

RANCANG BANGUN *PLATFORM GYMBAL* UNTUK *PAYLOAD UAV* (DEVELOPMENT OF PLATFORM GYMBAL FOR UAV PAYLOAD)

Gunawan S. Prabowo

Peneliti Bidang Teknologi Avionik, Pustekbang, LAPAN
e-mail: gunawan_prab@yahoo.com,

ABSTRACT

Have been developing a platform gymbal sistem, this work beginning from conceptual desain, preliminary design, trade off component, and continued with critically design, analysis and integration in the laboratory. Also integration with kamera sistem for surveillance mission. This platform have designed to maintenance in Z direction axes. IMU is used for provide reference of airframe and servo as a actuator. In the parsial test, the error in each axes is about $0,6^{\circ}$.

Keywords: *Gymbal, IMU, Servo, Surveillance*

ABSTRAK

Dalam penelitian ini, telah dilakukan rancang bangun *platform gymbal*, dari penyusunan konsep dan desain awal, sampai *trade off* komponen pendukung sistem *gymbal*. Kemudian dilanjutkan dengan melakukan desain rinci, analisis desain dan kontrol, integrasi skala lab dan menguji dilapangan secara awal sampai terwujud sistem *gymbal* yang dapat dimuati kamera untuk misi *surveillance*. Platform ini mempunyai kemampuan secara otomatis selalu mengarah pada sumbu Z dengan memanfaatkan IMU secara aktif sebagai referensi posisi secara 3 sumbu dan memanfaatkan servo sebagai aktuator. Pada uji secara parsial, *error* tiap sumbu terhadap arah yang diinginkan adalah sebesar $0,6^{\circ}$.

Kata Kunci: *Gymbal, IMU, Servo, Surveillance*

1 PENDAHULUAN

Unmanned Aircraft Vehicle (UAV) adalah sebuah wahana terbang tak berawak, dalam bahasa Indonesia sering disebut dengan istilah Pesawat Udara Nir-Awak (PUNA) atau Pesawat Terbang Tanpa Awak (PPTA). Saat ini UAV telah diaplikasikan dalam berbagai keperluan, baik sipil maupun militer (*dual use*).

Unsur-unsur penting pengembangan sistem UAV adalah: Sistem Kendali, Sistem Muatan, *Airframe*, TTC dan Data *Handling*. Diantara sub sistem tersebut, sistem muatan akan menjadi ciri dari kegunaan dan misi dari pesawat PUNA.

Kecanggihan dari pesawat PUNA akan tergantung pada misi yang dijalankan, dan misi akan tergantung

pada sistem muatan yang dibawa oleh PUNA. Sistem muatan PUNA yang cukup terkenal adalah sistem muatan bagi misi pengamatan atau *surveillance* dan pemotretan. Hal ini karena didukung oleh kemampuan PUNA terbang yang cukup lama, dengan ketinggian yang ideal untuk pemotretan dengan resolusi yang tinggi dan pada skala tertentu dapat menjadi substitusi dari sistem pemotretan yang dilakukan oleh sistem lain seperti satelit misalnya.

Kemampuan menarik lain dari PUNA dengan sistem kameranya adalah kemampuan operasi PUNA itu sendiri yang bersifat adaptif, strategis (dapat dioperasikan dengan cepat) serta mampu menjalankan misi dengan variasi yang bermacam-macam [John R. Clapper, 2005].

Dengan melihat latar belakang di atas, maka penelitian tentang sistem muatan menjadi cukup penting dan dapat dilakukan secara dini dengan memanfaatkan pesawat PUNA yang sudah tersedia di pasaran, serta dapat dilakukan secara paralel dengan penelitian sistem *airframe* lain seperti sistem kendali, sistem avionik maupun sisi *ground support* sistem.

Di dalam sistem muatan ada sub sistem *platform* dan muatan itu sendiri. Tujuan penelitian ini adalah merancang bangun *gymbal* sebagai *platform* bagi muatan, yang berkemampuan melakukan orientasi otomatis berdasarkan sumbu yang telah ditetapkan dan dapat stabil pada orientasi tersebut. Penelitian ini merupakan penelitian rancang bangun dengan titik berat pada penguasaan proses rancang bangun dengan harapan mampu menangkap esensi dari proses rancang bangun, sehingga *platform* yang dibangun merupakan *platform* spesifik berbasis pada karakteristik pesawat PUNA.

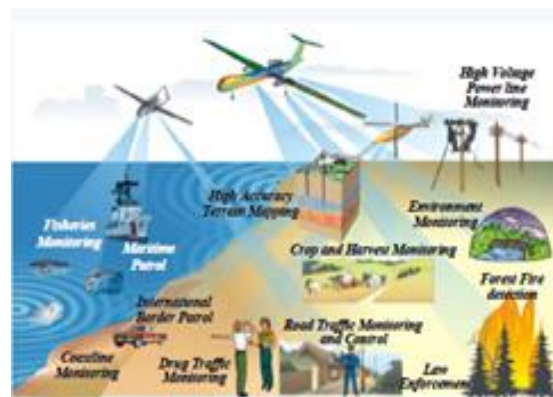
Permasalahan yang akan diteliti sebagai berikut:

- Mengetahui karakteristik pesawat selama terbang, khususnya karakteristik dinamika *attitude*/sikap pesawat selama terbang;
- Membuat *platform* yang mampu menahan dan mengendalikan gerakan sekaligus getaran dari pesawat *airframe* yang ditempati.

2 UAV DAN SISTEM PAYLOAD

Di berbagai belahan dunia pengguna aktif dari UAV adalah militer dengan berbagai tujuan, misal untuk pemotretan wilayah musuh atau wilayah konflik atau untuk melakukan mata-mata terhadap musuh. Sedangkan untuk keperluan sipil, UAV bisa digunakan untuk pemetaan daerah terpencil atau pemotretan, pemantauan gunung berapi, pemantauan kemacetan atau pemotretan daerah pasca bencana.

Daerah-daerah yang sulit dijangkau oleh pesawat terbang atau transportasi darat dapat dijangkau menggunakan UAV untuk mengumpulkan berbagai informasi. Berikut adalah gambaran penggunaan UAV dalam berbagai aplikasi:



Gambar 2-1: Berbagai aplikasi UAV baik untuk sistem monitoring visual maupun data [John R. Clapper, 2005]

UAV terdiri dari sistem *Aircraft*, *Payload* dan *ground segment*, seperti halnya wahana terbang pesawat, UAV. Sistem ini didukung oleh teknologi aerodinamik, kendali, muatan (*payload*), struktur, avionik, propulsi, TTC, komunikasi dan *ground segment*.

Salah satu yang menarik dari UAV, seperti terlihat dalam Gambar 2-1 adalah aplikasi yang sangat luas, khususnya untuk aplikasi *monitoring*. Aplikasi ini pada tahap tertentu dapat menjadi substitusi wahana terbang lain seperti wahana satelit.

Airbone remote sensing atau *airbone monitoring* yang selama ini menggunakan pesawat, secara perlahan bergeser dengan menggunakan UAV, disamping lebih murah secara operasional, resiko operasi bisa jadi dapat ditekan.

Salah satu unsur penting dalam aplikasi tersebut adalah adanya sebuah *platform* tambahan yang disebut dengan Sistem *Gymbal*. Platform ini menjadi tempat bagi sistem kamera yang tersambung ke sistem pesawat.



Gambar 2-2: *Gymbal* 2-axis aplikasi untuk kamera pengamat (sumber: www.howstuffworks.com)

3 ANALISIS PERSYARATAN DESAIN

3.1 Persyaratan Umum

Persyaratan pertama adalah merancang misi *gymbal*. Misinya adalah mampu berorientasi pada salah satu sumbu yang telah ditetapkan dalam hal ini adalah sumbu Z atau sumbu arah permukaan bumi.

Persyaratan umum dari *Gymbal* yang akan dibangun meliputi:

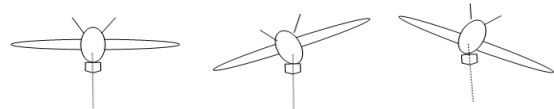
- Mampu menangani kondisi vibrasi dari pesawat yang akan ditempati;
- Mampu tetap berorientasi pada obyek dengan orientasi secara umum, misalnya akan selalu menghadap pada sumbu bumi (sumbu Z), meskipun *airframe* tempat *gymbal* menempel mengalami gangguan yang menyebabkan sumbu Z berubah-ubah;
- Pada kondisi tertentu, dengan *interrupted process*, orientasi *platform* dapat berubah dengan perintah secara *real time*;
- Orientasi *platform* dapat diatur sedemikian hingga mampu bergerak dengan perputaran sampai 180 derajat

pada sumbu elevasi dan 360 derajat untuk sumbu azimuth.

3.2 Persyaratan Operasi

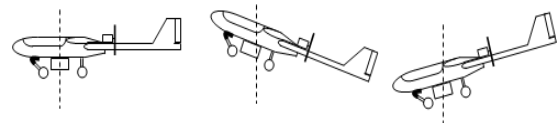
Sementara persyaratan operasinya adalah sebagai berikut:

- *Gymbal* mampu menangani masalah vibrasi;
- *Gymbal* akan secara otomatis menunjuk kamera terarah pada sumbu Z, seperti terlihat di bawah ini:



Gambar 3-1: Orientasi *gymbal* yang selalu menunjuk arah sumbu Z pada saat gerak rolling terjadi pada pesawat

- Dengan kondisi di atas, *Gymbal* juga harus mampu menahan orientasi kamera pada posisi pesawat kondisi *Pitching*, seperti terlihat sebagai berikut:



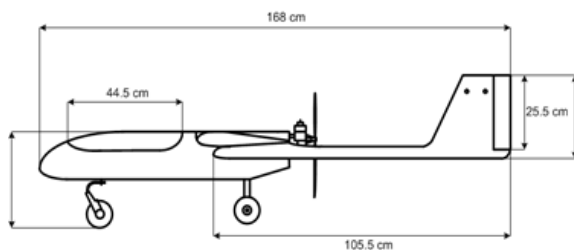
Gambar 3-2: Orientasi *gymbal* yang selalu menunjuk arah sumbu Z pada saat gerak pitching terjadi pada pesawat

- Berat secara umum adalah 1 Kg sudah termasuk beban kamera;
- Jika kamera menangkap sebuah gambar, maka proses otomatisasi dapat diinterupsi oleh *Command* dari *Ground Support*;
- Bersifat otomatis yang merupakan kerja secara *close loop* antara IMU (6 DOF), Mikrokontroler dan Sistem Servo Motor.

3.3 Analisis Persyaratan Teknis

Dalam tahap pertama ini, *gymbal* akan *dimounting* ke pesawat Avionik-G (pesawat tanpa awak milik bidang avionik), spesifikasi pesawat tersebut adalah:

✓ Wing span (bentang sayap)	: 2,5 m
✓ Length overall (panjang keseluruhan)	: 1,8 m
✓ Take off weight (Berat saat take off)	: 10 kg
✓ Material airframe	: composite
✓ Cruise Speed	: 60 km/h
✓ Cruise Altitude	: 1000 m
✓ Endurance (lama terbang)	: 2,5 hour
✓ Propeller	: 16x8 pusher
✓ Engine (bahan bakar)	: gasoline
✓ Power engine	: 3 HP 30cc
✓ Range (jangkauan radio)	: 150 km
✓ payload weight (payload yang diangkut)	: 3 kg
✓ fuel tank (kapasitas tangki)	: 1 ltr



Gambar 3-3: Pesawat avionik-AG

Maka sesuai dengan data teknis di atas *gymbal* yang akan di bangun, akan mempunyai persyaratan atau *mass budget* nya adalah sebagai berikut:

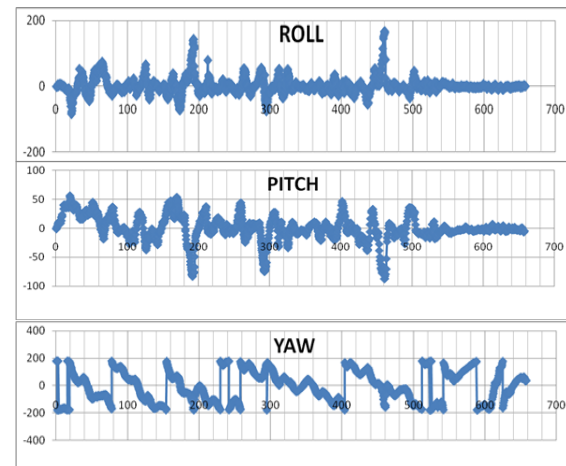
Tabel 3-1: TABEL PERSYARATAN FISIK GYMBAL

No.	Persyaratan	Ukuran	Keterangan
1.	Bobot	Maksimal 3 kg	Sudah termasuk sistem data <i>handling</i> : sehingga bobot yang bisa diakomodasi sekitar maksimum 2 kg Bobot ini sudah termasuk sistem elektronik, <i>payload</i> (kamera) dan sistem mekanik

2.	Dimensi	Panjang: 15 cm Maks Tinggi: 15 cm Maks	Sesuai dengan lebar dan tinggi pesawat dari landasan terbang
----	---------	---	--

Platform gymbal juga harus mempunyai kemampuan yang seimbang dengan dinamika pesawat, untuk itu diperlukan data dinamika pesawat yang akan menjadi tempat *mounting* sistem *gymbal* tersebut.

Dari uji coba terbang pesawat tersebut di Batujajar, diketahui sistem dinamika pesawat tersebut adalah sebagai berikut:



Gambar 3-4: Grafik dinamika terbang UAV dalam *mode pitch, yaw* dan *roll*

Dari grafik di atas dapat dianalisis sebagai berikut:

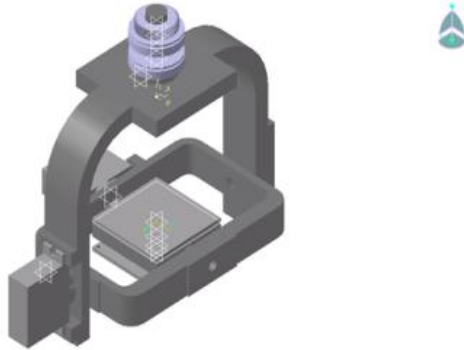
- Kecepatan *rolling* maksimal adalah 120 derajat/20 second atau 60 derajat/s.
- Kecepatan *pitching* maksimal adalah 100 derajat/20 second atau 50 derajat/s.
- Kecepatan *yawing* adalah sekitar 180 derajat/s.

Dengan data tersebut, dapat disampaikan bahwa gerak dinamika pesawat dalam keadaan tanpa kendali dapat diperkirakan.

Sehingga dapat diantisipasi tentang kekuatan struktur, penggunaan sensor gerak yang sesuai serta komposisi atau model awal *platform gymbal* yang dibangun.

4 RANCANGAN DAN ANALISA DESAIN

Dengan pertimbangan syarat desain *gymbal* yang telah disebutkan dalam bab 3, maka desain *gymbal* yang dirancang adalah



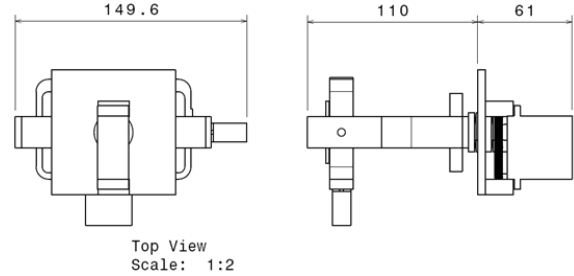
Gambar 4-1: Desain *Gymbal* sesuai dengan persyaratan

Untuk memenuhi persyaratan berat, *frame gymbal* (tanpa motor, *bearing*, kamera dan sensor IMU) ini akan memiliki volume $9,712 \times 10^{-5} \text{ m}^3$. Dengan asumsi bahan berupa komposit dengan massa jenis 5000 kg/m^3 , maka massa *frame gymbal* adalah $0,486 \text{ kg}$. Detil perhitungan massanya adalah sebagai berikut:

Tabel 4-1: PERHITUNGAN BOBOT TOTAL PAYLOAD GYMBAL

Jumlah	Bagian	Massa jenis	Volume	Massa
1	Frame yaw	5000 kg/m^3	$6,238 \times 10^{-5} \text{ m}^3$	$0,312 \text{ kg}$
1	Frame pitch	5000 kg/m^3	$2,49 \times 10^{-5} \text{ m}^3$	$0,125 \text{ kg}$
1	Frame roll	5000 kg/m^3	$9,839 \times 10^{-6} \text{ m}^3$	$0,049 \text{ kg}$
2	motor servo 180°	-		$0,038 \text{ kg}$
1	motor servo 360°	-		$0,050 \text{ kg}$
2	Bearing	-		$0,040 \text{ kg}$
1	IMU	-		$0,006 \text{ kg}$
1	Kamera	-		$0,090 \text{ kg}$
2	roda gigi plastik	-		$0,010 \text{ kg}$
	Total			$0,720 \text{ kg}$

Untuk persyaratan dimensi, ukuran *gymbal* sistem secara keseluruhan sudah memenuhi persyaratan, yakni tinggi $< 150 \text{ mm}$. 61 mm dari keseluruhan tinggi sistem *gymbal* akan masuk ke dalam body pesawat



Gambar 4-2: Dimensi *gymbal*

Akan dipertimbangkan pula persyaratan yang lain seperti getaran, kendali agar kamera selalu mengarah sumbu Z dan *encoder* untuk mendeteksi putaran *yaw*.

4.1 Momen Inersia

4.1.1 Momen inersia yaw gymbal

Untuk sistem *yaw gymbal*, memiliki momen inersia tensor dengan satuan kg.m^2 . Servo motor *yaw gymbal* mendapatkan tugas lebih berat dari servo yang lainnya, karena menggerakkan keseluruhan badan *gymbal*.

$$I_{yaw} = \begin{bmatrix} 0,001 & -3,557 \times 10^{-6} & -1,093 \times 10^{-6} \\ -3,557 \times 10^{-6} & 0,002 & 7,216 \times 10^{-9} \\ -1,093 \times 10^{-6} & 7,216 \times 10^{-9} & 9,813 \times 10^{-4} \end{bmatrix}$$

Untuk kebutuhan analisa dinamik *yaw gymbal*, yang dipakai adalah inersia pada sumbu Z yakni bernilai $I_{zz} = 9,813 \times 10^{-4} \text{ kg.m}^2/\text{s}^2$ dan nilai pada I_{yz}

dan I_{xz} bisa diabaikan karena nilainya sangat kecil, sekitar 900 kali lebih kecil.

4.1.2 Momen inersia pitch gymbal

Untuk sistem *pitch gymbal*, memiliki momen inersia tensor dengan satuan kg.m^2 . Servo motor *pitch gymbal* mendapatkan tugas relatif lebih ringan dibanding dengan servo motor untuk *yaw*. Servo motor *pitch* hanya menggerakkan *frame pitch gymbal*, *frame roll*

gymbal, IMU dan kamera. Momen inersianya adalah

$$I_{pitch} = \begin{bmatrix} 1,426 \times 10^{-4} & -3,519 \times 10^{-6} & -2,189 \times 10^{-9} \\ -3,519 \times 10^{-6} & 1,567 \times 10^{-4} & 7,216 \times 10^{-9} \\ -2,189 \times 10^{-9} & 7,216 \times 10^{-9} & 2,903 \times 10^{-4} \end{bmatrix}$$

Untuk kebutuhan analisa dinamik *pitch gymbal*, yang dipakai adalah inersia pada sumbu X yakni bernilai $I_{xx} = 1,426 \times 10^{-4} \text{ kg.m}^2 / s^2$ dan

nilai pada I_{xy} dan I_{xz} bisa diabaikan karena nilainya sangat kecil, sekitar 40 kali lebih kecil.

4.1.3 Momen inersia roll gymbal

Untuk sistem *roll gymbal*, memiliki momen inersia tensor dengan satuan kg.m^2 . Servo motor *yaw gymbal* mendapatkan beban hanya menggerakkan kamera, *frame roll* dan IMU. Paling ringan dibanding dengan servo motor lainnya. Momen inersianya adalah

$$I_{roll} = \begin{bmatrix} 1,059 \times 10^{-5} & 1,078 \times 10^{-24} & -1,016 \times 10^{-16} \\ 1,078 \times 10^{-24} & 9,661 \times 10^{-6} & 1,1 \times 10^{-8} \\ -1,016 \times 10^{-16} & 1,1 \times 10^{-8} & 1,673 \times 10^{-5} \end{bmatrix}$$

Untuk kebutuhan analisa dinamik roll *gymbal*, yang dipakai adalah inersia pada sumbu Y yakni bernilai $I_{yy} = 9,661 \times 10^{-6} \text{ kg.m}^2 / s^2$ dan nilai pada I_{yz}

dan I_{xy} bisa diabaikan karena nilainya sangat kecil, sekitar 900 kali lebih kecil.

4.2 Getaran

Untuk kasus sistem *gymbal*, getaran dan gesekan terjadi pada:

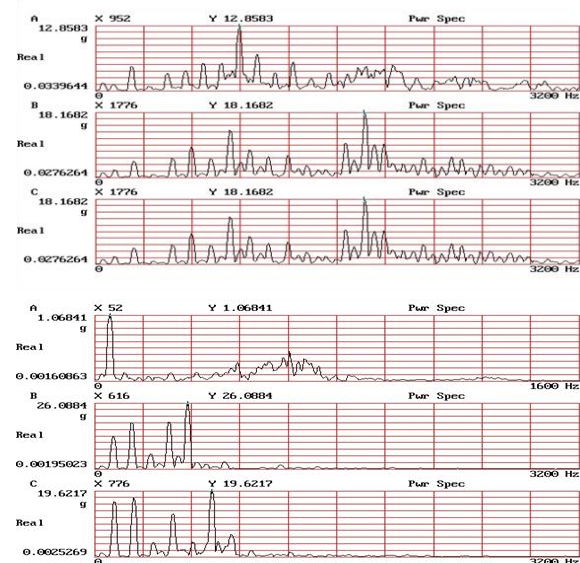
- Mekanisme servo motor
- Roda gigi
- Kopling
- Bantalan peluru (ball bearing)
- Gesekan akibat putaran

untuk mempermudah permasalahan, nilai rasio redaman sistem mekanis diambil dari hasil eksperimen di *Carnegie Mellon's undergraduate control laboratory*. Hasil eksperimen dilakukan

dengan sebuah motor DC, poros pejal, kopling dan bantalan didapatkan nilai *damping ratio of the mechanical sistem* (b) = 3.5077×10^{-6} Nms. Untuk *gymbal sistem*, kita asumsikan dengan nilai-nilai sebagai berikut:

- rasio redaman sistem mekanis *yaw gymbal* (b_{yaw}) = $2,8062 \times 10^{-5}$ Nms
- rasio redaman sistem mekanis *pitch gymbal* (b_{pitch}) = $7,0154 \times 10^{-6}$ Nms
- rasio redaman sistem mekanis *roll gymbal* (b_{roll}) = $3,5077 \times 10^{-6}$ Nms

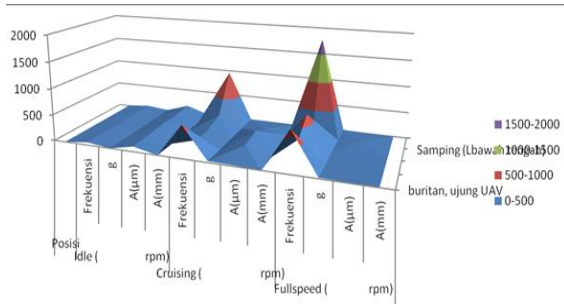
alasan nilai (b_{yaw}) lebih besar dari yang lain (8 kali dari hasil eksperimen) karena pada *yaw gymbal* terdapat dua bantalan, sepasang roda gigi, kopling dan membawa massa paling besar. Sedangkan untuk b_{pitch} , memiliki nilai relatif lebih kecil (2 kali hasil eksperimen) karena beban lebih kecil, hanya pada kopling dan massa yang menengah. Terakhir adalah b_{roll} bernilai paling kecil (sama dengan hasil eksperimen).



Gambar 4-3: Hasil pengukuran getaran pesawat dengan variasi putaran engine

Pengukuran di atas dilakukan di darat dengan menggunakan peralatan uji getar, *outputnya* dicatat secara otomatis dengan menggunakan frekuensi meter yang biasa digunakan di uji getaran.

Selain secara statik (*non flying*), juga dilakukan pengukuran getaran secara dinamik (*flying mode*) dengan menempatkan beberapa acelerometer pada beberapa titik-titik yang berpotensi sebagai tempat *mounting platform gympal*. Hasil pengukurannya terlihat sebagai berikut:



Gambar 4-4: Hasil tabel pengukuran getaran

Hasil pengukuran di atas menunjukkan bahwa pada saat *cruising* (terbang mendatar) yaitu saat pesawat menjalankan misinya berupa pengambilan gambar, maka getaran minimum yang didapatkan terletak dibagian depan dari *front* kamera *existing* yang sudah ada. Ini dapat menjadi uji penempatan pertama yang harus dilakukan saat integrasi dengan sistem *airframe* nanti.

5 MANUFAKTUR DAN PROTOTYPING

Dengan memperhitungkan analisis di atas, pada tahapan ini dicoba dilakukan integrasi awal dan manufaktur *platform* dengan menggunakan bahan komposit sebagai bahan dasar *platform gympal*, kecuali dijamin cukup ringan. Dengan membuat sendiri komposit, maka bisa dilakukan variasi berat untuk mendapatkan titik masa dan distribusi masa yang diinginkan.

5.1 Manufaktur Komposit

Dengan mempertimbangkan berat, maka dibuatlah sistem *platform* dengan komposit secara mandiri sehingga beratnya dapat diperhitungkan. Berikut adalah hasil *platform* yang terbuat dari komposit.



Gambar 5-1: *Prototype platform* dengan bahan dasar Komposit

5.2 Integrasi Elektronik

Cetakan tersebut dibuat dengan ukuran sesuai dengan gambar *catia* yang dibuat, sehingga memudahkan integrasi sistem aktuator ke dalam *platform*. Integrasinya terlihat sebagai berikut:



Gambar 5-2: Integrasi sistem aktuator ke dalam sistem *platform*



Gambar 5-3: Integrasi final *prototyping gympal*

Berat *platform* akhir adalah 200 gram, dimana sudah termasuk beban servo dan *mounting* pada pesawat UAV.

5.3 Integrasi Sistem Kamera

Kegiatan terakhir sebelum uji coba skala lab adalah melakukan *mounting* sistem kamera ke *platform* yang sudah dibangun. Berat *platform* kurang lebih adalah sekitar 200 gram, sehingga akan dicoba berat kamera yang mendekati berat tersebut. Untuk dapat menghasilkan distribusi masa yang baik, maka dipilih kamera canon sebagai *payload* dengan kemampuan tambahan mempunyai *feature* GPS untuk penelitian lebih lanjut di masa mendatang, gambarnya terlihat sebagai berikut:



Gambar 5-4: Integrasi kamera ke *platform*

6 KESIMPULAN

Kesimpulan yang diambil adalah:

- *Platform Gymbal* yang dihasilkan telah mampu beroperasi sesuai dengan misi yang telah ditetapkan yaitu mampu berorientasi pada sumbu yang telah ditetapkan (sumbu Z);
- Nilai rata-rata *error* dari setiap baris pada masing-masing sumbu adalah 0.6 %;
- Tahapan yang dijalankan telah memberikan pengalaman *engineering* dalam merancang, membangun dan menguji *platform gymbal autonomous* berbasis IMU;

- Desain yang telah dibuat akan diuji coba dengan pesawat UAV, untuk kemudian mendapatkan *rule of thumb* dalam mendesain dan merancang *Platform gymbal*

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini dibiayai oleh Program PKPP (Peningkatan Kemampuan Perekrutannya dan Peneliti TA 2011). Pengembangan selanjutnya dari penelitian ini adalah (1) pengembangan *embedded* kamera yang lebih kecil, (2) aplikasi lanjut untuk *target identification*, (3) aplikasi untuk berbagai keperluan *surveillance*.

DAFTAR RUJUKAN

- A. Schenellbeck, 1998. *Integrated Flight and Payload Control for Directional Payload on UAVs*, ICAS Conference.
- D.E. Bushey, 2008. *Unmanned Aircraft Flight and Research at the United States Air Force Academy*, International Symposium Unmanned Aerial Vehicles.
- E.W Frew, 2008. *Networking Issues for Small UAV*, International Symposium Unmanned Aerial Vehicles.
- John R. Clapper, 2005. *Unmanned Sistem Road Map 2007-2032*, US Departement Of Defence.
- K Sevcik and P.Y oh, 2008. *UAS Simulation Testbed and Framework*, International Symposium Unmanned Aerial Vehicles.
- Kimon P. Valavanis, 2008. *Unmanned Aerial Sistem*, Springer Science.
- S.Ates, I Beyezit and G.Inalhan, 2008. *Design and Hardware in the loop of a UAV Microavionics Sistem in Manned Joint Flight Network Simulator*, International Symposium Unmanned Aerial Vehicles.