

Identifikasi Delaminasi Batang Komposit Rami dengan Metoda Respon Frekuensi

Muh Yamin¹⁾, Heru S.B. Rochardjo²⁾, Suyitno³⁾, I Made Miasa⁴⁾

¹⁾ Mahasiswa Sekolah Pascasarjana Program Doktor, Universitas Gadjah Mada
Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

²⁾ Promotor/Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada

^{3), 4)} Co-promotor/Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada

Abstract

Identification of delamination composite beam for four layers by using piezoelectric sensors. Damage index is based delamination area (cross-sectional area ratio of delamination of the beam cross-sectional area). The purpose of research is to determine the location and cross-sectional area of delamination in composite materials beam four layers. Test beam varied in five variations of fiber orientation; $[0^0_2]_s$, $[45^0_2]_s$, $[90^0_2]_s$, $[\pm 45^0]_s$ dan $[0^0/90^0]_s$, five variations defect distance from the tip of the beam; 50, 100, 150, 200 and 250 mm, five variations of the damage index; 0:17, 0:22, 0:25, 0:28 and 0:33. Testing method used by the impulse frequency response method. Impulse testing in accordance with ASTM E 756. The results showed the natural frequency of the composite beam influenced by the orientation of the fiber direction, the distance from the tip of the beam defects and damage index.

Keywords: Ramie fiber composites, damage index, fiber orientation, location of the damage and the natural frequency

1. Pendahuluan

Getaran biasanya mengacu pada suatu gerak priodik dalam satu struktur elastis sekitar posisi keseimbangan. Landasan pemikiran teknik-teknik yang berbasis *SHM*, kerusakan dapat diidentifikasi dengan perubahan kekakuan, massa, atau sifat redaman dari suatu struktur yang pada gilirannya mempengaruhi respon dinamis dari struktur seperti frekwensi alami (parameter-parameter berhubungan dengan modal, respon gaya paksa, dll.) digunakan untuk mengukur kerusakan struktur. (Doebling dkk. 1998) meringkas suatu metoda pendeteksian kerusakan berbasis getaran. (Sohn dkk. 2004) meninjau SHM dengan cakupan lebih luas, di

mana permasalahan *SHM* diperlakukan sebagai pengenalan pola statistik dan teknik-teknik pendeteksian kerusakan yang termasuk metoda-metoda yang berbasis getaran. Tinjauan Ulang dan analisa lebih menyeluruh dapat ditemukan di dalam dua dokumen ini.

Parameter yang berhubungan dengan modal dan frekwensi alami dari suatu struktur secara relatif mudah diukur. Perubahan-perubahan frekwensi alami struktur mencirikan suatu cacat atau kerusakan. Pengamatan sistematis tentang pendeteksian kerusakan diidentifikasi dengan perubahan-perubahan frekwensi alami (Adams dkk. 1978). Eksperimen-eksperimen dilakukan pada suatu plat aluminium dengan kerusakan-kerusakan dalam bentuk lubang segi-empat. (Cawley dan Adams 1979) juga melakukan

kegiatan serupa, tapi pada materil CFRP (*plastik carbon-fiber-reinforced*).

(Friswell dkk. 1994) juga memperluas kriteria dengan memperkenalkan analisis statistik yang memungkinkan skenario kerusakan. *Palacz dan Krawczuk* (2002) membandingkan beberapa metoda-metoda yang berbasis getaran, termasuk *Cawley-Adams* untuk kriteria kerusakan pada keretakan beam. Kriteria *Cawley-Adams* kembali digunakan untuk komposit beam dengan suatu keretakan tepi.

Dengan adanya kesalahan pengukuran, kelayakan deteksi keretakan pada model masih perlu pengembangan analitis. Namun, seperti yang disebutkan oleh (Doebling dkk.1998) dan (Friswell dan Penny,1998), identifikasi kerusakan berdasarkan frekuensi mempunyai keterbatasan-keterbatasan praktis dalam beberapa aplikasi-aplikasi. Lebih dari itu, frekuensi alami memperlihatkan sifat global suatu struktur, dan biasanya tidak dapat mendeteksi kerusakan yang masih dalam permulaan, terutama ketika kerusakan itu ditempatkan di suatu daerah tegangan rendah. (Salawu, 1997) mengkaji ulang pendeteksian kerusakan oleh perubahan-perubahan frekwensi alami. Meski itu bisa tidak dapat dipercaya menggunakan frekuensi alami yang berubah untuk kemungkinan kerusakan identifikasi dalam beberapa infrastruktur-infrastruktur seperti struktur-struktur beton pra tekan. Strategi dan algoritma-algoritma dikembangkan untuk lebih lanjut menjelajah keuntungan-keuntungan dari frekwensi alami.

(Messina dkk. 1996) mengembangkan satu algoritma yang disebut *Damage Location Assurance Criterion* (DLAC). Suatu nilai DLAC dihitung dari vektor dari eksperimen perubahan frekuensi dan vektor berdasar pada analisa teoritis di suatu lokasi perkiraan kerusakan. Lokasi kerusakan diperoleh dengan membandingkan pola-pola dari perubahan frekuensi.

Identifikasi delaminasi pada batang komposit lamina (*carbon-epoxy*) dengan menggunakan piezoelektrik sensor dan konsep fungsi transfer telah digunakan dengan sukses.

Delaminasi dinotasikan berdasarkan panjang delaminasi (perbandingan panjang delaminasi dengan panjang beam), dengan tiga kasus delaminasi. Identifikasi delaminasi berdasarkan frekuensi alami dan hasil pengujian getaran memperlihatkan bahwa panjang delaminasi sangat berpengaruh pada frekuensi natural (Ning Hu, 2006).

Pengaruh panjang delaminasi dan orientasi serat terhadap frekuensi natural pada komposit beam dari *Glass/Epoxy* dianalisis oleh (Hasan, 2011). Metoda analisis menggunakan teori batang Timoshenko. Hasil analisis memperlihatkan bahwa frekuensi natural bertambah bila panjang delaminasi berkurang dan dengan orientasi serat berubah menghasilkan frekuensi natural berubah juga

Parameter-parameter yang berhubungan dengan modal dan frekwensi alami dari suatu struktur secara relatif mudah diukur. Perubahan-perubahan frekwensi alami struktur mencirikan suatu cacat atau kerusakan. Pengamatan sistematis tentang pen-deteksian kerusakan diidentifikasi dengan perubahan-perubahan frekwensi alami (Adams dkk. 1978). Eksperimen-eksperimen dilakukan pada suatu plat aluminium dengan kerusakan-kerusakan dalam bentuk lubang segi-empat. (Cawley dan Adams, 1979) juga melakukan kegiatan serupa, tapi pada materil CFRP (*plastik carbon-fiber-reinforced*).

Penelitian prosedur estimasi perilaku dinamis dari batang komposit serat pada material *glass/epoxy* tanpa delaminasi dengan orientasi serat $[\pm 45^0]$ dan $[0^0/90^0]$ dengan metoda FEA dan eksperimental (Volnei Tita dkk, 2001). Hasil analisis dan eksperimental memperlihatkan bahwa untuk orientasi serat $[\pm 45^0]$ mempunyai frekuensi alami lebih rendah dibandingkan dengan orientasi serat $[0^0/90^0]$ dan kesalahan antara analisis dan eksperimental diperoleh maksimum sebesar 16,5 %.

Analisis getaran batang komposit dengan multi delaminasi pada material *glass/epoxy* dengan orientasi serat $[0^0/90^0]_s$ dengan metoda FEA (Hein H, 2006). Hasil analisis memperlihatkan bahwa bila panjang

delaminasi bertambah menghasilkan frekuensi alami yang berkurang. Analisis getaran pada batang komposit guna mengidentifikasi kerusakan pada material glass/epoxy tanpa retak dan retak pada jarak L_1 dari jepitan dengan metoda FEA (Ramanamurhy dkk, 2011). Hasil analisis memperlihatkan bahwa frekuensi alami untuk material tanpa retak sebesar 64 Hz, untuk material retak pada kedalaman 6 mm sebesar 62 Hz dan untuk material retak pada kedalaman 9 mm sebesar 60 Hz

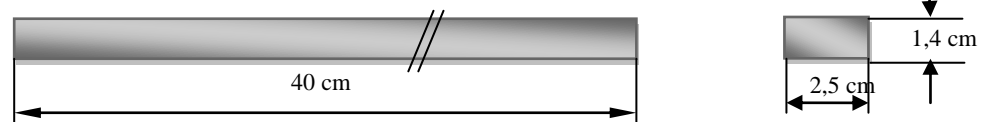
Analisis teoritis perilaku dinamis batang komposit kantilever pada material *E-glass polyester* dengan orientasi serat $[0_4]_s$, $[0^0/90^0]_s$ dan $[\pm 45^0]_s$ dengan metoda FEA (Hayder Moasa Al shukri dkk, 2009). Hasil analisis memperoleh frekuensi alami untuk : orientasi serat $[0^0/90^0]_s$ sebesar 14 Hz, orientasi serat $[0_4]_s$ sebesar 14,36 Hz dan

untuk orientasi serat $[\pm 45^0]_s$ diperoleh sebesar 7,88 Hz.

Penelitian mengenai pendeteksian kerusakan pada material komposit logam dan plastik telah banyak dilakukan, tapi belum ada pada material komposit serat alam. Eksperimen akan dilaksanakan menggunakan batang uji komposit serat rami dengan empat lapis. Kerusakan-kerusakan batang uji (cacat awal) dibuat berbentuk catat delaminasi.

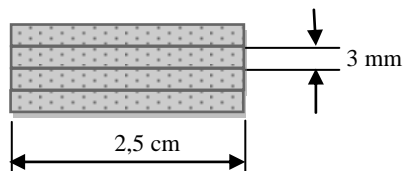
2. Material dan Spesimen

Material penelitian dari batang komposit rami empat lapis dengan lima variasi orientasi arah serat yaitu masing-masing $[0^0_2]_s$, $[45^0_2]_s$, $[90^0_2]_s$, $[\pm 45^0]_s$ dan $[0^0/90^0]_s$. Bentuk dan dimensi batang uji getaran dengan ukuran : panjang 40 cm, lebar 2,5 cm dan tinggi 1,4 cm, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Dimensi batang uji getaran

Penampang dengan ukuran lebar 2,5 cm dan tebal 1,4 cm. Tebal beam uji ini disusun dengan 4 lapisan, seperti diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Bentuk penampang beam

Foto batang komposit rami dengan variasi orientasi arah serat diperlihatkan pada Gambar 3.

3. Eksperimen

Pada pengujian impulse dengan respon

frekuensi dimana respon yang diberikan oleh spesimen ketika dibebani secara dinamik akan diperoleh frekuensi alami dan time-signal. Metoda pengujian adalah sesuai dengan

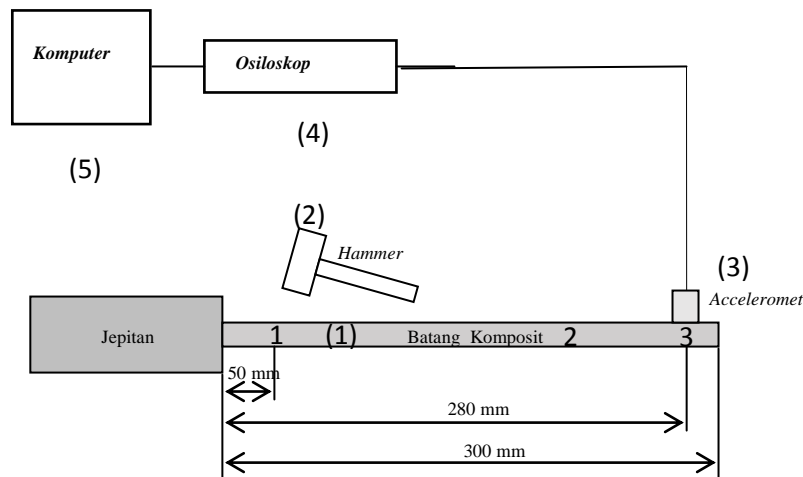


$[0^{\circ}/90^{\circ}]_s$
 $[\pm 45^{\circ}]_s$
 $[90^{\circ}]_2s$
 $[45^{\circ}]_2s$
 $[0^{\circ}]_2s$

standar ASTM E 756 dengan batang kantilever seperti yang diperlihatkan pada Gambar

Gambar 3. Foto batang komposit rami dengan lima variasi orientasi arah serat

r 5, dimana (1) Batang Komposit Kantilever, (2) Hammer, (3) Accelerometers B&K type 4397, (4) Osiloskop, (5) Komputer



Gambar 4. Pengujian Impuls

Pada Gambar 4 diperlihatkan bahwa spesimen dijepit agar menjadi kaku (1) dengan salah satu dari sisinya bebas untuk bergetar, sebagai balok kantilever. Instrumen hammer impact (2) digunakan untuk memberi beban

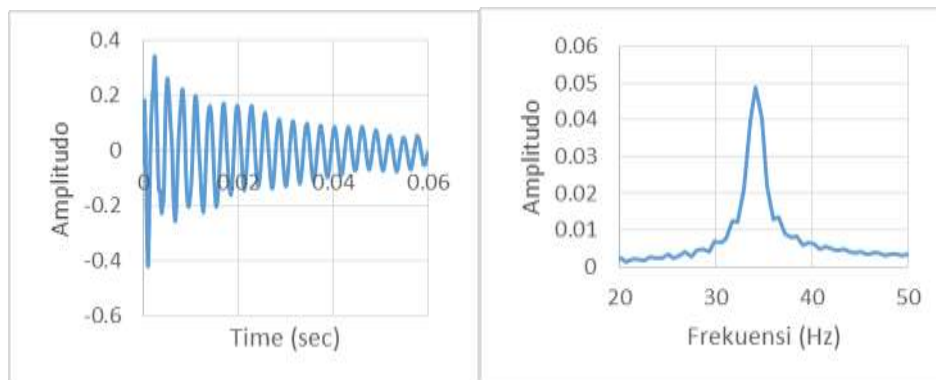
masukan (pulse). Keluaran oleh accelerometer (3) masuk ke Osiloskop (4), dinyatakan dalam respon frekuensi (amplitudo dan frekuensi). Foto rangkaian eksperimen diperlihatkan pada gambar 5.



Gambar 5. Foto rangkaian eksperimen

Data domain waktu dari osiloskop dalam file csv, diubah

menjadi domain frekuensi dengan bantuan komputasi excel. Hasil diperlihatkan pada Gambar 6.



Gambar 6 Pengukuran frekuensi alami

4. Hasil dan Diskusi

Batang uji komposit empat lapis dari serat rami yang divariasikan masing masing, jarak cacat dari ujung batang L_n , indeks kerusakan A_n dan orientasi arah serat O_n . Variasi jarak cacat dari ujung batang diambil 50, 100, 150, 200 dan 250 mm. Variasi indeks kerusakan diambil 0,17, 0,22, 0,25, 0,28 dan

0,33. Variasi orientasi arah serat komposit diambil $[0^0_2]_s$, $[45^0_2]_s$, $[90^0_2]_s$, $[\pm 45^0]_s$ dan $[0^0/90^0]_s$. Hasil pengujian impulse juga menggunakan metoda seperti pada Gambar 3.6, diperoleh frekuensi alami masing-masing sebesar (18,3), (18,9), (19,5), (21,36) dan (22,6) Hz. Nilai ini diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Tabel data untuk delaminasi

No.	Jarak cacat dari ujung batang L_n (mm)	Indeks kerusakan A_n	Orientasi serat komposit O_n	Frekuensi alami f_n (Hz)
1.	50	0,17	$[0^0_2]_s$	18,3
2.	100	0,22	$[45^0_2]_s$	18,9
3.	150	0,25	$[90^0_2]_s$	19,5
4.	200	0,28	$[\pm 45^0]_s$	21,36
5.	250	0,33	$[0^0/90^0]_s$	22,6

4.2 Pembahasan

Analisis besaran frekuensi alami terhadap indeks kerusakan, jarak kerusakan dari ujung batang dan orientasi arah serat dilakukan dengan metoda multi regresi. Nilai-nilai dari orientasi arah serat batang komposit bukan nilai numerik sehingga perlu disetarakan dengan nilai numerik. Nilai-nilai numerik dari variasi arah serat diassumsi sebagai berikut: notasi $[0^0_2]_s = 5$, notasi $[45^0_2]_s = 4$, notasi $[90^0_2]_s = 3$, notasi $[\pm 45^0]_s = 2$ dan notasi $[0^0/90^0]_s = 1$. Menggunakan Excel 2013 diperoleh :

$$f_n = 3,708 \frac{L_n^{0,203}}{A_n^{0,620} O_n^{0,184}} \dots (1)$$

dimana :

f_n = Frekuensi alami (Hz)

L_n = Jarak cacat (mm)

A_n = Indeks kerusakan

O_n = Orientasi arah serat (0)

Berdasarkan persamaan (1) menunjukkan bahwa besar frekuensi alami berbanding lurus dengan jarak cacat dari ujung batang karena cacat delaminasi yang jauh dari ujung batang yang berarti dekat dengan jepitan katilever, mengakibatkan delaminasi merapat. Frekuensi alami pada batang komposit dengan delaminasi dekat jepitan kantilever diperoleh nilai frekuensi alami batang komposit tanpa delaminasi, ini juga dapat diperlihatkan pada Gambar 7.

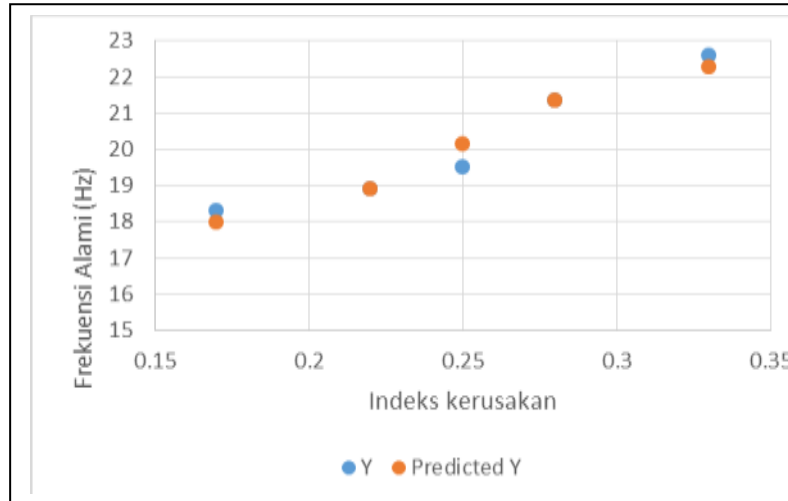


Gambar 7 Hubungan frekuensi alami terhadap Jarak cacat dari ujung batang

Berdasarkan persamaan (1) menunjukkan bahwa besar frekuensi alami berbanding terbalik dengan indeks kerusakan, yang berarti cacat atau kerusakan pada suatu komposit serat rami menyebabkan penurunan frekuensi alami. Hasil ini

sesuai dengan hasil penelitian dari (Ning Hu, 2006) yang

mengidentifikasi deleminasi pada batang komposit (carbon-epoxy). Plot hubungan frekuensi alami terhadap indeks kerusakan diperlihatkan pada Gambar 8.



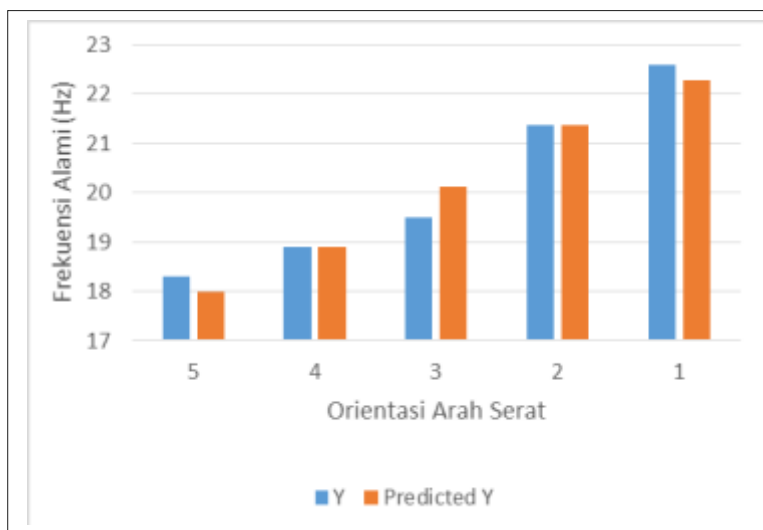
Gambar 8 Hubungan frekuensi alami terhadap indeks kerusakan

Berdasarkan persamaan (1) juga menunjukkan bahwa besar frekuensi alami berbanding terbalik dengan orientasi arah serat (diasumsi : notasi $[0^0_2]_s = 1,61$, notasi

$[45^0_2]_s = 1,39$, notasi $[90^0_2]_s = 1,1$, notasi $[\pm 45^0]_s = 0,7$ dan notasi $[0^0/90^0]_s = 0$.) . Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian estimasi perilaku dinamis komposit

glass/epoxy tanpa delaminasi dengan orientasi serat (Volnei Tita dkk, 2001). Plot hubungan

frekuensi alami terhadap orientasi arah serat diperlihatkan pada Gambar 9.



Gambar 9 Hubungan frekuensi alami terhadap orientasi arah serat

5. Kesimpulan

Setelah mengevaluasi hasil penelitian dan pembahasan pada bab sebelumnya, maka studi ciri kerusakan batang komposit rami dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Frekuensi alami batang komposit serat rami sangat dipengaruhi oleh orientasi arah serat.
- Frekuensi alami batang komposit serat rami sangat dipengaruhi oleh jarak cacat dari ujung batang komposit
- Fekuensi alami batang komposit rami sangat dipengaruhi oleh indeks kerusakan
- Frekuensi alami batang komposit rami juga dipengaruhi oleh orientasi arah serat batang komposit.

Daftar Pustaka

- Adams, R. D., Cawley, P., Pye, C. J. and Stone, B. J., 1978, "A vibration technique for non-destructively assessing the integrity of structures," *Journal of Mechanical Engineering Science*, 20(2), 93-100.
- ASTM E 756, 1998, Standard Test Method for Measuring Vibration Damping Properties of Materials.
- Cawley, P. and Adams, R. D., 1979, "The location of defects in structures from measurements of natural frequencies," *Journal of Strain Analysis*, 14(2), 49- 57.
- Doebling, S. W., Farrar, C. R. and Prime, M. B., 1998, "A summary review of vibration-based damage identification methods," *The Shock and Vibration Digest*, 30(2), 91-105.
- Friswell, M. I., Penny, J. E. T. and Garvey, S. D. A., 1998, "A combined genetic and eigen sensitivity algorithms for the location of damage in structures," *Computers and Structures*, 69, 547-556.
- Friswell, M. I., Penny, J. E. T., and Wilson, D. A. L., 1994, "Using Vibration data and statistical measures to locate damage in

- structures,” *Modal Analysis: the International Journal of Analytical and Experimental Modal Analysis*, 9(4), 239-254.
- Hasan Callioglu & Gokmen Atlihan, 2011, “Vibration Analysis of Delaminated Composite Beams Using Analytical and FEM Models “, *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*, Vol. 18, pp. 7-14.
- Hayder Moasa Al-Shukri , Dr. Mahannad Z,Khelifa & Dr. Saad A. Khetter, 2009, Theoretical Analyses of the Dynamic Behaviour of Composite Cantilever Beam Manufactured, *Eng. & Tech. Journal*, Vol. 27, No. 9.
- Hein H, 2006, Vibration of Composite Beams with Multiple Delaminations, III European Conference on Computational Mechanics, Solids, Structures and Coupled Problems in Engineering, Lisbon, Portugal.
- Messina, A., Contursi, T. and Williams, E. J. and, 1997, “Multiple damage evaluation using natural frequency changes,” *Proceeding of the 15th International Modal Analysis Conference*, Orlando, FL, pp. 658-664.
- Messina, A., Jones, A. and Williams, E. J., 1996, “Damage detection and localization using natural frequency changes,” *Proceeding of the 14th International Modal Analysis Conference*, Orlando, FL, pp. 67-76.
- Ning Hu, Hisaq Fukunaga and Masaki Kemeyama, 2006, “ Identification of Delaminations in Composite Laminates “, *Jurnal of Intelligent Systems and Structures*, Vol. 17.
- Palacz, M. and Krawczuk, M., 2002, “Vibration parameters for damage detection in structures,” *Journal of Sound and Vibration*, 249(5), 999-1010.
- Ramanamurthy E.V.V and Chandrasekaran K., July 2011, Vibration Analysis on a Composite Beam to Identify Damage and Damage Severity Using Finite Element Method, (*IJEST*), ISSN : 0975-5462, Vol. 3 No. 7
- Salawu, O. S., 1997, “Detection of structural damage through changes in frequencies: a review,” *Engineering Structures*, 19(9), 718-723.
- Sohn, H., Farrar, C. R., Hemez, F. M., Shunk, D. D., Stinemates, D. W., Nadler, B. R. and Czarnecki, J. J., 2004, “A review of structural health monitoring literature: 1996- 2001,” *Los Alamos National Laboratory Report*, LA-13976-MS.
- Volnei Tita, Jonas de Corvalho, Jaoa Lirahi, 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