

Redaman Getaran Panel Komposit Sandwich Serat Kenaf Acak Bermatrik Poliester Dengan Core Kayu Sengon Laut

Kuncoro Diharjo¹, Budi Legowo², M. Masykuri³, Gunadi Abdullah⁴

¹Dosen Jurusan Teknik Mesin FT UNS, ²Dosen Jurusan Fisika FMIPA UNS

³Dosen Jurusan Pendidikan Kimia FKIP UNS, ⁴Staff Engineering PT. INKA Madiun

Email: kuncorodiharjo@uns.ac.id

Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah menyelidiki pengaruh tebal core terhadap faktor redaman, frekuensi alami, dan frekuensi teredam getaran panel komposit sandwich berpenguat serat kenaf acak – poliester dengan core kayu sengon laut. Bahan penelitian adalah serat kenaf acak, resin *unsaturated polyester* 157 BQTN EX, hardener MEKPO dan kayu sengon laut. Panel komposit sandwich dibuat dengan metode cetak tekan pada ukuran panjang 500 mm dan lebar 100 mm. Tebal komposit skin serat kenaf-polyester adalah 3 mm dengan fraksi volume serat 40%. Sampel uji terdiri dari komposit komposit sandwich serat kenaf-poliester dengan variasi tebal core 5, 10, 15, dan 20 mm. Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah *vibration pick up* PV-34, *sound pressure level* (SPL) meter NA-56, dan seperangkat komputer dengan *software* SCOPE. Pengujian dilakukan dengan menjepit sampel uji pada satu ujung dan ujung yang lain bebas (*cantilever beam*). Posisi sensor *vibration pick up* PV-34 ditempatkan pada jarak 50 mm dari ujung bebas. Simpangan diberikan secara manual. Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor redaman getaran komposit sandwich meningkat seiring dengan penambahan ketebalan core. Peningkatan harga faktor redaman yang signifikan terjadi pada panel komposit sandwich dengan ketebalan core 20 mm, yaitu sebesar 0.00525. Penebalan core juga meningkatkan frekuensi alami getaran panel komposit sandwich. Besarnya frekuensi getaran teredam meningkat seiring dengan peningkatan ketebalan core hingga ketebalan core 15 mm, sedangkan besarnya frekuensi getaran teredam pada ketebalan core 20 mm mengalami penurunan. Jadi, komposit sandwich dengan ketebalan core 15 mm merupakan panel komposit yang mampu meredam getaran secara efektif pada frekuensi yang paling tinggi (29.96 Hz).

Kata kunci: panel komposit sandwich; faktor redaman; frekuensi alami; frekuensi teredam.

PENDAHULUAN

Trend perkembangan teknologi komposit mengalami pergeseran dari penggunaan bahan komposit non struktur (hanya sebagai cover) menuju komposit struktur (sebagai penahan beban utama). Bahan komposit non struktur biasanya berupa skin komposit, sedangkan bahan komposit struktur umumnya merupakan jenis komposit sandwich. Komposit sandwich tersusun dari 2 buah komponen komposit skin sebagai lapisan permukaan dengan core di tengahnya. Dalam struktur *sandwich*, fungsi utama *skin* adalah sebagai pelindung core dari benturan, gesekan dan juga untuk keperluan penampilan/ *performance* [Steeves dan Fleck, 2005].

Material penguat komposit pun mengalami pergeseran dari penggunaan serat sintetis menuju serat alam. Salah satu penyebabnya adalah adanya efek limbah serat sintetis yang tidak dapat terurai secara alami. Indonesia, sebagai negara tropis, menghasilkan berbagai jenis serat alam, seperti kenaf, rami, abaca, agave, dan lain sebagainya. Produksi serat kenaf di dunia dapat dikatakan cukup besar, yaitu 970.000 ton/ tahun (Eichhorn dkk, 2001). Industri pertanian serat kenaf di Indonesia ada dua lokasi yang saat ini masih beroperasi, yaitu di Lamongan Jawa Timur dan di Banten Jawa Barat (sumber: Ir. Mukrim - PT. Rosella Baru, 2005). Serat ini biasanya hanya digunakan sebagai bahan karung goni sehingga memiliki nilai ekonomi yang rendah. Pemanfaatan serat kenaf sebagai bahan rekayasa diharapkan dapat meningkatkan nilai teknologi dan nilai ekonomi kenaf.

Di sisi lain, bahan core pada rancangan panel sandwich juga sedang dikembangkan penggunaan bahan alam seperti kayu. Salah satu perusahaan core dunia (DIAB Baracuda Teknologi), telah memasarkan bahan core kayu balsa. Industri komposit di Indonesia mengimpor core balsa tersebut melalui sebuah agen di Australia. Padahal, kayu balsa tumbuh dengan subur di Nusa Tenggara. Hal ini merupakan kebijakan terbalik dengan kondisi negara Indonesia yang kaya akan bahan kayu. Selain balsa, kayu sengon laut (KSL) juga memiliki sifat ringan yang selaras dengan filosofi bahan komposit sehingga potensial untuk digunakan sebagai bahan core. Produksi kayu sengon laut (*albizzia falcata*) hanya dominan di Pulau Jawa. Kayu ini biasa dipakai untuk landasan cor beton, struktur rumah, rak buku, dan bahan kerajinan tangan. Kelemahan kayu, mudah terserang jamur dan hama bubuk, dapat dihindari dengan perlakuan borac (sumber: Dept. Pertanian RI, 1996).

Berdasarkan sumber dari Departemen Kehutanan dan Pertanian, Rumah tangga yang menguasai tanaman sengon di Indonesia pada tahun 2003, tercatat sekitar 2,32 juta dengan populasi pohon yang dikuasai mencapai 59,83 juta. Separuh dari populasi jumlah pohon yang dikuasai rumah tangga adalah tanaman berumur muda, selebihnya yaitu sekitar 24,61 juta pohon adalah tanaman yang siap tebang. Potensi tanaman sengon di Indonesia terdapat di tiga propinsi di Jawa, yaitu di Jawa Tengah (34,84 %), Jawa Barat (30,62 %) dan Jawa Timur (10,88 %) (www.dephut.go.id)

Selama ini, kajian riset bahan panel komposit kini banyak dikonsentrasikan pada studi sifat fisis dan mekanis. Kerusakan suatu panel atau konstruksi tidak hanya disebabkan oleh adanya pembebanan, namun dapat juga disebabkan oleh adanya getaran. Konstruksi yang bergetar secara terus menerus akan berkurang kekuatannya dan pada suatu saat akan terjadi kerusakan. Kerusakan seperti ini dapat juga disebut sebagai kerusakan lelah (Soekrisno dan Jamasri, 1990). Struktur menjadi sangat berbahaya jika bergetar pada frekuensi yang sama dengan frekuensi alaminya pada kondisi simpangan yang besar.

Pada bahan komposit serat grafit-epoxy-serat kawat tembaga, harga *loss factor* pada kondisi *in-plane axial mode* memiliki harga optimum pada arah kawat $30^0 - 40^0$, sedangkan *loss faktor* pada mode bending dan torsi memiliki harga minimum pada arah kawat 30^0 . Di sisi lain, mode *chordwise* bahan komposit tersebut tidak dipengaruhi oleh orientasi serat. Karena modulus kawat tembaga lebih kecil dari modulus serat grafit, maka harga frekuensi alami panel komposit grafit-epoxy memiliki variasi yang kecil terhadap perubahan orientasi kawat (Biggerstaff dan Kosmatka).

Hasil penelitian *damping factor* bahan komposit serat E-glass – Epoxy dengan orientasi serat $\pm 45^0$ ditunjukkan pada tabel 1. Pada kasus-1 dengan penempatan serat gelas orientasi $\pm 45^0$ sebagai external layers, memiliki frekuensi alami yang lebih rendah dari pada lamina komposit pada kasus 2 yang memiliki orientasi serat 0^0 dan 90^0 (Tita dkk, 2001).

Tabel 1. Faktor *damping* hasil eksperimen dengan program FREQ (Tita dkk, 2001).

| Modes | ζ_n pada kasus-1 | ζ_n pada kasus-2 |
|-------------------|------------------------|------------------------|
| 1st Flexural mode | 0.063 | 0.040 |
| 2nd Flexural mode | 0.048 | 0.034 |
| 3rd Flexural mode | 0.020 | 0.026 |
| 4th Flexural mode | 0.022 | - |

Faktor redaman panel komposit serat kenaf 3 layer (acak-anyam-acak) mengalami penurunan yang signifikan pada $V_f = 32.42\%$ dan 47.56% , yaitu sebesar 0.0235 dan 0.0127. Besarnya faktor redaman (ζ) komposit 3 layer pada $V_f = 23.70\%$ adalah 0.0399. Pada komposit dengan $V_f = 32.42\%$, 39.99% , dan 40.62% dapat dikatakan tidak mengalami penurunan faktor redaman getaran yang signifikan, yaitu masing-masing sebesar 0.0235, 0.0211, dan 0.0186. Namun demikian, hasil penelitian ini secara jelas menunjukkan bahwa penambahan fraksi volume serat menurunkan faktor redaman getaran. Hal yang sama juga terjadi pada komposit 5 layer. Namun, penurunan faktor redaman pada komposit ini relatif lebih kecil, seperti ditunjukkan pada gambar 4a. Besarnya faktor redaman komposit 5 layer dengan $V_f = 22.47\%$ dan 44.46% adalah 0.0227 dan 0.0162. Pada fraksi volume antara 40-45%,

harga faktor redaman bahan komposit 3 dan 5 layer memiliki harga yang sama, yaitu sekitar 0.018. Faktor redaman komposit 5 layer memiliki harga yang lebih tinggi dari faktor redaman komposit 3 layer pada V_f lebih besar dari 42%. Gejala ini menunjukkan bahwa komposit dengan jumlah massa serat yang lebih banyak (panel komposit lebih tebal) pada V_f yang sama akan memiliki faktor redaman yang lebih besar. Secara umum, peningkatan kandungan serat pada panel komposit 3 dan 5 layer menyebabkan peningkatan frekuensi alami panel. Pada komposit yang lebih tipis (komposit 3 layer), semakin besar V_f semakin tinggi pula peningkatan frekuensi alaminya. Hasil analisis ini mengindikasikan bahwa semakin tebal panel semakin rendah frekuensi alaminya dan sebaliknya. Semakin besar V_f semakin besar pula modulus elastisitasnya, sehingga frekuensi alami panelnya pun semakin tinggi (Diharjo dkk, 2006).

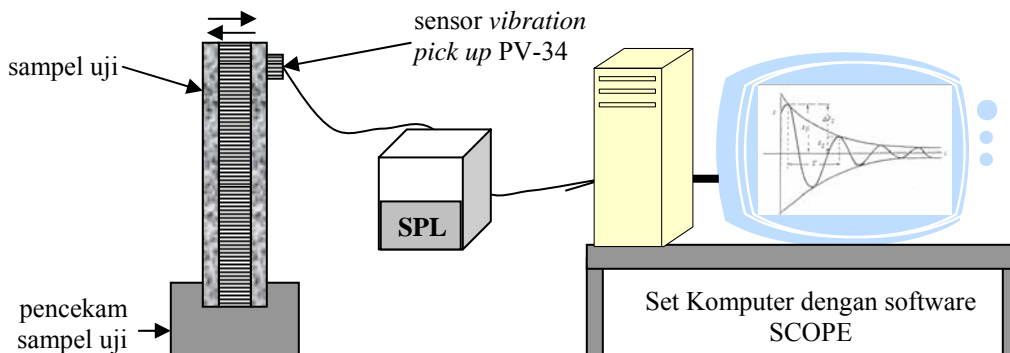
Hasil penelitian sifat mekanis bahan komponen penyusun panel komposit sandwich yang dilakukan oleh Diharjo dkk (2005) menunjukkan bahwa besarnya modulus elastisitas komposit skin dan core masing-masing adalah 0.8 GPa dan 8.3 GPa. Modulus elastisitas komposit skin dan core tersebut merupakan unsur penting yang mempengaruhi faktor redaman dan frekuensi alami struktur panel sandwich.

Uraian tersebut di atas menunjukkan bahwa koefisien redaman getaran merupakan besaran yang sangat penting karena dapat membatasi simpangan pada saat terjadi resonansi. Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki pengaruh tebal core terhadap faktor redaman, frekuensi teredam dan frekuensi alami bahan panel komposit sandwich.

METODE PENELITIAN

Bahan utama penelitian ini adalah serat kenaf acak, core kayu sengon laut, resin *unsaturated polyester* (UP) Yukalac tipe 157^R BQTN EX dan MEKPO. Panel komposit dibuat dengan metode cetak tekan dengan ukuran panjang 500 mm dan lebar 100 mm. Fraksi volume serat komposit skin adalah 40%, dengan ketebalan 3 mm. Besarnya fraksi volume serat dapat dihitung dengan persamaan 1. Variabel penelitian ini adalah tebal core kayu sengon laut (5, 10, 15 dan 15 mm). Core kayu sengon laut tersebut dipotong pada arah melintang (tegak lurus serat).

$$V_f = \frac{W_f / \rho_f}{W_f / \rho_f + W_m / V_m} \dots\dots\dots(1)$$



Gambar 1. Skema pelaksanaan pengujian getaran panel komposit.

Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah *vibration pick up* PV-34, *sound pressure level* (SPL) meter NA-56, dan seperangkat komputer dengan *software* SCOPE. Pengujian dilakukan dengan menjepit sampel uji pada satu ujung dan ujung yang lain bebas (*cantilever beam*). Posisi *sensor vibration pick up* PV-34 ditempatkan pada jarak 50 mm dari ujung yang bebas, seperti ditunjukkan pada gambar 3. Bagian sampel uji yang dicekam memiliki kedalaman 50 mm. Pemberian

simpangan dilakukan dengan menarik ujung panel bebas dengan gaya 2 kg dan 3 kg. Data yang diperoleh dari pengujian ini adalah periode getaran dan simpangan getaran bebas teredam dengan tumpuan jepit-bebas. Hasil pengolahan data tersebut akan dipaparkan dalam bentuk kurva hubungan antara faktor redaman, frekuensi teredam dan frekuensi alami versus fraksi volume serat.

Data hasil pengujian yang diperoleh pada saat pengujian getaran adalah periode getaran (τ), amplitudo getaran (x_1 dan x_2) seperti pada gambar 2, dan frekuensi teredam. Persamaan yang digunakan untuk menghitung besarnya koefisien redaman getaran (ζ) dengan persamaan dekremen loritma [Thomson, 1986]:

$$\delta = \ln \frac{x_1}{x_2} = \frac{1}{n} \ln \frac{x_0}{x_n} = \frac{2\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \dots\dots\dots(2)$$

Faktor redaman mempunyai batas harga tertentu yaitu: $\zeta > 1$ disebut redaman berat, $\zeta = 1$ disebut redaman kritis, dan $\zeta < 1$ disebut redaman ringan.

Rumusan yang digunakan untuk menghitung frekuensi alami panel sandwich dengan konstruksi *cantilever beam* adalah [Thomson, 1986]:

$$\omega_n = 3.52 \sqrt{\frac{EI}{\rho l^4}} \dots\dots\dots(3)$$

$$EI = E_f \frac{bt_f d^2}{2} + E_c \frac{bt_c^3}{12} \dots\dots\dots(4)$$

Rumusan yang digunakan untuk menghitung efektifitas redaman (frekuensi teredam yang paling efektif) adalah:

$$\omega_d = \frac{1}{T_d} = \frac{1}{t_2 - t_1} = \frac{1}{\Delta t} \dots\dots\dots(5)$$

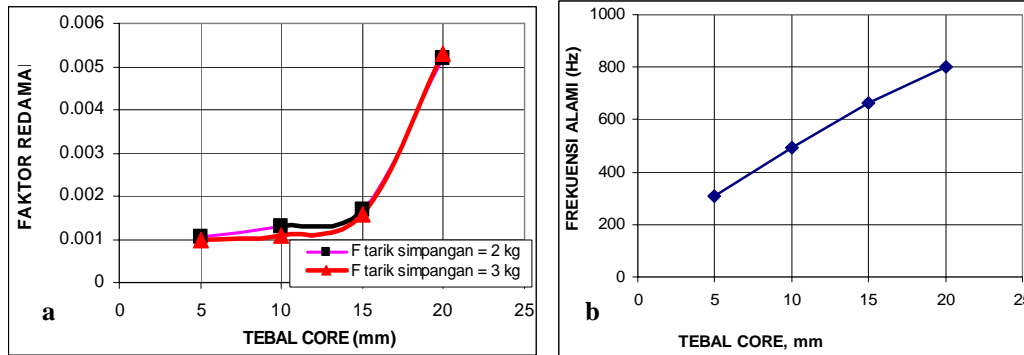
HASIL DAN PEMBAHASAN

Secara umum, peningkatan ketebalan core menyebabkan peningkatan faktor redaman getaran dan frekuensi alami getaran panel komposit sandwich, seperti ditunjukkan pada tabel 2. Perbedaan besarnya gaya yang diberikan untuk menimbulkan simpangan awal di ujung panel sandwich yang bebas tidak menyebabkan perbedaan harga faktor redaman getaran yang signifikan. Jadi, besarnya faktor redaman getaran panel sandwich dapat dikatakan tidak dipengaruhi oleh besarnya gaya yang digunakan untuk memberikan simpangan awal pada saat pengujian. Hal ini sesuai dengan kaidah teoritis, dimana faktor redaman merupakan tetapan material sehingga tidak dipengaruhi oleh besarnya gaya luar yang bekerja selama pengujian.

Tabel 2. Hasil analisis uji redaman getaran panel komposit sandwich

| Tebal Core (mm) | Faktor Redaman Getaran (F _{tarik simpangan = 2 Kg}) | Faktor Redaman Getaran (F _{tarik simpangan = 3 kg}) | Frek. Teredam (Hz) | Frekuensi Alami (Hz) |
|--------------------|--|--|-----------------------|-------------------------|
| 5 | 0.0010 | 0.0010 | 19.81 | 308 |
| 10 | 0.0013 | 0.0011 | 26.43 | 493 |
| 15 | 0.0017 | 0.0016 | 29.96 | 664 |
| 20 | 0.0052 | 0.0053 | 26.37 | 802 |

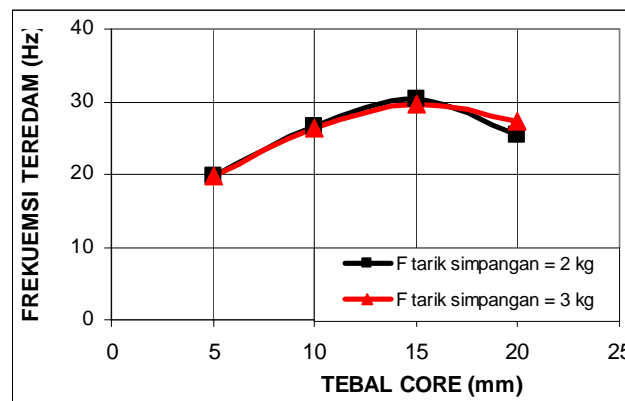
Keterangan: data faktor redaman yang diuji dengan gaya simpangan sebesar 2 kg dan 3 kg menunjukkan hasil yang sama, karena faktor redaman merupakan sifat dasar bahan.



Gambar 4. Hubungan (a) faktor redaman dan (b) frekuensi alami terhadap tebal core komposit sandwich serat kenaf acak dengan core kayu sengon laut.

Pola getaran yang terjadi antara komposit skin dan core KSL adalah sama, karena kedua komponen tersebut menyatu. Dengan demikian, harga faktor redaman getaran yang terukur merupakan faktor redaman panel sandwich, sebagai gabungan antara komposit skin yang memiliki modulus elastisitas yang lebih tinggi dan core KSL yang memiliki modulus elastisitas lebih rendah. Faktor redaman panel sandwich yang diuji dengan menggunakan gaya tarik simpangan 2 kg dan 3 kg menunjukkan harga yang hampir sama (gambar 4). Peningkatan ketebalan core mampu meningkatkan faktor redaman panel sandwich. Faktor redaman panel komposit meningkat signifikan pada ketebalan core 20 mm, dengan harga rata-rata 0.00525. Besarnya faktor redaman rata-rata (ζ) komposit sandwich dengan ketebalan core 5, 10, dan 15 mm masing-masing adalah 0.0010, 0.0012 dan 0.00165. Peningkatan besarnya faktor redaman getaran akibat penambahan ketebalan core ini disebabkan oleh adanya perubahan sifat material komposit sandwich yang lebih elastis. Hal ini terjadi karena core KSL yang ditingkatkan ketebalannya memiliki sifat lebih lunak dan porous.

Berhubung modulus elastisitas antara skin dan core berbeda, maka estimasi analisis frekuensi alami getaran panel tersebut dihitung dengan mengasumsikan panel tersebut sebagai satu kesatuan bahan baru. Jadi, kekakuan batang (EI) panel sandwich merupakan gabungan antara komposit skin dengan core. Hasil penelitian menunjukkan bahwa frekuensi alami panel meningkat seiring dengan peningkatan ketebalan core. Hal ini dipengaruhi oleh faktor penebalan core yang meningkatkan harga EI . Peningkatan harga EI identik dengan peningkatan kekakuan batang sehingga meningkatkan frekuensi alami.



Gambar 5. Kurva hubungan antara frekuensi teredam terhadap tebal core.

Hasil pengujian frekuensi teredam menunjukkan bahwa penebalan core menyebabkan peningkatan frekuensi getaran yang teredam dan mencapai frekuensi tertinggi (96.69 Hz) pada

ketebalan core KSL 15 mm. Besarnya frekuensi teredam pada panel komposit sandwich dengan ketebalan core 20 mm adalah 26.37 Hz, lebih rendah dibandingkan dengan panel andwich dengan ketebalan core 15 mm. Dengan demikian, panel komposit sandwich dengan ketebalan core 15 mm merupakan panel yang mampu meredam secara efektif frekuensi getaran yang paling tinggi (29.96 hz).

KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan tersebut di atas, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Faktor redaman getaran panel komposit sandwich meningkat seiring dengan penambahan ketebalan core. Pada ketebalan core 20 mm, harga faktor redaman meningkat signifikan yaitu sebesar 0.00525.
2. Penebalan core meningkatkan frekuensi alami getaran panel komposit sandwich
3. Besarnya frekuensi teredam efektif meningkat hingga ketebalan core 15 mm, sedangkan besarnya frekuensi teredam mengalami penurunan pada ketebalan core 20 mm.

DAFTAR NOTASI

| | | |
|----------------------|--|-----------------------|
| b | : lebar panel | (mm) |
| d | : tebal panel | (mm) |
| E | : Modulus Elastisitas panel | (MPa) |
| E_f, E_c | : Modulus elastisitas komposit skin dan core | (MPa) |
| l | : panjang panel | (mm) |
| I | : momen inersia | (mm ⁴) |
| n | : jumlah pola getar | |
| t_1, t_2 | : waktu getar antara simpangan 1 dan 2 | (detik) |
| t_f, t_c | : tebal komposit skin dan core | (mm) |
| T_d | : periode getaran bebas teredam | (detik) |
| V_f | : fraksi volume serat | (%) |
| W_f, W_m | : berat serat dan matrik | (gram) |
| x_n | : amplitudo getaran pola ke-n | |
| δ | : dekremen logaritma | |
| ρ | : massa jenis per satuan panjang material | (gr/mm ³) |
| ρ_f, ρ_m | : massa jenis serat dan matrik | (gr/cm ³) |
| ζ | : faktor redaman getaran | |
| ω_n, ω_d | : frekuensi alami dan frekuensi teredam | (hertz) |

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim Peneliti mengucapkan terima kasih kepada **DP2M DIKTI** Jakarta yang telah mendanai penelitian ini melalui Program Penelitian Hibah Bersaing XIII/2. Ungkapan terima kasih yang tulus juga kami sampaikan kepada **Sdr. Uki Primaranu** yang telah membantu kegiatan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, "Panduan Praktikum Getaran", Lab. Akustik dan Getaran, Jurusan Teknik Mesin dan Industri, FT UGM, Yogyakarta.
- Biggerstaff J.M. dan Kosmatka J.B., "Directional Damping Materials for Integrally Damped Composite Plates", Materials Science Program, University of California, San Diego, CA 92093-0085
- Diharjo K., Jamasri, Soekrisno, Rochardjo H. S. B., 2005, "Tensile Properties of random kenaf Fiber Reinforced Polyester Composite", National Seminar Proceeding of Development Research and Technology in materials and Process, Center of Inter University, Gadjah Mada University, Yogyakarta, Indonesia, July 2005.

- Diharjo K., Legowo B., Masykuri M. dan Abdullah G., 2006, “*Faktor Redaman dan Frekuensi Alami Getaran Bahan Komposit Serat Kenaf-Poliester*”, Proseding Seminar Nasional TEKNOIN, FTI-UII, Yogyakarta.
- Eichhorn S.J., Zafeiropoulus C.A.B.N., Ansel L.Y.M.M.P., Entwistle K.M., Escamilla P.J.H.F.G.C., Groom L., Hill M.H.C., Rials T.G., dan Wild P.M., 2001, “*Review Current International Research into Cellulosic Fibres and Composites*”, *Jurnal of materials Science*, pp. 2107-2131, 2001.
- Soekrisno dan Jamasri, 1990, “*Getaran Pada Konstruksi*”, PAU Ilmu Teknik, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, 1990.
- Steeves C. A., dan Fleck N.A., 2004. ‘*Collaps Mechanism of Sandwich Beam with Composite Face and Foam Core Loaded in Three Point Bending*’, Available Online at: www.sciencedirect.com.
- Thomson T. W., 1980, “*Theory of Vibration With Appliation*”, 2nd Edition, Prentice-Hall Inc., California.
- Tita V., Carvalho J.d., dan Lirani J., 2001, “*A Procedure to Estimate the Dynamic Damped Behavior of Fiber Reinforced Composite Beams Submitted to Flexural Vibrations*”, *Materials Research*, Vol. 4, No. 4, 315-321, Department of Mechanical Engineering, Engineering School of S. Carlos, University of S. Paulo, C.P. 359, 13560-970 S. Carlos - SP, Brasil Received: May 17, 2001; Revised: October 10, 2001, www.dephut.go.id.