

ANALISIS MOMEN INERSIA BODY DAN ROTASIONAL PADA QUADCOPTER

Randis^{1*}, Patria Rahmawati²

^{1,2} Jurusan Teknik Mesin Alat Berat, Politeknik Negeri Balikpapan

*e-mail : randis@poltekba.ac.id

Abstract

The aim of this study is to calculate the Moment of Inertia body of cross structures, motor components, propeller components, boxelectronic components, and moments of inertia rotational axis of the propeller. The object of research is quadcopter Elev-8 Rev-2 using flight control APM Rev 2.6 measurement and data collection on brushless motors, propeller, electronicbox and arm of quadcopter. From the calculations, the value of Moment of Inertia body cross structure $I_{sx} = 26,480.10^{-6}$ (Nms²), $I_{sy} = 19,792.10^{-3}$ (Nms²), and $I_{sz} = 19,792.10^{-3}$ (Nms²). Moment of Inertia body of the motor motor $I_{Mx} = 609,542.10^{-6}$ (Nms²), $I_{My} = 21,763.10^{-3}$ (Nms²), dan $I_{Mz} = 28,453$ (Nms²). Moment of Inertia body of propeller components $I_{Px} = 153,969.10^{-6}$ (Nms²), $I_{Py} = 1,465.10^{-3}$ (Nms²), dan $I_{Pz} = 1,359.10^{-3}$ (Nms²). Moment of Inertia body of boxelectronic components $I_{BEx} = 9,885.10^{-3}$ (Nms²), $I_{BEy} = 9,885.10^{-3}$ (Nms²), dan $I_{BEz} = 684,700.10^{-6}$ (Nms²). Moment of Inertia rotational axis of the propeller $J_P = 391,47.10^{-6}$ (Nms²), $J_M = 0,96.10^{-6}$ (Nms²), dan $J_{TP} = 392,43.10^{-6}$

Keyword : Quadcopter, moment of inertia, motor, propeller

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menghitung Momen Inersia body dari struktur silang, komponen motor, komponen propeller, komponen kotak elektronik, dan Momen inersia rotasional terhadap sumbu propeller. Objek penelitian adalah quadcopter Elev-8 Rev-2 dengan menggunakan flight control APM Rev 2.6, pengukuran dan pengambilan data pada motor brushless, propeller, kotak elektronik dan lengan quadcopter. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai Momen Inersia body dari struktur silang $I_{sx} = 26,480.10^{-6}$ (Nms²), $I_{sy} = 19,792.10^{-3}$ (Nms²), dan $I_{sz} = 19,792.10^{-3}$ (Nms²). Momen Inersia body dari komponen motor $I_{Mx} = 609,542.10^{-6}$ (Nms²), $I_{My} = 21,763.10^{-3}$ (Nms²), dan $I_{Mz} = 28,453$ (Nms²). Momen Inersia body dari komponen propeller $I_{Px} = 153,969.10^{-6}$ (Nms²), $I_{Py} = 1,465.10^{-3}$ (Nms²), dan $I_{Pz} = 1,359.10^{-3}$ (Nms²). Momen Inersia body dari komponen kotak elektronik $I_{BEx} = 9,885.10^{-3}$ (Nms²), $I_{BEy} = 9,885.10^{-3}$ (Nms²), dan $I_{BEz} = 684,700.10^{-6}$ (Nms²). Momen Inersia rotasional terhadap sumbu propeller $J_P = 391,47.10^{-6}$ (Nms²), $J_M = 0,96.10^{-6}$ (Nms²), dan $J_{TP} = 392,43.10^{-6}$

Kata kunci : Quadcopter, momen inersia, motor, propeller

1. Pendahuluan

Quadcopter merupakan pesawat udara yang diangkat dan didorong oleh empat buah rotor dan baling-baling sebagai penggerakannya. Quadcopter mampu melawan gaya beratnya karena gaya angkat yang berasal dari empat rotornya. Quadcopter merupakan pesawat yang memiliki sistem control yang canggih yang memungkinkan untuk melakukan penerbangan seimbang sehingga dapat mengurangi ketidakstabilan yang diakibatkan oleh perbedaan kecil gaya

dorong dan torsi reaksi yang diberikan oleh motor[1].

Dalam beberapa dekade belakangan ini, beberapa orang menggunakan quadcopter sendiri ditujukan untuk berbagai fungsi misalnya fotografi udara, pantauan video dari atas yang biasa digunakan saat pengevakuasian bencana alam, dan juga untuk pemantauan[2].

Pada penelitian sebelumnya, Oka (2012) melakukan pemodelan dan simulasi roll, pitch dan yaw pada quadrotor. Pada penelitian ini, penulis menyatakan bahwa

momen inersia adalah perilaku dinamis dari sebuah kerangka yang berputar pada sebuah sumbu. Beberapa persamaan untuk menentukan momen inersia objek persegi panjang pejal dengan panjang L , lebar W , tinggi H , berat M , dan konstanta kepadatan ρ [3].

Percepatan sudut pesawat terhadap sumbu x, y, z (p, q, r) dipengaruhi oleh Momen inersia Body Pesawat (I_{xx}, I_{yy} , dan I_{zz}). Sedangkan momen inersia body pesawat dipengaruhi oleh Massa, ukuran dan letak dari tiap komponennya. Dibawah ini diberikan contoh perhitungan Momen Inersia Body dari beberapa komponen pesawat. Momen inersia pesawat terhadap sumbu x, y dan z diperoleh dengan menambahkan semua momen komponen-komponennya. Momen inersia body dari pesawat $I_{zz} > I_{yy} > I_{xx}$. Karena momen inersia berhubungan lurus dengan torsi ($T = I \cdot \alpha$) sehingga makin besar momen inersia body maka makin besar pula torsi yang dibutuhkan torsi untuk memutar pesawat/*quadcopter*. Dengan kata lain untuk percepatan sudut yang sama dibutuhkan $U_4 > U_3 > U_2$ (Torsi Yaw, Pitch dan Roll)[4][5].

Pada penelitian ini, ingin dikembangkan dan dihitung Momen Inersia body dari struktur silang, komponen motor, komponen propeller, komponen kotak elektronik, dan Momen inersia rotasional terhadap sumbu propeller.

Persamaan yang digunakan:

1. Momen Inersia body dari struktur silang:

$$I_{sx} = m_s \left(\frac{Ws^2}{12} + \frac{Hs^2}{12} \right)$$

$$I_{sy} = m_s \left(\frac{Ls^2}{12} + \frac{Hs^2}{12} \right)$$

$$I_{sz} = m_s \left(\frac{Ls^2}{12} + \frac{Ws^2}{12} \right)$$

2. Momen Inersia body dari komponen motor:

$$I_{Mx1} = m_M \left(\frac{R_M^2}{4} + \frac{D_{XM^2}}{12} + D_{ZM^2} \right)$$

$$I_{My1} = m_M \left(\frac{R_M^2}{4} + \frac{D_{XM^2}}{12} + D_{XM^2} + D_{ZM^2} \right)$$

$$I_{Mz1} = m_M \left(\frac{R_M^2}{4} + D_{ZM^2} \right)$$

3. Momen Inersia body dari komponen propeller:

$$I_{Px1} = m_P \left(\frac{R_P^2}{6} + \frac{D_{XP^2}}{12} + D_{ZP^2} \right)$$

$$I_{Py1} = m_P \left(\frac{R_P^2}{6} + \frac{D_{XP^2}}{12} + D_{XP^2} + D_{ZP^2} \right)$$

$$I_{Pz1} = m_P \left(\frac{R_P^2}{4} + D_{ZP^2} \right)$$

4. Momen Inersia body dari komponen kotak elektronik:

$$I_{BEx} = m_{BE} \left(\frac{W_{BE}^2}{12} + \frac{H_{BE}^2}{12} + D_{ZBE^2} \right)$$

$$I_{BEy} = m_{BE} \left(\frac{L_{BE}^2}{12} + \frac{H_{BE}^2}{12} + D_{ZBE^2} \right)$$

$$I_{BEz} = m_{BE} \left(\frac{L_{BE}^2}{12} + \frac{W_{BE}^2}{12} \right)$$

5. Momen Inersia body dari komponen kotak elektronik:

$$J_P = \frac{1}{2} m_P (L_P^2 + W_P^2)$$

$$J_M = \frac{1}{2} (m_{RM} \cdot R_{RM}^2)$$

$$J_{TP} = J_M + J_P$$

2. Metoda Penelitian

2.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Pengambilan data dilakukan di workshop Teknik Mesin Alat Berat Politeknik Negeri Balikpapan, waktu penelitian Agustus 2016

2.2. Objek Penelitian

Objek penelitian menggunakan *quadcopter* Elev-8 Rev-2 dengan menggunakan flight control APM Rev 2.6.



Gambar 1. Bentuk Mekanik Objek penelitian

Spesifikasi teknis objek penelitian :

- a. Keda KA20-20L 1050 Kv Brushless Outrunner Motors
- b. Pre-programmed 30A Electronic Speed Controllers (ESC)
- c. APM Power Module (XT60 Connector)
- d. Ublox NEO 6M / 7M GPS + Compass
- e. 433Mhz Telemetry Set (V1)

2.3. Peralatan Penelitian

Pada penelitian ini digunakan alat timbangan digital untuk mengukur massa motor, propeller, kotak elektronik dan komponen struktur silang. Sedangkan untuk mengukur dimensi panjang digunakan *vernier caliper* dan meteran untuk mengukur dimensi panjang yang lebih besar.

2.4. Langkah Penelitian

Pada penelitian ini, akan dilakukan pengukuran dan pengambilan data lima komponen yaitu: komponen struktur silang, komponen motor, komponen propeller, komponen kotak elektronik, dan Momen inersia rotasional terhadap sumbu propeller

Pengambilan data untuk komponen struktur silang meliputi Massa setengah struktur silang (m_s), Lebar sisi penampang struktur silang (W_s), Tinggi sisi penampang struktur silang (H_s), Panjang silinder struktur silang (L_s).

Pengambilan data untuk komponen motor meliputi Massa motor (m_w), Radius penampang motor (R_m), Tinggi motor (H_M), Jarak dari pusat motor ke pusat pesawat searah sumbu x (D_{XM}), Jarak dari pusat motor ke pusat pesawat searah sumbu z (D_{ZM}).

Pengambilan data untuk komponen propeller meliputi Massa propeller (m_P), Radius propeller (R_P), Tinggi propeller (H_P), Jarak dari pusat propeller ke pusat pesawat searah sumbu x (D_{XP}), Jarak dari pusat propeller ke pusat pesawat searah sumbu z (D_{ZP}).

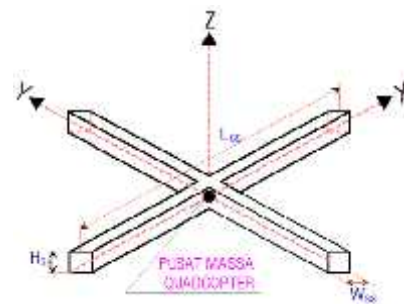
Pengambilan data untuk komponen kotak elektronik meliputi Massa kotak elektronik (m_{BE}), Lebar kotak elektronik

(W_{BE}), Tinggi kotak elektronik (H_{BE}), Panjang kotak elektronik (L_{XBE}), Jarak dari pusat kotak elektronik ke pusat pesawat searah sumbu z (D_{ZBE}).

Pengambilan data untuk komponen propeller dan rotor motor meliputi Massa propeller (m_P), Panjang propeller (L_P), Lebar bilah propeller (W_P), Massa rotor motor (m_{RM}), Radius rotor motor (R_{RM}).

3. Hasil Penelitian

3.1. Momen Inersia body dari struktur silang



Gambar 2. Komponen struktur silang

Dari hasil pengukuran komponen struktur silang:

Parameter	Deskripsi	Nilai	Satuan
m_s	Massa setengah struktur silang	$598 \cdot 10^{-3}$	Kg
W_s	Lebar sisi penampang struktur silang	$16,30 \cdot 10^{-3}$	m
H_s	Tinggi sisi penampang struktur silang	$16,30 \cdot 10^{-3}$	m
L_s	Panjang silinder struktur silang	$630 \cdot 10^{-3}$	m

Model struktur silang dibentuk dari dua buah silinder tipis (berpenampang tipis) padat yang disatukan di bagian tengahnya dan membentuk formasi silang. Momen Inersia I_s (N_{ms}^2) komponen struktur silang terhadap sumbu x, y, dan z.

$$I_{sx} = m_s \left(\frac{W_s^2}{12} + \frac{H_s^2}{12} \right)$$

$$I_{sx} = 598 \cdot 10^{-3} \left(\frac{16,30 \cdot 10^{-3}^2}{12} + \frac{16,30 \cdot 10^{-3}^2}{12} \right)$$

$$= 26,480.10^{-6} \text{ (Nms}^2\text{)}$$

$$I_{sy} = m_s \left(\frac{^2}{12} + \frac{^2}{12} \right)$$

$$I_{sy} = 598.10^{-3} \left(\frac{630.10^{-3} \text{ }^2}{12} + \frac{16,30.10^{-3} \text{ }^2}{12} \right)$$

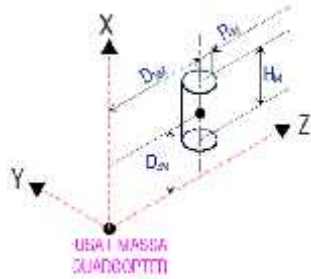
$$= 19,792.10^{-3} \text{ (Nms}^2\text{)}$$

$$I_{sz} = m_s \left(\frac{^2}{12} + \frac{^2}{12} \right)$$

$$I_{sz} = 598.10^{-3} \left(\frac{630.10^{-3} \text{ }^2}{12} + \frac{16,30.10^{-3} \text{ }^2}{12} \right)$$

$$= 19,792.10^{-3} \text{ (Nms}^2\text{)}$$

3.2 Momen Inersia body dari komponen motor



Gambar 3. Model komponen motor

Dari hasil pengukuran komponen motor:

Parameter	Deskripsi	Nilai	Satuan
m_M	Massa motor	64.10^{-3}	Kg
R_M	Radius penampang motor	$111,75.10^{-3}$	m
H_M	Tinggi motor	$27,65.10^{-3}$	m
D_{XM}	Jarak dari pusat motor ke pusat pesawat searah sumbu x	$330,50.10^{-3}$	
D_{ZM}	Jarak dari pusat motor ke pusat pesawat searah sumbu z	$20,25.10^{-3}$	m

Model komponen motor berbentuk silinder padat, momen inersia motor I_{Mx1} (Nms²) terhadap sumbu x, y, dan z :

$$I_{Mx1} = m_M \left(\frac{^2}{4} + \frac{^2}{12} + \text{ }^2 \right)$$

$$I_{Mx1} = 64.10^{-3} \left(\frac{11,75.10^{-3} \text{ }^2}{4} + \frac{330,50.10^{-3} \text{ }^2}{12} + 20,25.10^{-3} \text{ }^2 \right)$$

$$= 609,542.10^{-6} \text{ (Nms}^2\text{)}$$

$$I_{My1} = m_M \left(\frac{^2}{4} + \frac{^2}{12} + \text{ }^2 + \text{ }^2 \right)$$

$$I_{My1} = 64.10^{-3} \left(\frac{11,75.10^{-3} \text{ }^2}{4} + \frac{330,50.10^{-3} \text{ }^2}{12} + 330,50.10^{-3} \text{ }^2 + 20,25.10^{-3} \text{ }^2 \right)$$

$$= 21,763.10^{-3} \text{ (Nms}^2\text{)}$$

$$I_{Mz1} = m_M \left(\frac{^2}{4} + \text{ }^2 \right)$$

$$= 64.10^{-3} \left(\frac{11,75.10^{-3} \text{ }^2}{4} + 20,25.10^{-3} \text{ }^2 \right)$$

$$= 28,453 \text{ (Nms}^2\text{)}$$

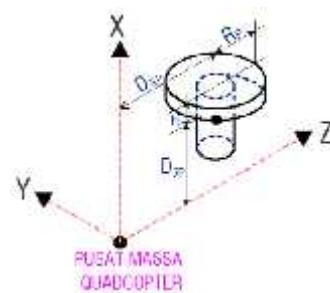
Keempat motor mempunyai bentuk simetri sehingga :

$$I_{Mx2} = I_{Mx3} = I_{Mx4} = I_{Mx1} = 609,542.10^{-6} \text{ (Nms}^2\text{)}$$

$$I_{My2} = I_{My3} = I_{My4} = I_{My1} = 21,763.10^{-3} \text{ (Nms}^2\text{)}$$

$$I_{Mz2} = I_{Mz3} = I_{Mz4} = I_{Mz1} = 28,453 \text{ (Nms}^2\text{)}$$

3.3 Momen Inersia body dari komponen propeller



Gambar 4. Model komponen propeller

Dara hasil pengukuran komponen propeller:

Parameter	Deskripsi	Nilai	Satuan
M _P	Massa propeller	12.10 ⁻³	Kg
R _P	Radius propeller	127.10 ⁻³	m
H _P	Tinggi propeller	10.10 ⁻³	m
D _{XP}	Jarak dari pusat propeller ke pusat pesawat searah sumbu x	330,50.10 ⁻³	m
D _{ZP}	Jarak dari pusat propeller ke pusat pesawat searah sumbu z	32,25.10 ⁻³	m

Momen inersia propeller 1 yaitu : I_{P1} (N_{ms}²) terhadap sumbu x, y, dan z :

$$I_{Px1} = m_P \left(\frac{2}{6} + \frac{2}{12} + \dots \right)$$

$$= 12.10^{-3} \left(\frac{127.10^{-3}{}^2}{6} + \frac{330,5.10^{-3}{}^2}{12} + \dots \right)$$

$$= 153,969.10^{-6} \text{ (Nms}^2\text{)}$$

$$I_{Py1} = m_P \left(\frac{2}{6} + \frac{2}{12} + \dots \right)$$

$$= 12.10^{-3} \left(\frac{127.10^{-3}{}^2}{6} + \frac{330,5.10^{-3}{}^2}{12} + \dots \right)$$

$$= 1,464.10^{-3} \text{ (Nms}^2\text{)}$$

$$I_{Pz1} = m_P \left(\frac{2}{4} + \dots \right)$$

$$= 12.10^{-3} \left(\frac{127.10^{-3}{}^2}{4} + \dots \right)$$

$$= 1,359.10^{-3} \text{ (Nms}^2\text{)}$$

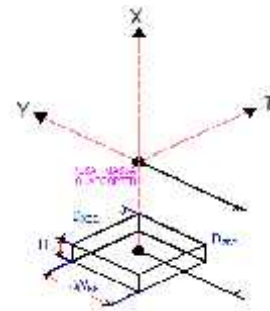
Keempat propeller mempunyai bentuk simetri sehingga :

$$I_{Px2} = I_{Px3} = I_{Px4} = I_{Px1} = 153,969.10^{-6} \text{ (Nms}^2\text{)}$$

$$I_{Py2} = I_{Py3} = I_{Py4} = I_{Py1} = 1,465.10^{-3} \text{ (Nms}^2\text{)}$$

$$I_{Pz2} = I_{Pz3} = I_{Pz4} = I_{Pz1} = 1,359.10^{-3} \text{ (Nms}^2\text{)}$$

3.4 Momen Inersia body dari komponen kotak elektronik



Gambar 5. Model komponen kotak elektronik

Dara hasil pengukuran komponen kotak elektronik:

Parameter	Deskripsi	Nilai	Satuan
m _{BE}	Massa kotak elektronik	397,20.10 ⁻³	Kg
W _{BE}	Lebar kotak elektronik	101,70.10 ⁻³	m
H _{BE}	Tinggi kotak elektronik	2,50.10 ⁻³	m
L _{BE}	Panjang kotak elektronik	101,70.10 ⁻³	m
D _{ZBE}	Jarak dari pusat kotak elektronik ke pusat pesawat searah sumbu z	15,50.10 ³	m

Momen inersia propeller 1 yaitu : I_{BE} (N_{ms}²) terhadap sumbu x, y, dan z :

$$I_{BEx} = m_{BE} \left(\frac{2}{12} + \frac{2}{12} + \dots \right)$$

$$= 397,20.10^{-3} \left(\frac{101,70.10^{-3}{}^2}{12} + \frac{2,5.10^{-3}{}^2}{12} + \dots \right)$$

$$= 9,885.10^{-3} \text{ (Nms}^2\text{)}$$

$$I_{BEy} = m_{BE} \left(\frac{2}{12} + \frac{2}{12} + \dots \right)$$

$$= 397,20.10^{-3} \left(\frac{101,70.10^{-3}{}^2}{12} + \frac{2,5.10^{-3}{}^2}{12} + \dots \right)$$

$$= 9,885.10^{-3} \text{ (Nms}^2\text{)}$$

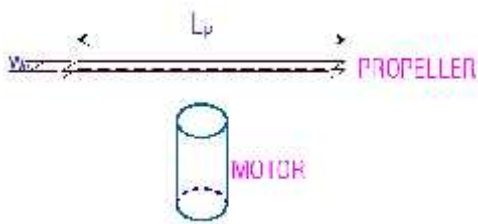
$$= 9,885.10^{-3} \text{ (Nms}^2\text{)}$$

$$I_{BEz} = m_{BE} \left(\frac{L^2}{12} + \frac{L^2}{12} \right)$$

$$= 397,20.10^{-3} \frac{101,70.10^{-3}^2}{12} + \frac{101,70.10^{-3}^2}{12}$$

$$= 684,700.10^{-6} \text{ (Nms}^2\text{)}$$

3.5 Momen Inersia rotasional terhadap sumbu propeller



Gambar 6. Model komponen propeller dan motor yang disederhanakan

Dara hasil pengukuran komponen propeller dan motor:

Para meter	Deskripsi	Nilai	Satuan
m_p	Massa propeller	12.10^{-3}	Kg
L_p	Panjang propeller	$101,70.10^{-3}$	m
W_p	Lebar bilah propeller	$2,50.10^{-3}$	m
m_{RM}	Massa rotor motor	$101,70.10^{-3}$	m
R_{RM}	Radius rotor motor	$15,50.10^{-3}$	m

Momen inersia rotasional J_{TP} (N_{ms}^2) merupakan momen inersia yang dibutuhkan oleh komponen yang berputar yaitu propeller dan rotor motor terhadap sumbu propeller. momen ini akan menghasilkan torsi giroskopik yang akan mempengaruhi percepatan pesawat.

Untuk perhitungan momen inersia rotasional, propeller dimodelkan sebagai balok tipis, Momen inersia rotasional propeller terhadap sumbu propeller,

$$J_p = \frac{1}{2} (m_p L^2 + m_p R^2)$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 12.10^{-3} \cdot (254.10^{-3})^2 + (27,15.10^{-3})^2$$

$$= 391,47.10^{-6} \text{ (Nms}^2\text{)}$$

Momen inersia rotasional propeller terhadap sumbu propeller,

$$J_M = \frac{1}{2} (m_{RM} R^2)$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 30.10^{-3} \cdot (8.10^{-3})^2$$

$$= 0,96.10^{-6} \text{ (Nms}^2\text{)}$$

Momen inersia rotor motor dan propeller terhadap sumbu propeller:

$$J_{TP} = J_M + J_p$$

$$J_{TP} = 0,96.10^{-6} + 391,47.10^{-6}$$

$$J_{TP} = 392,43.10^{-6}$$

4. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan, dapat disimpulkan bahwa :

a) Momen Inersia body dari struktur silang:

$$I_{sx} = 26,480.10^{-6} \text{ (Nms}^2\text{)}$$

$$I_{sy} = 19,792.10^{-3} \text{ (Nms}^2\text{)}$$

$$I_{sz} = 19,792.10^{-3} \text{ (Nms}^2\text{)}$$

b) Momen Inersia body dari komponen motor:

$$I_{Mx2} = I_{Mx3} = I_{Mx4} = I_{Mx1} = 609,542.10^{-6} \text{ (Nms}^2\text{)}$$

$$I_{My2} = I_{My3} = I_{My4} = I_{My1} = 21,763.10^{-3} \text{ (Nms}^2\text{)}$$

$$I_{Mz2} = I_{Mz3} = I_{Mz4} = I_{Mz1} = 28,453 \text{ (Nms}^2\text{)}$$

c) Momen Inersia body dari komponen propeller:

$$I_{Px2} = I_{Px3} = I_{Px4} = I_{Px1} = 153,969.10^{-6} \text{ (Nms}^2\text{)}$$

$$I_{Py2} = I_{Py3} = I_{Py4} = I_{Py1} = 1,465.10^{-3} \text{ (Nms}^2\text{)}$$

$$I_{Pz2} = I_{Pz3} = I_{Pz4} = I_{Pz1} = 1,359.10^{-3} \text{ (Nms}^2\text{)}$$

d) Momen Inersia body dari komponen kotak elektronik:

$$I_{BE_x} = 9,885.10^{-3} \text{ (Nms}^2\text{)}$$

$$I_{BE_y} = 9,885.10^{-3} \text{ (Nms}^2\text{)}$$

$$I_{BE_z} = 684,700.10^{-6} \text{ (Nms}^2\text{)}$$

e) Momen Inersia rotasional terhadap sumbu propeller

$$J_p = 391,47.10^{-6} \text{ (Nms}^2\text{)}$$

$$J_M = 0,96.10^{-6} \text{ (Nms}^2\text{)}$$

$$J_{TP} = 392,43.10^{-6}$$

5. Daftar Pustaka

- [1] Parth N. Patel, Malav A. Patel, Rahul M. Faldu, and Yash R. Dave. (2013). *Quadcopter for Agricultural Surveillance*. Advance in Electronic and Electric Engineering. ISSN 2231-1297, Volume 3, Number 4 (2013), pp. 427-432
- [2] Saputra A. (2013). *Rancang Bangun Quadcopter untuk Pemantauan Kadar Karbon Monoksida di Udara*, Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems **IJEIS**, Vol.3, No.1, April 2013, pp. 11~22
- [3] Saputra O.D. dkk (2013). *Pemodelan dan simulasi roll, pitch dan yaw pada quadrotor*. Jurnal TRANSMISI, 14, (2), 2012 SaputraPetrosea. (2000). *Work Instruction of kidney loop*.
- [4] Bresciani T. (2008). *Modelling, Identification and Control of a Quadrotor Helicopter*, Department of Automatic Control Lund University. Advance in Electronic and Electric Engineering. ISSN 2231-1297, Volume 3, Number 4 (2013), pp. 427-432.
- [5] Luukkonen, Teppo. (2011). "Modelling and control of quadcopter." Independent research project in applied mathematics, Espoo