

PENGEMBANGAN *FIN CONTROL ACTUATOR SYSTEM* (FCAS) PADA ROKET KENDALI RXX-200

Ario Sunar Baskoro⁽¹⁾, Anton Royanto Ahmad⁽¹⁾, Abdul Halim⁽²⁾

⁽¹⁾ Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Indonesia
Depok 16424, Indonesia,
Phone: 62-21-727-0032,
e-mail: ario@eng.ui.ac.id

⁽²⁾ Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Indonesia
Depok 16424, Indonesia,
Phone: 62-21-727-0078,
e-mail: ahalim@ee.ui.ac.id

Abstrak

Fin Control Actuator System (FCAS) pada sebuah roket kendali merupakan hal yang penting karena pada modul ini roket dapat terbang sesuai arah yang diinginkan dan dapat menyesuaikan diri dari keadaan sekitarnya. Pada penelitian ini, desain mekanik-elektrik pada *fin control actuator system* merupakan desain yang digunakan pada roket kendali RXX-200. Pada desain sebelumnya yang telah dilakukan masih belum mampu untuk mengendalikan roket dengan baik karena kondisi perakitan mekanik memiliki *backlash* yang besar. Pemilihan motor, enkoder, sistem transmisi perlu dikaji ulang. Penelitian ini mencari kebutuhan torsi yang dilakukan dengan perhitungan numerik serta empiris, kemudian pemilihan motor serta sistem transmisi yang menggunakan roda gigi. Perancangan mekanikal dilakukan hanya dua kali untuk mendapatkan desain sesuai kebutuhan. Pembuatan *prototype* pada salah satu desain akan membantu dalam menguji performa pergerakan sirip. Hasil dari pengujian ini memperlihatkan kecepatan respon kendali sangat cepat.

Kata Kunci: FCAS, roket kendali, perancangan mekanikal

1. Pendahuluan

Sistem Aktuator Kendali Sirip/ *Fin Control Actuator System* (FCAS) terdiri dari sirip (*fin*) sebagai objek kendali, aktuator dan sistem kendali. Sistem aktuator *hybrid*, gabungan dari hidrolik dan elektrik, terkenal karena gaya yang dihasilkan cukup besar dan memiliki kecepatan respon yang baik, teknologi yang bersih dan memiliki efisiensi energi yang baik untuk menghasilkan gaya yang besar (1). Pada saat ini tipe mekanik-elektrik (*electromechanic*) sudah banyak dipakai sebagai aktuator sirip roket. Beberapa kelebihan dari tipe mekanik-elektrik dibandingkan tipe hidrolik-elektrik antara lain adalah mudah pemasangan, mudah perawatan, biaya operasional yang murah, dan bobot yang lebih ringan. Disamping kelebihan ini, tipe mekanik-elektrik memiliki kekurangan, antara lain rangkaian elektronik yang lebih kompleks dan munculnya EMI (*Electro Magnetic Interference*). Dengan segala kekurangan yang masih ada menjadi tantangan tersendiri untuk

mendapatkan FCAS tipe mekanik-elektrik yang handal.

Diantara sistem kendali yang populer untuk digunakan untuk mencapai target adalah *proportional navigasi* karena pertimbangan efisiensi terutama untuk target yang memiliki kecepatan konstan dan digunakan untuk aplikasi roket (2). Keunggulan lainnya adalah mampu menghasilkan *error* estimasi yang kecil (3). Kehandalan yang tidak hanya didukung oleh teknologi aktuator tetapi juga didukung oleh teknologi pengendaliannya. Hal inilah yang diangkat menjadi tema penelitian ini.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan modul FCAS yang lebih baik, yaitu dengan cara mendesain dua alternatif modul FCAS. Setiap modul akan dilakukan perancangan sistem transmisi gaya, perancangan poros, pemilihan motor *servo* dan enkoder, serta perancangan *casing* modul. Salah satu dari rancangan tersebut akan dibuatkan *prototype* kemudian akan dilakukan pengujian pergerakan sirip.

Dalam perancangan modul tersebut terdapat beberapa batasan yang perlu diperhatikan, yaitu

dimensi serta bentuk dari sirip (*fin*), dimensi ruangan yang tersedia untuk menampung modul, keadaan kerja roket. Batasan-batasan tersebut merupakan rancangan dari pihak Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) dan tidak dirancang ulang dalam penelitian ini. Hal ini menjadi dasar pertimbangan dalam merancang komponen-komponen lain dalam modul FCAS.

Dalam pembuatan *prototype* tersebut terdapat beberapa hal yang menjadi batasan yang perlu dijadikan dasar, yaitu kemampuan untuk diproduksi dalam negeri, ketersediaan komponen di pasaran, dan waktu pembuatan. Dalam melakukan pengujian pergerakan terdapat batasan yang perlu diperhatikan, yaitu kondisi tanpa adanya gangguan.

2. Roket Kendali RXX-200

Roket kendali buatan Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) berseri RXX-200 merupakan roket kendali model SSM, *Surface to Surface Missile*. RXX-200 merupakan roket berjenis subsonic karena memiliki kecepatan di bawah 1 Mach. RXX-200 memiliki *booster* serta *sustainer* sebagai tenaga pendorong. RXX-200 memiliki penggerak pada ekor (*tail*) roket.

Dalam pengembangan Roket Kendali RXX-200, pihak LAPAN telah membuat pengujian terbang selama dua kali. Pertama dilakukan mengalami *failure*, yaitu tidak tepat sasaran sehingga harus terpaksa mendarat di lokasi yang tidak direncanakan. Dalam pengujian ini pihak LAPAN tidak dapat mengetahui sumber *failure* tersebut karena kondisi *prototype* roket hancur. Kemudian dalam uji terbang kedua, roket mengalami *failure* juga. Akan tetapi, sumber *failure* tersebut tidak dapat diketahui karena *prototype* tersebut tenggelam di laut.

Dalam hal ini timbul sebuah asumsi sumber *failure* salah satunya adalah karena desain modul FCAS yang dibuat oleh pihak LAPAN kurang begitu baik. Bila diuji secara sederhana, *fin* akan mudah bergerak jika diberi gangguan secara manual akan mengakibatkan akurasi modul tersebut menjadi kurang baik. Derajat perpindahan yang begitu besar mengakibatkan *fin* sulit untuk dikendalikan. Kemudian perlindungan pada motor *servo* yang tidak baik dikhawatirkan dapat mengakibatkan kerusakan pada motor *servo*. Suhu dalam ruangan tersebut di atas 500°C.

3. Drag

Setiap benda yang bergerak melalui sebuah fluida maka dapat dipastikan bahwa benda tersebut akan mengalami gaya yang disebut *drag*. *Drag* merupakan gaya yang terjadi akibat pergeseran fluida dengan permukaan dan akibat dari tekanan yang terjadi pada permukaan benda tersebut.

Dalam perhitungan drag dibutuhkan *coefficient drag*, kecepatan, ke dan luas permukaan.

$$D = \frac{1}{2} \rho V^2 S C_D \quad (1)$$

Tidak hanya *drag* yang dialami oleh benda yang bergerak dalam fluida, akan tetapi benda tersebut akan mengalami gaya angkat atau yang disebut dengan *lift*.

4. Perancangan mekanikal FCAS

Dengan mengetahui kebutuhan torsi untuk menggerakkan sirip pada kondisi roket sedang terbang pada kecepatan 0,9 Mach akan berguna untuk menentukan jenis motor yang akan dipakai serta sistem transmisinya. Kondisi terbang roket kendali RXX-200 seperti dalam Tabel 1.

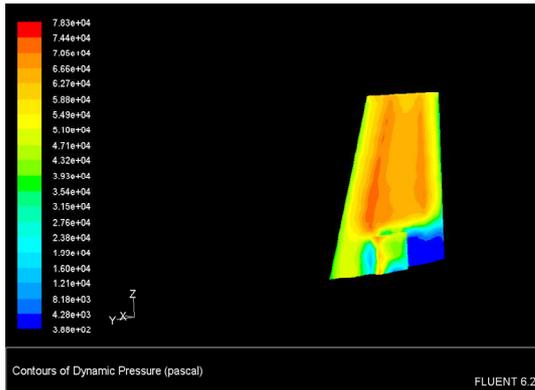
Tabel 1 Kondisi Terbang Roket Kendali RXX-200

Kecepatan dengan menggunakan booster	0,7 Mach
Kecepatan dengan menggunakan sustainer	0,9 Mach
Ketinggian terbang (<i>Altitude</i>)	Maks. 2 km dari atas permukaan air laut
Sudut Elevasi	60°

Dalam kajian *engineering* dilakukan dua metode perhitungan yaitu dengan numerik dan empiris. Dua metode ini digunakan untuk bisa membandingkan hasil perhitungan tersebut.

4.1. Perhitungan Numerik

Dengan menggunakan *software* FLUENT, salah satu *software Computational Fluid Dynamic* (CFD), dapat diketahui besar dari tekanan dinamis pada sirip (Gambar 1). Tekanan dinamis pada sirip (*tail*) berkisar pada 387,947 Pa sampai 78262,18 Pa.



Gambar 1 Persebaran tekanan dinamis pada sirip (*tail*)

Dengan mengetahui penyebaran tekanan pada sirip ini maka dengan menggunakan *software* Autodesk Inventor akan didapatkan kebutuhan torsi pada *shaft* yang berdiameter 25 mm, yaitu sebesar 0,236102 Nm.

4.2. Perhitungan Empiris

Apabila menggunakan perhitungan empiris dengan menggunakan rumus (1), akan didapatkan besar *Drag* = 16,87 N

Bila dibuat menjadi kebutuhan torsi untuk *shaft* berdiameter 25 mm maka didapatkan nilai torsi sebesar 0,210856466 Nm.

$$\tau = F \times r \quad (2)$$

$$\tau = 0,210856466 \text{ Nm}$$

Menurut perhitungan numerik dan empiris torsi yang dibutuhkan sekitar 0,21-0,236 Nm. Maka yang akan dipakai untuk menjadi patokan perhitungan adalah hasil dari perhitungan numerik karena perhitungan hasil numerik lebih besar.

4.3. Desain Pertama

Dalam penelitian kali ini desain mekanik FCAS banyak sekali mengalami perkembangan dan memiliki banyak alternatifnya.

4.3.1. Perancangan Gear

Pemilihan sistem transmisi untuk desain pertama adalah *Anti-Backlash miter/bevel gear* LHX-E2-30 dengan ratio 1:1. Dipilihnya *anti-backlash* adalah untuk meningkatkan akurasi kontrol dan menghindari adanya pergeseran derajat yang terjadi pada *fin*. Jenis *bevel* dipilih dikarenakan untuk mengoptimalkan ruang yang tersedia.

Bila gear ini disimulasikan untuk mendapatkan *stress analysis* dalam

software Autodesk Inventor maka akan didapatkan hasilnya seperti pada Tabel 2.

Tabel 2 Result Summary Stress Analysis Bevel Gear Pada Modul FCAS Desain II

Name	Minimum	Maximum
Volume	223555 mm ³	
Mass	0,0139251 kg	
Von Mises Stress	0,00296552 MPa	94,9548 MPa
1st Principal Stress	-22,6311 MPa	113,297 MPa
3rd Principal Stress	-102,707 MPa	27,7554 MPa
Displacement	0,000868301 mm	0,00319126 mm
Safety Factor	2,40114 ul	15 ul

4.3.2. Perancangan Shaft

Poros pada desain pertama berbentuk seperti Gambar 2 2. Untuk kepala poros berbentuk sama seperti desain yang dibuat oleh LAPAN, sedangkan untuk bagian lainnya dilakukan perancangan ulang. Panjang serta diameter poros tersebut disesuaikan oleh ketersediaan ruang serta diameter gear yang telah dipilih sebelumnya. Material yang digunakan adalah Aluminium biasa karena bentuknya ringan dan kekuatannya cukup untuk menerima beban yang terjadi.



Gambar 2 Shaft Modul FCAS Desain I

Simulasi *analysis stress* pada poros tersebut dilakukan untuk melihat apakah desain poros ini *compliance* atau tidak. Simulasi tersebut menggunakan *software* Autodesk Inventor. Hasil bisa dilihat dalam

Tabel 3 Result Summary Stress Analysis Shaft pada Modul FCAS Desain I

Name	Minimum	Maximum
Volume	237906 mm ³	
Mass	0,0222729 kg	
Von Mises Stress	0,00000000245864 MPa	5,80287 MPa
1st Principal Stress	-0,0427631 MPa	3,81541 MPa
3rd Principal Stress	-3,5743 MPa	0,0355324 MPa
Displacement	0 mm	0,000952385 mm
Safety Factor	15 ul	15 ul

4.4. Desain Kedua

Desain kedua ini dibuat untuk memberikan alternatif desain. Melihat desain yang pertama membutuhkan waktu pemesanan motor yang cukup lama. Maka desain kedua ini dirancang dengan menggunakan motor *servo* yang sudah ada dan mudah untuk didapatkan.

4.4.1. Perancangan Gear

Pada desain II sistem transmisi yang dipakai adalah *spur gear*. *Spur gear* memiliki keistimewaan dapat mentransmisikan daya tanpa adanya slip. Dirancang dengan ratio 1:1 dan memiliki jenis material A322-4340 dengan proses *heat treatment* berupa *nitrited*.

Simulasi *analysis stress* pada gear tersebut dilakukan untuk melihat apakah desain ini *compliance* atau tidak. Simulasi tersebut menggunakan *software* Autodesk Inventor. Hasil bisa dilihat dalam Tabel 4.

Tabel 4 Result Summary Stress Analysis Spur Gear Pada Modul FCAS Desain II

Name	Minimum	Maximum
Volume	277243 mm ³	
Mass	0,0833134 kg	
Von Mises Stress	0,00148643 MPa	128,945 MPa
1st Principal Stress	-30,066 MPa	136,806 MPa
3rd Principal Stress	-141,034 MPa	30,6126 MPa
Displacement	0,00104134 mm	0,0088081 3 mm
Safety Factor	1,60533 ul	15 ul

4.4.2. Perancangan Shaft

Poros pada desain kedua ini berbentuk hampir sama seperti Gambar 23. Akan

tetapi, panjang serta diameter poros tersebut disesuaikan kembali oleh ketersediaan ruang serta diameter gear yang telah dirancang sebelumnya. Material yang digunakan adalah Aluminium biasa karena bentuknya ringan dan kekuatannya cukup untuk menerima beban yang terjadi.

Simulasi *analysis stress* pada poros tersebut dilakukan untuk melihat apakah desain poros ini *compliance* atau tidak. Simulasi tersebut menggunakan *software* Autodesk Inventor. Hasil bisa dilihat dalam Tabel 5.

**Gambar 3** Shaft Desain II FCAS**Tabel 5** Result Summary Stress Analysis Shaft pada Modul FCAS Desain II

Name	Minimum	Maximum
Volume	277243 mm ³	
Mass	0,024755 kg	
Von Mises Stress	0,000027069 MPa	19,6332 MPa
1st Principal Stress	-3,07913 MPa	22,0024 MPa
3rd Principal Stress	-19,1213 MPa	4,26805 MPa
Displacement	0 mm	0,0415277 mm
Safety Factor	14,0069 ul	15 ul

5. Kesimpulan

Dua buah alternatif desain modul FCAS untuk roket kendali RKX-200 telah dibuat seperti yang telah dipaparkan. Kedua alternatif desain tersebut *compliance* bila disimulasikan dalam *software* Autodesk Inventor. Dari kedua alternatif tersebut yang menjadi perbedaan adalah pemilihan motor yang mengakibatkan perbedaan sistem transmisi yang digunakan, serta enkodernya. Secara ringkas ditunjukkan seperti pada Tabel 6

Tabel 6 Perbedaan Dua Alternatif Desain Modul FCAS

	Desain Pertama	Desain Kedua
Motor	Motor EC Flat	Motor <i>Servo</i>
Sistem Transmisi	<i>Anti-Backlash Bevel Gear</i>	<i>Spur Gear</i>
Encoder	<i>Rotary Sensor</i>	-

Desain yang dipilih untuk dibuat *prototype* adalah desain alternatif yang kedua karena motor *servo* lebih cepat datangnya dari pada motor EC pada alternatif desain yang pertama. Dengan demikian *prototype* ini diuji dengan sistem kendalinya dengan sedikit modifikasi pada desain ini.

Dalam pengujian *prototype* desain kedua disimpulkan bahwa desain kedua sudah baik dalam hal pengujian gerakan. Kondisi pengujian kendali adalah tanpa adanya gangguan dan tanpa beban. Waktu tercepat yang dicapai untuk stabil mencapai 911 μ s.

Referensi

1. *Displacement controlled linear actuator with differential cylinder a way to save primary energy in mobile machines.* **Rahmfeld, R. dan M. Ivanrysynova.** 2001, In Proc. of the 5th Int. Conf. on Fluid Power Transmission and Control (ICFP).
2. *Progress in Astronautics and Aeronautics.* **Zarchan, P.** 1990, Tactical and Strategic Missile Guidance, vol. 124 of AIAA Tactical Missile.
3. *Advanced Guidance Control System Design for Homing Missiles with Bearings-Only Measurements.* **Hassoun, George E. dan Lim, Cheng-Chew.** Guangzhou : IEEE, 1994.
4. **Sioris, George M.** *Missile Guidance and Control Systems.* New York : Springer, 2004.
5. **Maxon Motor.** Maxon Catalogue. 2010/2011.
6. **Div., Structure and Mechanic.** Desain RKK-200. s.l. : LAPAN, 9 September 2010.
7. **Yagusandri, Ariel.** *Rancang Bangun Prototipe Sistem Aktuator Sirip Roket Menggunakan Motor Servo.* Depok : UI, 2012.
8. **Team, Electro Control.** REALISASI KONTROL PID (PROPORSIONAL INTEGRAL DERIVATIF) KEDALAM BAHASA PEMROGRAMAN BAHASA C. [Online] [Dikutip: 15 September 2011.] <https://electrocontrol.wordpress.com/tag/pid-digital/feed/>.
9. **Ogata, Katsuhiko.** *Modern Control Engineering 'Third Edition'.* New Jersey : Prentice-Hall, Inc, 1997.
10. **Khurmi, R. S. dan Gupta, J. K.** *First Multicolour Edition: A Text Book of Machine Design.* New Delhi : Eurasia Publishing House, 2005.
11. **Munson, Bruce R., Young, Donald F. dan Okiishi, Theodore H.** *Fundamentals of Fluid Mechanics 'Fourth Edition'.* New York : John Wiley & Sons, Inc, 2002.
12. **Nordex.** ANTI-BACKLASH MITER GEARS 48 TO 72. s.l. : Nordex.