dot{x_1} \\ y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0{,}0004 & 6{,}57125 \\ 0 & -46{,}9375 \\ 0{,}003525 & -1562{,}5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ w \end{bmatrix}$$

Keluaran dari sistem ini dimisalkan dengan y1 yaitu jarak x1-x2, maka hasil keluarannya dalam state space adalah :

$$y = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ \dot{x_1} \\ y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ w \end{bmatrix}$$

Pada permodelan ini yang menjadi input adalah disturbance atau gangguan (masuk lubang atau jalan tidak rata). Gangguan diasumsikan sebesar 0,1 dalam skala 1 meter. Hal ini berarti bahwa diasumsikan bus terjatuh ke jalan berlubang dengan ketinggian 0,1 meter atau 10 cm dan mengalami goncangan atau osilasi.

Untuk mempermudah, matrik A, B, D, C dan input w adalah :

$$w = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.1 \end{bmatrix}$$

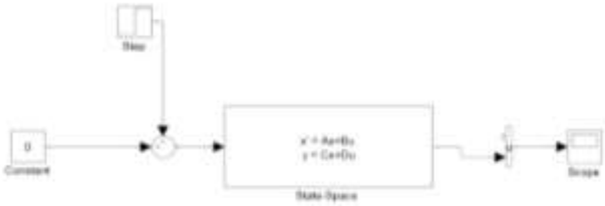
$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0{,}0004 & 6{,}57125 \\ 0 & -46{,}9375 \\ 0{,}003525 & -1562{,}5 \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -6{,}57125 & 0 & -25{,}256 & -0{,}14 \\ 46{,}9375 & 0 & -48{,}17125 & 1 \\ 1562{,}5 & 0 & -1844{,}5 & 0 \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

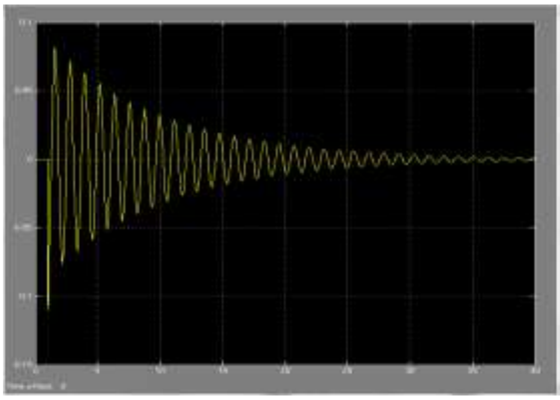
$$D = \begin{bmatrix} 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Berdasarkan matrik diatas dilakukan permodelan sistem dengan menggunakan dua cara yaitu mengggunakan diagram blok simulink dan listing program m-file pada matlab. Diagram Simulik adalah diagram blok fungsi yang disusun berdasarkan persamaan seperti pada gambar 1 dibawah ini :



Gambar 1. Blok Diagram Permodelan Sistem Suspensi

Blok *step* (w) adalah blok gangguan yang menggunakan fungsi step, blok *state space* adalah persamaan *state space* dari sistim itu sendiri dan blok *scope* adalah untuk melihat sinyal keluaran dari sistem (y1). Setelah dijalankan maka didapatkan hasil seperti gambar 2 di bawah ini :



Gambar 2. Hasil Simulasi Permodelan Sistem dengan Gangguan 0,1 m

Hasil gambar 2 adalah sebuah osilasi atau goncangan dari bus yang mempunyai sistem suspensi yang belum dikontrol. Dari gambar terlihat bahwa apabila bus mengalami gangguan (masuk lubang sedalam 10 cm) maka badan bus akan stabil dalam waktu yang cukup lama yaitu setelah 30 detik.

Dalam sistem kendali loop tertutup, hasil keluaran dari sistem akan diumpan balik sehingga didapatkan error dan error ini akan menjadi masukan ke dalam sistem dengan mengalikan suatu gain (penguat). Dalam sistem kendali LQR, umpan balik/keluaran atau nilai x (x adalah jarak osilasi bus) dari sistem tersebut dikalikan dengan suatu gain (K) seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelum nya yaitu :

$$u(t) = -Kx$$

u(t) adalah masukan sistem, K adalah gainyang berupa matrik dan x adalah keluaran. Untuk mengetahui nilai K digunakan persamaan

$$K = (H'QH + \rho R)^{-1}(B'P + H'QG)$$

Nilai P ditentukan dengan menggunakan Algebraic Riccati Equation (ARE) yaitu :

$$A'P + PA + G'QG - (PB + G'QH)(H'QH + \rho R)^{-1}(B'P + H'QG) = 0$$

Sedangkan nilai G,H,$\overline{Q}$ dan $\overline{R}$ adalah :

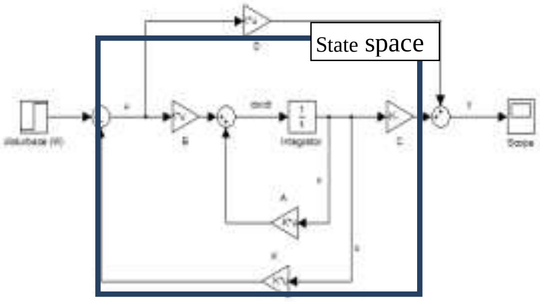
G = C dan H = D

$\overline{Q} = G^T G$

$\overline{R} = H^T H + \rho I$

Nilai ρ adalah nilai konstan positif yang dapat dirubah sesuai dengan kriteria pengendali yang diinginkan.Nilai ρ yang diujikan dalam perancangan ini adalah Nilai ρ = 1 dan Nilai ρ = 0,1.

Dalam perancangan ini, simulasi dibuat dalam 2 versi (program m-filedan bloksimulink). Program m-file diperlukan untuk mengetahui nilai K, sehingga tidak diperlukan lagi perhitungan manual yang rumit. Hasil dari kedua versi tersebut adalah sama. Blok perancangan menggunakan simulink dapat dilihat pada gambar 3 dibawah ini :



Gambar 3. Blok Simulink Sistem Suspensi Bus dengan Kendali LQR

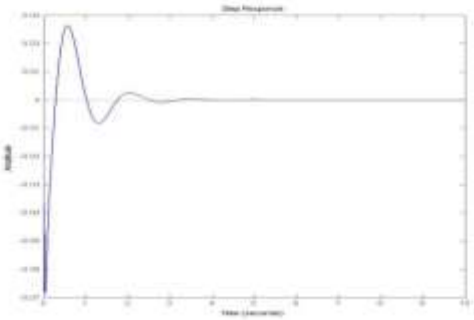
Hasil keluaran yang didapatkan adalah :

a. Menggunakan ρ =1

nilai K yang didapatkan adalah :

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.1503 & -0.4088 & -0.0065 \end{bmatrix}$$

sehingga hasil nya adalah

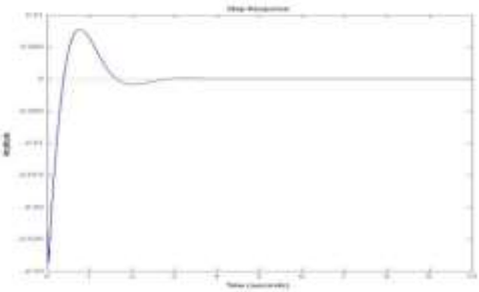


Gambar 4. Hasil Keluaran Sistem dengan Kendali LQR dan ρ = 1

b. Menggunakan ρ =0,1

Hasil K adalah :

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0\ 0.3701 & -2.2937 & -0.0140 \end{bmatrix}$$



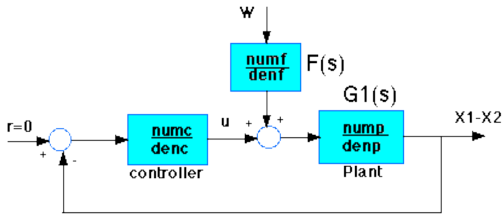
Gambar 5. Hasil Keluaran Sistem dengan Kendali LQR dan ρ = 0,1

Dari kedua hasil tersebut diatas dapat disimpulkan bahwa jika nilai ρ semakin kecil maka overshoot yang dihasilkan semakin kecl dan osilasi rangka bus berkurang akan tetapi gain K yang di butuhkan akan semakin besar. Jadi pemilihan nilai ρ akan bergantung besar atau kecil nya nilai gain K yang di inginkan. Untuk nilai ρ yang lebih kecil, overshoot yang di hasilkan lebih rendah tetapi waktu steady state nya lebih lama.

Dengan menggunakan sistem kontrol, badan bus akan lebih cepat mencapai kondisi stabil yaitu sekitar 3 detik dibandingkan sebelum dikontrol yaitu 30 detik.

2. Hasil Rancangan Kontrol PID

Untuk merancang sebuah pengendali PID, permodelan sistem dijadikan dalam bentuk persamaan fungsi transfer. Sistem plant, gangguan ataupun kontroler, semuanya dijadikan dalam bentuk fungsi transfer seperti pada gambar 6.



Gambar 6. Bistem Blok Pengendali PID

Sumber : Matlab tutorial, 2012

Untuk mengetahui nilai persamaan fungsi transfer dari gangguan/F(s)dan fungsi tranfer dari plant/G1(s) digunakan persamaan yang diturunkan pada bab 2 sebelumnya yaitu :

Gangguan :

$$F(s) = \frac{num\ G2(s)}{num\ G1(s)} = \frac{-m_1 b_2 s^3 - -m_1 k_2 s^2}{(m_1 + m_2)s^2 + \ b_2 s^2 + K_2}$$

Plant :

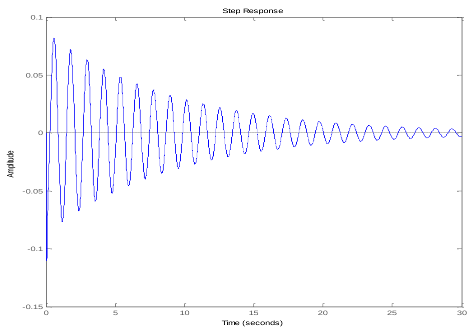
$$G1(s) = \frac{(m_1 + m_2)s^2 + \ b_2 s^2 + K_2}{(m_1 s^2 + \ b_1 s + K_1).\left(m_2 s^2 + (b_1 + b_2)s + (K_1 + K_2)\right) - (b_1 s + K_1)(b_1 s + K_1)}$$

dan plant + gangguan :

$$G2(s) = F(s).G1(s)$$

$$G2(s) = \frac{-m_1 b_2 s^3 - \ m_1 k_2 s^2}{(m_1 s^2 + \ b_1 s + K_1).\left(m_2 s^2 + (b_1 + b_2)s + (K_1 + K_2)\right) - (b_1 s + K_1)(b_1 s + K_1)}$$

Gambar 7 berikut merupakan hasil simulasi dari sistem ditambah dengan gangguan 0,1 sebelum dikontrol yaitu :



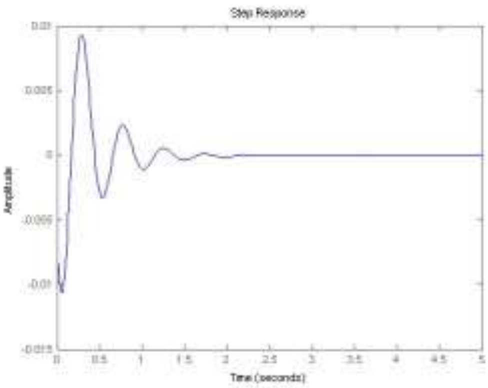
Gambar 7. Hasil Permodelan menggunakan Fungsi Tranfer tanpa Kontrol

Gambar 7 diatas merupakan bentuk fungsi transfer dari G2(s) tanpa ditambahkan fungsi kontrol dan dibuat menggunakan program m-file matlab. Sebuah kontrol PID disajikan dalam bentuk fungsi tranfer yang ditambahkan kedalam sistem seperti pada gambar 6.

Karena input dari sistem bernilai 0 maka bentuk fungsi tranfer dari blok kendali PID adalah :

$$kontrol = \frac{K_d S^2 + K_p S + K_i}{S}$$

Fungsi tranfer kontrol (kontrol) diatas ditambahkan dengan fungsi tranfer gangguan (F) akan menjadi masukan (u) bagi fungsi tranfer plant (G1). Sedangkan masukan dari kontrol PID didapatkan dari feedback atau umpan balik dari keluaran plant. Nilai P,I dan D yang didapatkan adalah : Kp = 832.100, Ki = 624.075 dan Kd = 208.025 (matlab, 2012).Setelah dilakukan pemograman pada matlab didapatkan hasil keluaran sistem setelah ditambahkan kontrol PID yaitu :



Gambar 8. Hasil Simulasi Sistem menggunakan Kontrol PID

D. Perbandingan kontrol LQR dan PID

Dari hasil keluaran antara pengendali LQR dan PID dapat diketahui bahwa, hasil keluaran pada LQR tidak terlalu berosilasi (overshoot berkurang) sedangkan pada pengendali PID terjadi overshoot yang tinggi.Akan tetapi waktu yang diperlukan untuk mencapai steady state (kondisi stabil), pengendali PID lebih cepat di bandingkan dengan pengendali LQR. Artinya jika menggunakan kontrol PID badan bus akan memiliki goncangan lebih tinggi dibandinganlan dengan kontrol LQR tetapi yang diperlukan agar badan bus mencapai stabil lebih cepat dibanding kontrol LQR. Akan tetapi perbedaan waktu steady state antara kedua pengendali tidak lah terlau signifikan. Perbedaan yang paling penting yang perlu diperhatikan adalah pada pengendali PID membutuhkan gain K yang sangat besar di bandingkan dengan pengendali LQR dimana pengendali PID, nilai gain K nya bisa mencapai puluhan ribu.

III. KESIMPULAN

Berdasarkan pada bab-bab sebelumnya, penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Gain K (kontrol) pada pengendali LQR bergantung pada nilai ρ
2. Semakin kecil nilai ρ, nilai gain K yang dibutuhkan pada pengendali LQR semakin besar dan sebalik nya.
3. Semakin kecil nilai ρ, overshot yang dihasilkan lebih rendah tetapi waktu steady state nya lebih lama dan sebalik nya.
4. Pada sistem suspensi bus, pengendali LQR lebih lambat mencapai steady state di bandingkan dengan pengendali PID.
5. Pengendali LQR mengalami osilasi yang lebih sedikit dan tidak terjadi overshoot yang terlalu tinggi di bandingkan dengan pengendali PID.
6. Sebelum dikontrol badan bus akan mencapai kondisi stabil dalam waktu 30 detik, sedangkan setelah di kontrol waktu kestabilan lebih cepat yaitu 3 detik.

REFERENSI

Kumar, M. S., & Vijarayangan, S. (2006). Design of LQR controller for active suspension system . *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*, 173-179.

Matlab. (2012). *Control Tutorial for Matlab & Simulink.* Matlab Coorporation.

Muthi, G. A., Sumardi, & Setiawan, I. (2005). *Perancangan Pengaturan Sistem Suspensi Aktif Pada Model Kendaraan Setengah Dengan Menggunakan Metoda Kontrol Optimal LQR.* Semarang: Universitas Diponegoro Semarang.

Setyobudi, A. D. (2001). *Simulasi dan Perancangan SIstem Kontrol Suspensi Semi Aktif Model Seperempat Kendaraan.* Bandung: Institut Teknologi Bandung.