

PENGEMBANGAN SISTEM AKTUATOR KENDALI SIRIP PADA WAHANA TERBANG KENDALI DAN PENGUJIANNYA

Abdul Halim, Ramlan Kusumayadi, Ario Sunar Baskoro

Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

Kampus Baru UI, Depok 16424 Indonesia

Phone/Fax : (021) 727 0078 / 727 0077

Email: ramlan.kusumayadi@ui.ac.id

alan_ramlan@ymail.com

Abstrak

Sistem aktuator kendali sirip merupakan komponen vital yang menggerakkan sirip wahana terbang sehingga dapat diarahkan menuju sasaran yang ditetapkan. Sistem aktuator kendali sirip mendapatkan sinyal perintah berupa sudut defleksi sirip dari autopilot, dan sinyal perintah ini dieksekusi oleh aktuator secara cepat, tepat dan kualitas gerak sirip yang baik. Sistem aktuator terdiri dari sirip sebagai objek kendali, aktuator dan sistem pengendali. Penelitian ini difokuskan pada pengembangan sistem aktuator dan pengujian kinerjanya khususnya untuk melihat kinerja sistem kendali yang dipakai. Penelitian bertujuan mendapatkan prototipe sistem aktuator yang memiliki kinerja yang baik dalam batasan-batasan yang ada untuk dipergunakan pada wahana terbang wahana terbang kendali. Batasan-batasan yang dimaksud adalah dimensi ruang penempatan aktuator dan suhu lingkungan yang panas. Aktuator yang dipergunakan adalah tipe elektromekanik. Sistem aktuator ini terdiri dari sirip sebagai objek kendali, spur gear, motor servo, rangkaian penggerak motor, mikrokontroler dan algoritma pengendali. Pada penelitian ini struktur mekaniknya difabrikasi berdasarkan desain yang dibuat. Dari struktur mekanik yang ada dan perhitungan beban pada sirip, ditentukan motor servo yang dipergunakan. Maksimum torsi beban pada motorservo adalah 25 kg-cm. Motor servo ini digerakkan oleh rangkaian penggerak yang dihubungkan dengan mikrokontroler Atmega 16. Metode kendali yang dipergunakan dalam sistem ini adalah PID dimana sinyal defleksi sudut sirip dipergunakan sebagai sinyal umpan balik. Untuk memastikan kinerja sistem aktuator ini, pengujian telah dilakukan. Pengujian dilakukan tanpa beban. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa $Rise-time = 7$ ms, $Peak-overshoot = 0$ %, $Settling time = 10$ ms, dan $zero steady-state error$. Hasil ini sudah memenuhi kriteria spesifikasi yang ditentukan, bahkan kinerja yang didapat lebih baik dari rancangan lain yang telah dipublikasikan.

Kata kunci: sistem aktuator kendali sirip, wahana terbang kendali, kontrol PID

1. Pendahuluan

Pengembangan teknologi wahana terbang di Indonesia memiliki sejarah yang cukup panjang. Namun demikian, jenis wahana terbang yang berhasil dikembangkan baru bertipe wahana terbang bebas (balistik), belum pada tahap penguasaan teknologi wahana terbang kendali. Penguasaan teknologi wahana terbang kendali mempunyai nilai strategis untuk kepentingan sistem pertahanan negara yang mandiri dan handal.

Wahana terbang kendali dilengkapi dengan sistem pengatur arah gerak berupa sirip (fin) yang dikendalikan oleh sistem autopilot. Melalui sistem autopilot, sinyal perintah diberikan ke tiap sirip melalui Sistem Aktuator Kendali Sirip (*Fin Control Actuation System/FCAS*). FCAS terdiri dari sirip sebagai objek kendali, aktuator

dan kendali motor. Sistem aktuator kendali sirip ini sudah dipasarkan [1],[2].

Pada perkembangan awal aplikasi FCAS, aktuator yang dipakai adalah tipe hidro-elektrik (*electrohydraulic*). Tetapi pada saat ini tipe mekanik-elektrik (*electromechanic*) sudah banyak dipakai sebagai aktuator sirip [3]. Kelebihan tipe mekanik-elektrik antara lain adalah mudah pemasangan, mudah perawatan, bobot yang lebih ringan. Kekurangannya antara lain teknologi yang belum mature, rangkaian elektronik yang lebih kompleks dan munculnya EMI (*Electro Magnetics Interference*). Kekurangan ini menjadi tantangan tersendiri untuk mendapatkan FCAS tipe mekanik-elektrik yang handal.

Penelitian ini mengambil tema rancang bangun Sistem Aktuator Kendali Sirip (FCAS)

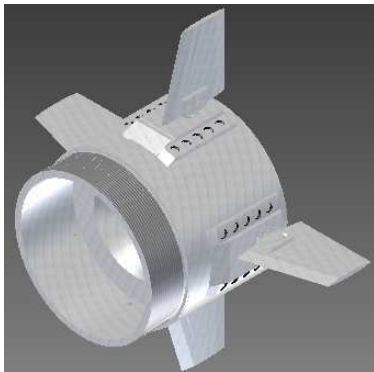
untuk diaplikasikan pada wahana terbang kendali. Sistem yang dirancang dan dibangun terdiri dari aktuator dan kendali motor yang terhubung dengan sirip wahana terbang kendali. Tipe aktuator yang dikembangkan adalah jenis mekanika-elektrik. Aktuator terdiri dari motor DC, spur-gear, encoder dan rangkaian penggerak motor. Pengendali motor menggunakan mikrokontroler yang didalamnya ditanamkan pengendali PID.

Dalam penelitian ini telah dibuat rancangan prototipe sistem aktuator. Sistem aktuator telah diujicobakan dalam kondisi tanpa beban. Dari hasil ujicoba, respon sistem sudah memenuhi kebutuhan. Keluaran penelitian ini adalah suatu prototipe FCAS yang dapat diaplikasikan pada wahana terbang kendali.

2. Rancangan Sistem Aktuator

2.1. Umum

Wahana terbang kendali menggunakan empat buah sistem aktuator kendali sirip seperti yang diilustrasikan pada Gambar 1. Masing-masing sistem mendapatkan sinyal perintah berupa sudut dari autopilot. Sistem aktuator kendali sirip terdiri dari sirip sebagai objek kendali, spur-gear, motor servo, rotary encoder, rangkaian penggerak motor dan mikrokontroler.

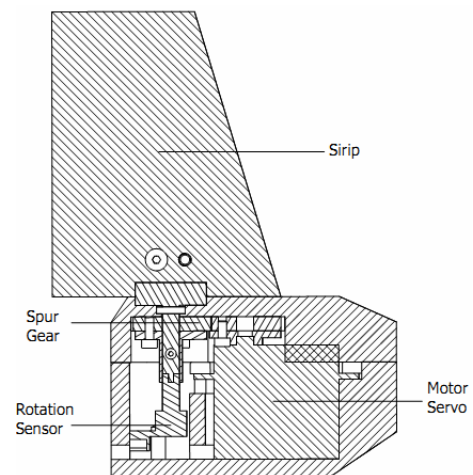


Gambar 1. Sirip Pada Wahana Terbang Kendali

Pada bagian tulisan berikutnya akan dijelaskan lebih rinci komponen-komponen sistem dan spesifikasi rancangan sistem yang diinginkan. Penjelasan dibagi menjadi rancangan struktur mekanik, rancangan rangkaian elektronik, rancangan pengendali dan spesifikasi sistem. Pengendali yang dipergunakan adalah PID karena dari beberapa publikasi yang ada [4],[5],[6] pengendali ini menunjukkan kinerja yang memuaskan.

2.2. Rancangan Struktur Mekanik

Struktur mekanik aktuator kendali sirip ini terdiri dari sirip sebagai objek yang dikendalikan, motor servo, spur gear, sensor rotasi dan komponen pendukung lainnya. Struktur mekanik aktuator diilustrasikan pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Rancangan Mekanik Aktuator Sirip

Aktuator dibungkus dengan lapisan logam untuk menahan semburan panas dari nozel wahana terbang. Dimensi sirip dan packaging-nya sudah ditetapkan di awal sebagai batasan dimensi. Pemilihan motor servo disesuaikan dengan kebutuhan torsi beban maksimum yang didapatkan pada tahap awal perhitungan.

Dalam tulisan ini dimensi dan torsi beban maksimum tidak dijelaskan karena ini diluar dari ruang lingkup penjelasan. Tulisan ini hanya membatasi pada kinerja aktuatornya.

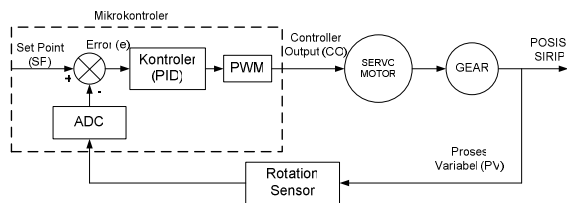
Sirip, spur gear dan modul packaging difabrikasi sendiri. Sedangkan motor servo yang dipergunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut [7] :

- Resistansi terminal = 25Ω ;
- Kecepatan (tanpa beban) = 7630 rpm ;
- Stall Torque = 1,7 mNm ;
- Friction Torque = 0,029 mNm ;
- Back-EMF Constant = 0,77 mV/rpm ;
- Torque Constant = 7,4 mNm/A ;
- Coil Inductance = 0,41 mH ;
- Mechanical time constant = 23 ms ;

- Rotor Inertia = $0,50 \text{ gcm}^2 = 0,5 \times 10^{-6} \text{ kgcm}^2$
- Output Torque = 36 kg-cm

2.3. Rancangan Rangkaian Elektronik

Sistem aktuator terdiri dari sensor rotasi, rangkaian penggerak motor, dan sistem pengolah data berbasis mikrokontroler. Komponen-komponen ini dirangkai untuk membentuk sistem lingkaran tertutup (*closed loop system*) yang nanti mempermudah pada saat desain pengendalinya. Sirip digerakkan oleh servo motor melalui spur gear yang rasio reduksinya sudah ditentukan. Pergerakan sirip dibaca dengan sensor rotasi yang nilainya menjadi sinyal umpan balik untuk dibandingkan dengan setpoint (SP). Hasil perbandingan ini menghasilkan error yang diolah dengan pengendali untuk diberikan sebagai sinyal input kendali. Diagram blok sistem ini ditampilkan pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Blok Diagram Sistem

Seperti diperlihatkan pada gambar 3 di atas, kendali PID dipergunakan karena mudah mengimplementasikan dan kinerjanya cukup memuaskan [4][5][6]. Kendali PID ini ditanamkan pada mikrokontroler yang menghasilkan sinyal PWM untuk menggerakkan motor servo.

Jenis sensor rotasi yang digunakan adalah Linier Potensiometer. Jenis sensor ini diambil karena mudah mendapatkan dan dianggap cukup pada awal rancangan. Yang dapat menjadi masalah pada saat ditempatkan pada wahana terbang sesungguhnya adalah kemampuan/daya tahan terhadap panas.

Spesifikasi Sensor Rotasi :

- Tegangan input : 5 Volt
- Tipe interface : Analog
- Rotasi putaran : 300 derajat

Untuk menggerakkan motor servo melalui sinyal PWM, posisi sirip dalam derajat sudut (-

$150^\circ - +150^\circ$) dikonversi menjadi besaran tegangan analog (0 – 5V) dengan sensor rotasi. Besaran tegangan analog dari sensor rotasi dirubah menjadi bilangan biner (0 – 1024) dengan ADC yang terdapat pada mikrokontroler ATmega16. Konversi nilai sinyal mengacu pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1 Konversi Posisi Sirip Analog Menjadi Digital

Posisi Sirip (derajat sudut)	Rotation sensor (Volt)	ADC (biner)
-150	0	0
-75	1.25	256
0	2.5	512
75	3.75	768
150	5	1024

2.4. Rancangan Pengendali

Realisasi kontrol PID digital dilakukan berbasis mikrokontroler. Karena mikrokontroler bekerja pada basis waktu diskrit, maka kontrol PID yang ditanam di dalamnya pun harus memiliki persamaan matematika diskrit. Eksekusi kontrol PID hanya dilakukan pada rentang waktu *sampling*.

Langkah termudah untuk mendapatkan versi diskrit dari kontrol PID analog adalah dengan cara diskritisasi persamaan PID analognya. Ketelitian PID diskrit yang didapat sangat tergantung pada lebar waktu *sampling* (T_s) yang digunakan. Semakin cepat waktu *sampling*, perilaku PID digital tersebut akan semakin sama dengan PID analog [8].

Persamaan PID analog adalah

$$CO(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_D \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (1)$$

Persamaan ini dapat ditulis sebagai

$$CO(t) = CO_p(t) + CO_I(t) + CO_D(t) \quad (2)$$

dimana

$$CO_p(t) = K_p e(t) \quad (3)$$

$$CO_I(t) = \frac{K_p}{T_I} \int_0^t e(\tau) d\tau \quad (4)$$

$$CO_D(t) = K_p T_D \frac{de(t)}{dt} \quad (5)$$

Persamaan pengendali PID diskrit terdiri dari

- kendali integral diskrit :

$$CO_I(k) = CO_I(k-1) + \frac{K_p T_S}{T_I} e(k) \quad (6)$$

dimana

$$CO_I(k-1) = \frac{K_p T_S}{T_I} \sum_{i=0}^{k-1} e(i) \quad (7)$$

- kendali diferensial diskrit

$$CO_D(k) = K_p T_D \frac{e(k) - e(k-1)}{T_S} \quad (8)$$

- Kendali proporsional diskrit

$$CO_p(k) = K_p e(k) \quad (9)$$

K_p , T_I , T_D adalah konstanta/ parameter pengendali PID yang harus ditentukan dalam rancangan. Dalam penelitian ini, penentuan parameter dilakukan menggunakan metode chien servo.

2.5. Spesifikasi Rancangan

Berdasarkan studi literatur dan kebutuhan rancangan maka spesifikasi kinerja sistem aktuator ini adalah sebagai berikut :

- 1) Rise time < 1sec
- 2) Peak-overshoot < 5%
- 3) Settling time < 2sec
- 4) Steady-state error < 5%

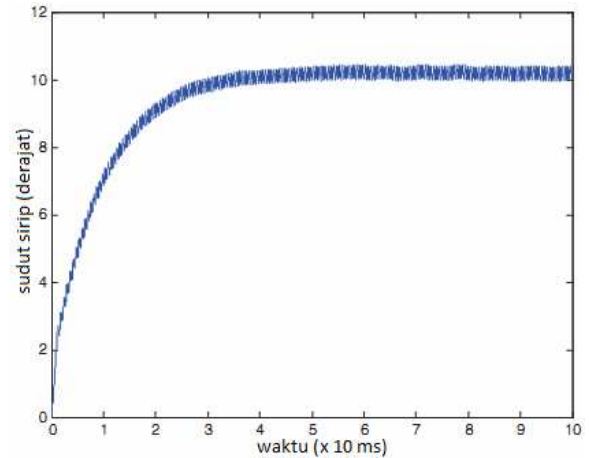
Spesifikasi ini dipergunakan pada [6].

3. Pengujian Dan Analisa Hasil

Untuk melakukan pengujian, pertama-tama harus ditentukan parameter-parameter pengendali PID. Parameter didapatkan dengan metode chien servo. Parameter-parameternya adalah : $K_p = 45$; $K_I = 6000$; $K_D = 0,023$; $T_I = 0,0075$; $T_D = 0,0005$ TD = 0,0005.

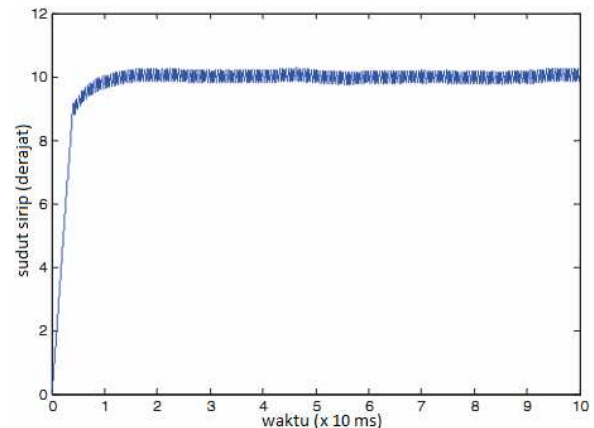
Parameter-parameter di atas didapat dari respon lingkaran terbuka menggunakan input step.

Respon lingkaran terbuka yang dipergunakan ditampilkan pada Gambar 4 berikut ini.



Gambar 4. Respon Step Lingkaran Terbuka

Ujicoba terhadap aktuator kendali sirip ini dilakukan dengan memberikan setting point yang berubah dari 0^0 menjadi 10^0 . Respon sistem lingkaran tertutup yang didapatkan ditampilkan pada Gambar 5 berikut ini.



Gambar 5. Step Respon Close Loop PID sistem

Dari gambar di atas didapatkan bahwa Rise-time = 7 ms, Peak-overshoot = 0 %, Settling time = 10 ms, dan zero steady-state error. Hasil yang didapatkan ini memenuhi spesifikasi kinerja sistem yang ditentukan. Apabila dibandingkan dengan hasil pada [6], rancangan sistem aktuator kendali sirip yang dikembangkan ini memiliki kinerja yang lebih baik.

Pada penelitian ini, ujicoba baru dilakukan terhadap aktuator yang tanpa beban. Agar performa sistem aktuator benar-benar memenuhi spesifikasi yang ditentukan maka pengujian dengan beban harus dilakukan. Ini merupakan tema lanjutan dari penelitian ini.

4. Kesimpulan

Sistem aktuator kendali sirip tipe elektro-mekanik telah dikembangkan. Sistem terdiri dari komponen sirip sebagai objek kendali, spur gear, sensor rotasi, rangkaian penggerak motor, motor servo dan mikrokontroler. Sistem aktuator dibungkus dengan bahan logam yang tahan terhadap suhu panas yang ada di sekitar akibat semburan panas yang keluar dari nozel wahana terbang tersebut.

Sistem aktuator menerapkan teknik kendali PID yang parameter-parameternya ditentukan dengan metode chien-servo. Ujicoba dilakukan dengan tanpa beban. Respon yang didapat memenuhi kriteria yang ditentukan (Rise-time, peak overshoot, settling-time dan steady state error). Bahkan hasil respon sistem aktuator yang didapat lebih baik dibandingkan dengan rancangan lain yang telah dipublikasikan.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kementerian Riset Dan Teknologi melalui program riset insentif yang telah membantu sehingga penelitian ini dapat dilakukan.

Daftar Pustaka

- [1] <http://www.moog.com/products/actuation-systems/defense/tactical-missiles/> diakses tanggal 14 Mei 2012.
- [2] <http://www.muirheadaerospace.com/motion-technology/actuators.html#FourFin> diakses tanggal 15 Mei 2012.
- [3] Stephen L. Botten, Chris R. Whitley, Andrew D. King, "Flight Control Actuation Technology for Next-Generation All-Electric Aircraft", Technology Review Journal — Millennium Issue-Fall/Winter 2000, pp.55-67.
- [4] Kadiyala, V.K.,Jatho, R.K.,Pothalaiah, S, "Design and implementation of Fractional Order PID controller for aerofin control system", World Congress on Nature & Biologically Inspired Computing, 2009,pp.696 – 701.
- [5] Milan R. Ristanović, Dragan V. Lazić, Ivica Inđin," Nonlinear PID Controller Modification Of The Electromechanical Actuator System For Aerofin Control With A PWM Controlled DC Motor", FACTA UNIVERSITATIS Series: Automatic Control and Robotics Vol. 7, No 1, 2008, pp. 131 – 139.
- [6] Kadiyala, V.K.,Jatho, R.K., Pothalaiah, S,"Evolutionary soft computing tools based tuning of PID controller for EMA-AFC", IEEE Region 10 Conference TENCON 2009, pp.1 – 6.
- [7] Namiki DC Coreless Motor Series, diakses tanggal 15 Mei 2012, dari <http://www.namiki.net/product/dcmotor/coreless.html>
- [8] Setiawan, Iwan., "Kontrol PID untuk proses Industri", (2008) PT Elex Media Komputindo, Jakarta.