

**KAJI EKSPERIMENTAL FREKUENSI PRIBADI DAN RASIO REDAMAN KOMPOSIT SANDWICH ALUMINIUM DENGAN CORE POLYURETHANE****Sigit Riagung Nugroho<sup>1</sup>, Didik Djoko Susilo<sup>2</sup>, Wijang Wisnu Raharjo<sup>2</sup>**

Program Sarjana Jurusan Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret

Staf Pengajar – Jurusan Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret

**Kata Kunci :***Composite sandwich, affect to core thickness, support configuration, natural frequency, damping ratio***Abstrak:**

The purpose of this study is to examine the dynamic characteristics of composite sandwich aluminum polyurethane. The composite sandwich was made by molding technique. Aluminum 1060 is used as skins and polyurethane as core. The ratio of isocyanate and polyol used in the polyurethane core is 3:2. The vibration tests were conducted according to ASTM E756 standard. The experiment variables used were core thickness, composite configuration installation and impact position. The damping ratio was determined using half-power bandwidth method.

The result shows that the core thickness, composite configuration installation and impact position affect to natural frequency and damping ratio. The increasing of core thickness will increase the natural frequency of the composite, however the damping ratio decrease. The downward orientation have the highest natural frequency comparing upright and horizontal, but the damping ratio behave in opposite why. The closer impact position to the clamp support produce the highest value of natural frequency, whereas the lower the damping ratio value.

**PENDAHULUAN**

Teknologi yang terus berkembang khususnya dibidang ilmu bahan menghasilkan terciptanya material-material baru, salah satunya adalah komposit *sandwich*. Material komposit *sandwich* mempunyai keunggulan yaitu ringan namun mempunyai kekakuan dan kekuatan yang tinggi. Komposit *sandwich* merupakan komposit yang tersusun dari 3 lapisan, terdiri dari 2 *skin* serta material inti (*core*) di bagian tengahnya (berada di antaranya). Material *skin* yang biasa digunakan diantaranya lembaran plat logam seperti aluminium, baja, titanium dan juga polimer yang diperkuat serat. Material *core* yang biasa dipakai adalah seperti *Polyurethane* (PU), *Polyvinyl Chlorida* (PVC), dan *honeycomb*. *Skin* berfungsi untuk menahan beban aksial dan transversal (sehingga harus kuat dan kaku). *Core* berfungsi mendistribusikan beban aksial dan transversal menjadi beban geser, sehingga harus ringan [1].

Salah satu aplikasi penggunaan komposit *sandwich* dibidang otomotif yaitu digunakan sebagai panel box pada mobil pengangkut barang. Pemakaian komposit *sandwich* dapat mengurangi berat dari sebuah panel, sehingga bisa menambah efisiensi penggunaan bahan bakar mobil atau truk pengangkutnya. Cara yang paling efektif untuk meningkatkan efisiensi yaitu dengan pengurangan massa kendaraan. Pengurangan massa sebesar 35 % dapat menghemat konsumsi bahan bakar 12-20% yang dapat dicapai melalui: perubahan desain kendaraan (*Vehicle design changes*), perampingan

dimensi/ukuran kendaraan (*Vehicle downsizing*), dan penggunaan material ringan (*Lightweight material substitution*) [2].

Sistem yang bermassa dan elastis dapat mengalami suatu getaran apabila ada gangguan yang bekerja pada sistem tersebut. Frekuensi gaya eksitasi apabila terjadi bersamaan dengan salah satu frekuensi pribadi sistem maka akan terjadi resonansi. Resonansi yang terjadi akan mengakibatkan amplitudo getaran yang besar sehingga dapat menyebabkan terjadinya kegagalan pada suatu sistem ataupun struktur. Gangguan pada balok yang ditumpu dan mendapat beban dinamis akan mempengaruhi nilai frekuensi pribadi. Kekakuan juga akan menentukan kondisi osilasi getaran yang terjadi, sehingga masalah kekakuan material sangat berpengaruh dalam analisis getaran pada elemen-elemen mesin atau konstruksi ketika mengalami suatu pembebanan [3][4].

Sifat redaman merupakan salah satu parameter yang perlu dipertimbangkan dalam menentukan karakteristik getaran pada suatu struktur. Amplitudo getaran bebas mengalami penurunan secara perlahan-lahan yang pada akhirnya akan berhenti. Berhentinya getaran tersebut disebabkan oleh semakin berkurangnya energi sistem. Kondisi seperti ini dikatakan material/struktur mengalami redaman.

Karakter dinamik bahan atau struktur dinyatakan oleh rasio redaman, frekuensi natural, dan mode getar yang dimilikinya, oleh karena itu parameter ini perlu diketahui sehingga dapat dicegah terjadinya getaran yang berlebihan pada bahan atau sistem ketika bekerja.

Persamaan gerak untuk sistem yang mengalami getaran bebas teredam dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\ddot{x} + 2\xi\omega_n \dot{x} + \omega_n^2 x = 0 \dots\dots\dots(1)$$

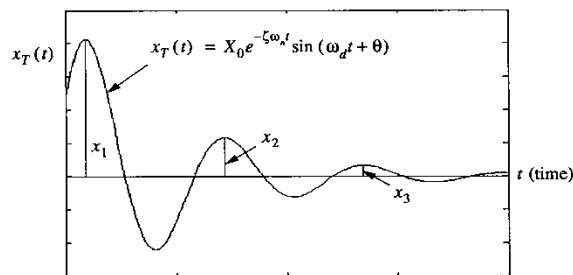
dengan :

$\omega_n$  : frekuensi natural,

$\xi$  : factor redaman

#### a. Metode *Logarithmic Decrement*.

Faktor redaman sebuah bahan dapat ditentukan secara eksperimental dengan memberikan getaran bebas pada struktur bahan tersebut. Selanjutnya faktor redaman diturunkan dari persamaan penurunan logaritmik, yang merupakan logritma natural rasio dua buah amplitudo yang berurutan. Sehingga dengan memperoleh data amplitudo respon getaran bebas sistem, maka dapat diperoleh faktor redaman bahan tersebut dengan rumus-rumus sebagai berikut:



Gambar 1. Respon getaran bebas.

$$\delta = \ln \frac{x_1}{x_2} \quad (2)$$

Dengan memasukkan nilai  $x_1$  dan  $x_2$  maka akan diperoleh :

$$\delta = \zeta\omega \tau_d \quad (3)$$

Jika dimasukkan nilai  $\tau_d = \frac{2\pi}{\omega_d}$ , maka diperoleh persamaan untuk penurunan logaritmik sebagai berikut:

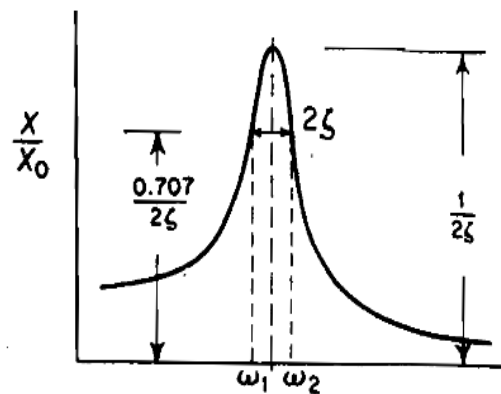
$$\delta = \frac{2\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}} \quad (4)$$

Untuk nilai faktor redaman yang kecil, maka persamaan dapat disederhanakan:

$$\delta \approx 2\pi\xi \quad (5)$$

#### b. Metode *Half-Power Bandwidth*.

Metode *half-power bandwidth* digunakan untuk menentukan rasio redaman pada domain frekuensi. Amplitudo resonansi suatu sistem pada metode ini harus diperoleh terlebih dahulu dengan mengasumsikan  $\omega/\omega_n = 1$ , dimana  $X_{res} = (F_0/k)/2\xi$ . Frekuensi pada kedua sisi resonansi sering disebut *side band* dapat diketahui, dimana  $X$  adalah  $0,707 X_{res}$  atau  $1/\sqrt{2} X_{res}$ . Titik-titik ini juga disebut titik setengah daya (*half-power point*), semakin besar redaman maka akan semakin kecil rentang frekuensi antara dua titik ini. *Half-power bandwidth* didefinisikan sebagai rasio dari rentang frekuensi antara dua *half-power* dengan frekuensi alami pada mode tertentu. Ilustrasi dari metode *half power bandwidth* dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. *Half power bandwidth*  
 Sumber: Thomson, 1980

Jika  $\omega_1$  dan  $\omega_2$  adalah frekuensi dari kedua sisi frekuensi resonansi, maka untuk  $\zeta$  yang kecil adalah :

$$\zeta = \frac{\omega_2 - \omega_1}{2\omega_n} \quad (6)$$

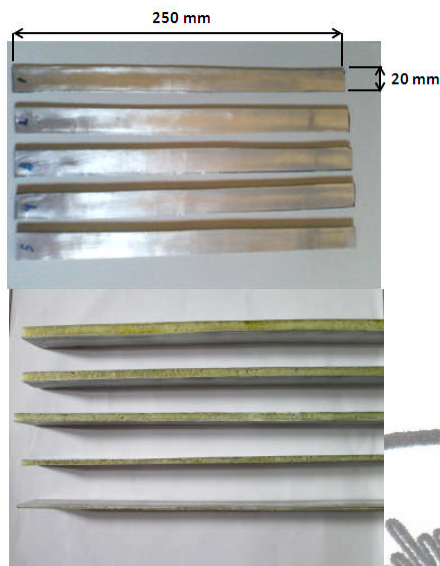
Hasil ini memungkinkan untuk melakukan evaluasi rasio redaman dari *forced vibration test* tanpa harus mengetahui besarnya gaya yang diterima pada struktur.

#### METODOLOGI PENELITIAN

Komposit sandwich dibuat dari skin aluminium dengan tebal 0.15 mm dan *core* dari resin *polyurethane*. Komposisi *polyurethane* dihitung dengan perbandingan 3:2 (*isocyanate* 3: *polyol* 2) dengan asumsi 40 kg *polyurethane* (20 kg *isocyanate* dan 20 kg *polyol*) dapat menjadi 1 m<sup>3</sup> (Sumber: PT. Justus Kimia Raya). Proses pencetakan dibantu dengan *press hydraulic*.

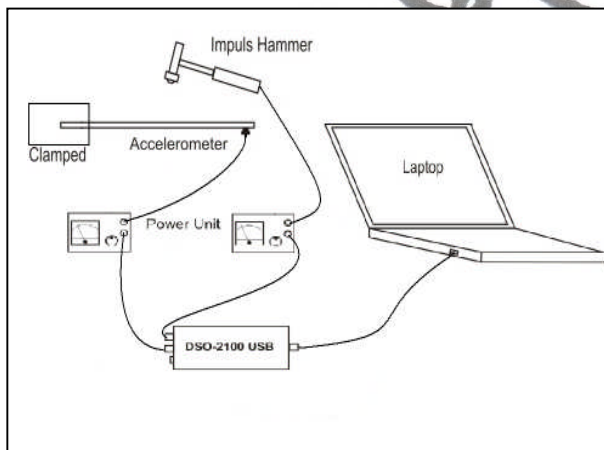
Ukuran spesimen uji adalah panjang 250 mm, lebar 20 mm dan dengan ketebalan 1 mm, 2 mm, 3

mm, 4 mm, 5 mm. Gambar spesimen uji disajikan pada gambar 3 berikut ini:

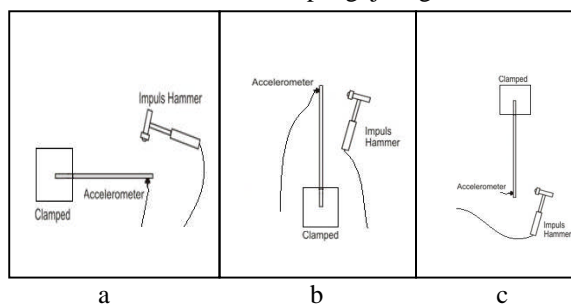


Gambar 3. Spesimen uji komposit *sandwich* aluminium-poliuretan

Pengujian getaran dilakukan untuk mengetahui pengaruh ketebalan *core polyurethane*, konfigurasi pemasangan struktur komposit (*horizontal-upright-downward*) dan konfigurasi posisi pemukulan. Skema pengujian dan konfigurasi pemasangan struktur komposit dapat dilihat seperti pada gambar 4 berikut.



Gambar 4. Skema pengujian getaran



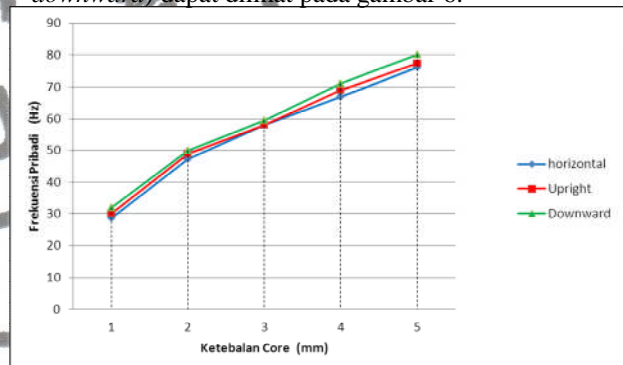
Gambar 5. Skema konfigurasi pemasangan struktur komposit (a. posisi horizontal b. *upright* c. *downward*)

Peralatan yang digunakan dalam pengujian adalah sebagai berikut :

1. *Impact Hammer* tipe Dytran 5800SL digunakan sebagai sumber eksitasi (*shock excitation*).
2. *Accelerometer* tipe 3035B2/G digunakan untuk mendeteksi sinyal getaran.
3. *Power Unit* tipe 4105C digunakan untuk memasok daya ke *accelerometer*.
4. DSO - 2100 USB AUTOTEK 2 Channel 100MS/s digunakan sebagai data akuisisi yang merubah sinyal analog menjadi sinyal digital.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Frekuensi pribadi dari hasil pengujian getaran komposit *sandwich* aluminium dengan *core polyurethane* pada variasi ketebalan *core* 1 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm, 5 mm dan variasi konfigurasi pemasangan struktur komposit (*horizontal-upright-downward*) dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Pengaruh ketebalan *core* terhadap frekuensi pribadi komposit *sandwich* aluminium dengan *core polyurethane*

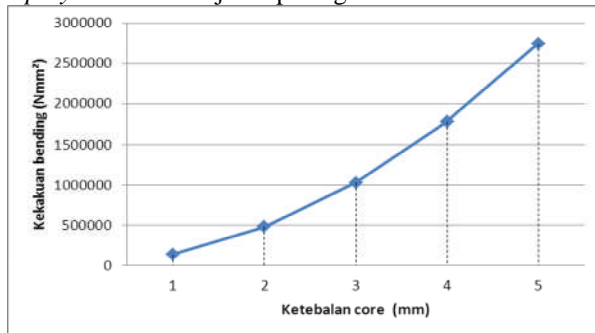
Berdasarkan gambar 6 terlihat bahwa nilai frekuensi pribadi pada posisi pengujian *downward* lebih tinggi dibandingkan dengan nilai frekuensi pribadi posisi pengujian *upright* dan *horizontal* dikarenakan pengaruh dari gravitasi sehingga gaya berat dari balok tersebut memberikan efek kekakuan, sedangkan pada posisi *upright* nilai frekuensi pribadi mengalami penurunan karena sifat tekan beban beratnya sendiri dengan kemungkinan *buckling/tekuk*. Hal ini sesuai dengan pengujian yang telah dilakukan oleh Virgin (2007).

Frekuensi pribadi pada variasi ketebalan *core* secara (*horizontal-upright-downward*) juga dapat dilihat pada gambar 6. Komposit *sandwich* dengan ketebalan *core* 1 mm mempunyai nilai frekuensi pribadi yang paling rendah, sedangkan komposit *sandwich* dengan ketebalan *core* 5 mm mempunyai nilai frekuensi pribadi yang paling tinggi. Pengaruh penambahan ketebalan *core polyurethane* terhadap nilai frekuensi pribadi yaitu semakin tebal *core* maka akan menghasilkan nilai frekuensi pribadi naik. Hal tersebut disebabkan karena semakin tebal *core* maka akan menambah nilai kekakuan dari komposit *sandwich* tersebut.



Semakin kaku komposit maka akan semakin besar nilai frekuensi pribadinya.

Salah satu cara untuk mengetahui nilai kekakuan dari material komposit *sandwich* adalah dengan melakukan uji bending. Uji bending dilakukan menggunakan metode *three point bending* sesuai dengan ASTM C 393. Data hasil pengujian bending komposit *sandwich* aluminium dengan *core polyurethane* disajikan pada gambar 7.



Gambar 7. Diagram pengaruh ketebalan *core* terhadap kekakuan bending

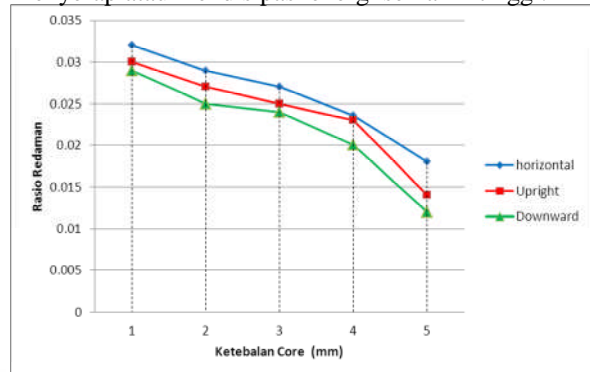
Berdasarkan gambar 7 terlihat bahwa hasil pengujian bending komposit *sandwich* dengan ketebalan *core* 5 mm memiliki nilai kekakuan yang paling tinggi yaitu  $2.745.855 \text{ Nmm}^2$  dan komposit *sandwich* dengan ketebalan *core* 1 mm memiliki nilai kekakuan terendah yaitu  $137.655 \text{ Nmm}^2$ .

Rasio redaman dari hasil pengujian getaran komposit *sandwich* aluminium dengan *core polyurethane* pada variasi ketebalan *core* 1 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm, 5 mm dan variasi konfigurasi pemasangan struktur komposit (*horizontal-upright-downward*) dapat dilihat pada gambar 8.

Berdasarkan gambar 8 dapat dilihat bahwa nilai rasio redaman pada posisi pengujian *downward* nilainya lebih rendah dari nilai rasio redaman posisi pengujian *upright* dan *horizontal* dikarenakan pengaruh dari gravitasi, sehingga gaya berat dari balok tersebut menambah nilai kekakuan. Semakin kaku maka nilai rasio redaman akan semakin turun.

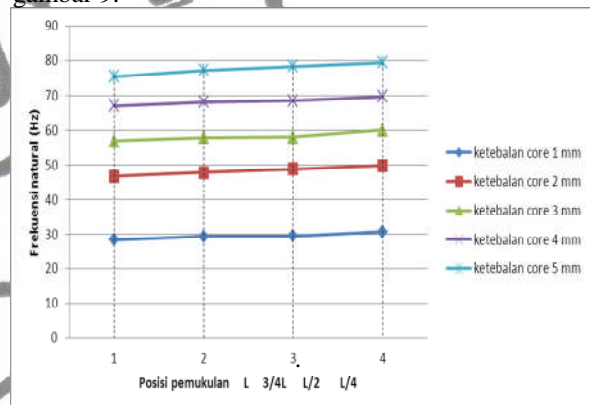
Rasio redaman pada variasi ketebalan *core* secara (*horizontal-upright-downward*) juga dapat dilihat pada gambar 8. Hubungan pengaruh ketebalan *core* terhadap rasio redaman komposit *sandwich* aluminium dengan *core polyurethane* didapatkan nilai rasio redaman paling tinggi pada ketebalan *core* 1 mm. Komposit *sandwich* dengan ketebalan *core* 5 mm mempunyai nilai rasio redaman yang paling rendah. Pengaruh penambahan ketebalan *core polyurethane* terhadap nilai rasio redaman yaitu bahwa semakin tebal *core* maka akan menghasilkan nilai rasio redaman yang turun. Perbedaan nilai rasio redaman pada variasi ketebalan *core* disebabkan karena faktor kekakuan. Semakin tebal *core* akan menaikkan nilai kekakuan. Apabila nilai kekakuan suatu material bertambah maka rasio redaman semakin kecil, sehingga kemampuan untuk menyerap atau mendisipasi energi akan semakin kecil. Semakin kecil nilai kekakuan suatu material

atau lentur maka akan menghasilkan rasio redaman yang semakin besar sehingga kemampuan untuk menyerap atau mendisipasi energi semakin tinggi.



Gambar 8. Pengaruh ketebalan *core* terhadap rasio redaman komposit *sandwich* aluminium dengan *core polyurethane*

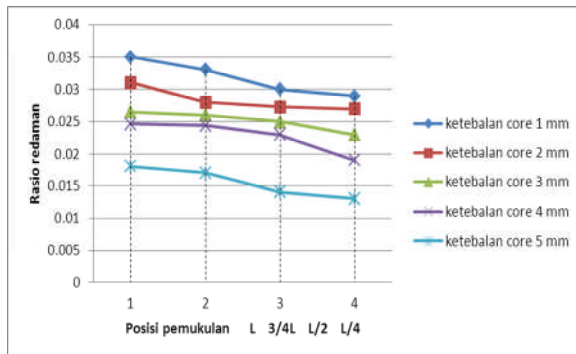
Frekuensi pribadi pada komposit *sandwich* aluminium *core polyurethane* dengan konfigurasi pemasangan struktur komposit (posisi pemukulan L; 3/4L; L/2; L/4 dari tumpuan) dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Pengaruh posisi *impact* terhadap frekuensi pribadi pada komposit *sandwich* aluminium dengan *core polyurethane*

Berdasarkan gambar 9 terlihat bahwa nilai frekuensi pribadi mengalami peningkatan seiring dengan semakin dekat tumpuan untuk posisi pemukulan pada ketebalan *core* yang sama. Nilai frekuensi pribadi untuk ketebalan *core* 1 mm pada posisi pemukulan 1L= 28,33 Hz; 3/4L=29,4 Hz; L/2=29,51 Hz; dan L/4=30,67 Hz. Begitu juga pada ketebalan *core* 2 mm, 3 mm, 4 mm dan juga 5 mm mengalami peningkatan dengan semakin dekat posisi pemukulan terhadap tumpuan. Semakin dekat dengan tumpuan nilai kekakuannya semakin besar sehingga nilai frekuensi pribadi juga semakin meningkat.

Rasio redaman pada komposit *sandwich* aluminium *core polyurethane* dengan konfigurasi pemasangan struktur komposit (posisi pemukulan L; 3/4L; L/2; L/4 dari tumpuan) dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 10. Pengaruh posisi *impact* terhadap rasio redaman pada komposit *sandwich* aluminium dengan *core polyurethane*

Berdasarkan gambar 10 terlihat bahwa nilai rasio redaman terbesar untuk ketebalan *core* 1 mm adalah pada posisi pemukulan  $1L=0,035$  Hz, dan terendah pada posisi  $L/4=0,029$  Hz. Nilai rasio redaman terbesar untuk ketebalan *core* 2 mm adalah pada posisi pemukulan  $1L=0,031$  Hz, dan terendah pada posisi  $L/4=0,027$  Hz. Nilai rasio redaman terbesar untuk ketebalan *core* 3 mm adalah pada posisi pemukulan  $1L=0,026$  Hz, dan terendah pada posisi  $L/4=0,023$  Hz. Nilai rasio redaman terbesar untuk ketebalan *core* 4 mm adalah pada posisi pemukulan  $1L=0,024$  Hz, dan terendah pada posisi  $L/4=0,019$  Hz. Nilai rasio redaman terbesar untuk ketebalan *core* 5 mm adalah pada posisi pemukulan  $1L=0,018$  Hz, dan terendah pada posisi  $L/4=0,013$  Hz. Posisi pemukulan  $L$  dari tumpuan mempunyai nilai rasio redaman lebih tinggi dibanding dengan posisi pemukulan  $L/4$  dari tumpuan. Pengaruh posisi pemukulan terhadap rasio redaman pada penelitian ini adalah posisi pemukulan semakin jauh dari tumpuan memiliki rasio redaman tinggi, sehingga dapat dikatakan bahwa semakin jauh dari tumpuan nilai kekakuan rendah. Apabila nilai kekakuan suatu material bertambah maka rasio redaman semakin kecil, sehingga kemampuan untuk mendisipasi energi akan semakin kecil. Semakin dekat dengan tumpuan nilai defleksi juga semakin kecil.

## KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Semakin tebal *core* komposit aluminium-*polyurethane* maka frekuensi pribadi dan rasio redaman komposit meningkat, tetapi rasio redaman turun dikarenakan nilai kekakuan bertambah sehingga kemampuan untuk menyerap atau mendisipasi energi akan semakin kecil.
2. Konfigurasi pemasangan struktur komposit pada orientasi *downward* memiliki frekuensi pribadi paling tinggi dibanding dengan *upright* dan horizontal karena pengaruh dari gravitasi, sehingga gaya berat dari balok tersebut memberikan efek kekakuan. Akan tetapi rasio redaman lebih rendah pada posisi *downward*, dikarenakan

semakin kaku maka rasio redaman akan berkurang

3. Posisi pemukulan yang semakin dekat dengan tumpuan akan menghasilkan frekuensi pribadi paling tinggi, sebaliknya rasio redamannya semakin rendah.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ashby, M.F., Jones, and David, R.H., 1980, *Engineering Material, An Introduction to their Properties and Applications*, editing by R.J. Brook, Pergamon Press, New York.
- [2] Bandivadekar, A., 2008, *On the Road in 2035: Reducing Transportation's Petroleum Consumption and GHG Emissions*, Massachusetts Institute of Technology.
- [3] Prabhakaran, 2011, *Analysis Of Mechanical Properties And Free Vibration Response Of Composite Laminates*, International Journal of Mechanical & Industrial Engineering, Vol.1.
- [4] Naharuddin, 2009, *Pengaruh Jenis Tumpuan Terhadap Frekuensi Pribadi Pada Getaran Balok Lentur*, Jurusan Teknik Mesin Untad, JIMT, Vol.6-No.1, pp. 68-74.