



Rancang Bangun Alat Uji Momen Inersia Massa Suatu Elemen Mesin dalam Tiga Arah Sumbu

Construction Design of the Test Equipment Mass Inertia Moment of a Machine Element in Three Axis

Aji Digdoyo¹, Fauzhia Rahmasari^{1*}, Agus Budi Djatmiko², Erma Yuniaty¹ dan Saepul Anwar¹

¹Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Jayabaya, Jl. Raya Bogor Km. 28,8 Cimanggis, Jakarta Timur, Indonesia

²Pusat Teknologi Roket BRIN, Jl. Raya Lapan No. 2 Mekar Sari, Rumpin, Bogor, Indonesia

Informasi artikel

Diterima:
02/06/2022
Direvisi:
15/06/2022
Disetujui:
25/06/2022

Abstract

The moment of inertia of the mass is a quantity that is very much needed in designing high-speed engine parts, because it can cause a very large force and the magnitude can be thousands of times its weight. There are two ways to determine the moment of inertia, namely theoretically or testing, if using theory if the shape of machine parts is complicated, of course it is also difficult to determine the magnitude and the second way, namely by testing, it is very easy to get the price of the moment of mass inertia sought even though the shape is complicated. The moment of inertia test equipment is used to determine the value of the moment of inertia of a machine element by means of testing. This tool is also the result of its own design and engineering, which has never been developed by another party. This tool is intended to assist in the Research Development Program in the Department of Machinery, Faculty of Industrial Technology, Jayabaya University. The design of the Test Equipment is based on the Torque Moment principle where the system is considered to have mass and elasticity and from a practical and economical point of view it is very easy to implement. The results of testing the pitch direction and yaw direction with the same test object, namely the connecting rod, it turns out that the test results are $I_p = 0.00298 \text{ kgm}^2$ and $I_y = 0.00304 \text{ kgm}^2$ and for testing the direction of rotation using a mass disk of aluminum obtained $I_r = 0.00125 \text{ kgm}^2$, the calculation results obtained $I_r = 0.1271 \text{ kgm}^2$, not too far away or it can be said that the three-axis test equipment, namely the direction of pitch, yaw and rolling can be used for testing the moment of mass inertia for machine elements.

Keywords: mass moment of inertia, test equipment, moment.

Abstrak

Momen inersia massa adalah besaran yang sangat dibutuhkan dalam mendesain suku cadang mesin kecepatan tinggi, karena dapat menyebabkan gaya yang sangat besar dan besarnya dapat ribuan kali dari beratnya. Ada dua cara untuk menentukan momen inersia, yaitu: secara teori atau pengujian, jika menggunakan teori jika bentuk suku cadang mesin rumit, tentunya sulit juga menentukan besarnya dan cara kedua yaitu dengan cara pengujian sangat mudah mendapatkan harga momen inersia massa yang dicari walaupun bentuknya rumit. Alat uji momen inersia digunakan untuk menentukan nilai momen inersia dari suatu elemen mesin dengan cara pengujian. Alat ini juga merupakan hasil rancangan dan rekayasa sendiri, yang belum pernah dikembangkan oleh pihak lain. Alat ini dimaksudkan untuk membantu dalam program pengembangan penelitian di Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Jayabaya. Rancangan alat uji didasarkan atas prinsip momen torsi dimana sistem dianggap mempunyai massa dan elastisitas dan ditinjau dari segi praktis dan ekonomis sangat mudah untuk diwujudkan. Hasil pengujian arah *pitch* dan arah *yaw* dengan benda uji yang sama yaitu batang hubung, ternyata hasil pengujian $I_p = 0,00298 \text{ kgm}^2$ dan $I_y = 0,00304 \text{ kgm}^2$ dan untuk pengujian arah putar dengan menggunakan piringan massa dari aluminium didapat $I_r = 0,00125 \text{ kgm}^2$, hasil perhitungan didapat $I_r = 0,1271 \text{ kgm}^2$ tidak terlampaui jauh atau dapat dikatakan bahwa alat uji tiga arah sumbu, yaitu arah *pitch*, *yaw* dan *rolling* dapat digunakan untuk pengujian momen inersia massa untuk elemen mesin.

Kata Kunci: momen inersia massa, alat uji, momen.

*Penulis Korespondensi. Tel: - ; Handphone: +62 816 808 682
email : fauzhiarahmasari@ftijayabaya.ac.id



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

1. PENDAHULUAN

Sebagaimana yang telah diketahui berdasarkan prinsip dasar fisika, bahwa benda yang bergerak akan mengalami kecepatan dan percepatan baik linier maupun anguler (Schorah, Choppin dan James, 2014, 2015). Kondisi ini juga dialami oleh massa benda pada mekanisme permesinan. Percepatan anguler yang terjadi pada batang timbul dari beberapa keadaan. Salah satunya adalah akibat gaya-gaya dinamis dan gaya-gaya yang berasal dari proses pembakaran pada motor bakar (Hara, Hara dan Hayashi, 2012). Dampak dari adanya percepatan anguler, akan timbul suatu momen terhadap titik berat batang pada mekanisme, yang akan menyebabkan batang pada mekanisme mengalami gerakan angguk, geleng dan rotasi. Dalam menyeimbangkan batang yang sedang bergerak, hal inilah yang perlu diketahui sehingga hal-hal yang tidak diinginkan dapat dihindarkan (Hosokawa, 2018; Ahmed, 2017). Untuk mengetahui besarnya gaya inersia yang terjadi pada suatu elemen mesin, maka perlu diketahui besarnya momen inersia massa dari elemen mesin tersebut (Budynas, 2014). Berdasarkan hal tersebut, maka penentuan momen inersia massa elemen mesin, dalam rangka perancangan sistem keseimbangan pada suatu mekanisme adalah salah satu faktor yang sangat penting (Dahlia, Sefrinando dan Afdala, 2019). Biasanya ada dua cara yang digunakan dalam penentuan momen inersia massa ini. Pertama adalah secara teoritis dan yang kedua adalah melalui pengujian (Petrescu dkk., 2016). Untuk suatu benda dengan bentuk bangun yang kompleks penentuan momen inersia massa melalui cara pertama adalah sangat sulit.

Uji torsi adalah suatu metoda pengujian yang menggunakan prinsip momen torsi disuatu titik sama dengan nol, yaitu prinsip keseimbangan (Budynas, 2014; Oberg dkk., 2016).

Tulisan ini membahas tentang rancang bangun alat uji momen inersia massa suatu elemen mesin dalam tiga arah sumbu. Metode yang digunakan dalam cara ini cukup sederhana dan tidak terlalu sulit. Rancangan cukup mudah dibuat sehingga diharapkan akan sangat membantu para dosen dan peneliti dalam

membuat maupun menggunakannya sebagai alat bantu pengujian momen inersia massa.

2. METODOLOGI

Momen inersia massa adalah suatu besaran yang menyatakan besarnya tanggapan dari suatu benda yang dinyatakan dalam bentuk putaran terhadap gaya-gaya luar yang dialami akibat adanya jarak antara massa benda dengan titik pusat massa dari benda tersebut (Son dan Kim, 2013; Son dkk., 2014). Secara umum besarnya harga momen inersia massa dinyatakan dalam bentuk persamaan berikut:

$$I_{xx} = \int r^2 dm \quad (1)$$

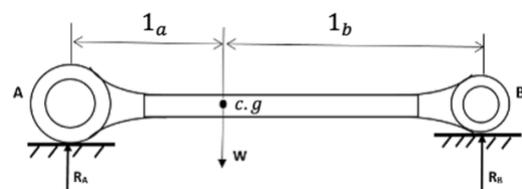
dimana:

- I_{xx} : momen inersia massa (kg m²)
- r : jarak (m)
- m : massa benda (kg)

Secara teoritis penentuan inersia massa I_{xx} suatu benda dengan menggunakan persamaan 1 diatas sangat mudah. Akan tetapi apabila dilihat di lapangan, jika suatu bentuk bangun dari suatu benda sangat kompleks maka penggunaan teori di atas akan sangat sulit. Hal ini juga berlaku untuk menentukan momen inersia massa dari suatu elemen mesin. Aplikasi dari persamaan 1 di atas sangat sulit.

2.1. Penentuan Momen Inersia Massa Raket dengan Metode Uji Torsi

Sebagaimana yang telah diuraikan di atas untuk menentukan I_{xx} batang mesin secara teoritis adalah sangat sulit. Oleh karena itu diajukan salah satu alternatif untuk menentukan I_{xx} tersebut yaitu secara eksperimental dengan menggunakan uji torsi. Hal pertama yang harus dilakukan dalam uji ini adalah menentukan letak titik berat benda uji seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Penentuan titik berat uji

Dengan menggunakan prinsip bahwa dalam keadaan setimbang jumlah momen pada salah satu titik sama dengan nol maka didapat:

$$1_a = \frac{R_A(1_a + 1_b)}{W} \quad (2)$$

dimana:

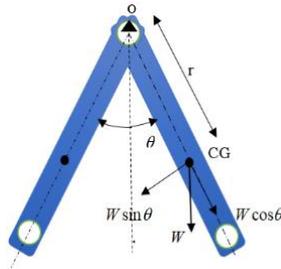
1_a : jarak antara titik A dengan titik pusat massa benda uji (m)

1_b : jarak antara titik B dengan titik pusat massa benda uji (m)

W : berat total elemen mesin (kg)

2.2. Menentukan Momen Inersia untuk Arah Angguk

Untuk menentukan I_{yy} untuk arah angguk, benda uji digantung pada suatu tumpuan O. Kemudian r benda uji ditarik dengan sudut simpangan sebesar θ° kemudian dilepaskan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Uji untuk menghitung I_{yy} benda arah angguk

Setelah dilepaskan benda akan mengalami osilasi (Hamidzadeh and Jazar, 2014). Besarnya Torsi yang terjadi selama osilasi adalah:

$$\tau_0 = I_0 \cdot \alpha \quad (3)$$

dimana:

τ_0 : torsi yang dihasilkan pada titik O (Nm)

I_0 : momen inersia massa benda pada titik O (kg m²)

α : percepatan sudut (rad/s²)

atau untuk kasus ini dapat dibuat hubungan:

$$(W \sin \theta)r = I_0 \frac{d^2 \theta}{dt^2} \quad (4)$$

Karena besaran θ kecil, maka harga $\sin \theta \approx \theta$. Sehingga persamaan 3 di atas menjadi:

$$W \theta r = I_0 \frac{d^2 \theta}{dt^2} \quad (5)$$

Untuk pemecahan persamaan di atas, osilasi dapat dianggap sebagai suatu gerak harmonik (Harris and Piersol, 2002). Dalam hal ini, besarnya θ adalah:

$$\theta = A \sin \omega t + B \cos \omega t \quad (6)$$

dimana:

θ : Amplitudo (cm)

ω : Kecepatan sudut (rad/det)

Kondisi-kondisi batas yang tersedia adalah bahwa untuk $t = 0$, $\theta = \theta_{maks}$ dan $d\theta/dt = 0$ (kecepatan sudut sama dengan nol). Dari penyelesaian persamaan di atas untuk $A = 0$ dan $B = \theta_{maks}$ akan didapat hubungan:

$$\theta = \theta_{maks} \cos \omega t \quad (7)$$

dimana:

ω : kecepatan sudut (rad/det)

θ_{maks} : amplitudo osilasi (cm)

Untuk harga $t = T$ detik pada saat gerak diulang, maka persamaan 5 di atas yaitu menjadi:

$$W \theta_{maks} \cos \omega T r = I_0 (-\theta_{maks} \omega^2 \cos \omega T) \quad (8)$$

$$W r = -I_0 \omega^2 \text{ atau } \omega = \sqrt{\frac{W \cdot r}{I_0}} \quad (9)$$

Persamaan di atas merupakan sebuah gelombang *cosinus* yang menempuh satu daur lengkap pada saat $\omega T = 2\pi$, sehingga menghasilkan bentuk hubungan:

$$\sqrt{\frac{W \cdot r}{I_0}} T = 2\pi \text{ atau } T = 2\pi \sqrt{\frac{I_0}{W \cdot r}} \quad (10)$$

atau harga I_0 adalah:

$$I_0 = W \cdot r \left(\frac{T}{2\pi} \right)^2 \quad (11)$$

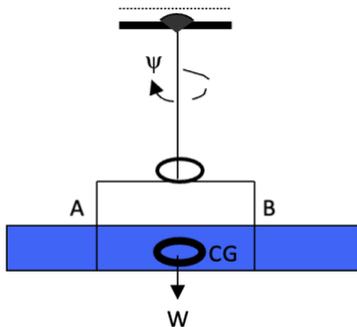
Besarnya momen inersia massa terhadap titik berat atau sumbu lateral benda (arah angguk), dapat diperoleh dari teorema perpindahan, yaitu:

$$I_w = W \cdot r \left(\frac{T}{2\pi} \right)^2 - \frac{W \cdot r^2}{g} \quad (12)$$

Dari persamaan 12 di atas, jika berat dan titik berat benda diketahui dan periode (T) dari benda didapat dari hasil pengujian, maka besarnya momen inersia pada arah angguk dengan mudah dapat ditentukan.

2.3. Penentuan Momen Inersia Untuk Arah Geleng

Suatu metode untuk menentukan momen inersia (I_{zz}) pada arah geleng (*yaw*) adalah dengan memakai satu sistem getar torsional. Sistem ini juga memungkinkan penentuan momen inersia untuk komponen-komponen yang tidak dapat ditumpu. Cara pengujian dapat dilihat pada Gambar 3 berikut:



Gambar 3. Penentuan momen inersia massa pada arah geleng (*Yaw*)

Seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3, elemen mesin yang akan diuji digantung pada sebuah kawat atau batang baja. Kemudian rangka diputar dengan suatu sudut sebesar ψ . Persamaan momen inersia dapat diperoleh berdasarkan periode waktu untuk satu isolasi.

Perhatikan bahwa elemen mesin yang ada dalam keranjang uji digeser sebesar ψ . Torsi yang diteruskan ke elemen mesin oleh kawat adalah $k\psi$, dimana k adalah konstanta pegas kawat (Newton meter orsi per radian). Persamaan untuk gerak dari benda uji atau elemen mesin adalah:

$$k\psi = I \frac{d^2\psi}{dt^2} \quad (13)$$

Untuk menyelesaikan persamaan 13, persamaan gerakan dianggap sebagai suatu gerak harmonik, yaitu:

$$\psi = A \sin \omega t + B \cos \omega t \quad (14)$$

Jika pada saat $t = 0$, $\psi = \psi_{maks}$ dan $\frac{d\psi}{dt} = 0$, maka konstanta-konstanta A dan B harganya adalah $A = 0$ dan $B = \psi_{maks}$ sehingga bentuk persamaan menjadi:

$$\psi = \psi_{maks} \cos \omega t \text{ atau } \frac{k}{I} \psi = \frac{d^2\psi}{dt^2} \quad (15)$$

Untuk menyelesaikan persamaan di atas, gerakan roket dianggap sebagai gerak harmonik, sehingga:

$$\psi = A \sin \omega t + B \cos \omega t \quad (16)$$

Jika pada saat $t = 0$, $\psi = \psi_{maks}$ dan $\frac{d\psi}{dt} = 0$, harga konstanta-konstanta $A = 0$ dan $B = \psi_{maks}$. Penyelesaian dari kondisi batas di atas akan menghasilkan persamaan berikut:

$$\psi = \psi_{maks} \cos \omega t \quad (17)$$

atau

$$\frac{k}{I} \psi = \frac{d^2\psi}{dt^2} \quad (18)$$

$$\frac{k}{I} \psi_{maks} \cos \omega t = \psi_{maks} \omega^2 \cos \omega t \quad (19)$$

$$\frac{k}{I} = \omega^2 \quad (20)$$

atau

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{I}} \quad (21)$$

$$\psi = \psi_{maks} \cos \left(\sqrt{\frac{k}{I}} t \right) \quad (22)$$

Persamaan di atas merupakan suatu gelombang *cosinus* yang berjalan melalui satu daur penuh pada saat:

$$\omega T = 2\pi \text{ atau } \sqrt{\frac{k}{I}} \cdot T = 2\pi \quad (23)$$

atau waktu T untuk satu daur penuh adalah:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{k}} \quad (24)$$

Berdasarkan persamaan 24, momen inersia (I_f) dari batang penggantung elemen mesin yang dianalisa adalah:

$$I_f = \frac{k \cdot T^2}{4\pi^2} \quad (25)$$

Konstanta k untuk batang penggantung dapat ditentukan dari pengamat kekuatan material, yaitu:

$$\varphi = \frac{M_t l}{JG} \tag{26}$$

sedangkan k didefinisikan sebagai

$$k = \frac{M_t}{\varphi} \tag{27}$$

atau

$$k = \frac{JG}{l} = \frac{\pi \cdot d^4 G}{32l} \tag{28}$$

dimana:

- d : diameter batang penggantung benda uji (m)
- G : modulus elastisitas geser
- L : panjang batang penggantung (m)

Identik dengan persamaan 25, besarnya momen inersia massa benda uji untuk arah geleng dapat dinyatakan dalam hubungan berikut:

$$I_{zz} + I_f = \frac{kT_{r+f}}{4\pi} \tag{29}$$

Substitusi persamaan 29 dengan persamaan 25 akan menghasilkan hubungan sebagai berikut:

$$I_{zz} = \frac{k}{4\pi^2} (T_{r+f}^2 - T_f^2) \tag{30}$$

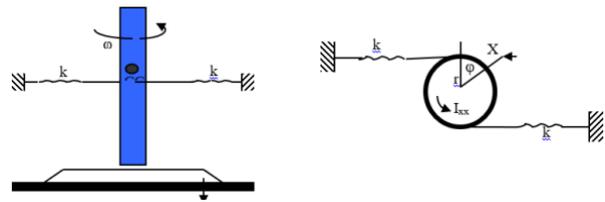
dimana:

- I_{zz} : momen inersia benda uji pada arah geleng
- T_{r+f} : waktu untuk osilasi penuh dari batang penggantung dan benda uji
- T_f : waktu untuk satu osilasi penuh dari batang penggantung

Dengan diketahuinya data T_{r+f} dan T_f , maka dari persamaan 30 besar momen inersia massa arah geleng dapat ditentukan.

2.4. Penentuan Momen Inersia Untuk Arah Putar

Untuk mengetahui momen inersia massa elemen mesin untuk arah putar (I_{xx}) digunakan cara seperti Gambar 4. Benda uji diletakkan tegak lurus pada suatu rangka tumpuan licin dan dapat berputar dengan bebas tanpa hambatan (gesekan diusahakan kecil sekali). Benda Uji diberi pegas pada bagian kanan dan bagian kiri benda uji dengan konstanta pegas adalah K . Kemudian elemen mesin diputar dengan sudut simpangan sebesar φ° .



Gambar 4. Penentuan momen inersia massa benda uji pada arah guling (roll)

Persamaan gerak adalah:

$$I_{xx} \frac{d^2 \varphi}{dt^2} = -2kr^2 \varphi \tag{31}$$

Dengan perkataan lain torsi yang diberikan terhadap roket melalui kawat sebesar $2kr\varphi$.

Gerakan roket dapat dianggap sebagai suatu gerak harmonik dengan persamaannya adalah:

$$\varphi = A \sin \omega t + B \cos \omega t \tag{32}$$

Sama dengan prinsip yang telah diuraikan sebelumnya, maka pada uji ini pada saat $t = 0$, maka $\varphi = \varphi_{maks}$ dan $\frac{d\varphi}{dt} = 0$. Harga konstanta A dan B dari persamaan di atas adalah $A = 0$ dan $B = \varphi_{maks}$.

Persamaan akhir untuk kondisi-kondisi batas di atas adalah:

$$\omega = \sqrt{\frac{2kr^2}{I_{xx}}} \tag{33}$$

Sehingga harga φ menjadi:

$$\varphi = \varphi_{maks} \cos \sqrt{\frac{2kr^2}{I_{xx}}} \cdot t \tag{34}$$

Persamaan 34, merupakan sebuah persamaan gelombang yang berjalan melalui satu daur penuh pada saat $\omega t = 2\pi$, sehingga hubungan di atas menjadi:

$$\sqrt{\frac{2kr^2}{I_{xx}}} \cdot T = 2\pi \tag{35}$$

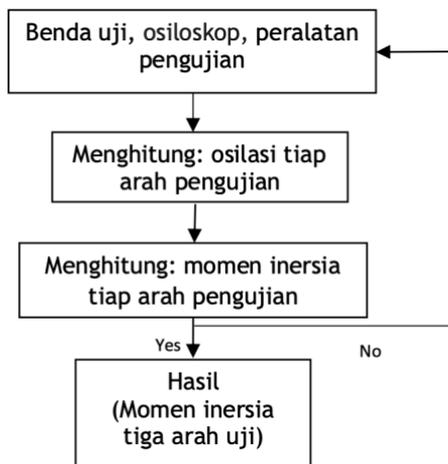
atau

$$I_{xx} = \frac{1}{2} k \left(\frac{T \cdot r}{\pi} \right)^2 \pi \tag{36}$$

Dari persamaan 36, jika konstanta pegas (k) diketahui dan periode (T) dari benda uji didapat dari hasil pengujian, maka besarnya momen inersia pada arah putar (*roll*) dengan mudah dapat ditentukan.

2.5. Metode Penelitian

Sebagaimana yang telah diketahui bahwa penentuan momen inersia massa secara teoritis dari suatu bentuk bangun yang kompleks seperti roket adalah sangat sulit. Untuk mengatasi hal ini alat uji dirancang berdasarkan aplikasi dari persamaan yang telah diuraikan sebelumnya. Khususnya untuk dapat mengukur besarnya momen inersia massa elemen mesin secara eksperimental. Kemudian cara melakukan penelitian untuk mengetahui besar momen inersia masing-masing benda dalam tiga arah sumbu dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Flowchart penelitian

Dimana prinsip kerja dari alat ini adalah untuk dapat mengadakan pengukuran kemampuan gerak osilasi elemen mesin pada arah guling (*roll*), arah tukik (*pitch*) dan arah geleng (*yaw*). Berpegang pada teori yang telah diuraikan sebelumnya, dengan adanya osilasi maka besar momen inersia massa benda uji akan dapat diketahui (Zulirfan dan Sudrajad, 2011). Setelah benda uji atau elemen mesin yang akan dihitung momen inersianya ditempatkan pada alat uji, kemudian benda uji diberi simpangan kemudian dilepas dan dicatat osilasi yang terjadi dari pengujian tersebut, kemudian dengan teori yang ada dihitung besarnya momen inersia masing-masing sumbu.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengujian Angguk (*Pitch*)

Suatu batang hubung beratnya $15N$, jarak titik berat ke pen tumpuan uji $r = 13\text{ cm}$ waktu untuk 25 osilasi adalah 20 detik, $f = 25/20 = 1,25$, maka $T = 20/25 = 0,8$, maka I_p adalah

$$I_p = W \cdot r \left(\frac{T}{2\pi} \right)^2 - \frac{W \cdot r^2}{g} \quad (37)$$

dengan memasukkan nilai di atas didapat $I_p = 0,0029\text{kgm}^2$ hasil pengujian yang lain dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian angguk (*pitch*)

W	r	Osilasi	t	T	I_p
15	0.013	25	20	0,8	0,00290
15	0,013	21	17	0,81	0,00298
15	0,013	22	18	0,82	0,00300

Hasil I_p rata-rata adalah $I_p = (0,00290 + 0,00298 + 0,00300)/3 = 0,00298\text{kgm}^2$.

3.2. Pengujian Geleng (*Yaw*)

Suatu batang hubung beratnya $15N$, diuji dengan arah geleng (*yaw*) waktu untuk 20 osilasi adalah 20 detik $T_{r+f} = \frac{20}{20} = 1$ detik, keranjang sendiri diuji 20 osilasi dalam 7 detik atau $T_f = \frac{7}{20} = 0,35$ detik, diameter kawat baja $d = 5\text{ mm}$, panjang kawat $l = 2\text{ m}$, didapat $k = 1,36e - 1\text{ Nm/rad}$, maka I_y adalah:

$$I_y = \frac{k}{4\pi^2} (T_{r+f}^2 - T_f^2) \quad (38)$$

dengan memasukkan nilai di atas, didapat $I_y = 0,00303\text{kgm}^2$ dan hasil pengujian yang lain dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian angguk (*yaw*)

Percobaan	l	k	T_{r+f}	T_f	I_y
1	2	1,36e-1	1	0,35	0,00303
2	2	1,36e-1	1	0,36	0,00300
3	2	1,36e-1	1	0,375	0,00297

Hasil I_y rata-rata adalah $I_y = (0,00303 + 0,00300 + 0,00297)/3 = 0,003004\text{kgm}^2$.

3.3. Pengujian Rolling (Roll)

Sebuah piringan dari aluminium dengan jari-jari $r = 10\text{ cm}$ dan tebal 15 cm , dan dengan density $\rho = 2700\text{ kg/m}^3$, massa piringan $m = \pi \cdot r^2 \cdot \text{tebal} \cdot \rho = 12,72\text{ kg}$ maka mempunyai momen inersia secara teori adalah $I_r = m \cdot r^2 = 0,1271\text{ kgm}^2$. Dan kekakuan pegas $k = 25\text{ N/m}$ dan osilasi 25 dalam 8 detik maka momen inersia arah rolling (I_r) adalah:

$$I_r = \frac{1}{2} k \left(\frac{T \cdot r}{\pi} \right)^2 \quad (39)$$

dengan memasukkan nilai di atas, didapat $I_r = 0,00129\text{ kgm}^2$, dan hasil pengujian yang lain dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian rolling (roll)

Percobaan	r	Osilasi	t	T (detik)	I_r (kg/m ²)
1	0,1	25	8	0,320	0,00129
2	0,1	19	6	0,315	0,00126
3	0,1	23	7	0,304	0,00117

Hasil I_r rata-rata adalah $I_r = (0,00129 + 0,00126 + 0,00117)/3 = 0,00125\text{ kgm}^2$.

3.4. Pembahasan

Dari Tabel 1, terlihat hasil pengujian momen inersia terhadap batang hubung dari torak engkol dengan data suatu batang hubung beratnya 15 N , jarak titik berat ke pen tumpuan uji $r = 13\text{ cm}$, waktu untuk percobaan pertama 25 osilasi adalah 20 detik, $f = 25/20 = 0,8$, maka $T = 20/25$ dan hasil beberapa pengujian didapat nilai rata-rata momen inersia arah angguk (*pitch*) dari batang hubung yang diuji adalah $I_p = 0,00298\text{ kgm}^2$.

Dari Tabel 2, terlihat hasil pengujian momen inersia terhadap batang hubung dari torak engkol dengan data beratnya 15 N , diuji dengan arah geleng (*yaw*) waktu untuk 10 osilasi adalah 10 detik $T_{r+f} = \frac{10}{10} = 1$ detik, keranjang sendiri diuji 10 osilasi dalam 3,5 detik atau $T_f = \frac{3,5}{10} = 0,35$ detik, diameter kawat baja $d = 5\text{ mm}$, panjang kawat $l = 2\text{ m}$ dan modulus geser $G = 10,9e + 9$ didapat kekakuan torsional $k = 1,36e - 1\text{ Nm/rad}$ dan hasil beberapa pengujian didapat nilai rata-rata momen inersia arah geleng (I_y) dari

batang hubung yang diuji adalah $I_y = 0,00304\text{ kgm}^2$.

Dari pengujian arah *pitch* dan arah *yaw* dengan benda uji yang sama yaitu batang hubung, ternyata hasil pengujian $I_p = 0,00298\text{ kgm}^2$ dan $I_y = 0,00304\text{ kgm}^2$, tidak terlampau jauh atau dapat dikatakan bahwa kedua alat uji yaitu arah *pitch* dan *yaw* dapat digunakan untuk pengujian momen inersia massa.

Dari Tabel 3, terlihat hasil pengujian momen inersia terhadap piringan massa dari aluminium dengan diameter 20 cm tebal 15 cm , density $\rho = 2700\text{ kg/m}^3$, dan berat massa sekitar $m = 12,72\text{ kg}$ dan alat uji mempunyai kekakuan pegas $k = 25\text{ N/m}$. Dari hasil beberapa pengujian didapat nilai momen inersia arah *rolling* (I_r) dari piringan massa yang diuji adalah $I_r = 0,00125\text{ kgm}^2$. Sedangkan hasil perhitungan teoritis $I_r = 0,00127\text{ kgm}^2$, dengan tingkat kesalahan alat pengujian adalah

$$\Delta = \left(\frac{0,00127 - 0,00125}{0,00127} \right) 100\% = 1,5\% \quad (40)$$

dapat dikatakan bahwa alat uji momen inersia arah *rolling* yang dibuat, dapat digunakan untuk pengujian.

4. SIMPULAN

Dengan raancang bangun serta pengujian alat uji momen inersia massa yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa alat uji momen inersia massa arah angguk atau *pitch* alat dapat digunakan dengan baik hanya perlu ketelitian dalam pengamatan. Untuk alat uji momen inersia massa arah geleng atau *yaw* dengan bantuan kawat baja panjang 2 m , diameter 5 mm mempunyai kekakuan torsional $k = 1,36e - 1\text{ Nm/rad}$ dapat digunakan dengan baik terbukti dengan benda yang sama yaitu batang hubung nilai momen inersia massanya hampir sama antara I_p dan I_y . Sedangkan untuk arah *rolling* (I_r), alat terdiri dari bantalan yang koefisien geseknya sangat kecil dan kekakuan pegas $k = 25\text{ N/m}$, alat dapat bekerja dengan baik hasil teori dan pengujian terhadap benda yaitu piringan massa dari aluminium dengan diameter 20 cm dan tebal 15 cm dimana besar momen inersia teori dan

momen inersia massa pengujian beda nilainya tidak terlalu jauh dengan tingkat kesalahan sekitar 1,5%.

Rancangan alat uji yang diajukan merupakan suatu rancangan yang sangat sederhana, sehingga secara teoritis dan ekonomis sangat mudah untuk diwujudkan. Untuk pengembangan alat uji sampai taraf *prototype* penggunaan alat uji momen inersia massa untuk mengetahui besarnya harga momen inersia tersebut sudah cukup memadai.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Fakultas Teknologi Industri, Universitas Jayabaya yang telah memberikan pendanaan untuk penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, J.K. (2017) 'Parametric Study on Dynamic Analysis of Composite Laminated Plate', *International Journal of Civil and Environmental Engineering*, 11(7), hal. 905-909.
- Budynas, R. (2014) *Shigley's Mechanical Engineering Design*. 10th edn. McGraw-Hill Higher Education. [Cetak].
- Dahlia, R., Sefrinando, B. dan Afdala, A. (2019) *Pengembangan Alat Peraga Momen Inersia Berbasis Arduino Uno Untuk Peserta Didik Di Madrasah Aliyah Swasta Ittikhadul Khoiriyah Muaro Jambi*. PhD Thesis. UIN Sulthan Thaha Saifuddin.
- Hamidzadeh, H.R. dan Jazar, R.N. (2014) *Vibrations of Thick Cylindrical Structures*. Springer US. [Cetak].
- Hara, Y., Hara, K. and Hayashi, T. (2012) 'Moment of inertia dependence of vertical axis wind turbines in pulsating winds', *International Journal of Rotating Machinery*, Volume 2012, Article ID 910940, hal. 1-12.
- Harris, C.M. and Piersol, A.G. (2002) *Harris' Shock and Vibration Handbook*. 5th edn. McGraw-Hill. [Cetak].
- Hosokawa, K. (2018) 'Effect of Moment of Inertia of Attached Mass on Natural Frequencies of Cantilevered Symmetrically Laminated Plates', *EPI International Journal of Engineering*, 1(2), hal. 35-39.
- Oberg, E. dkk. (2016) *Machinery's Handbook: Toolbox*. Thirtieth edition. South Norwalk, Connecticut: Industrial Press, Inc. [Cetak].
- Petrescu, F.I.T. dkk. (2016) 'Something about the mechanical moment of inertia', *Am. J. Applied Sci*, 13(11), hal. 1085-1090.
- Schorah, D., Choppin, S. dan James, D. (2014) 'Effect of moment of inertia and physical profile on restricted motion swing speed', *Procedia Engineering*, 72, hal. 593-598.
- Schorah, D., Choppin, S. dan James, D. (2015) 'Effects of moment of inertia on restricted motion swing speed', *Sports Biomechanics*, 14(2), hal. 157-167.
- Son, J. dkk. (2014) 'Determination of inertial parameters using a dynamometer', *Bio-Medical Materials and Engineering*, 24(6), hal. 2447-2455.
- Son, J. dan Kim, Y.H. (2013) 'Methods for Measurement of Moment of Segmental Inertia Using a Dynamometer', *Journal of Biomedical Engineering Research*, 34(3), hal. 156-162.
- Zulirfan, E.D. dan Sudrajad, H. (2011) 'Pengembangan Perangkat Percobaan Momen Inersia dan Keseimbangan Benda Tegar sebagai Media Pembelajaran Fisika SMA', *J. Pendidik*, 2(2), hal. 8-15.