

SIMULASI DAN ANALISIS UJI FUNGSIONAL HOMING METEO PAYLOAD ROKET KOMPETISI

Eko Budi Purwanto

Peneliti Pusat Teknologi Dirgantara Terapan, LAPAN
e-mail:ekobudi2634@binus.ac.id

ABSTRACT

All of homing meteo payload has passed the functional test consisting of static and dynamic test, before the flight test. The static test consists of G-Shock, Vibration and G-force to know the telecommand function when the payload it shaken with spinned, and stamped the shock as big as 6-G wich is similar to the condition when the rocket take off from the launcher. During the test, the function of telecommand must be good and data can transmit from the payload to the ground segment. Self run test is to controll the payload as an efford to reach the target that is 30 degre from north clockwise less then 20 second and locked. Then the motor has to push the payload shown by deviation from center point. Based on the testing criteria, from the 38 competition rocket tested these rockets can transmit the data to the ground segment.

Key words: : *Payload, Telecommand, 6-G*

ABSTRAK

Sebelum uji terbang, semua *homing meteo payload* roket harus menjalani uji fungsional mencakup uji statik dan uji dinamik. Uji statik terdiri atas *G-shock*, vibrasi dan *G-Force* adalah untuk mengetahui fungsi *telecommand* ketika muatan diberi hentakan, getaran dan putaran sebesar 6-G mirip dengan kondisi ketika roket melesat dari *launcher*. Selama dilakukan uji tersebut, *telecommand* harus tetap berfungsi baik dan data harus *transmit* dari muatan ke *ground segment*. Uji *self run* adalah untuk mengendalikan muatan sebagai usaha mencapai sasaran (*homing*) yaitu sudut 30 derajat dari utara searah jarum jam kurang dari 20 detik dan mengunci (*locking*). Selanjutnya motor harus bisa mendorong muatan, yang ditunjukkan adanya simpangan terhadap titik pusat. Atas dasar kriteria pengujian di atas, dari 38 roket kompetisi yang diuji, ternyata 30 roket memenuhi persyaratan (layak) untuk meluncur karena dapat mentransmisikan data ke *ground segment*.

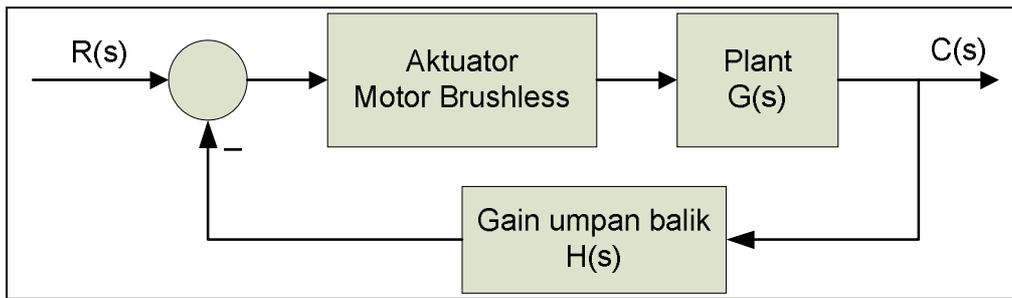
Kata Kunci: *Payload, Telecommand, 6-G*

1 PENDAHULUAN

Untuk mengetahui apakah *telecommand* muatan masih berfungsi dan dapat dikendalikan setelah separasi dari roket, perlu dilakukan uji fungsional berupa uji statik dan uji dinamik sebelum diterbangkan. Uji statik terdiri atas *G-Shock*, Vibrasi dan *G-Force*. Pada pengujian ini muatan diberi perlakuan yang mirip dengan keadaan pada saat roket melesat dari launcher dan diamati apakah data dapat ditransmisikan ke *ground segment*. Sedangkan uji dinamik

dimaksudkan untuk mengetahui fungsi sistem kendali dalam rangka muatan mencapai titik sasaran.

Digunakan dua motor *brushless* untuk menyesuaikan simpangan sudut terhadap sudut acuan dari kompas. Motor *brushless* digunakan karena mempunyai efisiensi dan reliabilitas tinggi, mereduksi gangguan, waktu hidup relatif lama, mengeliminir terjadinya percikan api dari komutator, bertenaga lebih dan dapat mereduksi semua jenis inferensi elektromagnetik (David Jones, 2005).



Gambar 1-1: Diagram blok sistem kendali berumpan balik

Untuk suatu gerak yang stabil pada sebuah benda terbang pada saat manuver, diperlukan pengaturan sudut *pitch* θ , *yaw* Ψ dan *roll* Φ secara simultan (Donald McLean, 1990). Demikian juga muatan yang digantung bebas menggunakan tali (sistem bandul matematis) cenderung melakukan gerak manuver. Gerakan ini terjadi karena penyesuaian antara sudut kompas dengan sudut acuan yaitu 30 derajat dari arah utara searah jarum jam. Apabila terdapat perbedaan sudut kompas dengan sudut acuan, motor akan memutar badan muatan dengan cara menambah putaran salah satu motor dan/atau mengurangi putaran motor di sisi lainnya. Kejadian ini berakibat muatan melakukan gerak manuver dan pada saat bersamaan bekerja gaya sentripetal yang menarik muatan ke pusat lingkaran. Akibat gaya sentripetal terjadi *overshoot* simpangan terhadap titik pusat lingkaran yang semakin besar dengan bertambahnya jumlah putaran. Keadaan ini mengakibatkan gerakan muatan makin tidak stabil dalam uji dinamik.

Diagram blok sistem kendali berumpan balik dinyatakan pada Gambar 1-1.

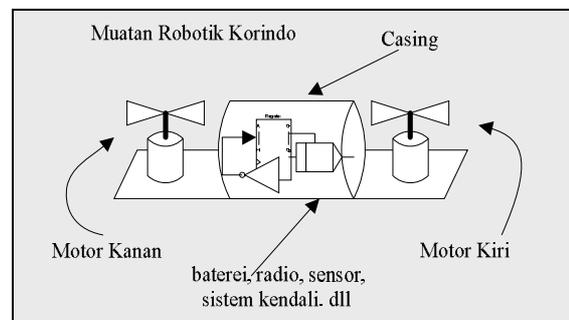
Tujuan dari penelitian ini adalah 1) menguji fungsional muatan roket kompetisi dengan metode bandul matematis, 2) menganalisis stabilitas dinamik muatan roket korindo, 3). Memberikan saran perbaikan sistem pengujian simpangan pada muatan roket korindo.

2 LANDASAN TEORI

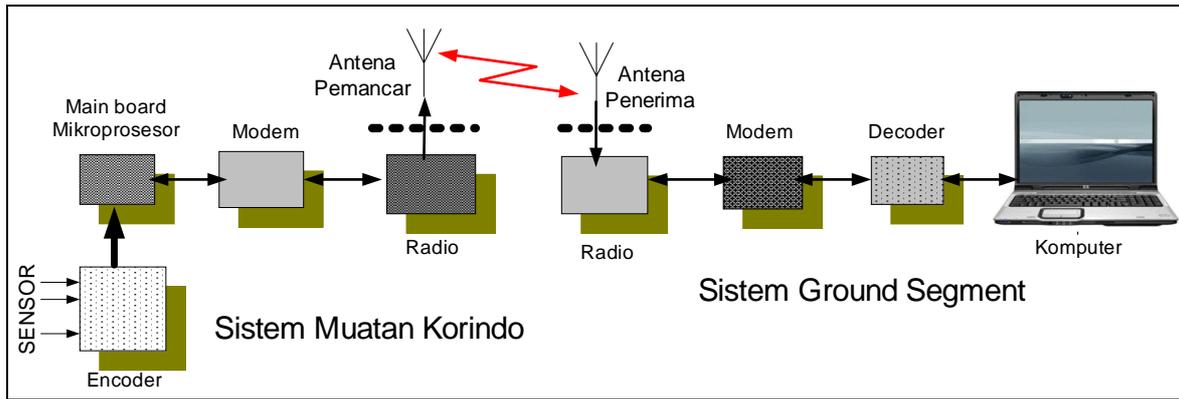
2.1 Muatan Robotik

Muatan (*payload*) roket berbentuk tabung silinder berisi rangkaian elektronik, sistem telemetri, sensor-sensor meteorologi dan aktuator berbasis *robotic* (Eko Budi Purwanto, 2010). Dimensi muatan adalah diameter 100 mm ± 1 mm, tinggi 200 mm ± 1 mm termasuk antena dengan berat maksimum 1000 gr ± 10 gr. Dimensi dapat berubah menjadi tak terbatas setelah terjadi separasi di udara bebas pada ketinggian 500 - 600 meter. Sensor yang di bawah muatan berupa kompas berfungsi sebagai pemandu, *accelerometer* untuk mengetahui kinerja roket, dan dua sensor meteorologi di antara suhu, tekanan atau kelembaban. Muatan harus bersifat autonomus (*self homing positioning*) dalam membidik target dan dapat mentransmisikan data ke *ground segment* dari komando go hingga mendarat atau selama 70 detik setelah komando go.

Skematik muatan robotik horizontal dengan aktuator dua motor brushless disajikan pada Gambar 2-1.



Gambar 2-1: Skematik muatan Korindo 2010



Gambar 2-2: Sistem komunikasi data

2.2 Sistem Transmisi Data

Sistem transmisi data adalah komunikasi dua arah antara sistem muatan dengan *ground segment* dengan menggunakan *transmitter-receiver/TX-RX*. Komunikasi data TX-RX menggunakan gelombang pada frekuensi tertentu 433 hz dan digunakan 4 kanal dengan *space* berbeda. Sistem komunikasi data antara muatan dan *ground segment* dapat dilihat pada Gambar 2-2.

Sistem format data yang digunakan sebagai berikut:

Nomor Urut Byte	Fungsi
Byte-1	header code bytes
Byte-2	
Byte-3	
Byte-4	
Byte-5-6-7	Sensor Tekanan
Byte-8	20H
Byte-9-10-11	Sensor Suhu
Byte-12	20H
Byte- 13-14-15	Sensor Kelembaban
Byte-16	20H
Byte- 17-18-19	Sensor Akselerasi
Byte-20	20H
Byte-21-22-23	Sensor Kompas

Keterangan ketentuan format data:

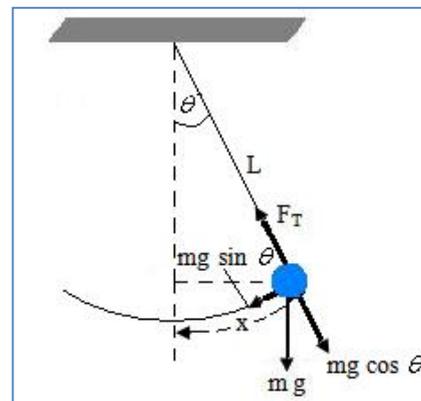
- Byte-1 harus berisi 0AH atau 0DH (boleh dipilih).
- Byte-2, Byte-3 dan Byte-4 dapat diisi dengan karakter ASCII yang mudah dikenali (diberitahukan sebelum peluncuran)
- Semua data yang ditransmisi menggunakan format ASCII mulai dari

karakter bernilai 32 s.d 126 desimal atau 20H s.d 7EH dalam heksadesimal. Data yang memiliki nilai dikirim sebelum 20H (spasi) dan setelah 7EH (~) dilarang kecuali karakter *Line Feed* (0AH) dan *Carriage Return/CR* (0DH) harus dikirim di posisi Byte-1.

- *Default* sistem data sensor adalah 8-bit atau 1-byte untuk tiap karakter atau tanda baca yang dikirimkan.
- Setiap data sensor harus dapat dinyatakan dalam tiga karakter angka yang langsung dapat dibaca sebagai nilai sensor dalam besaran desimal dari 000 s.d 999. Misal nilai 20 dikirim dalam 020.
- Setiap data sensor harus dipisahkan oleh tanda baca 20H (spasi).

2.3 Sistem Bandul Matematis

Bandul matematis adalah suatu titik benda digantungkan pada suatu titik tetap menggunakan tali yang massanya diabaikan (Karl J. Astrom, Bjorn Wittenmark, 1990; Nav R).



Gambar 2-2: Sistem ayunan sederhana

Jika ayunan diberi simpangan sebesar sudut θ terhadap garis vertikal maka gaya yang mengembalikan ke posisi semula sebesar:

$$F = -m \cdot g \cdot \sin \theta \quad (2-1)$$

Untuk nilai θ kecil (dalam radial) maka dapat didekati $\sin \theta = \theta = x/l$, dengan x = busur lintasan bola dan l = panjang tali, sehingga persamaan di atas menjadi:

$$F = \frac{-m \cdot g \cdot x}{l} \quad (2-2)$$

Diasumsikan gesekan udara bisa diabaikan tidak terjadi gaya puntiran, maka persamaan gaya adalah:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{m \cdot g}{l} \cdot x \quad (2-3)$$

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{m \cdot g}{l} \cdot x = 0 \quad (2-4)$$

dengan $k = \frac{m \cdot g}{l}$, maka persamaan gaya ditulis menjadi:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + k \cdot x = 0 \quad (2-5)$$

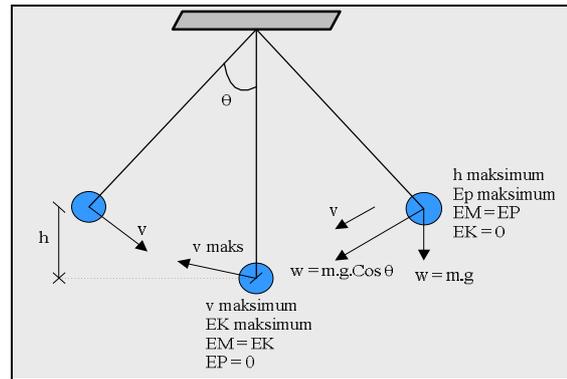
Untuk sudut kecil, periode ayunan sederhana adalah :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \text{ atau } T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (2-6)$$

Frekuensi ayunan sebesar:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}} \quad (2-7)$$

Energi yang dimiliki sistem di setiap posisi seperti pada Gambar 2-3.



Gambar 2-3: Energi sistem pada setiap posisi

Untuk sistem ayunan sederhana yang diberikan masukan dari luar sebesar u , maka persamaan :

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + k \cdot x = u \quad (2-8)$$

Secara ideal sistem ayunan sederhana seperti osilator harmonik yang mempunyai fungsi transfer (Eko Budi Purwanto, 2010) seperti persamaan di bawah ini,

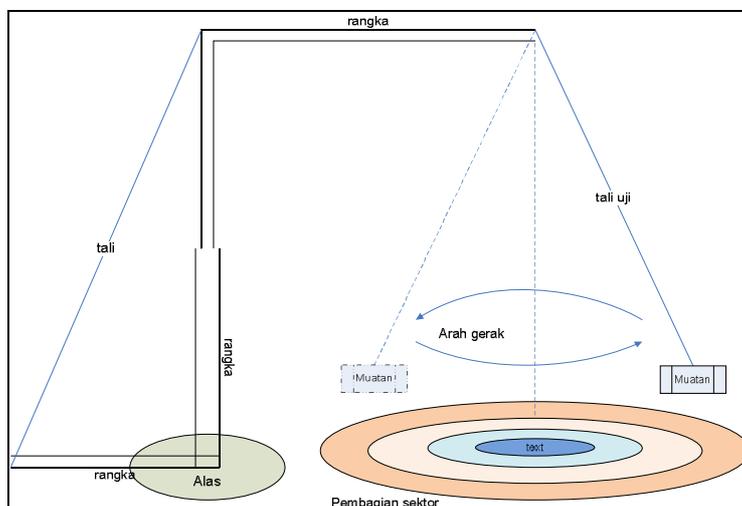
$$G(s) = \frac{1}{s^2 + 1} \quad (2-9)$$

Dalam uji fungsional pada muatan diberikan gangguan, sehingga fungsi transfer berbentuk:

$$\frac{X(s)}{U(s)} = G(s) = \frac{\frac{1}{m}}{s^2 + \frac{k}{m}} \quad (2-10)$$

3 RANCANGAN SISTEM PENGUJIAN

Rancangan sistem bandul matematis untuk menguji simpangan seperti Gambar 3-1.



Gambar 3-1: Sistem bandul matematis untuk pengujian simpangan

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

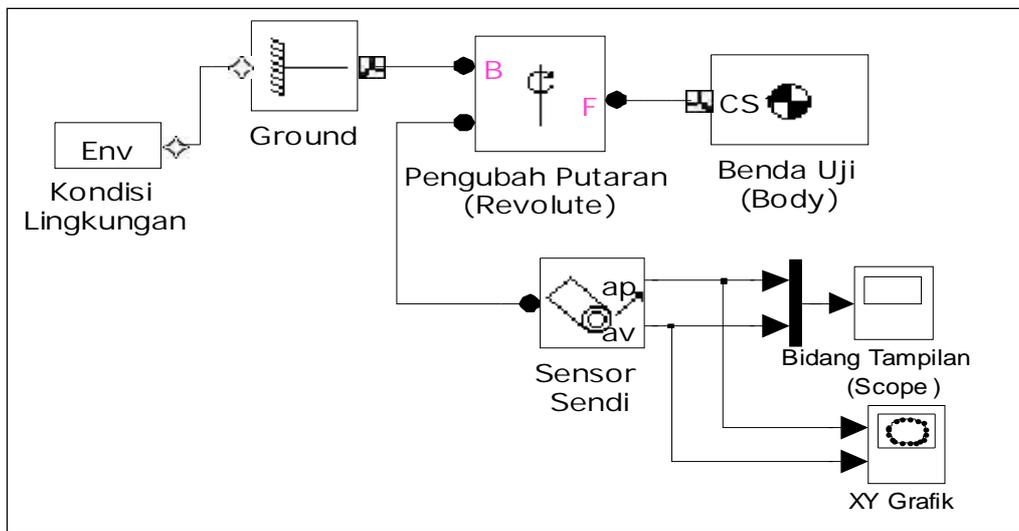
4.1 Kestabilan Statis

Suatu sistem bisa diketahui dalam keadaan stabil atau tidak stabil, syarat utama adalah bahwa sistem harus dapat dikontrol dan dapat diamati. Kedua hal ini dapat diketahui dan dianalisa melalui matrik A, B dan C dari persamaan keadaan suatu sistem. Kestabilan statis merupakan suatu kestabilan sistem tanpa adanya suatu gerakan sedangkan kestabilan dinamis harus dapat diamati dalam keadaan

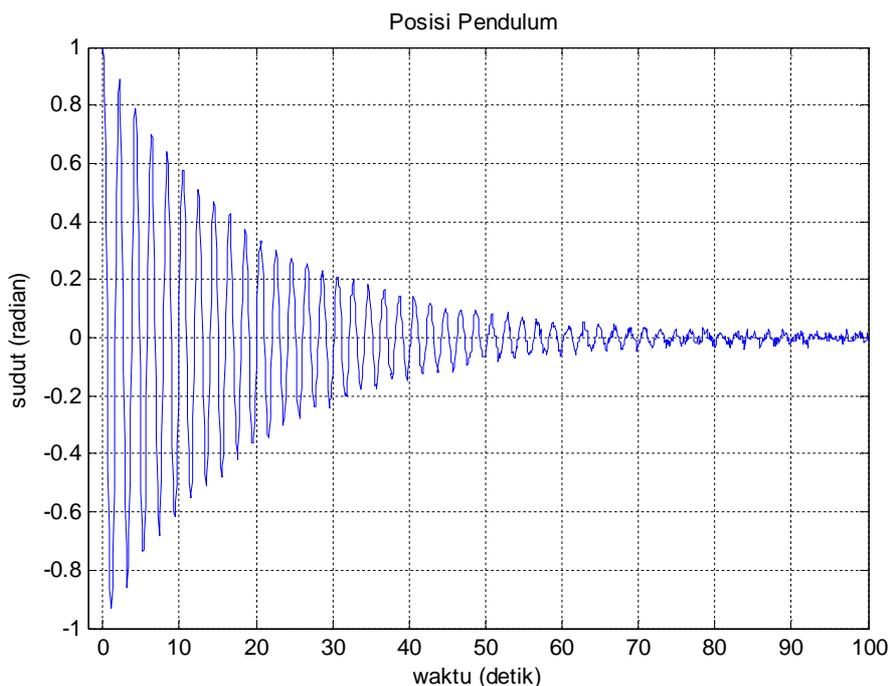
sistem bergerak dalam kerangka waktu yang sama.

Kondisi stabil dari bandul matematis disimulasikan dengan menggunakan *simulink matlab* versi 7 dengan diagram blok pada Gambar 4-1. (Nn; *Bandul Matematis*).

Dalam kondisi yang ideal gerakan benda semakin lama akan semakin teredam dan pada akhirnya akan berhenti di pusat lingkaran. Grafik posisi massa terhadap titik pusat diberikan pada Gambar 4-2.



Gambar 4-1: Diagram blok bandul matematis



Gambar 4-2: Posisi pendulum terhadap titik pusat sebagai fungsi waktu

Kondisi seperti di atas bisa dicapai apabila gerakan muatan dalam dua derajat kebebasan yakni gerakan geleng (*yawing*) tidak terjadi bersamaan dengan gerakan maju. Jika demikian maka dapat diketahui waktu transien untuk mencapai sudut acuan dan besarnya gaya dorong dari motor menuju target yang diinginkan. Namun jika kedua gerakan terjadi dalam waktu yang bersamaan maka yang terjadi adalah gerakan manuver dari sistem.

4.2 Kestabilan Dinamis

Muatan yang didesain secara horisontal cenderung bergerak manuver, pada saat tersebut muncul gaya sentripetal yang menarik muatan ke pusat lingkaran dan berakibat simpangan melewati pusat lingkaran dalam arah berlawanan. Gaya sentripetal akan menarik muatan ke pusat lingkaran lagi dari sisi berlawanan dan adanya momen kelembaban membuat simpangan terhadap pusat lingkaran semakin besar dan gerakan sistem (muatan) tidak terkendali. Dengan menggunakan bandul matematis gerakan muatan bukan berupa ayunan sederhana, tetapi berupa gerakan melingkar yang membentuk kerucut. Salah satu cara mengeliminir gerakan manuver tidak stabil dapat dilakukan dengan merancang muatan secara vertikal (Richard G. Lanzara).

Arah gaya pada sistem muatan dapat dilihat pada Gambar 4-3.

4.3 Sistem Bandul Fisis

Untuk dapat mengetahui waktu pencapaian terhadap sudut acuan dan besarnya gaya dorong, diusulkan pengujian menggunakan metode bandul fisis (*physical pendulum*). Pada bandul fisis gerakan geleng untuk mencapai sudut acuan, sedangkan gerakan ke depan untuk mengetahui gaya dorong.

Jika batang relatif tipis (berat diabaikan terhadap massa muatan) maka momen inersia:

$$I_{cm} = \frac{1}{12} ML^2 \quad (4-1)$$

Untuk batang kaku dengan massa terdistribusi merata momen inersia adalah:

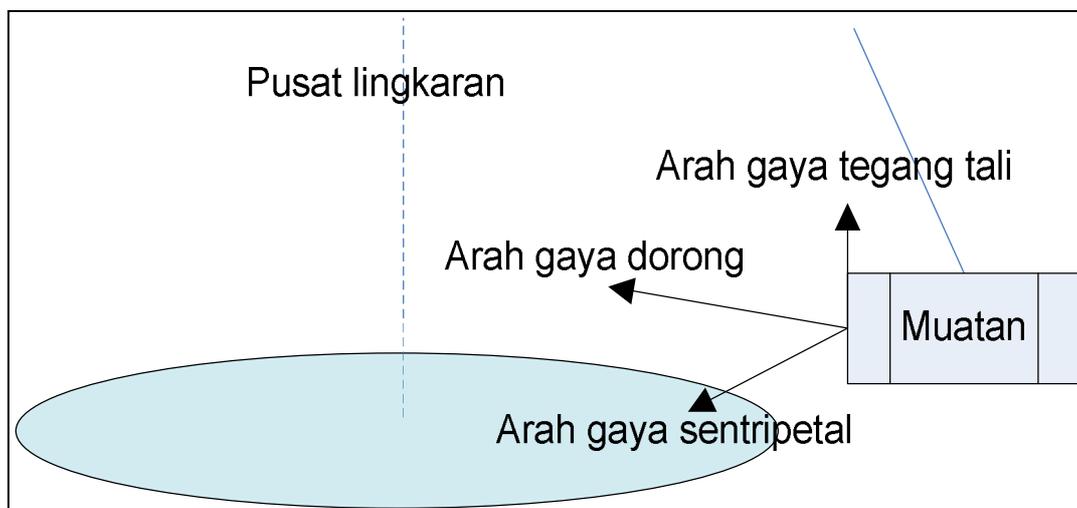
$$I_{cm} = \frac{1}{12} M(a^2 + b^2) \quad (4-2)$$

Periode bandul fisis adalah:

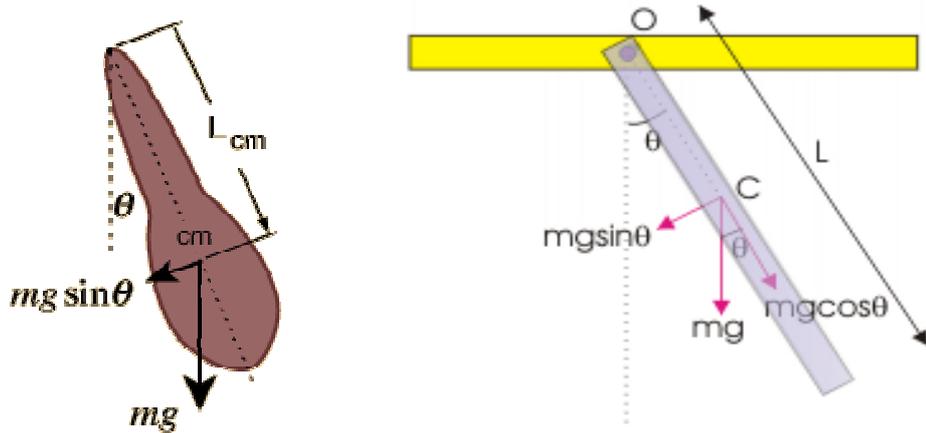
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I_{batang}}{m.g.L}} \quad (4-3)$$

Konsep sistem bandul fisis dapat dilihat pada Gambar 4-4.

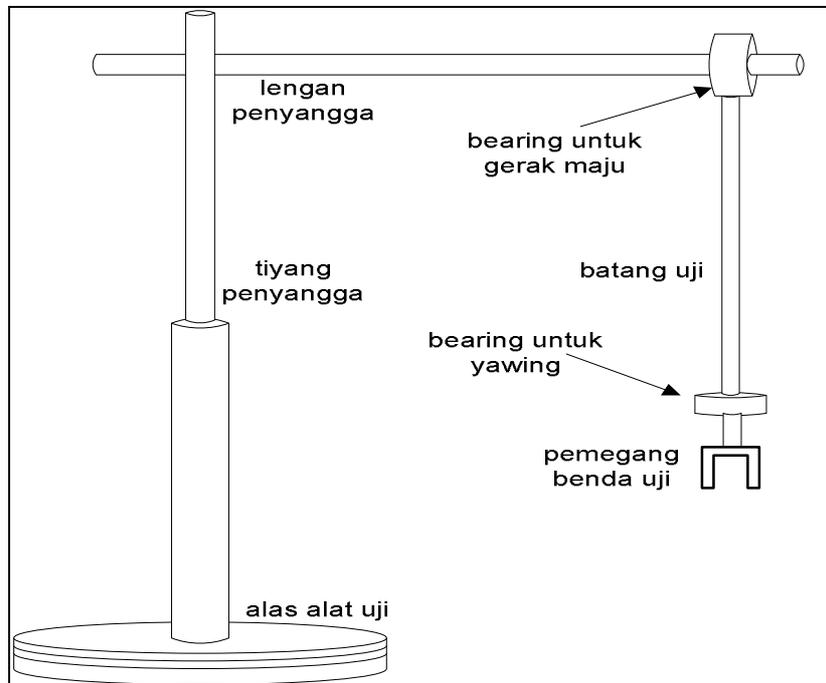
Rancangan alat uji bandul fisis menggunakan dua bearing yang diletakkan membentuk sudut 90 derajat seperti Gambar 4-5.



Gambar 4-3: Arah gerak manuver muatan dalam uji dinamik



Gambar 4-4: Sistem bandul fisis (a) batang sembarang, (b) batang homogen



Gambar 4-5: Alat uji bandul fisis

5 KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- Sistem pengujian dengan bandul matematis dapat dilakukan dengan menambah panjang tali penggantung, sehingga momen kelembaban akibat gaya sentripetal dapat dieliminir oleh panjang tali penggantung dan muatan tidak menabrak lengan penggantung.
- Sistem bandul matematis untuk uji dinamik sulit digunakan untuk

mengetahui kestabilan sistem dengan pengaturan putaran kedua motor.

- Muatan yang di desain dengan model horisontal lebih sulit dikendalikan karena momen inersia yang ditimbulkan lebih besar pada saat terjadi manuver, sedangkan desain muatan vertikal momen inersia bisa dieliminir oleh gaya berat dan pendeknya lengan terhadap sumbu vertikal.
- Untuk uji dinamik sebaiknya digunakan metode bandul fisis (*physical pendulum*) sehingga dapat

diketahui waktu pencapaian untuk sudut acuan dan gaya dorong dari motor.

DAFTAR RUJUKAN

- David Jones, 2005. *A Physical Pendulum, The Parallel Axis Theorem and A Bit of Calculus*. Miami Palmetto High School, Seminole Community AP Physics Institute, July, 2005, http://dev.physicslab.org/Document.aspx?doctype=2&filename=RotaryMotion_PhysicalPendulum.xml.
- Donald McLean, 1990. *Automatic Flight Control Systems*. Prentice-Hall International (UK) Ltd.
- Eko Budi Purwanto, 2010. *Pemodelan dan Simulasi Sistem Kendali Homing Meteo Payload untuk Kompetisi Roket Indonesia 2010 Menggunakan Aktuator Motor DC*. Jurnal Teknologi Dirgantara, LAPAN (belum terbit).
- Karl J. Astrom, Bjorn Wittenmark, 1990. *Computer Controlled Systems Theory and Design*. second edition; Prentice-Hall International, Inc; (p.512), Englewood Cliffs, N. J.
- Nav R, *Physical Pendulum*. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/pendp.html>.
- Nn, *Brushless versus brushed DC motors*. <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Wyedelta.svg>.
- Nn, 2010. *Kontes Roket Indonesia 2010 Homing Meteo Payload : Panduan Peserta*. DitJen DIKTI – LAPAN.
- Nn, *Bandul Matematis*; http://labdasar.unlam.ac.id/modul_praktikum/fisika/Bandul%20matematis.doc.
- Richard G. Lanza, *Difference between static stability and dynamic stability*. <http://www.helium.com/items/974705-difference-between-static-stability-and-dynamic-stability>.
- San, *Pendulum Sederhana*. <http://www.gurumuda.com/pendulum-sederhana-bandul>.
- Stephen J. Chapman, 2004. *Matlab Programming for Engineers, third edition*. International Student Edition, BAE Systems Australia.
- Sunil Kumar Singh, *Simple and Physical Pendulum*. <http://cnx.org/content/m15585/>.