

Kendalian Pada Sistem Suspensi Kendaraan Dengan Metoda *Pole Placement* dan *Linier Quadratic Optimal Control*.

Ade Elbani

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik,
Universitas Tanjungpura Pontianak
e-mail : adeelbani@yahoo.com

Abstract– Kenyamanan berkendara merupakan suatu kondisi yang diinginkan oleh setiap pengendara. Hal ini disebabkan adanya sistem suspensi yang mana terdiri dari spring dan bumper pada sistem tersebut.

Agar kenyamanan tercapai, maka keseluruhan sistem dibuat stabil, yakni parameter-parameter sistem semestinya berkenaan atau bersesuaian. Untuk mendapatkan parameter-parameter yang sesuai, akan dilakukan dengan sistem kendali. Pada kesempatan ini metoda yang digunakan adalah metoda *pole placement* dan metoda *linier quadratid optimal control*. Metoda *pole placement* bertujuan untuk merubah pole sistem dari keadaan yang tidak begitu stabil menjadi lebih stabil, menggunakan rangkaian feedback dengan gain kontrol k , sedangkan metoda *linier quadratid optimal control* akan mencari harga k yang optimal dengan menggunakan persamaan matrik ricatti.

Keseluruhan sistem ini akan merepresentasikan pada sistem suspensi kendaraan yang dilakukan secara simulasi menggunakan program matlab. Pemodelan sistem dilakukan dengan penurunan perhitungan fisika, dengan parameter model ditentukan. Untuk masukan sistem berupa sinyal step, yang akan merepresentasikan kondisi jalan, sedangkan keluaran sistem berupa defleksi suspensi dan defleksi ban mobil.

Kata kunci- Sistem kendali, sistem suspensi, *Pole placement*, *linier quadratic optimal control*, matrik ricatti, defleksi suspensi, defleksi ban, sinyal step.

1. Pendahuluan

Sistem suspensi kendaraan, khususnya mobil dalam hal ini dilakukan bertujuan untuk pengontrolan, yang mana obyektifnya adalah untuk kenyamanan bagi pengendara, sewaktu membawa mobil di jalan yang tidak rata (rusak). Sistem yang digunakan dalam hal ini adalah sistem suspensi aktif, yang mana konstanta kepegasan spring dan bumper bisa dirubah seketika. Perubahan konstanta spring maupun bumper (parameter model) membutuhkan pengontrol agar guncangan maupun getaran mobil bisa stabil atau teredam. Dengan mengontrol parameter model sistem suspensi tadi, maka guncangan maupun getaran yang disebabkan jalan yang tidak rata teratasi, dan pengendara maupun penumpang didalam mobil merasa enak. Sistem suspensi kendaraan seperti pada gambar 2, terlihat spring dan bumper yang keduanya merupakan instrumen aktif dan berfungsi untuk meredam getaran dari jalan yang tidak rata atau

bergelombang. Pada gambar 2 tersebut juga terlihat badan mobil yang merupakan ilustrasi **badan mobil** secara keseluruhan serta **ban mobil**. Untuk spring k_1 adalah mengilustrasi dari sistem suspensi ban mobil, yang mana besar tidaknya tergantung tekanan angin pada ban, sedangkan b dan k_2 adalah merupakan ilustrasi spring dan bumper yang sebenarnya pada kendaraan.

Defleksi mobil adalah y dan depleksi ban mobil adalah z , yang mana kesemua defleksi tadi disebabkan input (masukan) dari jalan, dalam hal ini merupakan masukan impulse pada ban mobil.

1.2 Tujuan

Tujuan pada penelitian ini adalah:

- Mengimplementasi sistem kontrol pada sistem suspensi seperempat kendaraan
- Melakukan simulasi pada sistem suspensi seperempat kendaraan
- Menerapkan atau mengimplentasikan metoda kontrol *pole placement* dan *Linier Quadratic Optimal Control*.

1.3 Cakupan Masalah

Pada penulisan ini akan dilakukan sistem kendali dengan cakupan permasalahan sebagai berikut.

- Model digunakan adalah suspensi seperempat kendaraan dengan metoda simulasi,
- Hukum kontrol akan menggunakan metoda *pole placement* dan *Linier Quadratic Optimal Control*.
- Data masukan digunakan sinyal *step*,
- Simulasi dilakukan dengan menggunakan bantuan **MATLAB Ver. 6.1**,
- Semua sistem yang digunakan adalah linier.

2. Sistem Suspensi

2.1 Sistem Suspensi Kendaraan

Jalan adalah merupakan sarana transportasi yang banyak digunakan orang, terdapat banyak jenis jalan, dari jalan desa hingga jalan tol ataupun jalan kelas satu. Permukaan jalan sangat menentukan kenyamanan bagi pengendara, khususnya bagi mobil. Jika permukaan jalannya halus, maka mobil tidak akan mengalami guncangan yang berarti, namun sebaliknya jika permukaan jalan kasar ataupun berlobang, kendaraan akan mengalami guncangan. Namun bagaimanapun halusnya jalan, jika kendaraan tidak dilengkapi dengan sistem suspensi yang baik, maka kendaraan akan terasa tidak enak. Pada saat roda kendaraan bersentuhan dengan jalan, perubahan fluktuasi permukaan jalan

tersebut akan memberikan gaya arah vertikal pada roda. Selanjutnya gaya tersebut kemudian akan memberi gerakan vertikal pada kendaraan.

Gaya dari permukaan jalan yang diterima oleh roda, sebelum sampai pada bodi kendaraan, terlebih dahulu melewati sistem suspensi, jadi suspensi akan berfungsi sebagai :

1. Penyangga bodi kendaraan
2. Mengisolasi bodi kendaraan dari getaran atau gaya vertikal yang diberikan oleh ban
3. Meredam gaya yang diterima dari roda kendaraan
4. Menjaga agar selalu terjadi kontak antara roda dan permukaan jalan.

Secara dinamik sistem suspensi pada dinamika kendaraan berfungsi menerima gaya dari roda, merespon dan kemudian mentransmisikan ke bodi kendaraan. Respon dari sistem suspensi adalah usaha meredam gaya yang diterima menjadi sekecil mungkin, sehingga saat gaya diterima bodi kendaraan tidak menyebabkan dinamikanya melebihi batas yang diizinkan. Sistem suspensi pada umumnya terdiri dari berbagai type, secara garis besar dibagi menjadi dua katagori^[5], yaitu *Solid axles* dan *independen*.

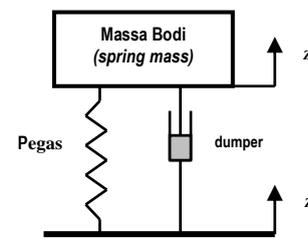
Pada penelitian ini, akan diteliti katagori *independent* bagian depan. Pada katagori ini banyak digunakan pada kendaraan pribadi, penumpang, serta truk ringan. Kelebihan pada sistem suspensi independent ini antara lain hanya membutuhkan ruangan (tempat) yang kecil, memiliki tahanan getaran akibat stir, dan memiliki sifat pegas yang tinggi relatif terhadap gerakan vertikal pegas sistem suspensi. Akibat adanya eksitasi kekasaran kontur permukaan jalan, maka pada sistem suspensi pada umumnya terdiri dari elemen pegas (*spring*) dan peredam (*dumper*). Elemen pegas bekerja untuk menjaga agar bagian suspensi yang bergerak dapat kembali keposisi semula setelah tertekan atau regangan, sedangkan elemen peredam berfungsi meredam gaya yang diterima, sehingga gaya yang besar akan menjadi kecil, serta meredam osilasi elemen pegas agar tidak terlalu besar.

2.2 Dinamika Sistem Suspensi Kendaraan

Sistem suspensi adalah merupakan bagian utama yang berfungsi sebagai isolasi bodi kendaraan terhadap gaya yang diberikan akibat kekasaran kontur permukaan jalan, serta hanya memiliki gerakan kearah vertikal saja. Pada gerakan arah vertikal tersebut, terdiri dari percepatan vertikal bodi dan defleksi suspensi. Kedua gerakan itu akan dijadikan variabel keluaran (*output*), sedangkan percepatan vertikal roda adalah merupakan variabel masukan (*input*). Kedua variabel keluaran diatas terjadi disebabkan oleh kekasaran kontur jalan, namun dalam penelitian ini kekasaran kontur jalan tidak bisa diukur langsung, karena tidak tersedianya peralatan. Akibat kekasaran kontur tadi akan menimbulkan gaya pada roda dengan arah verikal, sehingga pada roda akan timbul percepatan vertikal. Pada roda penyerapan gaya sangat kecil (bisa diabaikan), berarti perubahan kontur permukaan jalan sebanding dengan percepatan vertical yang terjadi pada roda. Perbandingan penyerapan gaya

yang terjadi antara roda dan sistem suspensi kendaraan^[5] adalah 1:10.

Secara skematik diagram model seperempat kendaraan dapat digambarkan seperti gambar 1. Pada gambar tersebut, massa bodi kendaraan diberi simbol M , dan sistem suspensi terdiri dari elemen pegas (*spring*) dan elemen peredam (*dumper*), Z dan Z_u adalah masing-masing posisi bodi dan roda. Elemen pegas dalam model linier terdiri dari konstanta K , dan bumper adalah B .



Gambar 1. Skematik Model Suspensi

Pada model kendaraan ini, diasumsikan berat kendaraan terdistribusi merata, serta gaya yang diterima oleh masing-masing roda dan suspensi adalah sama.

2.3. Elemen peredam (*dumper*)

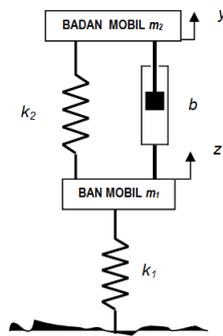
Kejadian peredaman pada sistem suspensi berasal dari aksi kejut (*impulse*) hidraulik peredam. Berlawanan dengan namanya, peredam tidaklah meredam gaya kejutan dari kekasaran permukaan jalan, tetapi mendisipasikan energi yang diterima sistem akibat fluktuasi kontur dari permukaan jalan. Peredam akan mengambil energi dari elemen pegas, sehingga osilasi pegas teredam. Efek peredaman sistem suspensi secara umum dapat dianggap proporsional antara besarnya gaya dan kecepatan sehingga bisa diasumsikan linier, namun secara komprehensif dalam analisis kualitas pengendalian harus diasumsikan mempunyai karakteristik nonlinieritas. Pada umumnya kompresi dari elemen peredam tidak sama dengan waktu kembalinya keposisi awal.

2.4. Elemen pegas (*spring*)

percepatan vertikal jalan sebagai variabel masukan akan meningkatkan frekuensi tinggi pada sistem suspensi, oleh karena itu untuk mengisolasi bodi kendaraan dari keadaan tersebut dapat dilakukan dengan mempertahankan frekuensi natural sistem suspensi serendah mungkin. Selanjutnya, karena kendaraan memiliki berat maka usaha diatas dapat dicapai dengan menggunakan elemen pegas dari sistem suspensi yang memiliki sifat kekakuan yang kecil, sehingga efek peningkatan percepatan vertikal permukaan jalan yang ditransmisikan ke bodi kendaraan bisa diminimisasi. Pada saat gaya yang diterima oleh komponen atau elemen pegas dari sistem suspensi yang melebihi sifat elastisitasnya, maka komponen pegas akan timbul karakteristik nonlinieritas. Sehingga untuk menganalisis elemen pegas harus dimodelkan dalam bentuk nonlinier.

3. Model dan Kestabilan Sistem
3.1. Pemodelan Sistem

Untuk keperluan pemodelan, maka kesemua sistem diatas diilustrasi dalam bentuk parameter berikut:



Gambar 2. Sistem Suspensi Kendaraan

Keterangan:

- m_1 : Unspring mass Kg.
- m_2 : Massa bodi (spring mass) Kg.
- k_1 : Konstanta pegas N/m
- b : Konstanta redaman Ns/m
- k_2 : Ban Mobil N/m
- z : Defleksi ban (output) m
- y : Defleksi bodi (output) m

Misalkan,

$$\begin{aligned} x_1 &= y & x_2 &= \dot{y} & x_3 &= z & x_4 &= \dot{z} \\ \dot{x}_1 &= x_2 \\ \dot{x}_2 &= \frac{1}{m_2} [k_2(x_1 - x_3) + b(x_2 - x_4)] \\ \dot{x}_3 &= x_4 \\ \dot{x}_4 &= \frac{1}{m_1} [k_2(x_1 - x_3) + b(x_2 - x_4) + k_1(z - x_3)] \end{aligned}$$

atau $\dot{x} = Ax + Bu$

dimana $x = [x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4]^T$

Jadi model sistem suspensi dalam ruang keadaan (state space) adalah.

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\frac{k_2}{m_2} & -\frac{b}{m_2} & \frac{k_2}{m_2} & -\frac{k_2}{m_2} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ \frac{k_2}{m_1} & \frac{b}{m_1} & -\left(\frac{k_2}{m_1} + \frac{k_1}{m_1}\right) & -\frac{b}{m_1} \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \frac{1}{m_1} \end{bmatrix}^T$$

Dalam penelitian ini akan digunakan nilai dari parameter tersebut diatas sebagai berikut :

- $m_1 = 10$ Kg
- $m_2 = 750$ Kg
- $k_1 = 150$ N/m
- $k_2 = 150$ N/m
- $b = 100$ Ns/m

Dengan memasukkan nilai tersebut, diperoleh matrik keadaan sebagai berikut:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -0.2 & -0.13 & 0.2 & -0.2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 15 & 10 & -0.33 & -10 \end{bmatrix}$$

$$B = [0 \ 0 \ 0 \ 0.1]^T$$

$$C = [0 \ 1 \ 0 \ 0]$$

$$D = 0$$

3.2 Controllability

$$M = [B \ AB \ A^2B \ A^3B]$$

$$M = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -0.02 & -0.1774 \\ 0 & -0.02 & -0.1774 & -1.7263 \\ 0 & 0.2 & 1 & 9.767 \\ 0.1 & 1 & 9.767 & 95.266 \end{bmatrix}$$

Untuk membantu perhitungan diatas, menggunakan *Matlab Versi 6.1*, didapat hasil :

Rank = 4

Determinan = -2.5225e-005

Jadi *Control State* adalah kompleks dan terkontrol sempurna.

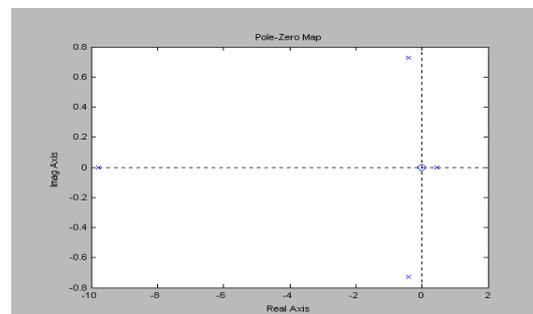
3.3 Kestabilan Sistem

Sistem diberi masukan step, akan terlihat responnya seperti pada gambar 4, serta dengan memplot Pole-zero (pzmap), terlihat hasil pada gambar 3, yaitu :

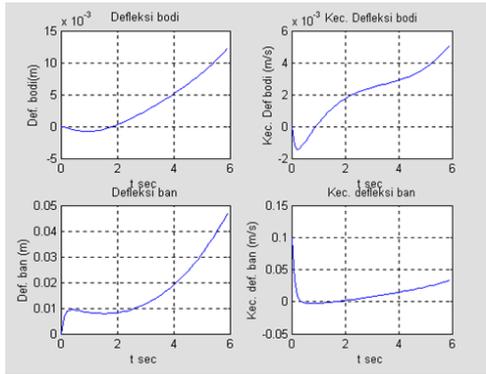
Pole : -0.397+0.729i -0.397-0.729i 0.436

Zero : 2.22e-016

Terdapat satu *Pole* dan satu *zero* disebelah kanan sumbu y, dan pada gambar 4 respon dari sistem dari plot grafik tidak konvergen, yang berarti sistem masih belum stabil. Untuk menstabilkan sistem, perlu diadakan pengontrolan guna merubah posisi *Pole* agar sistem stabil dan optimal. Metoda yang akan digunakan adalah metoda *Pole placement*, serta metoda *Linier quadratik optimal control*.



Gambar 3 Pole zero sistem



Gambar 4 Respon Sistem

4. Proses Kontrol dan Analisis

4.1 Metoda Pole Placement

Metoda *Pole placement* bertujuan untuk merubah *Pole* dari keadaan yang tidak begitu stabil menjadi lebih stabil, yaitu membuat rangkaian *feedback* dengan gain kontrol *k*.

$$K = \hat{K}T^{-1}$$

$$|SI - A| = s^4 + a_1s^3 + a_2s^2 + a_3s + a_4$$

$$|SI - A + BK| = (s + \mu_1)(s + \mu_2)(s + \mu_3)(s + \mu_4) = s^4 + \alpha_1s^3 + \alpha_2s^2 + \alpha_3s + \alpha_4$$

$$K = [\alpha_4 - a_4 \quad \alpha_3 - a_3 \quad \alpha_2 - a_2 \quad \alpha_1 - a_1]T^{-1}$$

$$T = MW$$

$$W = \begin{bmatrix} 3.0429 & 3.83 & 10.13 & 1 \\ 3.83 & 10.13 & 1 & 0 \\ 10.13 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Pada kesempatan ini *Pole-Pole* yang diinginkan adalah:

$$\mu_1 = -0.5 + j1.2\sqrt{2} \quad \mu_2 = -0.5 - j1.2\sqrt{2} \quad \mu_3 = -5$$

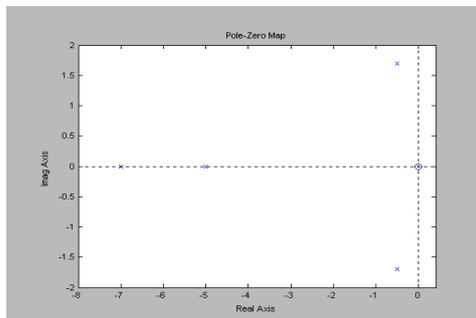
$$\mu_4 = -7$$

dan

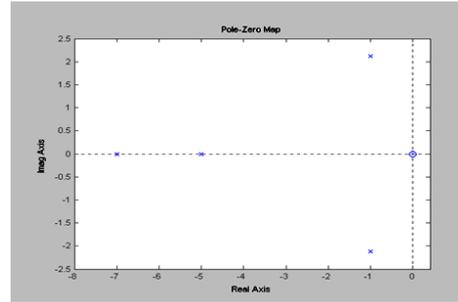
$$\mu_1 = -1 + j1.5\sqrt{2} \quad \mu_2 = -1 - j1.5\sqrt{2} \quad \mu_3 = -5$$

$$\mu_4 = -7$$

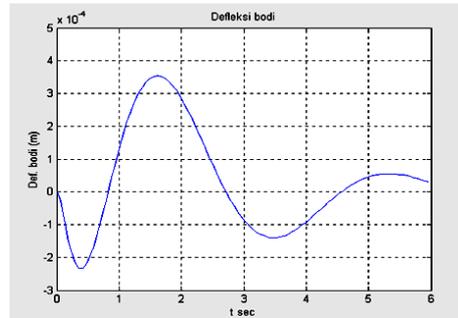
Dengan memasukkan *gain controller k* pada *feedback controller*, serta memberi masukan step pada sistem, maka respon sistem serta peletakan Pole diperoleh seperti pada gambar berikut:



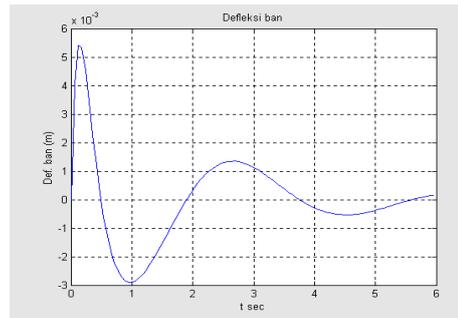
Gbr. 5a Pole-Pole : $-0.5 \pm j1.5\sqrt{2}$, -5 dan -7



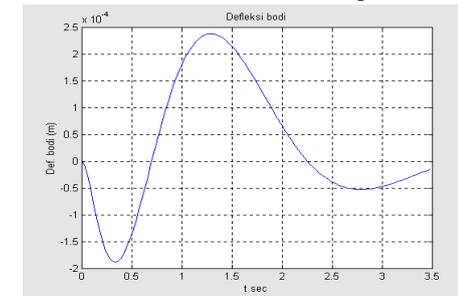
Gambar. 5b Pole-Pole : $-1 \pm j1.2\sqrt{2}$, -5 dan -7



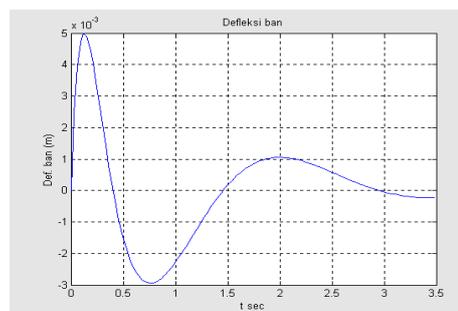
Gambar. 6 Defleksi Bodi sistem gambar 4



Gambar. 7. Defleksi Ban sistem gambar 4



Gambar 8. Defleksi Bodi sistem gambar 5



Gambar. 9 Defleksi Ban sistem gambar 5

4.2 Metoda Quadratic Optimal Control.

Pada metoda ini akan mencari harga k yang optimal, yakni yang akan membuat sistem menjadi sangat stabil. Dengan menggunakan persamaan matrik *ricatti* untuk harga P definit positif, yaitu:

$$A^T P + PA - PBR^{-1}B^T P + Q = 0$$

Harga R dan Q didapat dengan meminimalisasi *index performansi*:

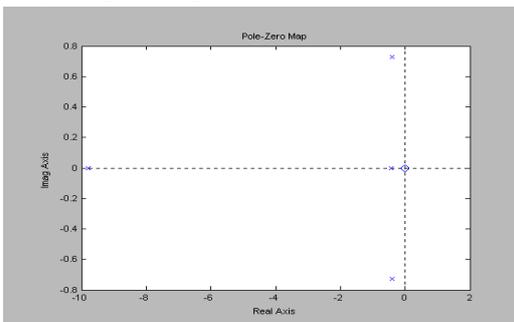
$$J = \int_0^{\infty} (x' Q x + u' R u) dt$$

Dengan mendapat harga dari matrik P , maka K didapat dari persamaan:

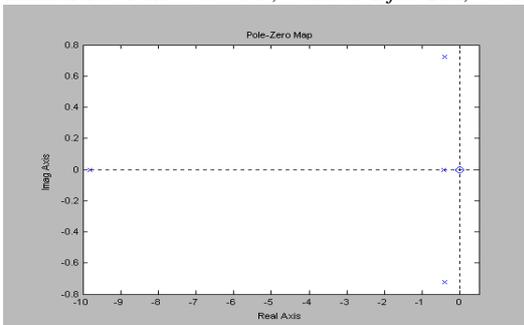
$$K = R^{-1} B^T P$$

Dengan bantuan komputer (Matlab), maka didapat harga dari gain matrik k yang diinginkan. Dalam hal ini harga matrik Q dan R diasumsikan.

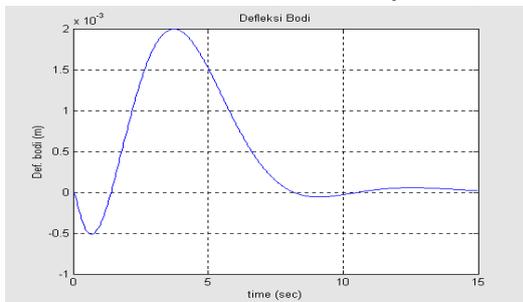
Dengan menggunakan gain matrik controller yang diestimasi dengan metoda *optimal quadratic control*, diplot grafik Pole-zero untuk melihat posisi Pole-Pole, serta respon dari sistem. Plotting dari posisi tersebut terlihat pada gambar-gambar berikut:



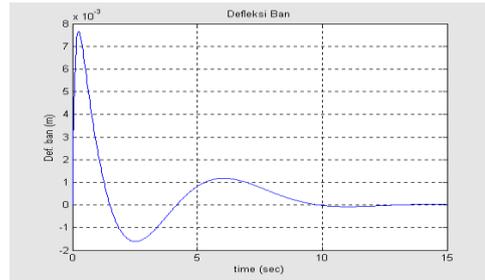
Gambar.10. Pole: -9.7736 ; -0.3966 ± j0.7286; -0.4363



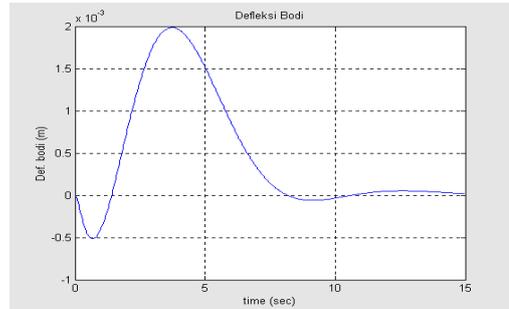
Gambar.11. Pole: -9.8235 ; -0.3969 ± j0.7253 ; -0.4390



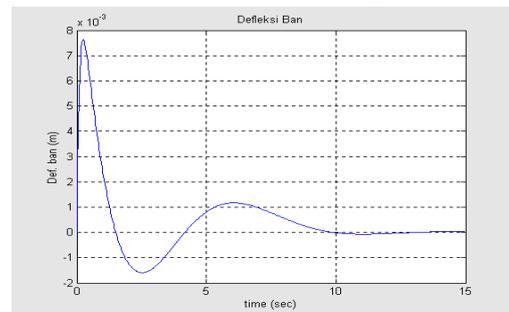
Gambar 12. Defleksi Bodi sistem gambar 10



Gambar.13 Defleksi Ban sistem gambar 10



Gambar 14. Defleksi Bodi sistem gambar 11



Gambar.15. Defleksi Ban sistem gambar 11

4.3 Data Hasil Proses

Dari proses kontrol yang telah dilakukan diperoleh beberapa hasil, yaitu sebagai berikut.

4.3.1 Data Pole placement

Depleksi Bodi: *overshoot* = 3.5×10^{-3} m $t_s = 12$ det

Depleksi Ban : *overshoot* = $5,55 \times 10^{-3}$ m $t_s = 11$ det

$K = [3.9148 \ 6.2508 \ 1.7094 \ 0.0287] \times 10^3$

Pole yang diinginkan : $-(0.5 + j1.2\sqrt{2})$;

$-(0.5 + j1.2\sqrt{2})$; -5 ; -7

Depleksi Bodi: *overshoot* = 2.5×10^{-3} m $t_s = 6$ det

Depleksi Ban : *overshoot* = 5×10^{-3} m $t_s = 5.5$ det

$K = [0.6856 \ 1.1570 \ 0.2916 \ 0.0039] \times 10^4$

Pole yang diinginkan : $-(1 + j1.5\sqrt{2})$;

$-(1 - j1.5\sqrt{2})$; -5 ; -7

4.3.2 Data Linier Quadratic Optimal control

Untuk $R = I$; $Q = I$

Depleksi Bodi: *overshoot* = 2×10^{-3} m ; $t_s = 11$ det

Depleksi Ban : *overshoot* = $7,65 \times 10^{-3}$ m ; $t_s = 10$ det

$K = [126.7509 \ 377.9228 \ 166.6560 \ 8.7310]$

Pole : -9.7736 ; $-(0.3966 + j0.7286)$;

$-(0.3966 - j0.7286)$; -0.4363

Untuk $R = I$; $Q = 100$

Depleksi Bodi: *overshoot* = 2×10^{-3} m $t_s = 11$ det

Depleksi Ban : *overshoot* = $7,6 \times 10^{-3}$ m $t_s = 10$ det

$K = [126.5383 \ 378.1165 \ 167.5418 \ 9.2629]$

Pole: -9.8235 ; $-(0.3969 + j0.7253)$;
 $-(0.3969 - j0.7253)$; -0.4390

4.4 Analisis

Pada sistem ini adalah satu input dua output (*simo*). Input adalah berasal dari benjolan jalan, yang dalam hal ini direpresentasikan dengan sinyal step. Output adalah merupakan depleksi bodi mobil (y) dan defleksi ban (z). Untuk sistem tanpa *feedback* (gb. 5), terlihat semua respon tidak konvergen, yang disebabkan peletakan sebagian *Pole* masih berada disebelah kanan sumbu imajiner. Hal tersebut berpengaruh sekali terhadap kestabilan sistem.

Dengan metoda *Pole placement*, peletakan *Pole-Pole* tersebut digeser kesebelah kiri sumbu imajiner. Pada step respon gambar 9 sampai dengan 14, kesemua keluaran sistem menjadi stabil yang disebabkan pergeseran *Pole* kesebelah kiri sumbu imajiner.

Pada analisa *Pole placement*, Setelah menggunakan *gain feedback kontroler*, terlihat respon pada gambar 10 dan 11, *Pole* berada disebelah kiri sumbu imajiner dan $zero=0$. Pada respon gambar 12 dan 13 juga merupakan respon dari sistem dengan *Pole* yang telah digeser, terlihat sistem berosilasi dan menuju kearah stabil, berbeda dengan sistem pertama (tanpa *feedback*), respon nya tidak konvergen (gambar 8 dan 9). Pada *Pole placement* dicoba dengan dua *Pole* yang berbeda, yang hasilnya bisa dilihat pada gambar 9 sampai dengan 11.

Pada daerah *transien*, defleksi bodi (gb.11 dan 13), pertama-tama bergerak kearah yang berlawanan dengan defleksi ban pada gambar 12 dan 14, ini berarti ada perbedaan fasa masukan yang diterima oleh bodi terhadap masukan pada ban. Sedangkan ban mobil, langsung menerima input dari jalan. Untuk bodi, akan menerima input dari ban dan tentu keluaran dari ban mempunyai redaman terhadap input bodi, akibatnya *overshoot* pada bodi akan lebih kecil dari pada ban (lihat data hasil). Namun demikian *settling time* dari bodi akan lebih besar dari ban. Untuk membantu perhitungan pada penulisan ini digunakan matlab, dalam hal mencari gain matrik k (*Pole placement*) digunakan formula *Ackermann's*.

Pada metoda *linier quadratic optimal control*, hasil yang didapat tidak begitu jauh berbeda dengan metoda *Pole placement*. Pada gambar 10 dan 11 adalah *Pole-Pole* dari sistem dengan harga k yang dicari menggunakan metoda *linier quadratic optimal control*. Pada metoda ini yang diestimasi adalah nilai matrik Q dan R , kemudian dengan menggunakan persamaan matrik *ricatti*, didapat harga k .

Pada respon gambar 16 sampai dengan gambar 19 terlihat *overshoot* dan *settling time* untuk defleksi bodi relatif lebih kecil dibandingkan dengan metoda *Pole placement*, kecuali ban (lihat data hasil). Disini terlihat bahwa perbedaan harga Q akan mengakibatkan respon tidak begitu jauh berbeda, kecuali dengan perbedaan yang besar. Ini berarti perubahan harga Q tidak sensitif terhadap perubahan respon (pergeseran *Pole*), begitu juga dengan dengan harga R .

5. Kesimpulan

1. Gain feedback control k adalah konstanta matrik yang menyebabkan pergeseran posisi *Pole* dari suatu posisi ke posisi tertentu, guna keperluan stabilitas sistem. Untuk mendapatkan harga k pada metoda *Pole placement*, harus dimasukkan harga *Pole* yang diinginkan. Metoda ini hanya bisa dilakukan secara *off-line*.
2. Metoda *linier quadratic optimal control*, dalam hal ini menggunakan persamaan matrik *Ricatti* untuk mendapatkan harga k secara langsung. Pada persamaan matrik *Ricatti*, harga Q dan R didapat dengan optimasi, yakni meminimalisasi *index performace*. Perubahan Q tidak begitu besar terhadap k yang berarti perubahan Q tidak sensitif terhadap perubahan k . Pada metoda optimasi ini bisa dilakukan secara *on-line*, dengan state yang berubah.
3. Pada keseluruhan sistem terdapat peredaman masukan terhadap bodi dari ban, yang merupakan salah satu faktor penyebab kenyamanan pengendara maupun penumpang di dalam mobil.

Referensi

- [1] Ogata K, 1995, *Modern Control Engineering*, New York: Prentice Hall.
- [2] Friendland B., 1995, *Control Sistem Design*, McGraw Hill.
- [3] Gillespie, Thomas D., 1994, "*Fundamental of Vehicle Dynamic*", Society of [1] Automotive Engineering, Inc., United State of America.
- [4] Dirman Hanafi, 1995, *Idenifikasi Model Linier dan Nonlinier Dinamika Sistem Suspensi Kendaraan*, Tesis: Magister Teknik Instrumentasi dan Kontrol, ITB.
- [5] Kuo, Benjamin C: *Teknik Kontrol Otomatik*, Edisi Bahasa Indonesia, Jilid 1, terjemahan: Ir.Mhd. Zulfan, PT. Prenhallindo, Jakarta, 1998.

Biography

Ade Elbani was born in Sanggau, Indonesia, on May 22, 1963. He received the B. Eng from Gadjahmada University, Yogyakarta, Indonesia, 1992. M. Eng from Bandung Institute of Technology (ITB), Bandung, Indonesia, 2003. Since 1995 he has been a academic staff of engineering faculty at Electrical Engineering Department, Tanjungpura University. His current research interests modelling and control.