

JurnalArtikel

Pengujian Getaran Dengan Eksitasi Kejut Dan Random Pada Komponen Struktur Dengan Profil Pelat Aluminium

Rizky Arman^{1*}, Yovial Mahyoedin¹, Wenny Marthiana¹, Duskiardi¹

¹Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri – Universitas Bung Hatta

¹Email: rizky.arman@bunghatta.ac.id

*Corresponding author – Email : rizky.arman@bunghatta.ac.id

Artkel Info - : **Received** : 2 Feb 2020; **Revised** : 14 Feb 2020; **Accepted**: 28 Feb 2020

Abstrak

Analisis getaran secara eksperimental untuk mengetahui perilaku dinamik sistem getaran diamati dari respon sistem tersebut terhadap stimulus yang bekerja padanya. Dalam hal ini hubungan antara stimulus pada suatu lokasi dan arah yang tertentu berhubungan secara spesifik dengan respon pada lokasi dan arah yang tertentu pula. Hubungan antara stimulus dengan respon dinamakan sebagai Fungsi Respon Frekuensi (FRF) atau lebih dikenal sebagai fungsi transfer. Dalam pengukuran fungsi transfer, stimulus pada struktur diberikan dalam bentuk gaya eksitasi sedangkan pengukuran respon getaran tergantung jenis sensor (transducer) yang digunakan. Berangkat dari permasalahan diatas maka dilakukan pengujian getaran terhadap suatu model struktur. Pengujian ini menggunakan pelat (beam) Aluminium sebagai spesimen dengan menggunakan sinyal eksitasi yang berasal dari penggetar (exciter) dan palu pemukul (impact hammer). Sinyal respon berasal dari accelerometer, sedangkan sinyal gaya eksitasi berasal dari dua buah transduser gaya yang berbeda.

Katakunci: getaran eksperimental, exciter, impact hammer, respon dinamik, fungsi respon frekuensi (FRF).

Abstract

Experimental vibration analysis to determine the dynamic behavior of the vibration system is observed from the response of the system to the stimulus acting on it. In this case the relationship between the stimulus at a certain location and direction is specifically related to the response at a certain location and direction. The relationship between stimulus and response is called the Frequency Response Function (FRF) or better known as the transfer function. In measuring the transfer function, the stimulus to the structure is given in the form of excitation force while the vibration response measurement depends on the type of sensor (transducer) used. Departing from the above problems, vibration testing is carried out on a structural model. This test uses an Aluminum beam as a specimen by using an excitation signal from the exciter and impact hammer. The response signal comes from the accelerometer, while the excitation force signal comes from two different type transducers.

Keywords: experimental vibration, exciter, impact hammer, dynamic response, frequency response function (FRF).

1. PENDAHULUAN

Dalam analisis getaran secara eksperimental maka perilaku dinamik sistem getaran diamati dari respon sistem tersebut terhadap stimulus yang bekerja padanya. Dalam hal ini hubungan antara stimulus pada suatu lokasi dan arah yang tertentu berhubungan secara spesifik dengan respon pada lokasi dan arah yang

tertentu pula. Hubungan antara stimulus dengan respon dinamakan sebagai Fungsi Respon Frekuensi (FRF) atau lebih dikenal sebagai fungsi transfer. Dalam pengukuran fungsi transfer, stimulus pada struktur diberikan dalam bentuk gaya eksitasi sedangkan pengukuran respon getaran tergantung jenis sensor (*transducer*) yang digunakan.

Beban yang terjadi pada suatu struktur atau komponen mesin dianalogikan sebagai gaya eksitasi. Respon getaran dari gaya eksitasi tersebut merupakan perilaku dinamik struktur yang berguna pada analisis lanjut seperti aplikasinya dalam memantau kondisi objek berbasis *predictive maintenance*. Berdasarkan analisis lanjut ciri getaran tersebut kita bisa memetakan lingkup operasi struktur atau komponen yang digunakan.

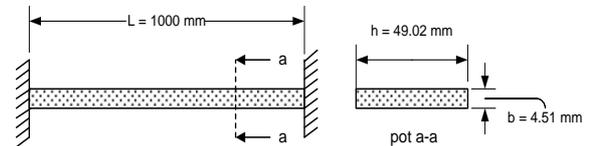
Berangkat dari permasalahan diatas maka dilakukan pengujian getaran terhadap suatu model struktur. Pengujian ini menggunakan pelat (*beam*) Aluminium sebagai spesimen dengan menggunakan sinyal eksitasi yang berasal dari penggetar (*exciter*) dan palu pemukul (*impact hammer*). Sinyal respon berasal dari accelerometer, sedangkan sinyal gaya eksitasi berasal dari dua buah transduser gaya yang berbeda. Pemilihan spesimen pengujian dengan profil pelat Aluminium ini merupakan salah satu usaha untuk menentukan data penunjang yang berguna untuk analisis lebih lanjut seperti, seiring dengan luasnya penggunaan struktur atau komponen mesin yang ringan namun tetap handal dan sesuai pada berbagai beban operasi yang relevan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Getaran umumnya diklasifikasikan berdasarkan: banyaknya derajat kebebasan yang dimiliki ($n = 1,2,3...∞$), ada atau tidak adanya gaya pengeksitasi dari luar, ada atau tidak adanya redaman serta linier atau tidak liniernya persamaan getaran. Pada pegujian ini spesimen yang digunakan dianggap homogen sehingga sistem getaran memiliki massa dan kekakuan yang terdistribusi merata dan kontinu serta memenuhi hukum *Hooke* di daerah elastiknya.

Pengujian ini direncanakan dengan batasan dan dimensi seperti terlihat pada Gambar 1. Untuk tumpuan jepit-jepit dengan

dimensi dan sifat beam (pelat) yang diketahui dengan pendekatan *properties* dari material Aluminium, maka dapat ditentukan frekuensi pribadinya dimana dalam hal ini ditentukan 5 (lima) frekuensi pribadi pertamanya.

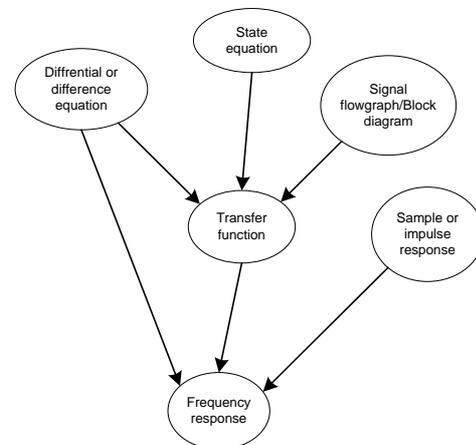


Gambar 1. Profil dan dimensi spesimen uji komponen struktur dengan profil pelat (beam)- Aluminium.

Penentuan respon frekuensi dapat ditentukan dari beberapa model sistem atau kombinasi diantaranya. Pada pengujian ini bisa dikatakan menggunakan kombinasi model tersebut karena mencakup aspek perancangan awal sistem dan akuisisi data. Secara umum penentuan respon frekuensi dapat dilihat pada model sistem diagram Gambar 2.

Respon frekuensi getaran sebagai pernyataan dalam deret dari suatu fungsi waktu atau barisan spektrum dari fungsi barisan disebut sebagai transformasi Fourier. Spektrum dari suatu fungsi dapat diukur dengan menganalisis spektrum tersebut. Transformasi Fourier dari suatu fungsi $f(t)$ didefinisikan sebagai berikut:

$$F(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{j\omega t} dt$$



Gambar 2. Penentuan respon frekuensi dari berbagai model sistem.

Fungsi $F(j\omega)/2\pi$ disebut spektrum frekuensi dari $f(t)$, sehingga dapat ditulis dalam bentuk:

$$F(j\omega) = |F(j\omega)|e^{j\theta(j\omega)}$$

dengan $|F(j\omega)|$ adalah tanggapan amplitude dan $\theta(j\omega)$ merupakan tanggapan fasa. Kesimetrisan yang terdapat antara $f(t)$ dengan transformasinya $F(j\omega)$ merupakan sifat yang istimewa yang dimanfaatkan berulang kali.

Konvolusi adalah suatu cara khusus untuk mencirikan hubungan masukan-keluaran dari sistem linear tak ubah waktu (LTI). Jika,

$$x(t) \leftrightarrow X(j\omega)$$

$$h(t) \leftrightarrow H(j\omega)$$

Perhitungan numerik transformasi Fourier dari suatu bentuk gelombang waktu-kontinu $f(t)$ melibatkan dua proses pencuplikan. Untuk menghitung integral Fourier, maka kita harus menghampiri integral ini dengan suatu penjumlahan. Ini berarti bahwa $f(t)$ dinyatakan oleh sekumpulan cuplikan $f(kT)$, dimana:

$$F(e^{j\theta}) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} f_k e^{jk\theta}$$

sehingga kita peroleh pasangan transformasi Fourier diskrit (*Discrete Fourier Transform = DFT*) sebagai berikut:

$$F_n = \sum_{k=0}^{N-1} f_k e^{jkn(2\pi/N)} = \sum_{k=0}^{N-1} f_k W^{kn}$$

dan

$$f_k = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} F_n e^{jkn(2\pi/N)} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} F_n W^{kn}$$

3. METODE PENELITIAN

Sinyal getaran adalah suatu besaran listrik yang dihasilkan dari suatu pengukuran getaran. Melalui suatu instrument getaran maka akan dapat diperoleh sinyal getaran dari bagian yang bergetar yang merupakan representasi fisik dari informasi getaran.

Sinyal getaran yang terukur biasanya berupa amplitudo atau level getaran, dan bila sinyalnya deterministik maka periode sinyal bisa diukur. Jadi, dalam hal ini pemantauan getaran dilakukan dalam getaran tersebut (tidak dalam getaran mekanik), kemudian dikonversikan dalam besaran listrik (misal : tegangan listrik) agar pemantauan ataupun manipulasi sinyal seperti perbesaran, penyaringan, pengolahan dan lainnya bisa dilakukan lebih mudah.

Agar sinyal dapat diolah dengan teknik serta peralatan yang tersedia, maka perlu dinyatakan dalam suatu bentuk atau model yang benar. Pernyataan atau model matematik adalah penting untuk memulai analisis atau pengolahan suatu sinyal. Suatu sinyal sangat sering dinyatakan dalam bentuk gambar atau grafik, yang melukiskan bagaimana suatu informasi didalam sinyal tersebut berubah terhadap informasi lainnya. Hal ini yang terjadi pada pengukuran respon frekuensi. Dari bentuk sinyal (seperti sinyal kontinu atau sinyal diskrit), dalam praktek hampir tidak pernah digunakan sinyal kontinu dalam pengolahan dan analisis sinyal. Umumnya hanya akan dimanfaatkan sejumlah data terbatas yang diperoleh dari sinyal kontinu. Sinyal atau informasi yang diperoleh dari sinyal kontinu dikenal sebagai sinyal diskrit.

Pada dasarnya sinyal diskrit adalah sinyal yang diperoleh dari sinyal kontinu hanya pada waktu-waktu terbatas (waktu diskrit). Selang waktu diantara data pada sinyal diskrit adalah sebagai *sampling*. Bergantung pada periode *sampling*, maka sinyal diskrit yang diperoleh dapat berbeda. Sesuatu yang penting untuk diperhatikan pada sinyal diskrit adalah telah terjadi kehilangan informasi relatif dari sinyal asli (sinyal kontinu), yaitu informasi diantara data diskrit yang diperoleh pada suatu proses diskritisasi. Makin panjang periode *sampling*, makin banyak pula informasi yang hilang.

Pada pengolahan sinyal dengan komputer, yang digunakan bukan sinyal kontinu maupun diskrit, tetapi sinyal digital yang diperoleh dari proses kuantifikasi (digitasi) terhadap sinyal kontinu dengan menggunakan suatu perangkat yang dikenal sebagai *analog-to-digital converter* (A/D converter) atau lebih dikenal ADC. Terhadap sinyal yang tidak dikendaki (*noise*), maka dalam pengolahan sinyal dikenal *signal to noise ratio* (SNR). Makin kecil nilai SNR, makin sukar informasi diambil atau dipisahkan dari noise.

Dalam pengukuran getaran dari fungsi transfer, baik besaran stimulus maupun respon dinamik struktur karena stimulus tersebut, keduanya diukur secara simultan. Stimulus yang biasanya berupa gaya dinamik yang diukur oleh *load cell*, merupakan gaya eksitasi getaran yang bekerja pada struktur. Gejala getaran yang terjadi pada struktur karena adanya gaya eksitasi getaran dapat dimodelkan sebagai:

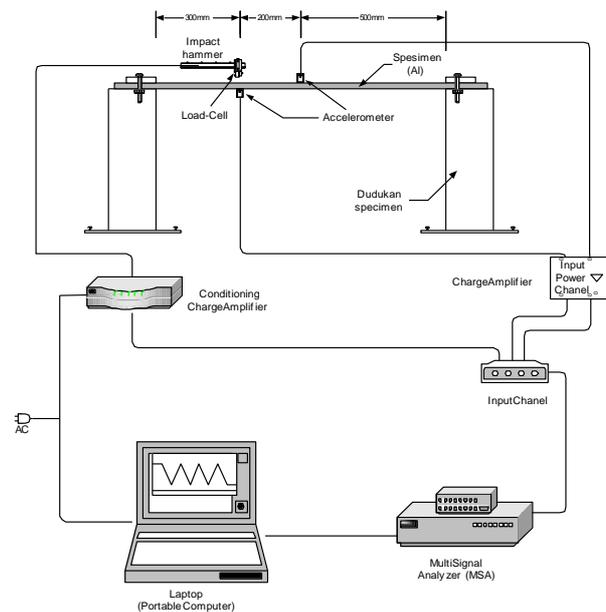
$$[m]\{\ddot{x}\} + [c]\{\dot{x}\} + [k]\{x\} = \{f\} e^{i\omega t}$$

3.1. Pengukuran Fungsi Transfer Dengan Gaya Eksitasi Kejut

Model komponen struktur yang akan diuji dalam pengukuran ini adalah berupa beam (pelat) yang ditumpu sederhana jepit-jepit. Rancangan setup pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 3. Gaya eksitasi getaran berasal dari palu impak (*impact hammer*) yang dilengkapi dengan *load-cell piezoelectric*. Sinyal kejut analog yang dideteksi oleh *load-cell* dikondisikan oleh *conditionig charge-amplifier*. Adanya gaya eksitasi kejut pada beam mengakibatkan gejala getaran transien pada beam yang responnya dideteksi oleh *accelerometer*. Sinyal respon getaran analog ini dikondisikan oleh *input power chanel* (*charge-amplifier*).

Kedua sinyal output dari charge-amplifier ini masih dalam domain waktu dan bias dipantau secara bersamaan pada *Multi*

Signal Analyzer (MSA), sehingga diperoleh fungsi transfer beam pada posisi eksitasi dan posisi pengukuran respon yang tertentu. Dalam MSA, kedua sinyal tersebut diubah menjadi sinyal digital dan dengan menggunakan Transformasi Fourier Cepat (*Fast Fourier Transform*) kedua sinyal dikonversikan dalam domain frekuensi. Data yang berada dalam MSA diakses oleh *portable computer* (laptop), yang telah dilengkapi *software* penganalisis data untuk keperluan analisis lebih lanjut.



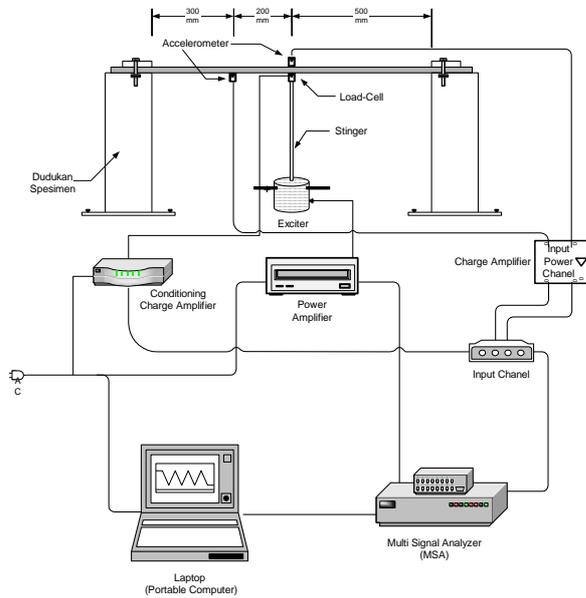
Gambar 3. Rancangan setup pengujian untuk metode pengukuran dengan gaya eksitasi kejut.

3.2. Pengukuran Fungsi Transfer Dengan Gaya Eksitasi Random

Model komponen yang akan diuji pada metode ini adalah sama dengan eksitasi kejut. Gaya eksitasi berasal dari penggetar (*exciter*) yang telah dilengkapi dengan *load-cell*. Sinyal random berasal dari *power amplifier* yang dilengkapi dengan penguat (pengatur tegangan) input *exciter*. Besar penguatan ini dapat dipantau melalui ampere-meter. Proses pemantauan alur sinyal selanjutnya untuk metode eksitasi random ini adalah sama dengan metode eksitasi kejut.

Pengukuran fungsi transfer dengan eksitasi kejut maupun eksitasi random, biasanya

dilengkapi dengan pengukuran fungsi koherensi. Fungsi ini berguna untuk mengetahui seberapa besar pengaruh sinyal pengganggu terhadap fungsi transfer hasil pengukuran. Rancangan setup pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Rancangan setup pengujian untuk metode pengukuran dengan gaya eksitasi random.

3.3. Akuisisi Data Dengan Multi Signal Analyzer (MSA)

Dalam pengukuran fungsi transfer maupun pengukuran spektrum frekuensi, peranan penganalisa spektrum (*Spectrum Analyzer: Multi Signal Analyser*) sangat penting karena proses transformasi sinyal getaran dari domain waktu ke domain frekuensi dilakukan oleh instrumen ini. Data yang diperoleh dari penganalisa spektrum tersebut bisa berupa data : amplitudo, frekuensi dan fasa yang disajikan dalam bentuk spektrum frekuensi dan spectrum fasa. Data lainnya yang melibatkan dua sinyal adalah berupa : fungsi transfer, fungsi koherensi, fasa dan lainnya.

Penganalisa dengan spektrum MSA menggunakan konsep pengolahan data secara digital. Proses konversi sinyal dari daomian waktu ke dalam domain frekuensi menggunakan metoda Transformasi Fourier Cepat (FFT), dan data hasil

konversi bisa dimanipulasi secara matematik sehingga misalnya data bisa disajikan dalam skala linear ataupun dalam skala logaritmik.

Proses konversi berlangsung relatif cepat (dalam order milisecond) dan penganalisa spektrum ini bisa dihubungkan dengan komputer dengan GPIB (*General purpose Interface Bus*), sehingga proses pengukuran dan pengolahan data bisa dikontrol oleh komputer. Dengan kemampuan yang disebutkan diatas, maka MSA cocok untuk digunakan dalam analisis getaran maupun diagnosis kerusakan pada elemen rotasi.

Penganalisa spektrum MSA selalu dilengkapi dengan low-pass-filter untuk mencegah terjadinya kesalahan aliasing (tumpang tindih atau pelipatan frekuensi) pada hasil konversi data domain waktu menjadi data domain frekuensi. Setelah itu dilakukan proses pencuplikan dan konversi sinyal analog menjadi sinyal digital yang keduanya dalam domain waktu.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari grafik FRF, hasil pengujian menemukan bahwa hanya 4 puncak sinyal yang dicurigai sebagai frekuensi alami dalam rentang 400 Hz, sementara secara teoritis ada 5 frekuensi alami. Kurva FRF ini diperoleh dengan prosedur sebagai berikut:

(1) Sinyal stimulus yang digunakan adalah random kontinu dengan pertimbangan waktu pengukuran yang relatif cepat, mengurangi efek non-linearitas dan rasio sinyal input terhadap sinyal noise yang cukup baik.

(2) Untuk mencegah kebocoran spektrum dari sinyal stimulus yang digunakan, jendela Hanning dipilih. Menggunakan jendela ini menghasilkan sinyal input dalam domain waktu yang mengalami pengurangan pada awal dan akhir sedemikian rupa sehingga sinyal input terlihat berkala sehingga menghasilkan

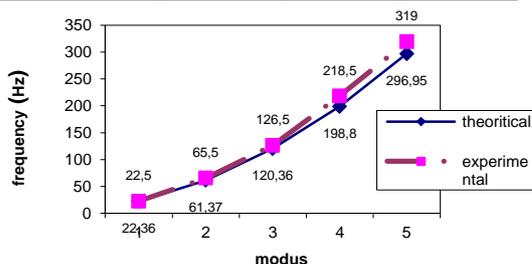
data dengan frekuensi yang lebih baik daripada jendela lain.

(3) Untuk meningkatkan keakuratan statistik sinyal reguler sehingga diperoleh bentuk kurva yang lebih akurat, rata-rata digunakan dengan jenis leveling yang stabil (menjumlahkan aritmatika sinyal input dan kemudian membaginya sesuai dengan jumlah perataan yang dipilih).

Metode lain untuk menentukan frekuensi alami adalah dengan melihat grafik koherensi dari grafik respons frekuensi. Fungsi koherensi tidak disatukan dan nilainya antara 0 dan 1. Fungsi koherensi 0 berarti bahwa tidak ada hubungan antara sinyal input dan sinyal output, sedangkan jika nilainya 1, sinyal input terkait dengan sinyal output. Jadi jika respons frekuensi puncak sama dengan atau mendekati 1, maka kita dapat mengasumsikan bahwa nilai puncak adalah frekuensi alami. Jika koherensi bernilai antara 0 dan 1 berarti sinyal output memiliki sinyal noise. Selain itu, dari grafik fase ke respons frekuensi (diagram pertanda), dapat juga dilihat bahwa pada puncak yang merupakan kurva 90 derajat atau kelipatan pada grafik fase, kita dapat mengasumsikan bahwa nilai puncak adalah frekuensi alami. Dari hasil yang diperoleh dari tes, dapat dilihat bahwa perbandingan nilai frekuensi alami teoritis dengan tes adalah seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 dan Gambar 5.

Tabel 1. Data frekuensi pribadi

5 first natural frequency, ω_n	Theoretical	Experimental	
		Sensor #2	Sensor #3
ω_1	22.36 Hz	22.5 Hz	22.5 Hz
ω_2	61.37 Hz	65.5 Hz	65.5 Hz
ω_3	120.36 Hz	126.5 Hz	unreadable
ω_4	198.8 Hz	unreadable	218.5 Hz
ω_5	296.95 Hz	319 Hz	319 Hz



Gambar 7. Grafik frekuensi pribadi untuk 5 modus pertama: *theoretical vs experimental*

5. KESIMPULAN

Dari pengujian eksperimental, beberapa frekuensi puncak sinyal tidak terlihat. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa hal, termasuk kemungkinan memasang sensor yang kurang tepat atau pemilihan sinyal stimulus dan jendela yang digunakan kurang cocok untuk pengujian yang dilakukan. Sedangkan untuk sinyal stimulus acak terus menerus dengan jendela Hanning yang digunakan memiliki beberapa kelemahan kecil, termasuk amplitudo tidak sepenuhnya akurat. Selain itu, waktu pengujian yang terbatas diperlukan ketika pengaturan alat cukup panjang sehingga pengukuran dengan berbagai variasi sinyal stimulus dan jendela yang digunakan menjadi terbatas hanya satu variasi untuk setiap tes. Secara umum, baik teoritis dan eksperimental, nilai alami dari frekuensi yang diperoleh tidak berbeda secara signifikan. Ini menunjukkan bahwa jika metode eksperimental yang dilakukan dapat menjadi referensi untuk menentukan respon dinamis melalui exciter dari struktur elemen mesin.

6. DAFTAR PUSTAKA

- L. Chen, W. Shi, and Z. Chen, "Modeling and Experimental Study on Dynamic Characteristics of Dual-Mass Flywheel Torsional Damper," vol. 2019, 2019.
- A. Abolfathi, D. J. O. Boy, S. J. Walsh, and S. A. Fisher, "Investigating the sources of variability in the dynamic response of built-up structures through a linear analytical model," *J. Sound Vib.*, vol. 387, pp. 163–176, 2017.
- L. Ren-hong, W. Min, and J. Wang, "Study the vibration and dynamic

- response of the dipole girder system for CSNS / RCS.”
- X. Wei and S. Zivanovi, “Frequency response function-based explicit framework for dynamic identification in human-structure systems,” vol. 422, pp. 453–470, 2018.
- A. C. J. Luo, *Journal of Vibration Testing and System Dynamics*, vol. 1, no. 1, 2017.
- R. Arman, A. Isra Mahyuddin, W. Marthiana, and I. Satria, “Experimental Investigation of Vibration Response of a Flexible Coupler In a Four Bar Mechanism Due to Varying Crank Length and Crank Speed,” in *MATEC Web of Conferences*, 2018, vol. 248.
- P. Subhasmita, “VIBRATION ANALYSIS OF SIMPLY SUPPORTED BEAM WITH VARYING CRACK DEPTH AND LOCATION BY USING ANSYS,” no. June, 2019.
- P. Langer, K. Sepahvand, C. Guist, and S. Marburg, “ScienceDirect Finite element element modeling modeling for for structural structural dynamic dynamic analysis analysis of of bolted bolted joints joints under uncertainty joints under uncertainty,” *Procedia Eng.*, vol. 199, pp. 954–959, 2017.
- G. Leon, “Direct Determination of Dynamic Elastic Modulus and Poisson ’ s Ratio of Timoshenko Rods,” pp. 157–173, 2019.
- F. Section, “Study on Carbody Flexible Vibration Considering Layout of underneath Equipment and Doors Hangxing Ye , Jing Zeng * , Qunsheng Wang * and Xiuhui Han *,” no. Icsmim 2015, pp. 1177–1183, 2016.
- N. Baramsky and A. Seibel, “Friction-Induced Vibrations during Tightening of Bolted Joints — Analytical and Experimental Results,” pp. 312–337, 2018.
- X. Zhang, D. Li, and G. Song, “Structure Damage Identification Based on Regularized ARMA Time Series Model under Environmental Excitation,” pp. 138–156, 2018.
- G. Martínez-ayuso, H. H. Khodaparast, and Y. Zhang, “Model Validation of a Porous Piezoelectric Energy Harvester Using Vibration Test Data,” pp. 123–137, 2018.