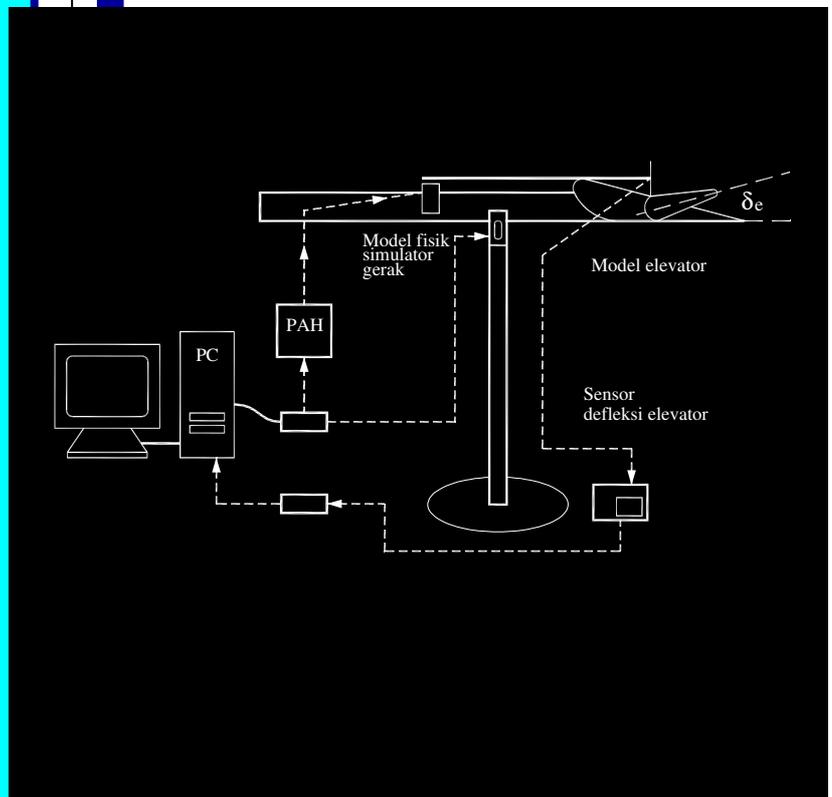


Jurnal Teknik Mesin
Volume 22, No.1, April 2007

W
E
S
E
W



EDITOR

B. Sutjiatmo (Ketua)
A. Suwono
D. Suharto
K. Bagiasna
S. D. Jenie
S. S. Brodjonegoro
Abdurrachim
I. Nurhadi
R. Suratman
P. S. Darmanto

MITRA BESTARI

Ign. P. Nurprasetio (ITB)
I. S. Putra (ITB)
A. I. Mahyuddin (ITB)
Y. Yuwana M (ITB)
Z. Abidin (ITB)
P. Sutikno (ITB)
T. Hardianto (ITB)
T. A. F. Soelaiman (ITB)
N. P. Tandian (ITB)
S. Wiryolukito (ITB)
A. Basuki (ITB)

REDAKSI PELAKSANA

A. D. Pasek (Ketua)
I M. Astina
I. G. N. W. Puja
Indrawanto
W. Adriansyah
A. Wibowo
I N. Diasta

ALAMAT REDAKSI

Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Bandung
Jln. Ganesa 10, Bandung 40132
Tel. :(022)-2504243
Fax: (022)-2534099
E-mail: ari@termo.pauir.itb.ac.id
yadi@tu.ms.itb.ac.id

Terbit 2 (dua) kali dalam satu tahun
Bulan April dan Oktober.

EDITORIAL

Makalah pertama pada Jurnal Mesin Volume 22 No. 1 ditulis oleh Bambang Widyanto dan Achmad Sambas dari Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Bandung. Makalah ini membahas mengenai perlakuan panas (*solution treatment*) pada baja mangan austenitik. Proses perlakuan diberikan dengan mengoptimalkan temperatur pemanasan, dan waktu penahanan. Pemeriksaan terhadap hasil perlakuan dilakukan melalui pengamatan struktur mikro dan uji kekerasan. Baja mangan hasil perlakuan ini mempunyai keuletan yang lebih tinggi dan tingkat ketahanan aus yang memadai.

Makalah kedua yang berjudul Optimasi Pelapisan Material Peredam Viskoelastik pada Struktur Pelat Elastik yang ditulis oleh I Wayan Suweca dan Mokhammad Nuriman Yusuf dari Fakultas Teknologi Industri ITB. Metode optimasi yang digunakan merupakan modifikasi dari algoritma SUMT (*Sequential Unconstrained Minimization Technique*). Dari hasil kajian diketahui bahwa distribusi optimum lapisan material viskoelastik pada material elastik sangat dipengaruhi oleh jenis tumpuan struktur dan jumlah modus getar yang dilibatkan dalam analisis.

Indra Herlamba Siregar dari Universitas Negeri Surabaya, dan Abdul Muis dari Politeknik Samarinda, menulis makalah ketiga yang berjudul Karakteristik Aerodinamis Dua Silider Teriris Type 1 yang Tersusun *Side by Side* pada Bilangan Reynolds Subkritis. Makalah ini berisi hasil-hasil pengamatan terhadap kondisi aliran fluida yang melintasi sepasang silinder teriris. Besaran-besaran yang dimati antara lain distribusi koefisien *drag*, dan distribusi koefisien tekanan.

Makalah keempat berjudul Kaji Numerik dan Eksperimental Penyerapan Energi Tabung Aluminium Bergalur dengan Beban Aksial ditulis oleh Bambang K. Hadi et al dari Kelompok Keahlian Struktur Ringan Fakultas Teknologi Industri ITB. Makalah ini berisi kajian kemungkinan penggunaan tabung aluminium bergalur sebagai komponen penyerap energi. Kajian dilakukan baik dengan menggunakan pendekatan analitis, numerik dengan dinamik eksplisit ABAQUS dan pengujian. Hasilnya menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah galur semakin kecil beban peruntuhan rata-rata. Beban peruntuhan rata-rata hasil pengujian yang diperoleh selalu lebih besar dari hasil prediksi secara analitis maupun numerik.

Makalah terakhir berjudul Pembuatan dan Pengujian Sensor Ultrasonik Sebagai *Feedback* pada Sistem Kendali Otomatik *Pitch Attitude Hold* ditulis oleh U.M. Zaeny dari Fakultas Teknologi Industri ITB. Makalah ini membahas mengenai hasil-hasil uji coba penggunaan sensor jarak ultrasonik yang diusulkan untuk digunakan sebagai alternatif pengganti *static tube* yang biasa digunakan. Usulan penggantian ini dilakukan berdasarkan pertimbangan bahwa *static tube* tidak bekerja cukup akurat untuk wahana yang terbang hanya beberapa meter dari permukaan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor ultrasonik dapat diandalkan sebagai sensor jarak.

Akhir kata Redaksi mengucapkan selamat membaca semoga makalah-makalah dalam Jurnal Mesin memberi informasi dan pengetahuan yang bermanfaat.

MESIN

Jurnal Teknik Mesin

Vol. 22, No. 1, April 2007

ISSN 0852-6095

Diterbitkan oleh : Program Studi Teknik Mesin,
Fakultas Teknologi Industri - ITB

Surat ijin : STT No. 964/DIT-JEN/PPG/STT/1982.

DAFTAR ISI

Pengaruh waktu austenitisasi pada proses pelarutan karbida baja mangan austenitik.

Bambang Widyanto dan Achmad Sambas

1-8

Optimasi pelapisan material peredam viskoelastik pada struktur pelat elastik

I Wayan Suweca dan Mokhamad Nuriman Yusuf

9-20

Karakteristik aerodinamis dua silinder teriris type 1 yang tersusun side by side pada bilangan Reynolds subkritis.

Indra Herlamba Siregar dan Abdul Muis

21-28

Kaji numerik dan eksperimental penyerapan energi tabung aluminium bergalur dengan beban aksial.

Bambang K. Hadi, Ichsan S. Putra, David Basuki dan Yanyan Tedy S.

29-34

Pembuatan dan pengujian sensor ultrasonik sebagai feedback pada sistem kendali otomatis pitch attitude hold.

U.M. Zaeny, T. Indriyanto dan H. Muhammad

35-43

M E S I N

Jurnal Teknik Mesin

Vol. 22, No. 1, April 2007

ISSN 0856-6095

PEMBUATAN DAN PENGUJIAN SENSOR ULTRASONIK SEBAGAI FEEDBACK PADA SISTEM KENDALI OTOMATIK PITCH ATTITUDE HOLD

U.M. Zaeny, T. Indriyanto dan H. Muhammad

Kelompok Keahlian Fisika Terbang, Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Bandung
E-mail: t.indriyanto@ae.itb.ac.id

Ringkasan

Untuk wahana yang terbang beberapa meter dari suatu permukaan, alat ukur standar pengindera tinggi terbang yaitu *static tube* tidak bekerja dengan cukup akurat. Muncul suatu ide untuk menggunakan sensor jarak ultrasonik sebagai alternatif. Ide ini dilanjutkan dengan pemanfaatan sensor ultrasonik sebagai pengindera sudut sikap pitch dengan menggunakan dua sensor tinggi terbang ultrasonik di kedua ujung wahana tersebut. Ide ini diuji secara statik dengan menggunakan batang yang dimiringkan dan secara dinamik dengan merangkaikannya pada sistem kendali otomatis Pitch Attitude Hold skala laboratorium.

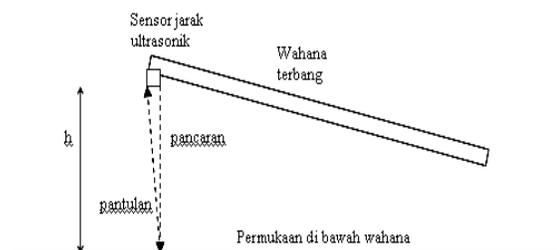
Abstract

Standard altimeter, i.e. static tube, does not work accurate enough for vehicle flying several meters from the ground. One alternative for measuring altitude in this case is using ultrasonic range-meter. This idea is brought further by using two range-meters to measure pitch attitude. Laboratory experiments were conducted to study this idea statically by constructing them in an inclined moving bar and dynamically by arranging them in a Pitch Attitude Hold control system.

Keywords: Transducer, sensor altimeter dan sudut, simulator gerak

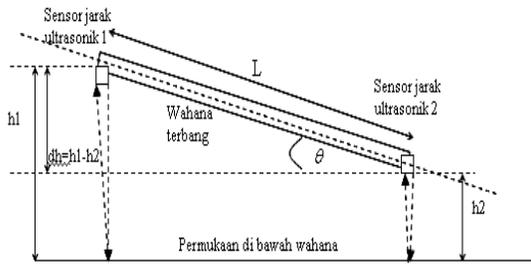
1. LATAR BELAKANG DAN RUMUSAN MASALAH

Kebutuhan akan informasi tinggi terbang yang cukup akurat pada sebuah wahana yang terbang sangat rendah (beberapa meter dari permukaan daratan di bawahnya) tidak dapat diperoleh melalui alat pengindera tinggi terbang standar pesawat udara yaitu *static tube* dan GPS. *Radio altimeter*, walaupun cukup akurat, namun tidak cukup efisien untuk dipakai pada wahana terbang yang kecil maupun tanpa awak [1]. Dengan demikian, diperlukan peralatan alternatif untuk memenuhi kebutuhan ini. Ide yang dimunculkan di sini adalah dengan memanfaatkan sensor jarak berbasis ultrasonik sebagai pengindera tinggi terbang (*altimeter*), (Gambar 1). Ide ini muncul dari implementasi pengukur jarak ultrasonik yang telah dikembangkan sebelumnya [2].



Gambar 1. Sketsa pemasangan altimeter ultrasonik pada wahana terbang [1]

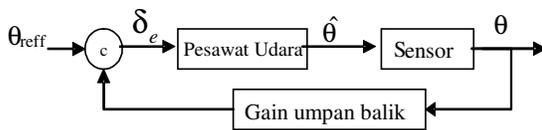
Ide penggunaan altimeter ultrasonik ini selanjutnya berkembang lagi, yaitu dengan menjadikannya sebagai sensor sudut sikap wahana dengan menggunakan dua buah sensor tinggi terbang ultrasonik di kedua ujung wahana (Gambar 2).



Gambar 2. Sketsa pemasangan sensor sudut ultrasonik pada wahana terbang [1]

Untuk itu perlu dilakukan pengujian untuk melihat apakah kebutuhan informasi tinggi terbang dan sudut sikap wahana dapat dipenuhi dengan menerapkan ide ini.

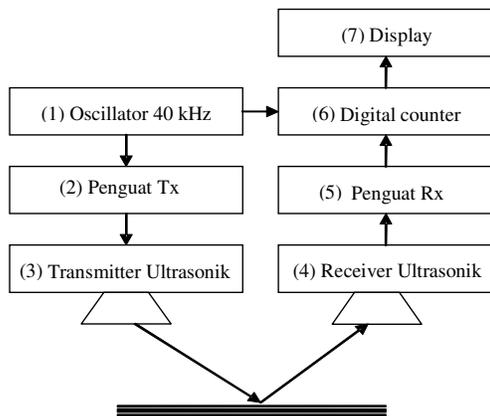
Dalam tulisan ini dijelaskan proses pembuatan sensor sudut *pitch* ultrasonik serta pengujiannya secara statik dan dinamik. Pengujian statik altimeter ultrasonik dilakukan dengan menempatkan sensor pada jarak tertentu dari lantai, sedangkan pengujian sensor sudut *pitch* ultrasonik dilakukan dengan batang uji yang memiliki kemiringan terhadap lantai. Pengujian dinamik dilakukan dengan menjadikan sensor ultrasonik sebagai *feedback* sensor pada sistem kendali otomatis penjaga sudut sikap *pitch* (Pitch Attitude Hold/PAH) skala laboratorium. Blok diagram sistem kendali PAH ini ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Blok diagram sistem kendali otomatis penjaga sudut sikap (Pitch Attitude Hold/PAH)

2. Pembuatan Altimeter Ultrasonik

Prinsip kerja suatu altimeter ultrasonik dapat dijelaskan melalui blok diagram pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram blok rangkaian altimeter ultrasonik [1]

Blok diagram tersebut terdiri atas:

1. *Oscillator* 40kHz
2. Penguat Tx (*transmitter*)
3. *Transmitter* ultrasonik
4. *Receiver* ultrasonik
5. Penguat Rx (*receiver*)
6. *Digital counter*
7. *Display*

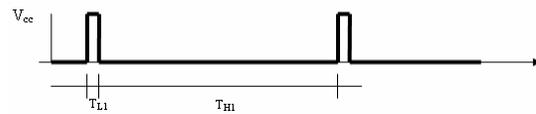
Masing-masing blok dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. *Oscillator* 40 kHz

Rangkaian altimeter yang dibuat pada paper ini dirancang untuk dapat mengindera jarak antara 1 sampai 7 m dengan resolusi 1 cm. Pada temperatur 20°C kecepatan rambat gelombang ultrasonik adalah 343,5 m/s, sehingga waktu yang diperlukan gelombang ultrasonik untuk menempuh jarak 10 m bolak-balik adalah:

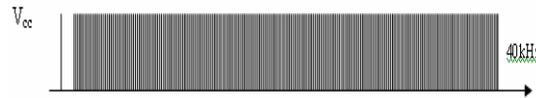
$$\Delta t_{max} \approx \frac{20 \text{ m}}{343,5 \text{ m/s}} \approx 0,058 \text{ s} \quad (1)$$

Dengan demikian, satu siklus proses perhitungan jarak minimal dilakukan setiap 0,058 s. Di sini Δt_{max} yang digunakan adalah 0,065 s dengan menggunakan IC 555 dengan lebar pulsa 1 ms (Gambar 5).



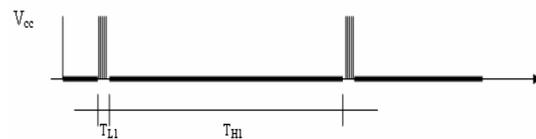
Gambar 5. Pulsa periodik setiap satu siklus perhitungan 65 ms dengan lebar pulsa 1 ms [3]

Untuk membuat pancaran gelombang ultrasonik diperlukan *oscillator* pembangkit gelombang kotak dengan frekuensi 40 kHz agar *transducer* dapat beresonansi (Gambar 6).



Gambar 6. Gelombang ultrasonik 40 kHz

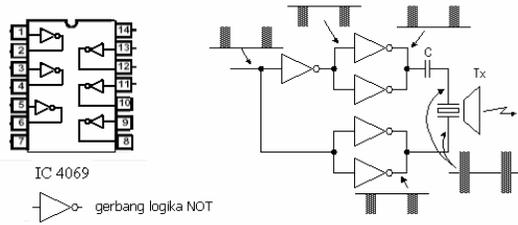
Kedua *oscillator* ini digabungkan untuk menghasilkan sinyal 40 kHz selama 1 ms setiap 65 ms (Gambar 7).



Gambar 7. Sinyal ultrasonik 40 kHz selama 1 ms setiap 65 ms

2. Penguat Transmitter

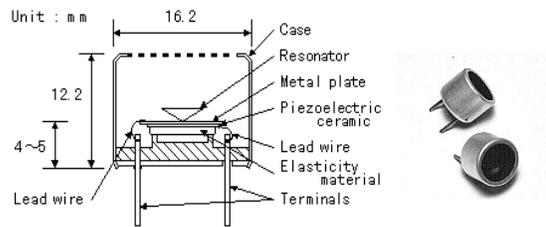
Penguatan ini berupa pengkalian amplitudo sinyal sebesar 2 kali sebelum ditransmisikan (Gambar 8).



Gambar 8. Penguat sinyal kirim [3]

3. Transmitter Ultrasonik

Transmitter gelombang menggunakan transducer piezo elektrik ultrasonik 40 kHz (Gambar 9).



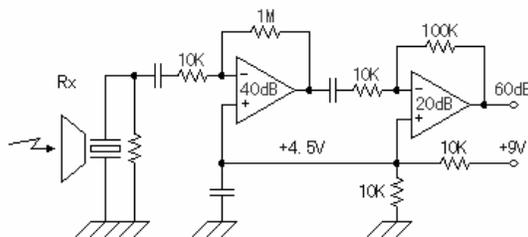
Gambar 9. Transducer ultrasonik [1]

4. Receiver Ultrasonik

Receiver gelombang ultrasonik yang digunakan adalah transducer ultrasonik yang sama dengan transmitter ultrasonik.

5. Penguat Receiver

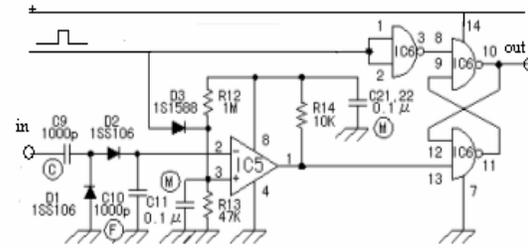
Gelombang yang diterima receiver sangat kecil sehingga perlu diperkuat agar dapat menjadi suatu sinyal trigger yang dapat menghentikan counter. Penguatan tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut (Gambar 10).



Gambar 10. Rangkaian penguat receiver [3]

Sinyal ultrasonik yang diterima diperkuat tegangannya sebesar 1000 kali (60 dB), dengan penguatan 1000 kali sinyal pantul yang diterima cukup kuat menjadi trigger penghenti counter. Pada referensi [2] penguatan yang dipilih adalah penguatan secara 2 tahap: pertama diperkuat 100 kali (40 dB), kemudian diperkuat lagi 10 kali (20 dB) melalui rangkaian OpAm. Sinyal yang diterima ini kemudian diproses lebih lanjut pada

rangkaian detektor (Gambar 11) sebagai tanda untuk menghentikan counter.



Gambar 11. Rangkaian detektor [3]

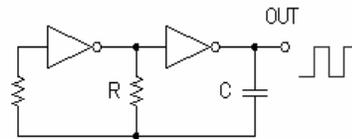
6. Digital Counter

Untuk menampilkan besarnya jarak pada bagian display diperlukan digital counter yang memiliki frekuensi sama dengan 1/2 kali kecepatan gelombang ultrasonik. Sebagai contoh ketika gelombang ultrasonik menempuh jarak 2 m (atau 1 m dari benda pemantul) maka counter menunjukkan angka 100, yang artinya 100 cm. Rangkaian oscillator counter ini dapat dilihat pada Gambar 12 dengan frekuensi yang dihasilkan sebagai berikut:

$$f_c = \frac{1}{2,2 C R} \quad (2)$$

di mana

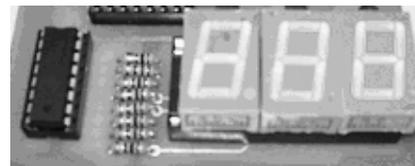
f_c = frekuensi counter
 C = kapasitansi kapasitor
 R = resistansi resistor



Gambar 12. Oscilator digital counter [1]

7. Display

Hasil tinggi terbang yang diperoleh digital counter selanjutnya ditayangkan dalam bentuk display digital menggunakan seven-segment LED. Display altimeter ultrasonik tersebut dapat dilihat pada Gambar 13.

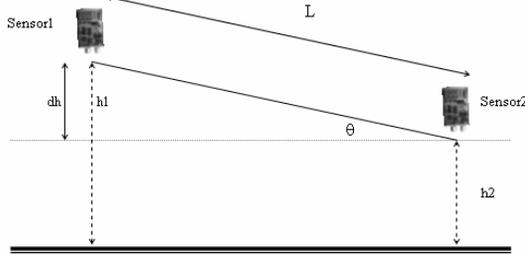


Gambar 13. Display seven-segment LED [1]

3. PEMBUATAN SENSOR SUDUT ULTRASONIK

Sensor sudut ultrasonik dibuat dari dua altimeter ultrasonik yang diintegrasikan pada sebuah mikrokontroler. Sudut sikap pitch dapat diperoleh untuk dua kasus berikut ini:

Kasus 1: sensor selalu mengarah ke bawah, tidak tergantung sudut *pitch* wahana (Gambar 14).



Gambar 14. Kondisi dimana sensor selalu mengarah ke bawah [1]

Dalam hal ini:

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{dh_{sin}}{L}\right)$$

dengan

$$dh_{sin} = h1_{sin} - h2_{sin} \quad (3)$$

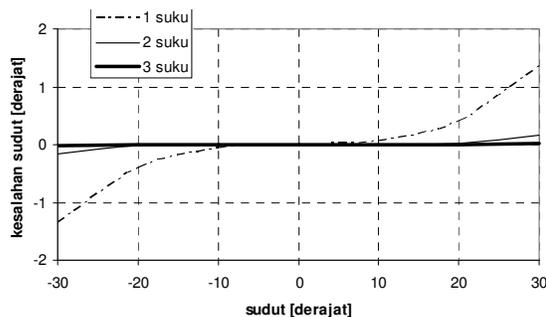
Pendekatan deret Taylor untuk arc sinus adalah [5]:

$$\sin^{-1}(x) \approx x + \frac{1}{6}x^3 + \frac{3}{40}x^5 + \dots \quad (4)$$

sehingga

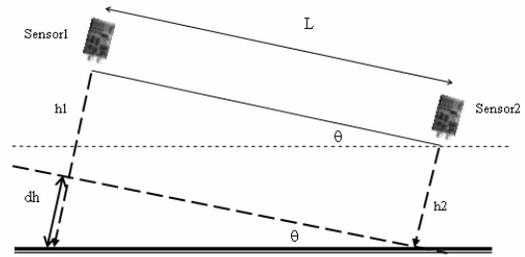
$$\theta \approx \frac{dh}{L} + \frac{1}{6}\left(\frac{dh}{L}\right)^3 + \frac{3}{40}\left(\frac{dh}{L}\right)^5 + \dots \quad (5)$$

Kesalahan yang timbul dalam pendekatan arc sinus dalam persamaan (5) di atas ditunjukkan dalam Gambar 15 untuk pemakaian 1, 2 dan 3 suku yang pertama. Terlihat bahwa makin banyak suku yang terlibat, makin kecil kesalahan yang dihasilkan.



Gambar 15. Kesalahan pada pendekatan arcus sinus [1]

Kasus 2: sensor selalu menempel pada wahana (Gambar 16)



Gambar 16. Kondisi dimana sensor menempel pada wahana [1]

Dalam hal ini:

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{dh_{tan}}{L}\right)$$

dengan

$$dh_{tan} = h1_{tan} - h2_{tan} \quad (6)$$

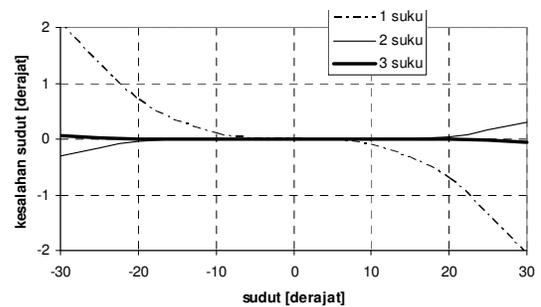
Pendekatan deret Taylor untuk arc tangen adalah [5]:

$$\tan^{-1}(x) \approx x - \frac{1}{3}x^3 + \frac{1}{5}x^5 - \dots \quad (7)$$

sehingga

$$\theta \approx \frac{dh}{L} - \frac{1}{3}\left(\frac{dh}{L}\right)^3 + \frac{1}{5}\left(\frac{dh}{L}\right)^5 - \dots \quad (8)$$

Kesalahan yang timbul dalam pendekatan arc tangen dalam persamaan (8) di atas ditunjukkan dalam Gambar 17 untuk pemakaian 1, 2 dan 3 suku yang pertama. Terlihat bahwa makin banyak suku yang terlibat, makin kecil kesalahan yang terjadi.



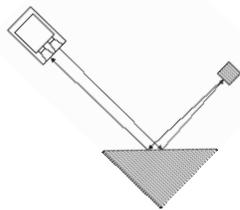
Gambar 17. Kesalahan pada pendekatan arcus tangen [1]

Kedua kasus tersebut sama-sama memiliki suku dengan pangkat 3 dan pangkat 5, namun karena keterbatasan mikrokontroler [4] yang digunakan sebagai pemroses data (AT89C2051), maka digunakan pendekatan sampai pada suku pertama saja yaitu:

$$\theta = \frac{dh}{L} \quad (9)$$

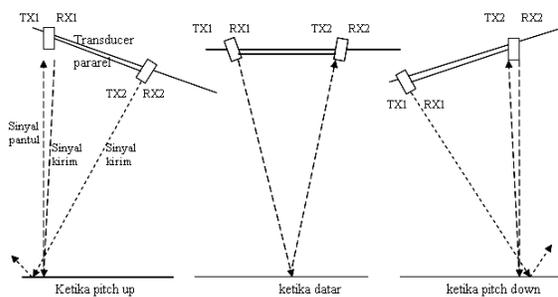
Pada proses pemancaran gelombang ultrasonik, terdapat satu keterbatasan, yaitu ketika sinyal yang dipancarkan memantul pada dinding yang tidak tegak lurus.

Di sini akan terjadi kesalahan pengukuran seperti diilustrasikan pada Gambar 18.



Gambar 18. Kesalahan pengukuran akibat kemiringan bidang pantul [1]

Teknik yang digunakan untuk mengatasi kesalahan tersebut adalah dengan memasang dua *transducer receiver* dan dua *transducer transmitter* paralel namun diletakkan terpisah pada jarak tertentu (Gambar 19).



Gambar 19. Pemasangan *transducer* paralel [1]

4. PEMBUATAN SIMULATOR GERAK

Simulator gerak dibuat untuk memperagakan dinamika gerak *pitch* suatu wahana terbang tertentu berdasarkan model matematikanya. Simulator gerak yang dibuat dapat dilihat pada Gambar 20.

Simulator ini terdiri dari 5 komponen yaitu:

1. Model fisik
2. Komputer (PC)
3. *Joystick*
4. Mikrokontroler PAH
5. Sensor sudut ultrasonik

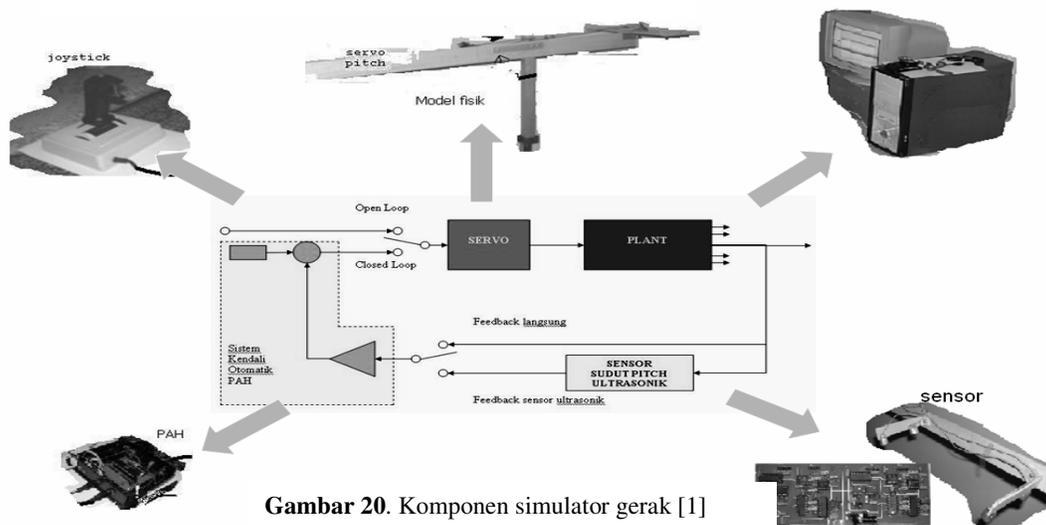
Masing-masing komponen dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Model fisik

Model fisik ini memodelkan *body* wahana yang dapat menunjukkan sikap *pitch* wahana tersebut. Material yang digunakan adalah kayu balsa karena (i) penggunaan simulator gerak ini hanya dalam skala laboratorium dan (ii) massa jenisnya yang rendah berimplikasi pada servo penggerak yang diperlukan cukup menggunakan servo standar.

2. Komputer (PC)

Komputer berfungsi memodelkan gerak wahana secara numerik berdasarkan model matematikanya. Input yang diperlukan adalah data defleksi elevator, sedangkan output yang dihasilkan PC adalah angka dan grafik gerak matriks longitudinal (u, α, θ, q, dh).



Gambar 20. Komponen simulator gerak [1]

Teknik seperti ini dapat mengatasi hilangnya sinyal kirim akibat kemiringan bidang pantul, namun kekurangannya adalah hanya berlaku untuk interval ketinggian tertentu saja.

Model matematika yang digunakan adalah persamaan diferensial linier diskrit menggunakan pendekatan Runge-Kutta orde-4 [5]. Dari output tersebut, data θ diteruskan pada *hardware* (model fisik) agar bergerak sesuai gerak *pitch* yang disimulasikan komputer. Transfer data yang digunakan adalah komunikasi serial port.

3. Joystick

Joystick digunakan sebagai input kendali wahana ketika dalam mode *open loop*. Dengan input joystick maka simulator dapat bergerak sesuai dengan sudut *pitch* wahana yang mendapat input defleksi elevator.

4. Mikrokontroler PAH

Mikrokontroler ini bertindak sebagai *feedback gain* pada sistem kendali otomatis PAH. Komponen ini mendapat input θ dari komputer langsung atau dari sensor ultrasonik yang mengindera sudut *pitch* θ . Outputnya adalah perintah kendali untuk menggerakkan elevator sesuai dengan perkalian antara θ dengan gain K_θ yaitu:

$$\delta_e = \theta K_\theta \quad (10)$$

5. Sensor sudut ultrasonik

Sensor sudut ultrasonik yang telah dibuat ditempelkan secara permanen pada model fisik agar dapat mengindera gerak sudut *pitch* model wahana.

5. PENGUJIAN

Pengujian sensor ultrasonik dilakukan dalam dua tahap yaitu:

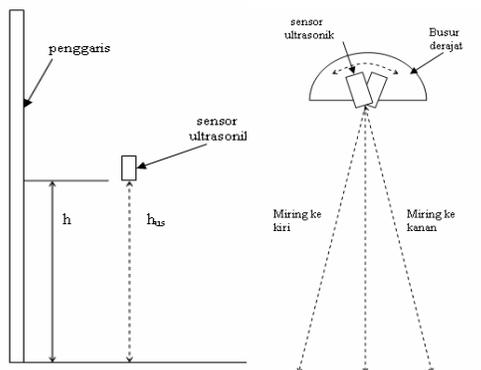
1. Pengujian statik
 - a. Pengujian sensor ultrasonik sebagai pengindera tinggi terbang
 - b. Pengujian sensor ultrasonik sebagai pengindera sudut *pitch*
2. Pengujian dinamik
 - a. Pengujian simulator gerak dengan sistem kendali otomatis PAH
 - b. Pengujian sensor ultrasonik sebagai *feedback* pada sistem kendali otomatis PAH

Pengujian tersebut dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Pengujian statik

- a. Sensor ultrasonik sebagai pengindera tinggi terbang

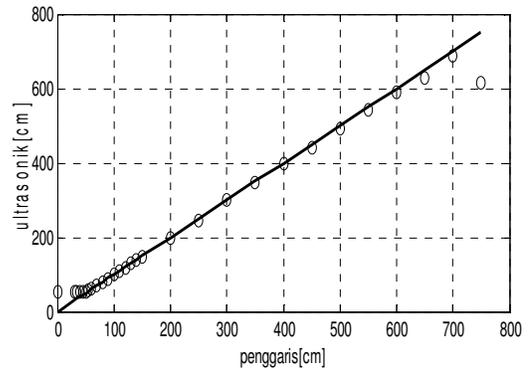
Pengujian dilakukan dengan menempatkan sensor ultrasonik pada beberapa ketinggian dari lantai, kemudian angka yang ditampilkan dicatat. Ilustrasi pengujian ditampilkan pada Gambar 21 dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 22 dan 23.



Gambar 21. Pengujian altimeter ultrasonik [1]

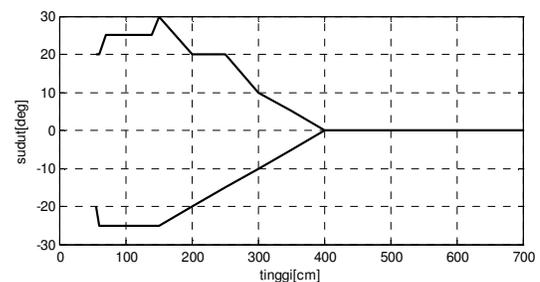
Analisis:

- o Dari Gambar 22 terlihat bahwa sensor jarak ultrasonik dapat mengukur tinggi dengan baik mulai tinggi 60 cm sampai 700 cm dalam keadaan tegak lurus bidang pantul yang datar (lantai).



Gambar 22. Hasil pengujian altimeter ultrasonik secara tegak lurus [1]

- o Gambar 23 menunjukkan terjadinya perbedaan hasil pengukuran pada tinggi yang sama dengan simpangan maksimal yang bervariasi, simpangan di bawah 5 cm terjadi pada tinggi 55 cm sampai 400 cm, sedangkan pada tinggi kurang dari 55 cm atau lebih dari 400 cm simpangan yang terjadi melebihi 5 cm. Kesalahan yang terjadi tidak linier dengan tinggi terbang yang diukur. Persentase kesalahan yang terjadi pada ketinggian rendah sangat besar (sekitar 9%), sedangkan pada ketinggian sekitar 400 cm cukup kecil (sekitar 1,25%) Hal ini mungkin disebabkan adanya *noise* pada penerimaan sinyal sensor ultrasonik selama proses pengukuran.

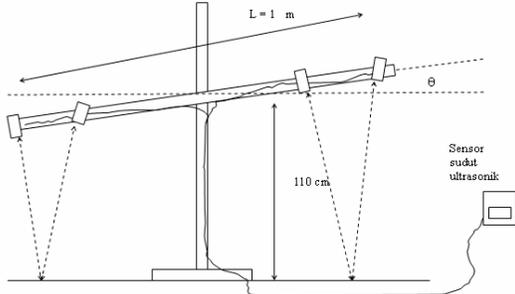


Gambar 23. Pengujian altimeter ultrasonik dengan kemiringan terhadap bidang pantul [1]

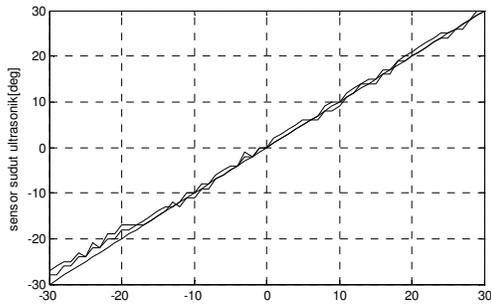
- o Kemiringan maksimal dimana sensor ultrasonik masih dapat digunakan untuk mengukur tinggi terbang dengan benar (kesalahan di bawah 3 cm) berada kemiringan sekitar 25 derajat ke kanan dan 25 derajat ke kiri, pada posisi tinggi 60 cm sampai 150 cm. Pada posisi tinggi lebih dari 150 cm kemiringan maksimal menurun sampai posisi tinggi 400 cm. Pada posisi tinggi lebih dari 400 cm sensor jarak ultrasonik hanya dapat mengukur pada keadaan tegak lurus bidang pantulnya. Hal ini disebabkan pola kekuatan pancaran gelombang ultrasonik cenderung searah dengan arah pancarannya dan melemah pada arah lainnya.

b. Pengujian sensor ultrasonik sebagai pengindera sudut *pitch*

Pengujian sensor ultrasonik sebagai pengindera sudut *pitch* dilakukan pada sebuah batang puji yang dimiringkan. Ilustrasi dan hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 24 dan 25.



Gambar 24. Pengujian sensor ultrasonik sebagai pengindera sudut *pitch* [1]



Gambar 25. Hasil pengujian sensor ultrasonik sebagai pengindera sudut *pitch* [1]

Analisis:

- Sensor sudut ultrasonik secara umum mampu mengikuti kemiringan batang uji, namun masih terdapat kesalahan pengukuran.
- Kesalahan maksimal yang terjadi sekitar 3 derajat. Angka ini cukup besar untuk sebuah alat pengukur sudut, sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut untuk memperbaiki kekurangan ini.

2. Pengujian Dinamik

a. Pengujian simulator gerak dengan sistem kendali otomatis PAH

Pengujian simulator gerak melibatkan komputer sebagai model dari gerakan wahana yang disimulasikan. Model matematika yang digunakan pada simulasi ini adalah sebagai berikut [6]:

Persamaan tingkat keadaan:

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (11)$$

Atau

$$\begin{Bmatrix} \hat{u} \\ \hat{\alpha} \\ \hat{\theta} \\ \hat{q} \\ \Delta \hat{z} \end{Bmatrix} = A \begin{Bmatrix} u \\ \alpha \\ \theta \\ q \\ \Delta z \end{Bmatrix} + B [\hat{\delta}_e] \quad (12)$$

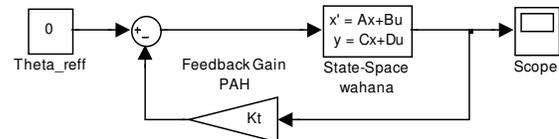
dimana:

$$A = \begin{bmatrix} -0,0326 & -0,0909 & -0,2803 & 0 & 0 \\ -0,5607 & -3,3108 & -0,0495 & 7,9938 & -0,0105 \\ 0 & 0 & 0 & 7,9938 & 0 \\ 0 & -3,4688 & -0,5838 & -14,9674 & -0,0076 \\ 0 & 51,4 & -51,4 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ -0,1815 \\ 0 \\ -3,3386 \\ 0 \end{bmatrix}$$

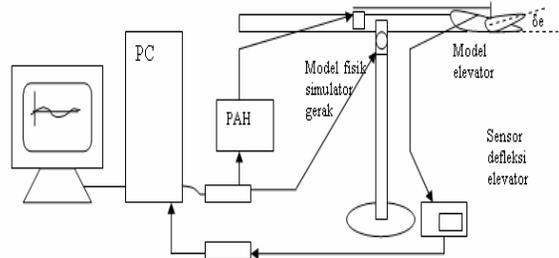
(13)

Model sistem kendali otomatis lingkaran tertutup yang digunakan diberikan pada Gambar 26, dimana $K_t = -3$.



Gambar 26. Blok diagram sistem kendali otomatis PAH [6]

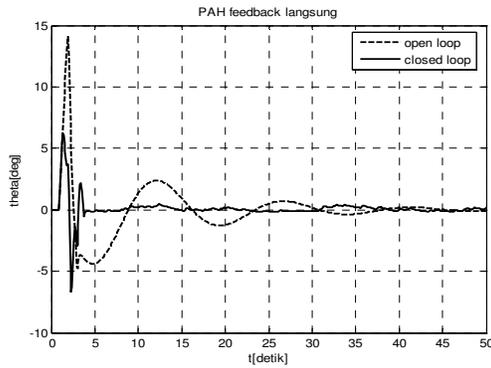
Ilustrasi dan hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 27 dan 28.



Gambar 27. Pengujian dinamika sistem kendali otomatis PAH skala laboratorium [1]

Analisis:

- *Hardware* sistem kendali otomatis PAH yang dibuat mampu meredam simpangan sudut *pitch* yang terjadi pada $t = 4$ detik

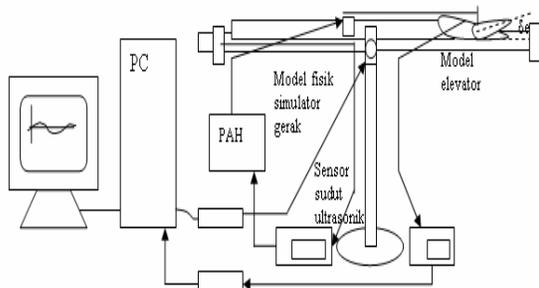


Gambar 28. Hasil pengujian simulator gerak dengan sistem kendali otomatis PAH [1]

- o Pada simulasi *closed loop* untuk $t > 4$ terjadi fluktuasi kecil pada sudut *pitch* yang terus menerus hal ini karena sistem kendali otomatis PAH selalu mengoreksi secara aktif setiap saat.

b. Pengujian sensor ultrasonik sebagai *feedback* pada sistem kendali otomatis PAH

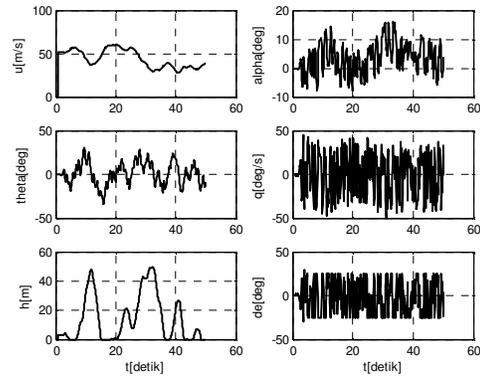
Pengujian ini sama dengan pengujian 2a di atas, dengan penambahan *feedback* yang digunakan bukan berupa data sudut *pitch* dari komputer melainkan data sudut *pitch* dari sensor sudut ultrasonik yang dipasang pada model fisik simulator gerak. Ilustrasi dan hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 29 dan 30.



Gambar 29. Pengujian sensor ultrasonik sebagai *feedback* pada sistem kendali otomatis PAH [1]

Analisis:

- o Sudut *pitch* masih berada di sekitar nol derajat. Meskipun demikian, fluktuasi yang terjadi masih sangat besar (sekitar 20 derajat), sehingga dapat dikatakan bahwa sensor sudut ultrasonik sebagai *feedback* pada sistem kendali otomatis PAH belum mampu meredam simpangan sudut *pitch* dengan baik. Hal ini bisa terjadi akibat kekurangakuratan sensor ultrasonik dalam mengindra sudut sikap wahana pada simulator gerak. Kesalahan ini mungkin juga diakibatkan oleh akumulasi distorsi-distorsi yang terjadi pada masing-masing unit *hardware* yang belum sempurna.



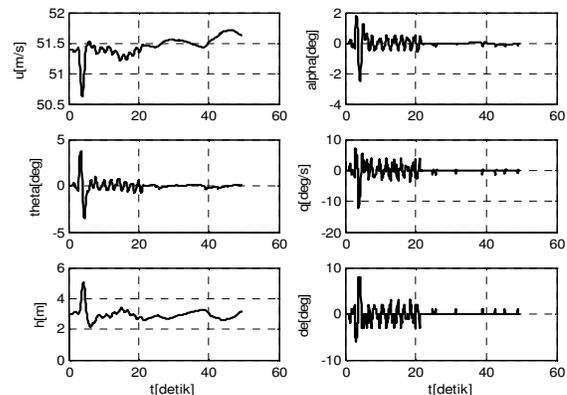
Gambar 30. Hasil pengujian sensor ultrasonik sebagai *feedback* pada sistem kendali otomatis PAH [1]

- o Terlihat juga fenomena seperti *bang-bang controller* karena defleksi bidang kendali elevator terlihat berubah dari sudut maksimal (25 derajat) ke sudut minimal (-25 derajat) secara berulang ulang. Hal ini bisa diakibatkan oleh gain yang terlalu besar, sehingga perlu dilakukan percobaan tambahan dengan *gain feedback* yang lebih kecil.

Pada riset ini telah dicoba penggunaan gain 1/4 kali dari gain semula, yaitu dengan mengalikan input defleksi elevator yang diterima *software* simulator gerak pada PC dengan angka 1/4. Selain itu, batas maksimal defleksi bidang kendali elevator dikurangi menjadi -10 derajat sampai +10 derajat. Hasilnya ditampilkan dalam Gambar 31.

Analisis:

- o Pada percobaan tambahan ini terlihat bahwa sensor ultrasonik dengan *feedback gain* $K_t = 0,75$ mampu meredam simpangan sudut *pitch* yaitu 4 derajat di awal gangguan dan 1 derajat setelah gangguan awal.
- o Pada simulasi ini terlihat juga sensor ultrasonik mampu mempertahankan tinggi terbang di sekitar harga referensi ($h_{ref}=3m$), namun dengan simpangan yang masih cukup besar yaitu 2 m di awal gangguan dan di bawah 1 m setelah gangguan awal.



Gambar 31. Hasil pengujian sensor sudut ultrasonik sebagai *feedback* pada sistem kendali otomatis PAH dengan $K_t = -0,75$ [1]

6. KESIMPULAN

1. Sensor tinggi terbang berbasis ultrasonik telah dapat dibuat dengan hasil penginderaan sebagai berikut:
 - a) Kemampuan mengukur jarak minimal 55 cm, maksimal sekitar 700 cm tegak lurus bidang pantul. Kurang dari 55 cm atau lebih dari 700 cm altimeter ultrasonik tidak mampu mengindera dengan cukup akurat.
 - b) Satuan terkecil 1 cm merupakan batasan tampilan yang dibuat.
 - c) Kesalahan rata-rata pada rentang 55 sampai 400 cm adalah 3 cm. Untuk rentang jarak 500 sampai 700 cm rata-rata kesalahan adalah 16 cm atau sekitar 3%.
 - d) Sensor ultrasonik hanya dapat mengukur pada bidang pantul dengan kemiringan maksimal 20 derajat pada rentang 60 sampai 200 cm. Kemiringan maksimal ini berkurang sampai 0 derajat pada tinggi 400 cm.
2. Sensor sudut sikap berbasis ultrasonik telah dapat dibuat dengan hasil penginderaan sudut dalam keadaan statis sebagai berikut:
 - a) Kemampuan mengindera pada rentang -30 sampai 30 derajat.
 - b) Dalam kasus ini dengan $L = 1$ m, dan input data tinggi dari altimeter ultrasonik memiliki satuan terkecil 1 cm menyebabkan satuan display sudut terkecil 1 derajat.
 - c) Kesalahan rata-rata sebesar 1,17 derajat. Kesalahan ini tidak linier terhadap besar sudut dan terjadi merata pada setiap sudut.
 - d) Kesalahan maksimal 3 derajat belum dapat dikatakan baik karena *noise* pengukuran cukup besar akibat keterbatasan komponen transducer ultrasonik dalam mengindera sinyal pada bidang pantul yang miring.
3. Pengujian sensor sudut ultrasonik sebagai *feedback* pada simulator gerak sistem kendali otomatis PAH telah dilakukan dengan hasil sebagai berikut:

- a) PC yang dipakai dapat menjalankan simulasi dan mengolah data input menjadi output dalam 0,1 detik.
- b) Simulator gerak dapat memperagakan gerak *pitch* antara -35 derajat sampai +35 derajat dengan akurasi 1 derajat.
- c) Selama simulasi, sudut *pitch* berada di sekitar nol dengan simpangan di bawah 25 derajat. Hal ini menunjukkan bahwa sensor sudut ultrasonik belum mampu menjadi *feedback* yang baik bagi sistem kendali otomatis PAH karena kesalahan sebesar 25 derajat akan dapat mengakibatkan lintas terbang wahana menyimpang cukup jauh.
- d) Pada percobaan tambahan dengan nilai K_f 1/4 harga K_f sebelumnya dan batas maksimal defleksi elevator dikurangi menjadi -10 derajat sampai 10 derajat, terlihat bahwa sensor sudut *pitch* ultrasonik mampu meredam gangguan dengan simpangan sudut *pitch* 5 derajat di awal gangguan dan 1 derajat setelah gangguan awal. Terlihat juga simpangan tinggi terbang sebesar 2 m di awal gangguan dan kurang dari 1 m setelah gangguan awal.

DAFTAR PUSTAKA

1. U.M. Zaeny, *Pembuatan dan Pengujian Sensor Ultrasonik sebagai Feedback pada Sistem Kendali Otomatik Pitch Attitude Hold*, Thesis, Teknik Penerbangan ITB, 2006.
2. M.N. Syaefullah, *Perancangan dan Implementasi Proximity Meter Berbasis Mikrokontroler At89c2051*, Tugas Akhir, Fisika, FMIPA ITB, 2003.
3. <http://www.interq.or.jp/japan/se-inoue/esrm.htm>, *Circuit explanation of Ultrasonic Range Meter Unit*, 18 Maret 2003.
4. A.E. Putro, Belajar *Mikrokontroler AT89C51/52/55 Teori dan Aplikasi*, Gava Media Yogyakarta, 2000.
5. E. Kreyzig, *Advanced Engineering Mathematics, 8th Edition*, John Wiley & Son Inc, 1999.
6. S.D. Jenie, *Catatan Kuliah Teknik Kendali Terbang 2*, Teknik Penerbangan, ITB, 1991.