

PENGARUH INERSIA COUPLE PADA PROPELLER TERHADAP GETARAN SISTEM PROPULSI KAPAL

Debby Raynold Lekatompessy *

Abstract

The problem of axial vibration and torsional vibration at the ship propulsion system will analyze together with used the couple model, which representative of discrete system with multi degrees of freedom. The objective of this analysis is to know the influence of the inertia couple at the propeller to the natural frequency of the ship propulsion system. With the couple vibration analysis, we will get the values of natural frequency more correct, appeal if the analysis was done separately. In this paper, the axial and torsional vibration will be study first, and then the couple of them were done. Critical rotation will be expressed with know the value of the natural frequency of the ship propulsion system.

Keyword: axial vibration, torsional vibration, propeller, couple, natural frequency.

I. PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Seperti telah kita ketahui, getaran yang terjadi pada sistem propulsi biasanya analisa dilakukan secara terpisah antara getaran longitudinal (aksial) dengan getaran torsional. Padahal pada kenyataannya kedua getaran itu terjadi secara bersamaan, karena eksitasi yang terjadi secara bersamaan pula. Hal ini dapat dilihat pada eksitasi yang ditimbulkan oleh berputarnya propeller didaerah wake yang tidak uniform. Propeller menghasilkan eksitasi getaran ke arah longitudinal dan juga ke arah torsional. Karena pengaruh timbal balik yang terjadi maka analisa dilakukan secara bersamaan dan terpadu dalam satu bentuk persamaan matematis yaitu persamaan couple. Analisa couple aksial torsional menghasilkan analisa yang lebih teliti yang akan digunakan untuk dalam proses perencanaan dalam upaya memperkecil getaran pada sistem propulsi.

2. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

- Melakukan analisa getaran dengan cara couple aksial dan torsional.
- Mengetahui pengaruh inersia *couple* terhadap frekuensi natural sistem dari sistem propulsi kapal.
- Setelah diketahui frekuensi natural sistem propulsi kapal dapat ditentukan putaran Kritis.

3. Manfaat Penelitian

- Hasil analisa dengan cara couple lebih akurat dibandingkan dengan analisa dilakukan terpisah.
- Dapat diketahui apakah terjadi *added thrust* atau *added torque* akibat slip yang diakibatkan oleh air yang mengalami percepatan di sekitar akibit perputaran propeller.
- Perancang dapat menentukan putaran kritis dari sistem propulsi kapalnya dengan mengacu pada frekuensi natural hasil analisa.

4. Batasan penelitian

Analisa couple yang dilakukan adalah masalah couple propeller saja.

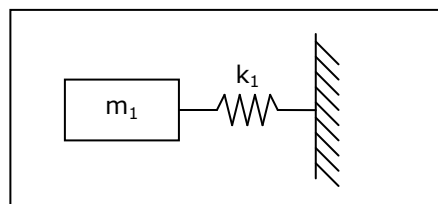
II. TINJAUAN TEORITIS

1. Getaran Couple Aksial Torsional

a. Getaran Aksial

Getaran aksial dapat didekati secara matematis dalam 3 model, yaitu:

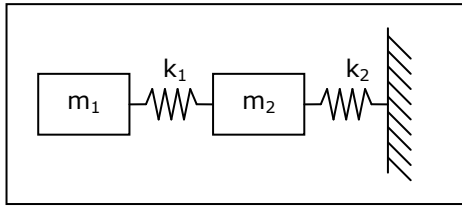
- Model dengan 1 massa.



* Debby R Lekatompessy, Dosen Program Studi Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Unpatti Ambon.

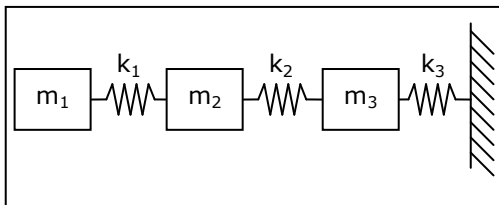
(biasa digunakan untuk sistem propulsi poros pendek dimana tidak ada gerakan relatif antara propeller dan permesinannya)

2. Model dengan 2 massa



(Model ini biasa digunakan untuk sistem propulsi poros panjang dengan mesin induk diesel dimana terjadi gerakan relatif antara propeller dan permesinannya)

3. Model dengan 3 massa.



(Model ini biasa digunakan untuk sistem propulsi poros panjang dengan mesin induk turbin dimana terjadi gerakan relatif antara propeller, reduction gear dan permesinannya).

Formulasi matriks

Persamaan umum untuk ke tiga model di atas dalam kondisi free vibration adalah:

$$[m]\{\ddot{x}\} + [k]\{x\} = 0 \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

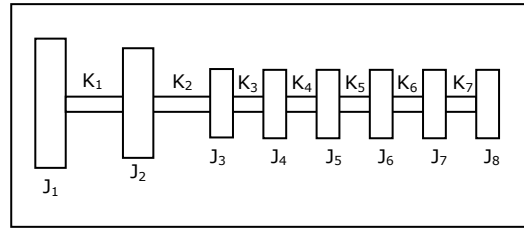
$$[m] = \begin{bmatrix} m_1 & & & \\ & m_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & m_n \end{bmatrix} = \text{matriks massa}$$

$$[k] = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & \dots & k_{1n} \\ k_{21} & & & \\ \vdots & & & \\ k_{n1} & & & k_{nn} \end{bmatrix} = \text{matriks kekakuan}$$

$$\{x\} = \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{Bmatrix} = \text{vektor displasemen aksial}$$

b. Getaran Torsional

Analisa getaran torsional sistem propulsi kapal dengan penggerak diesel dapat didekati dengan cara matematis oleh model berikut:



Gambar 1. Model matematis sistem propulsi dengan mesin induk diesel

Dimana:

J1 adalah momen inersia massa dari propeller yang meliputi:

2. Momen inersia massa dari propellernya sendiri (J_{prop})
3. Sepertiga bagian dari momen inersia massa dari poros (J_{poros})
4. Added hydrodynamic mass moment of inertia dari propeller. (untuk menghitung added mass dapat dilihat pada bagian 2.3).

Formulasi matriks

Persamaan umum untuk model ini dalam kondisi free vibration adalah:

$$[J]\{\ddot{\theta}\} + [K]\{\theta\} = 0 \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

$$[J] = \begin{bmatrix} J_1 & & & \\ & J_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & J_m \end{bmatrix}$$

Dimana $[J]$ adalah matriks moment inersia massa

$$[K] = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & \dots & K_{1m} \\ K_{21} & & & \\ \vdots & & & \\ K_{m1} & & & K_{mm} \end{bmatrix}$$

Dimana $[K]$ adalah matriks kekakuan torsional

$$\{\theta\} = \begin{Bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \vdots \\ \theta_m \end{Bmatrix}$$

Dan $\{\theta\}$ adalah vektor displasemen torsional

c. Getaran Couple

Kondisi getaran *Couple* menunjukkan adanya perubahan frekuensi-frekuensi natural dari sistem. Karenanya analisa dengan cara ini akan lebih mendekati kenyataan.

Formulasi matriks

Persamaan gerak umum dari getaran bebas *couple* aksial torsional oleh formulasi dalam kondisi free vibration adalah:

$$\begin{bmatrix} J & CM \\ CM^T & m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{\theta} \\ \ddot{x} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} K & CK \\ CK^T & k \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \theta \\ x \end{Bmatrix} = 0 \dots\dots\dots (3)$$

Dimana,

- J adalah matriks momen inersia massa
- M adalah matriks massa
- CM adalah matriks *couple* massa
- K adalah matriks kekakuan torsional
- k adalah matriks kekakuan aksial
- CK adalah matriks *couple* kekakuan
- T adalah notasi untuk transpose
- θ adalah vektor displasemen torsional.
- x adalah vektor displasemen aksial.

Dalam analisa getaran *couple* dikenal 5 macam kombinasi masalah *couple* yaitu:

1. Masalah *couple* propeller saja
2. Masalah *couple* massa saja
3. Masalah *couple* kekakuan saja
4. Masalah *couple* propeller digabungkan dengan *couple* kekakuan.
5. Masalah *couple* massa digabungkan dengan *couple* kekakuan.

Pada penelitian kali ini yang dianalisa hanya masalah pada *couple* propeller saja.

d. Couple Inersia pada Propeller

Couple inersia timbul karena adanya air disekitar propeller yang ikut berputar bersama propeller. *Couple* inersia pada propeller akibat peristiwa tadi dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$K = \left[\left(\frac{W_w}{2g} \right) x^2 + \left(\frac{J_w}{2g} \right) \theta^2 - \left(\frac{C}{2g} \right) x \dot{\theta} \right] \dots\dots\dots (4)$$

Dimana,

- K adalah energi kinetik dari air yang bergerak di sekitar propeller.
- W_w adalah *added weight*
- J_w adalah *added inertia*
- G adalah percepatan gravitasi
- C adalah *couple* inersia pada propeller.

Energi kinetik yang dimiliki oleh air disekitar propeller bergerak sejauh x arah kedepan propeller dan berputar searah jarum jam sebesar θ, propeller sendiri berputar ke arah kanan.

Air disekitar propeller akan mengalami percepatan karena berputarnya propeller. Percepatan ini yang menyebabkan timbulnya *added thrust* dan *added torque*.

Jika diasumsikan tidak terjadi slip maka persamaannya menjadi:

$$C = \frac{P.W_w}{2\pi} \quad \text{dan} \quad J_w = \frac{P^2.W_w}{2\pi^2}$$

Dimana:

P adalah besarnya pitch propeller

Sedangkan menurut eksperimen Lewis besarnya *added* inersia adalah:

$$J_w = \frac{0,8p^2W_w}{4\pi^2}$$

Atau J_w eksperimen 0,8 kali dibandingkan dengan hasil perhitungan teoritis.

Untuk menentukan besarnya frekuensi-frekuensi natural dan mode shape dari sistem propulsi kapal digunakan metode matriks eigenvalue.

III. ANALISA DAN PEMBAHASAN

1. Analisa Getaran Couple Aksial Torsional pada Sistem Propulsi Kapal

Bagian ini membahas bahwa terbukti adanya pengaruh *couple* inersia pada propeller terhadap nilai-nilai frekuensi natural dari sistem.

Pada perhitungan berikut diambil data untuk keperluan torsional sebagai dari sebuah kapal sebagai berikut:

J_1 = momen inersia massa dari propeller
= 852,687 lb in sec²

J_2 = momen inersia massa dari reduction gear
= 1685,552 lb in sec²

J_3 s/d J_8 = equivalen moment inersia massa dari tiap silinder motor diesel
= 654,92 lb in sec²

k_1 = konstanta pegas torsional dan poros utama propeller
= 8,615 x 10⁶ lb in/rad

Besarnya k_2 s/d k_7 adalah sama yaitu: $1,784 \times 10^9$ lb in/rad.

Data untuk analisa getaran aksial yaitu:

m_1 = massa propeller (termasuk 1/3 dari massa poros dan juga *added hydrodynamic mass*)
= $1120 \text{ lb sec}^2/\text{in}$

m_1 = massa permesinan = $2467 \text{ lb sec}^2/\text{in}$.

k_1 = kekakuan pegas aksial dari poros propeller
= $3,2 \times 10^6 \text{ lb/in}$.

k_2 = kekakuan dari *thrust bearing foundation* = $10 \times 10^6 \text{ lb/in}$.

Perhitungan *couple* inersia pada propeller

$C = \frac{P.W_w}{2\pi}$ dimana W_w biasanya diambil 60% dari massa propeller = 2.898.000

Bila *Pitch Propeller* 2,1 m atau 39,36 in maka besar C diperoleh 18.218.625,4

Elemen *couple* inersia (CM)

$$CM = -\frac{C}{g} = -222,25$$

2. Hasil Perhitungan

a. Getaran Aksial

Frekuensi natural 1 = 42,563 rad/det
Frekuensi natural 2 = 79,992 rad/det

b. Getaran Torsional

Frekuensi natural 1 = 0,000 rad/det
Frekuensi natural 2 = 107,548 rad/det
Frekuensi natural 3 = 624,753 rad/det
Frekuensi natural 4 = 1292,354 rad/det
Frekuensi natural 5 = 1941,552 rad/det
Frekuensi natural 6 = 2504,851 rad/det
Frekuensi natural 7 = 2937,204 rad/det
Frekuensi natural 8 = 3208,496 rad/det

c. Getaran Couple

Frekuensi natural 1 = 0,000 rad/det
Frekuensi natural 2 = 61,672 rad/det
Frekuensi natural 3 = 99,595 rad/det
Frekuensi natural 4 = 255,204 rad/det
Frekuensi natural 5 = 624,804 rad/det
Frekuensi natural 6 = 1292,356 rad/det
Frekuensi natural 7 = 1941,553 rad/det
Frekuensi natural 8 = 2504,851 rad/det
Frekuensi natural 9 = 2937,204 rad/det
Frekuensi natural 10 = 3208,496 rad/det

3. Analisa Hasil Perhitungan

Untuk mengetahui pengaruh dari adanya *couple* inersia pada propeller terhadap perubahan frekuensi natural dari sistem propulsi dapat dilihat pada tabel hasil perhitungan berikut

Frekuensi natural ke-n	Tanpa couple	dengan couple
1	0,0000	0,0000
2	42,563	61,672
3	79,992	99,595
4	107,548	255,204
5	624,753	624,804
6	1292,354	1292,356
7	1941,552	1941,553
8	2504,851	2504,581
9	2937,204	2937,204
10	3208,496	3208,496

Dari hasil perbandingan di atas dapat dilihat bahwa dengan adanya *couple* pada propeller akan dapat menggeser besarnya frekuensi-frekuensi natural, terutama untuk harga frekuensi natural yang rendah begitupula sebaliknya

IV. Kesimpulan dan saran

1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

1. Getaran aksial dan Torsional yang terjadi pada sistem propulsi kapal tidak berdiri sendiri-sendiri secara terpisah tapi saling mempengaruhi atau dengan kata kailn keduanya membentuk suatu *couple*. Ini terlihat dengan adanya *couple* inersia pada propeller.
2. *Couple* inersia pada propeller ini akan mempengaruhi besarnya frekuensi natural dari sistem propulsi. Dibandingkan dengan hasil analisa secara terpisah antara getaran aksial dan torsional maka adanya *couple* frekuensi-frekuensi natural dari sistem akan bergeser meninggi, terutama pada frekuensi terendah.

2. Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut pada *couple* yang lain, seperti *couple* massa, *couple* kekakuan, ataupun gabungan dari *couple* inersia pada propeller, *couple* kekakuan dan *couple* massa.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariana Made I. (1998). **Getaran Permesinan Kapal**, Hand out FTK, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Assmusen Iwer. (2001). **GL Technology Ship Vibration**, Hamburg, www.gl-group.com.

- Crede C. E. (1976). **Shock and Vibration Handbook** (Second Edition), McGraw-Hill Book Company, New York.
- Genta G., (1995). **Vibration of Structure and Machines**, Springer-Verlag, New York.
- Inman D. J., (1996). **Engineering Vibration**, International Editions, Prentice Hall inc., USA.
- Seto. William W. (1992). **Getaran Mekanis**. Diterjemahkan oleh Sebayang Darwin, Erlangga, Jakarta.
- Prasetyo L., (1995). **Teori Getaran Dengan Penerapan**, Erlangga, Jakarta.
- Steidel R. F. Jr. (1979). **An Introduction to Mechanical Vibrations**, John Wiley & Sons, New York.