

SISTEM KONTROL *SUN SEEKER* SUATU MODEL UNTUK MENGENDALIKAN PERILAKU WAHANA ANTARIKSA

Eko Budl Purwanto
Peneliti Bidang Inwagan, LAPAN

ABSTRACT

Sun seeker control system doing by monitoring the sun as main reference. The result of monitoring the sun position used for the line correction of space vehicle. In these paper used simulation method for gated parameter value control system. To know the influence of sun seeker control system, simutaion was doing with and without lead compensator.

The result of simulation show that without sun seeker control system the time settling is $t_a = 0,35$ second and maximum overshoot $M_p = 44,4$ %. These results not reasonable for controlling of plan with high velocity like rocket and satellite. Later simulation with phase lead sun seeker control system, give settling time $t_s = 0,12$ second and maximum overshoot $M_p < 5$ %. From the simulation data that sun seeker control system can used for space vehicle control and agree with steady state error specification.

ABSTRAK

Sistem kontrol *sun seeker* akan bekerja dengan melakukan penjejakan terhadap matahari sebagai kerangka acuan utama. Hasil penjejakan digunakan untuk melakukan koreksi terhadap lintasan wahana antariksa yang dikendalikan. Metode simulasi digunakan dalam tulisan ini guna mendapatkan nilai parameter sistem kontrol yang sesuai. Untuk mengetahui pengaruh sistem kontrol *sun seeker*, simulasi dilakukan pada sistem tanpa kompensator *lead* dan sistem menggunakan kompensator *lead*.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa sebelum menggunakan kompensator waktu penetapan $t_s = 0,35$ detik dan lewatan maksimum $M_p = 44,4$ %. Hasil ini kurang rasional untuk pengendalian sebuah wahana yang bergerak dengan kecepatan tinggi seperti roket dan satelit. Selanjutnya simulasi dilakukan dengan menggunakan sistem kontrol *sun seeker* dengan *fase lead* dan diperoleh waktu penetapan $t_s = 0,12$ detik dan lewatan maksimum < 5 %. Dengan data simulasi ini dapat dikatakan bahwa sistem kontrol *sun seeker* dapat digunakan untuk pengendalian wahana antariksa dan memenuhi spesifikasi kesalahan kondisi tunak.

Kata Kunci: *Sun seeker control system, Fase lead, Waktu penetapan, Lewatan maksimum, Kondisi tunak*

1 PENDAHULUAN

Derajat kebebasan pada wahana antariksa lebih tinggi dibanding dengan wahana laut dan darat. Keadaan ini menyebabkan pengendalian wahana antariksa lebih sulit, terlebih lagi jika wahana bergerak dengan kecepatan tinggi. Untuk menyikapi perilaku wahana tersebut diperlukan sistem kontrol yang

sesuai, handal, presisi dan bisa direalisasikan secara *software* dan *hardware*. *Sun seeker control system* adalah salah satu model sistem yang perlu dipertimbangkan untuk pengendalian wahana antariksa.

Pengertian wahana antariksa adalah alat angkut yang bergerak bebas di angkasa, dan mempunyai kebebasan

ruang dan waktu, $f(r,t)$. Oleh karena itu mengendalikan wahana antarsiksa relatif lebih sulit dibandingkan dengan pengendalian wahana laut atau wahana darat. Termasuk wahana antariksa adalah pesawat terbang, roket, satelit, balon udara dan wahana sejenis yang bergerak di antariksa. Salah satu model yang digunakan untuk mengendalikan wahana antariksa adalah *sun seeker control system*. Di sisi lain *sun seeker* dapat digunakan sebagai pengendali cakram pengumpulan sinar matahari (*sun collector disk*) pada sistem konversi energi surya.

Hal-hal yang dikerjakan dan ingin dicapai dalam tulisan ini mencakup:

- Menurunkan model matematika dari sistem kontrol *sun seeker*.
- Melakukan simulasi sistem kontrol *sun seeker* untuk mendapatkan model sistem.
- Menganalisa penerapan sistem kontrol *sun seeker* pada sebuah wahana antariksa.
- Melakukan evaluasi terhadap hasil simulasi untuk mengetahui nilai parameter yang sesuai dan melakukan perbaikan sistem secara keseluruhan.

2 DASAR TEORI

2.1 Komponen dan Prinsip Kerja *Sun Seeker*

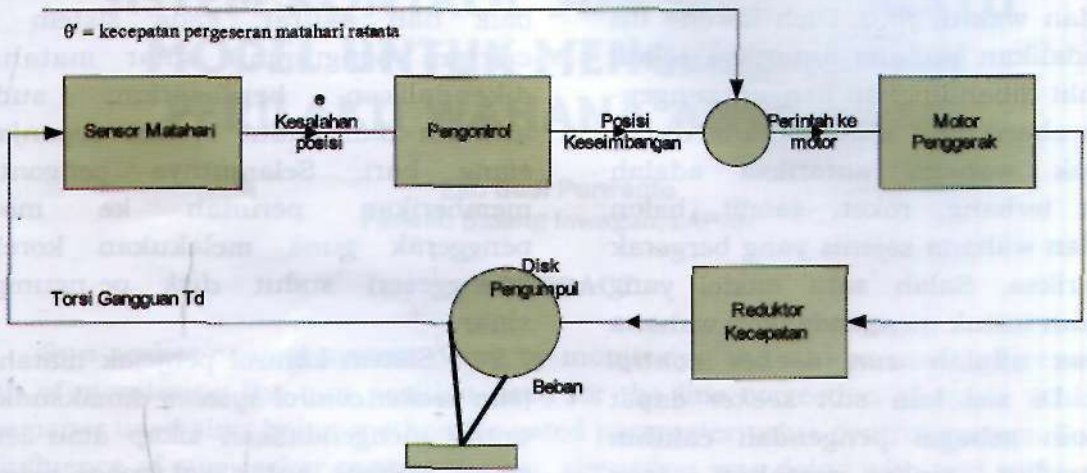
Diagram blok sistem penjejak matahari (*sun tracking system*) untuk sistem konversi energi matahari disajikan pada Gambar 2-1. Sebuah cakram pengumpul sinar matahari diatur sedemikian rupa sehingga selalu mengikuti pergerakan matahari, agar sudut datang tegak lurus. Perlu diketahui bahwa sinar matahari mempunyai energi yang cukup mulai dari pukul 07.00 - 16.00 dengan puncaknya pada pukul 10.00-14.00.

Untuk menghasilkan sistem yang baik dan akurat, diperlukan suatu sistem kontrol yang baik, handal dan presisi. Kondisi ini akan dicapai jika komponen penyusun sistem *sun tracking* bekerja

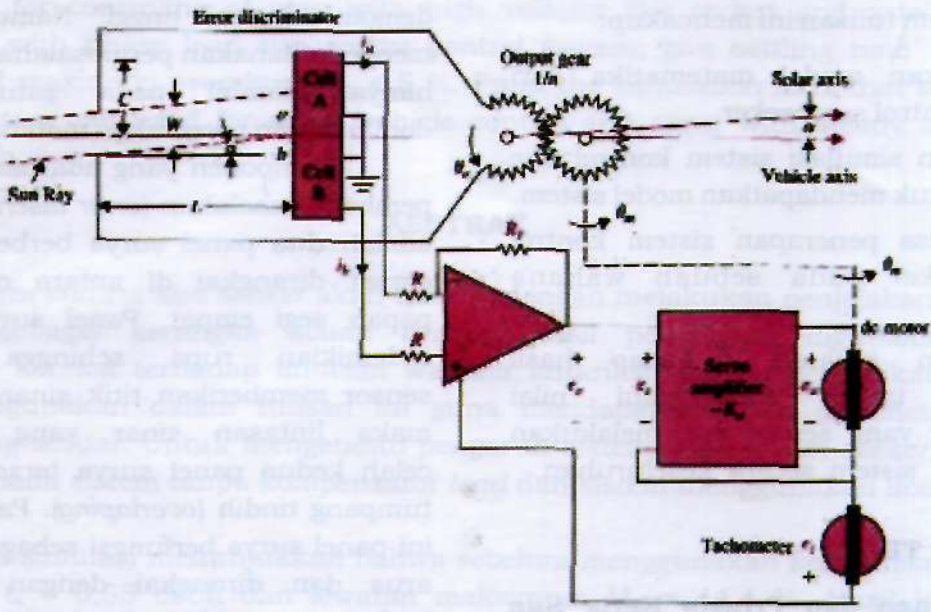
baik dan akurat. Pada sistem ini cakram pengumpul sinar matahari dikendalikan berdasarkan sudut azimuth dan sudut elevasi sepanjang siang hari. Selanjutnya pengontrol memberikan perintah ke motor penggerak guna melakukan koreksi (menggeser) sudut *disk* pengumpul sinar.

Sistem kontrol penjejak matahari (*sun seeker control system*) dimaksudkan untuk mengendalikan sikap atau letak suatu wahana antariksa (*space vehicle*) dengan acuan matahari. *Sun seeker* adalah suatu sistem yang dapat melakukan penjejukan pergerakan matahari dengan akurasi tinggi. Namun untuk menyederhanakan permasalahan *tracking* hanya diambil pada satu bidang dominan dari pergerakan matahari.

Komponen yang ada pada elemen pembeda kesalahan (*error discrimination*) adalah dua panel surya berbentuk segi empat dirangkai di antara celah dua papan segi empat. Panel surya diatur sedemikian rupa sehingga apabila sensor memberikan titik sinar matahari maka lintasan sinar yang melewati celah kedua panel surya tersebut akan tumpang tindih (*overlapping*). Pada sistem ini panel surya berfungsi sebagai sumber arus dan dirangkai dengan polaritas berlawanan pada sebuah penguat op-amp. Setiap perbedaan arus dari kedua panel surya yang lebih besar dari batas ambang yang diberikan akan diperkuat oleh penguat op-amp. Arus yang dihasilkan dari masing-masing panel surya dibuat proporsional dengan iluminasi cahaya yang masuk kedaiamnya. Sinyal kesalahan akan muncul di keluaran penguat apabila cahaya yang datang ke celah tidak jatuh ke pusat panel surya atau tidak tegak lurus. Dalam hal ini terjadi beda tegangan yang dihasilkan terhadap tegangan acuan. Koreksi tegangan ini menyebabkan motor menggerakkan sistem kembali ke posisi sejajar. Diagram skematik dari *sun seeker* disajikan pada Gambar 2-2.



Gambar 2-1: Diagram blok sistem penjejak matahari

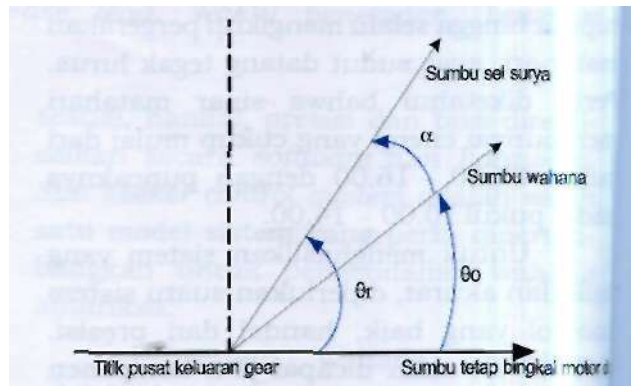


Gambar 2-2: Skema sistem kontrol sun seeker

Pusat koordinat sistem dipertimbangkan sedemikian rupa sehingga tepat berada pada pusat roda gigi sistem penggerak. Acuan sistem secara keseluruhan dibuat terhadap bingkai (*frame*) yang tetap (*fixed*) poros motor DC, dan semua rotasi diukur terhadap sumbu tersebut. Sumbu panel surya atau garis keluaran roda gigi ke matahari membuat sudut $\theta_r(t)$ terhadap sumbu acuan, dan $\theta_c(t)$ menunjukkan sudut sumbu wahana terhadap sumbu acuan. Tujuan dari sistem kontrol adalah mempertahankan kesalahan antara $d_r(t)$, $\theta_r(t)$, $a(t)$ selalu mendekati nol yang secara matematik ditulis:

$$a(t) = \theta_r(t) - \theta_c(t) \quad (2-1)$$

Sumbu koordinat dari masing-masing titik acuan seperti pada Gambar 2-3.



Gambar 2-3: Sumbu koordinat sun seeker

Komponen Utama Sistem Sun Seeker terdiri dari :

a. Pembeda Kesalahan

Bila posisi wahana segaris lurus dengan matahari, maka $\alpha(t) = 0$ dan $i_a(t) = i_b(t) = I$, atau $i_a(t) = i_b(t) = 0$ (Gambar 2-2) dan didapat persamaan,

$$oa = \frac{W}{2} + L \tan \alpha(t) \quad (2-2)$$

$$oa = \frac{W}{2} - L \tan \alpha(t) \quad (2-3)$$

dengan oa notasi lebar lintasan sinar matahari yang membentuk sudut sinus terhadap panel surya A dan ob terhadap panel surya B, keduanya membentuk sudut $\alpha(t)$. Jika $i_a(t)$ adalah arus yang proporsional terhadap oa , dan $i_b(t)$ proporsional terhadap ob , maka persamaan (2-2) dan (2-3) dimodifikasi menjadi,

$$i_a(t) = I + \frac{2LI}{W} \tan \alpha(t) \quad (2-4)$$

$$i_a(t) = I - \frac{2LI}{W} \tan \alpha(t) \quad (2-5)$$

kedua persamaan berlaku untuk harga $0 \leq \tan \alpha(t) \leq W/2L$.

Untuk $W/2L \leq \tan \alpha(t) \leq (C - W/2)/L$, sinar matahari sepenuhnya jatuh pada sel surya A, sehingga $i_a(t) = 2I$ dan $i_b(t) = 0$. Untuk $(C - W/2)/L \leq \tan \alpha(t) \leq (C + W/2)/L$, $i_a(t)$ menurun secara linier dari $2I$ sampai nol. Sedangkan keadaan $i_a(t) = i_b(t) = 0$ berlaku untuk keadaan $\tan \alpha(t) \geq (C + W/2)/L$, untuk sudut $\alpha(t)$ kecil $\tan \alpha(t)$ didekati dengan nilai $\alpha(t)$. Oleh karena itu pembeda kesalahan bisa direpresentasikan dengan grafik non linier seperti Gambar 2-4.

b. Penguat Op-Amp

Hubungan antara keluaran penguat (Op-Amp) dan arus $i_a(t)$ dan $i_b(t)$ adalah :

$$e_s(t) = -R_f [i_a(t) - i_b(t)] \quad (2-6)$$

Komponen ini berfungsi memperbesar arus yang dihasilkan oleh panel surya. Selanjutnya arus digunakan mengaktifkan penguat servo (*servo amplifier*) dan motor dc untuk memutar posisi menyesuaikan dengan garis matahari.

c. Penguat Servo

Konstanta penguatan servo adalah : $-K$, dan dengan mengacu pada Gambar 2-2, maka keluaran penguat servo direpresentasikan dalam persamaan:

$$e_o(t) = -K[e_o(t) + e_i(t)] = -K.e_s(t) \quad (2-7)$$

d. Tachometer

Hubungan tegangan keluaran tachometer e_t dengan kecepatan angular motor $\omega_m(t)$ dan konstanta tachometer K_t (Gambar 2-2) adalah:

$$e_t(t) = K_t \omega_m(t) \quad (2-8)$$

Selanjutnya persamaan posisi angular keluaran gear dikaitkan dengan posisi motor dan rasio roda gigi $1/n$, adalah :

$$\theta_o = \frac{1}{n} \theta_m \quad (2-9)$$

e. Motor DC

Diagram blok motor dc dalam kaitan dengan sistem secara keseluruhan diberikan pada Gambar 2-5.

Sudah diturunkan di banyak literatur, persamaan dan parameter motor dc adalah:

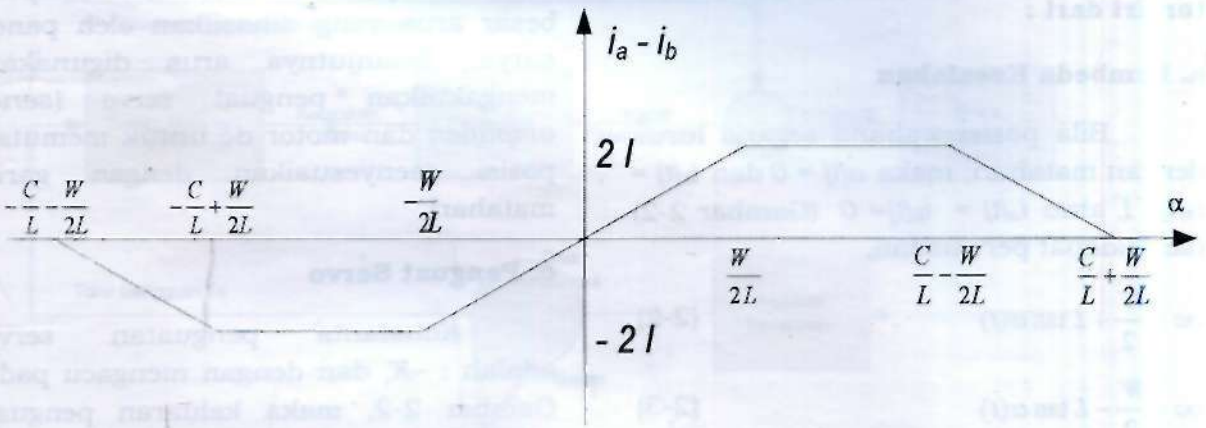
$$\begin{aligned} e_a(t) &= R_a i_a(t) + e_b(t) \\ e_b(t) &= K_b \omega_m(t) \\ T_m(t) &= K_t i_a(t) \end{aligned} \quad (2-10)$$

$$T_m(t) = J \frac{d\omega_m(t)}{dt} + B \omega_m(t)$$

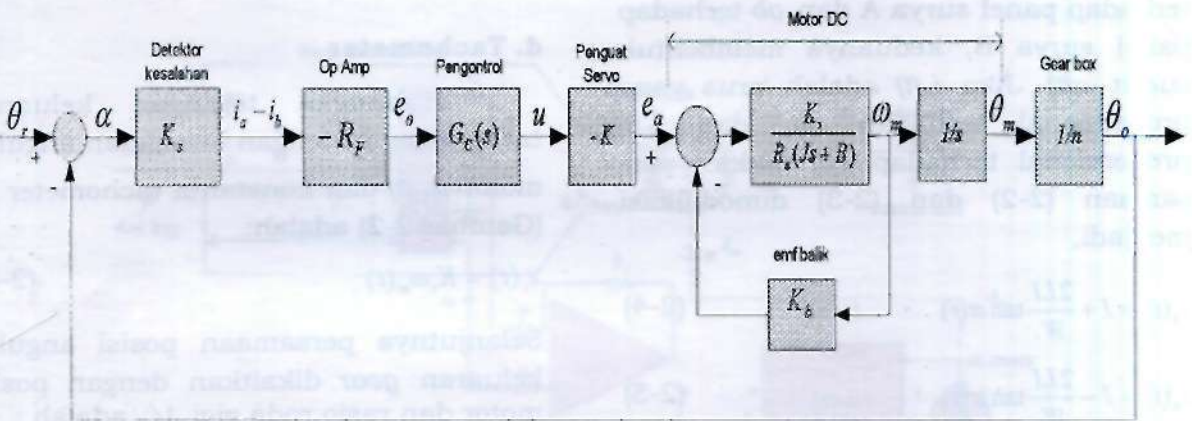
Keterangan:

J = inersia

B = koefisien gesek viscos, yang terjadi pada poros motor, sedangkan induktans motor diabaikan.



Gambar 2-4: Grafik karakteristik non linier dari pembeda kesalahan



Gambar 2-5: Diagram blok sistem kontrol *sun-seeker*

3 RANCANGAN SISTEM

3.1 Rancangan Sistem Kendali

Diagram blok sistem kontrol *sun seeker* seperti disajikan pada Gambar 2-5 dan sistem penjejak bisa saja dipasang di sebuah wahana antariksa. Variabel θ_r adalah sudut acuan sinar matahari dan θ_o sudut sumbu wahana. Dalam kasus ini tujuan sistem kontrol *sun seeker* adalah melakukan perbaikan atas kesalahan ($\theta_r - \theta_o$) dengan θ_o mendekati nol. Untuk simulasi diambil nilai parameter sbb :

- RF = 10.000 Q
- Kb = 0,0125 V/rad/sec.
- Ki = 0,0125 N-m/A
- R_a = 6,25 O
- J = 10⁻⁴ kg-m²

- K_s = 0,1 A/rad
- K = ditentukan
- B = 0
- n = 800

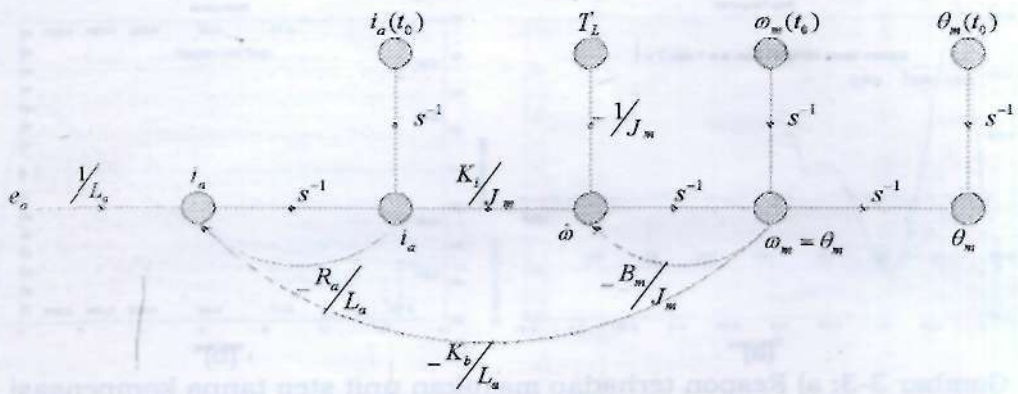
Dengan demikian fungsi transfer umpan maju sistem tanpa kompensasi adalah :

$$G_p(s) = \frac{\Theta_o(s)}{A(s)} = \frac{K_s R_f K K_i / n}{R_a J s^2 + K_i K_b s} \quad (3-1)$$

Dalam hal ini, $\Theta(s)$ dan $A(s)$ adalah transformasi Laplace dari θ_o dan $\alpha(t)$. Substitusi nilai parameter ke persamaan (3-1) menghasilkan,

$$G_p(s) = \frac{\Theta_o(s)}{A(s)} = \frac{2500K}{s(s+25)} \quad (3-2)$$

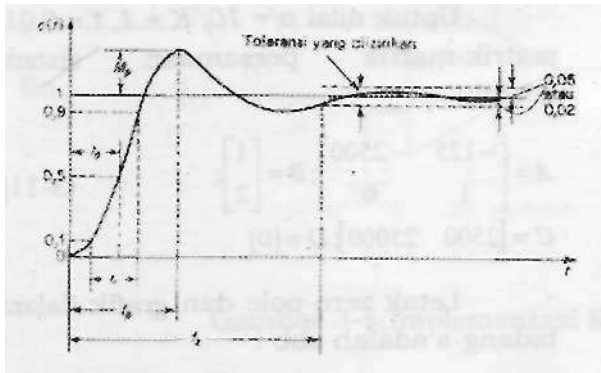
Diagram aliran sinyal motor dc dalam sistem kontrol seperti Gambar 3-1.



Gambar 3-1: Diagram aliran sinyal motor dc

3.2 Rancangan Dalam Domain Waktu

Respon transien merupakan waktu yang sangat kritis dalam merancang sistem kendali. Beberapa parameter respon transien harus ditentukan agar sistem stabil dan mempunyai perilaku kondisi tunak sesuai dengan rancangan. Parameter respon waktu transien untuk masukan satuan tangga disajikan pada Gambar 3-2.



Gambar 3-2: Parameter respon transient dengan masukan satuan tangga

Keterangan

- Waktu tunda (*delay time*), t_d adalah waktu yang diperlukan respon untuk setengah harga akhir yang pertama kali.
- Waktu naik (*rise time*), t_r adalah waktu yang diperlukan respon untuk naik dari 0 sampai 100 % dari harga akhir.
- Waktu puncak (*peak time*), t_p adalah waktu yang diperlukan respon untuk mencapai puncak lewatan (*overshoot*) yang pertama kali.
- Lewatan maksimum (*maximum overshoot*), M_o , adalah harga puncak maksimum dari kurva respon yang

diukur dari satu atau persen lewatan maksimum.

- Waktu penetapan (*settling time*), U adalah waktu yang diperlukan kurva respon untuk mencapai kondisi tunak yakni 5 % atau 2 %.

Spesifikasi dalam domain waktu dari sistem kontrol *sun seeker* adalah:

- Kesalahan keadaan tunak (*steady state error*) untuk masukan unit ramp $0r(t) < 0,01 \text{ rad per rad/det}$, kurang dari 1 %.
- Lewatan maksimum (*maximum overshoot*) respon tangga adalah kurang dari 5 %.
- Waktu naik (*rise time*), $t_r < 0,02 \text{ detik}$.
- Waktu penetapan (*settling time*) $U < 0,02 \text{ detik}$.

Nilai maksimum konstanta penguatan K , ditentukan berdasarkan kriteria keadaan tunak yang dirancang. Aplikasi teori nilai akhir terhadap $\alpha(t)$ sajikan oleh persamaan,

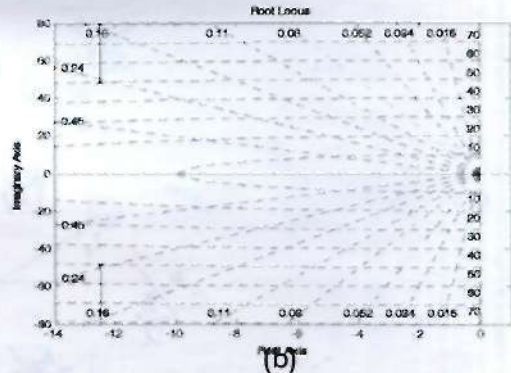
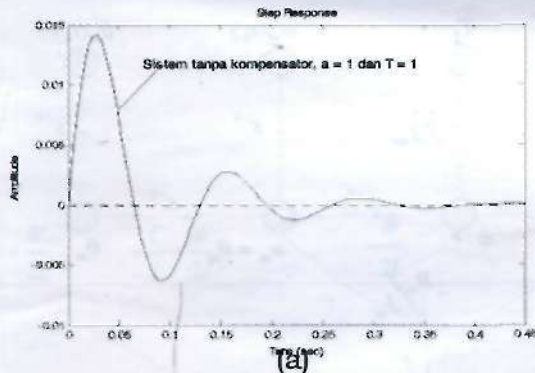
$$\lim_{t \rightarrow \infty} \alpha(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sA(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{s\Theta_r(s)}{1 + G_p(s)} \quad (3-3)$$

Masukan unit ramp, $\Theta_r(s) = 1/s^2$ pada persamaan (3-2) dan (3-3) diperoleh :

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \alpha(t) = \frac{0,01}{K} \quad (3-4)$$

Kondisi tunak $\alpha(t) \leq 0,01$ dan $K \geq 1$, jadi untuk nilai $K = 1$, dan berawal dari titik kesalahan kondisi tunak, persamaan karakteristik sistem tanpa kompensasi adalah :

$$s^2 + 25s + 2500 = 0 \quad (3-5)$$



Gambar 3-3: a) Respon terhadap masukan unit step tanpa kompensasi
b) Letak akar karakteristik sistem tanpa kompensator

Hitungan matematis untuk $K = 1$ (rasio redaman $\xi = 0,25$) diperoleh nilai lewatan maksimum $M_p = 44,4 \%$. Untuk mendapatkan nilai yang sesuai, persamaan (3-5) digunakan sebagai model dalam simulasi menggunakan piranti lunak Matlab 6.5.1.

3.3 Simulasi

3.3.1 Sistem tanpa kompensator

Fungsi transfer persamaan karakteristik tanpa kompensasi (3-5) adalah,

$$\frac{num}{den} = \frac{1}{s^2 + 25s + 2500} \quad (3-6)$$

Dalam bentuk persamaan keadaan dan persamaan keluaran adalah:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu \\ y &= Cx + Du \end{aligned} \quad (3-7)$$

Nilai matriks-matriks tersebut adalah :

$$A = \begin{bmatrix} -25 & -2500 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}; B = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}; C = [0 \ 1]; D = [0] \quad (3-8)$$

Grafik respon dan letak *zero-pole* terhadap sistem tanpa kompensator dengan masukan tangga satuan pada lintasan maju, dengan nilai $K = 1$ disajikan pada Gambar 3-3.

Nilai *zero-pole* sistem tanpa kompensator pada lintasan maju adalah :

$$z = 0; K = 1; p_1 = -12.5000 + 48.4123i; p_2 = -12.5000 - 48.4123i \quad (3-9)$$

3.3.2 Sistem dengan kompensator

Upaya memperbaiki kinerja sistem dipertimbangkan dengan menggunakan

pengontrol proporsional-diferensial (PD) atau pengontrol lain *fase lead-lag* $G_c(s)$. Maka fungsi transfer lintasan maju sistem dengan kompensator adalah :

$$G(s) = \frac{2500K(1+aTs)}{s(s+25)a(1+Ts)} \quad (3-10)$$

Grafik hasil simulasi untuk masukan tangga diperlihatkan pada Gambar 3-4.

Untuk nilai $a = 10, K = 1, t = 0,01$, matrik-matrik persamaan sistem adalah:

$$\begin{aligned} A &= \begin{bmatrix} -125 & -2500 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}; B = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \end{bmatrix}; \\ C &= [2500 \ 25000]; D = [0] \end{aligned} \quad (3-11)$$

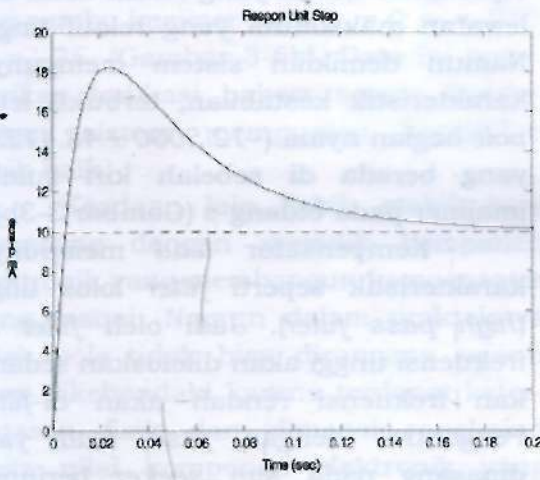
Letak zero-pole dan grafik dalam bidang-s adalah sbb :

$$z = -10; K = 1; p_1 = 0; p_2 = -100; p_3 = -25 \quad (3-12)$$

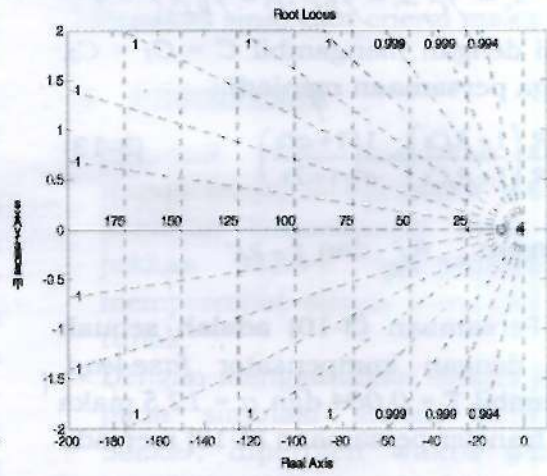
Untuk sistem terkompensasi agar sesuai dengan karakteristik kesalahan keadaan tunak yang diinginkan, maka nilai K^a .

3.3.3 Rancangan kompensator *lead*

Untuk memperbaiki kinerja sistem digunakan pengontrol *fase-lead* dengan nilai T harus kecil, karena jika T besar maka frekuensi natural sistem akan naik dengan cepat dan perbaikan sangat kecil hanya bisa dilakukan melalui rasio redaman (*damping ratio*). Rancangan penguat pengontrol *fase lead* seperti diperlihatkan pada Gambar 3-5.

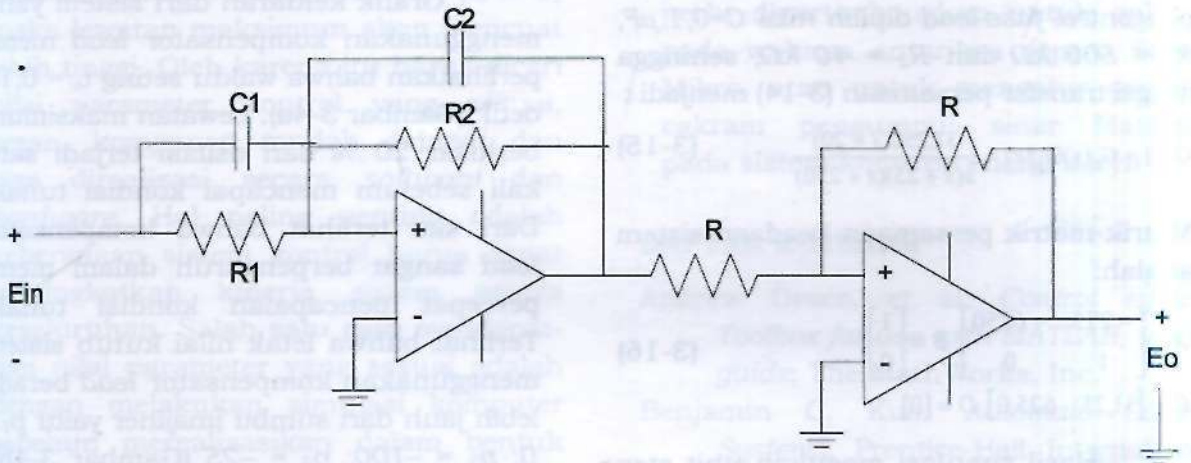


(a)

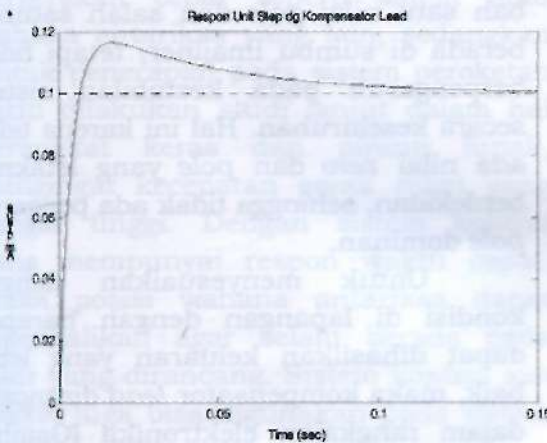


(b)

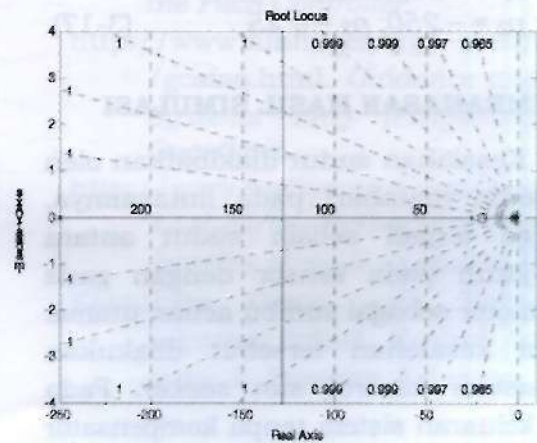
Gambar 3-4: a) Respon lintasan maju masukan unit step, $K = 1$, $a = 10$, $T = 0,01$
 b) Letak akar karakteristik lintasan maju



Gambar 3-5: Implementasi Rangkaian Op-Amp dari $G(s) = \frac{s + z_1}{s + p_1}$



(a)



(b)

Gambar 3-6: a) Respon unit step dengan pengontrol kompensator lead
 b) Letak pole dan zero sistem dengan kompensator lead

dengan $K_c = C_1/C_2$; $z_1 = 1/R_1C_1$; $p_1 = 1/R_2C_2$, dapat reduksi dengan mengambil $C = C_1 = C_2$, sehingga persamaan menjadi :

$$G_c(s) = \frac{R_1(1+R_1Cs)}{R_2(1+R_2Cs)} = \frac{1}{a} \frac{(1+aTs)}{(1+Ts)} \quad (3-13)$$

Keterangan $a = R_1/R_2$ dan $T = R_2C$

Persamaan (3-10) adalah sebuah sistem dengan kompensator *fase-lead*, jika diambil $T = 0,004$ dan $a = 12,5$ maka fungsi transfer persamaan (3-13) menjadi:

$$G_c(s) = a \frac{s + 1/aT}{s + 1/T} = 12,5 \frac{s + 20}{s + 250} \quad (3-14)$$

Realisasi rangkaian penguat pengontrol *fase-lead* dipilih nilai $C=0,1 \mu F$, $R_1 = 500 k\Omega$ dan $R_2 = 40 k\Omega$, sehingga fungsi transfer persamaan (3-14) menjadi :

$$G(s) = G_c(s)G_p(s) = \frac{31,250(s + 20)}{s(s + 25)(s + 250)} \quad (3-15)$$

Matrik-matrik persamaan keadaan sistem adalah:

$$A = \begin{bmatrix} -275 & -6250 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}; B = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}; \quad (3-16)$$

$$C = [31,25 \quad 625,0]; D = [0]$$

Hasil simulasi masukan unit step seperti diperlihatkan pada Gambar 3-6.

Nilai *zero-pole* dari sistem dengan kompensator *lead* adalah:

$$z_1 = 0; z_2 = -20; k = 1; \quad (3-17)$$

$$p_1 = 0; p_2 = -250; p_3 = -25$$

4 PEMBAHASAN HASIL SIMULASI

Kesalahan sudut diakibatkan oleh pergeseran matahari pada lintasannya, sehingga terjadi selisih sudut antara sinar jatuh pada sensor dengan garis poros motor sebagai sumbu acuan utama. Ko'reksi kesalahan tersebut dilakukan oleh sistem kontrol *sun seeker*. Pada grafik keluaran sistem tanpa kompensator (Gambar 3-3a) terlihat bahwa kondisi tunak $t_s = 0,35$ detik dengan lewatan maksimum berkisar 44,4 %. Selama waktu transien terjadi tiga kali osilasi. Jadi untuk mencapai kondisi tunak

diperlukan waktu yang relatif lama dan lewatan maksimum yang relatif tinggi. Namun demikian sistem mempunyai karakteristik kestabilan, terbukti letak *pole* bagian nyata (-12.5000 ± 48.41231) yang berada di sebelah kiri sumbu imajiner pada bidang-s (Gambar 3-3b).

Kompensator *lead* mempunyai karakteristik seperti *filter* lolos tinggi (*high pass filter*). Jadi oleh *filter* ini frekuensi tinggi akan diloloskan sedangkan frekuensi rendah akan *di-filter*. Pengontrol dengan *fase lead* yang dipasang pada *sun seeker* berfungsi mempercepat waktu pencapaian agar kesalahan sudut pada wahana antariksa yang dikendalikan segera dikoreksi.

Grafik keluaran dari sistem yang menggunakan kompensator *lead* memperlihatkan bahwa waktu seting $t_s = 0,18$ detik (Gambar 3-4a). Lewatan maksimum berkisar 20 % dan osilasi terjadi satu kali sebelum mencapai kondisi tunak. Dari sini terlihat bahwa kompensator *lead* sangat berpengaruh dalam mempercepat pencapaian kondisi tunak. Terlihat bahwa letak nilai kutub sistem menggunakan kompensator *lead* berada lebih jauh dari sumbu imajiner yaitu $p_1 = 0$; $p_2 = -100$; $p_3 = -25$ (Gambar 3-4b). Hal ini menunjukkan penambahan kompensator *lead* sistem lebih stabil dibanding dengan tanpa kompensator. Penggunaan kompensator *lead* menambah satu nilai *pole* dan salah satunya berada di sumbu imajiner, tetapi tidak berpengaruh pada kestabilan sistem secara keseluruhan. Hal ini karena tidak ada nilai *zero* dan *pole* yang letaknya berdekatan, sehingga tidak ada pengaruh *pole* dominan.

Untuk menyesuaikan dengan kondisi di lapangan dengan harapan dapat dihasilkan keluaran yang lebih baik, maka kompensator *lead* dirancang dalam rangkaian elektronika (Gambar 3-5). Grafik keluaran simulasi menunjukkan waktu penetapan $t_s = 0,12$ detik dan lewatan maksimum ± 5 %, dengan satu kali osilasi sebelum mencapai kondisi tunak (Gambar 3-6a). Letak *pole*

bernilai negatif dan berada lebih jauh dari sumbu imajiner yaitu $p_1 = -0,25$; $p_2 = -25$; $p_3 = -25$ (Gambar 3-6b). Data ini memberikan indikasi bahwa secara keseluruhan sistem mempunyai kestabilan lebih baik.

Keadaan lain (lebih stabil) bisa dirancang dengan memilih komponen elektronik yang membangun kompensator yang sesuai. Namun dalam prakteknya letak *pole* tidak bisa dirancang sejauh yang dikehendaki karena terdapat keterbatasan fisik dan dimensi rangkaian serta nilai komponen elektronik yang digunakan. Di samping itu perlu diperhatikan bahwa hukum kekekalan energi tidak bisa dilanggar, artinya jika kondisi transien ditekan mendekati nol ($t_a \rightarrow 0$) maka lewatan maksimum akan mencuat lebih tinggi. Oleh karena itu harus dicari nilai parameter kontrol yang sesuai, aman, komponen mudah didapat dan bisa direalisasi secara *software* dan *hardware*. Hal paling penting adalah keberadaan sistem kontrol harus dapat meningkatkan kinerja sistem secara keseluruhan. Salah satu cara mendapatkan nilai parameter yang sesuai adalah dengan melakukan simulasi komputer sebelum merealisasikan dalam bentuk *hardware*.

Sistem kontrol *sun seeker* (Gambar 2-1 dan 2-2) bisa dipasang pada wahana antariksa yang mempunyai pergerakan cepat seperti satelit atau wahana antariksa yang lain, sedangkan untuk penerapan pada sistem peroketan perlu dilakukan studi lanjut dalam hal perangkat keras dan piranti lunak, raengingat kecepatan gerak roket yang sangat tinggi. Dengan sistem kontrol yang mempunyai respon waktu cepat, maka posisi wahana antariksa dapat dikendalikan agar selalu berada pada jalur yang dirancang. Sistem kontrol *sun seeker* juga bisa digunakan pada sistem

konversi energi surya guna memperoleh intensitas sinar dan energi maksimal.

5 KESIMPULAN

- Simulasi yang dilakukan terhadap sistem tanpa kompensator dan menggunakan kompensator *lead*, menunjukkan bahwa kompensator *lead* mempercepat sistem mencapai kondisi tunak.
- Dengan menggunakan modus *fase lead* pada simulasi sistem kontrol *sun seeker*, diperoleh waktu penetapan $t_s = 0,12$ detik dengan lewatan maksimum kurang 5 %.
- Sistem kontrol *sun seeker* merupakan salah satu model sistem kontrol yang perlu dipertimbangkan untuk aplikasi pada wahana antariksa seperti Satelit Mikro, atau untuk mengatur gerakan cakram pengumpul sinar Matahari pada sistem konversi energi surya

DAFTAR RUJUKAN

- Andrew Grace, et al. *Control system Toolbox for use with MATLAB, user's guide*; The Math Works, Inc.
- Benjamin C. Kuo. *Automatic Control Systems*, Prentice-Hall International Editions.
- <http://www.library.cmu.edu/ctms/ctms/examples/pitch/frpitch.htm>. *Frequency Response Design Method for the Pitch Controller*.
- <http://www.ninfinger.org/~sven/rockets/gcsfaq.html>. *Guidance and Control Systems FAQ (Frequently Asked Questions)*.
- <http://www.mathworks.com/academia>. *Analyze the Behavior of a Simplified Satellite Attitude Control Systems*.
- Katsuhiko Ogata (alih Bahasa Edi Leksono). *Kontrol Otomatik*, buku 2. Penerbit Erlangga, Jakarta