

Pemodelan dan Analisis Simulator Gempa Penghasil Gerak Translasi

Tiara Angelita Cahyaningrum dan Harus Laksana Guntur
Laboratorium Vibrasi dan Sistem Dinamis

Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail: haruslg@me.its.ac.id

Abstrak — Berdasarkan hasil rekaman 164 seismograf yang dipasang oleh Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) di sejumlah wilayah Indonesia telah terjadi sebanyak 4394 kali gempa pada tahun 2015. Di antara ribuan gempa tersebut, tujuh di antaranya merupakan gempa yang menimbulkan kerusakan bangunan. Sehingga dibutuhkan alat yang mampu memrepresentasikan gempa bumi untuk menguji rancangan suatu bangunan. Alat uji gempa tersebut harus memiliki mekanisme yang mampu merepresentasikan beban gempa. Mekanisme kerja alat uji gempa tersebut menggunakan sistem slider crank di mana gerakan meja getar berasal dari motor yang dihubungkan dengan slider crank. Gerakan dari meja getar yang dijadikan input hanya gerak translasi. Untuk mengetahui respon dinamis dari alat uji tersebut dilakukan variasi amplitudo pada meja getar dari 5 mm, 10 mm, 15 mm dan 20 mm sehingga dapat ditentukan panjang jari-jari slider crank. Dari variasi tersebut didapatkan variasi gaya eksitasi yang bekerja pada motor dan meja getar. Gaya eksitasi yang bekerja pada motor berguna untuk menentukan merancang peredam pada bagian motor dan foundation. Dimana untuk frekuensi gerak motor juga divariasikan sebesar 18.6 rad/s dan 25.2 rad/s. Pada penelitian ini hasil yang dicapai yaitu alat uji gempa mampu beroperasi hingga frekuensi 74,6 rad/s dengan beban maksimum 50kg. Nilai redaman motor yang didapatkan besarnya 31876,145 (N.s)/m. Gaya yang bekerja pada meja getar maksimum terjadi saat frekuensi terbesar dan pada panjang disc terbesar, dimana untuk panjang disc (r) dengan frekuensi 25,2 didapatkan gaya sebesar 73,71 N. Peningkatan nilai frekuensi dan nilai panjang disc r berbanding lurus dengan besarnya nilai respon perpindahan, kecepatan, dan percepatan beban dan meja getar. Sedangkan untuk peningkatan nilai beban massa gedung berbanding terbalik dengan besarnya nilai respon dinamis perpindahan, kecepatan, dan percepatan pada beban. Untuk respon dinamis dengan variasi beban pada meja getar relatif tidak memberikan efek sehingga dapat dikatakan bahwa meja getar dapat merepresentasikan beban gempa.

Kata Kunci— Alat Uji Gempa, Meja Getar, Peredam Motor, Slider Crank.

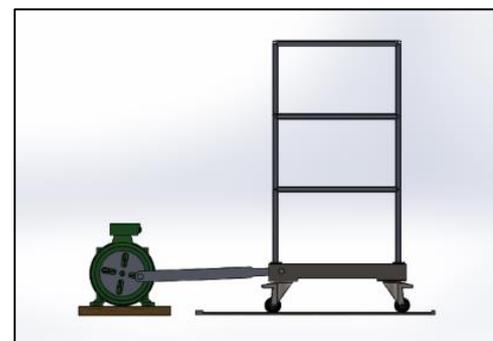
I. PENDAHULUAN

Pengetahuan akan beban dinamik dan respon suatu struktur diperlukan untuk meningkatkan kualitas bangunan yang berada di daerah rawan gempa. Bangunan tersebut harus dirancang tahan terhadap gempa. Respon struktur tersebut berupa respon perpindahan suatu bangunan bila dikenai beban gempa. Bila bangunan tersebut mempunyai banyak lantai maka setiap lantai mempunyai respon perpindahan dan frekuensi natural yang berbeda-beda. Oleh karena itu pengetahuan akan efek dari gempa terhadap beberapa kasus struktur bangunan sangat diperlukan. Hal ini mendorong perlunya sistem perancangan yang matang mengenai struktur bangunan yang akan dibangun di daerah rawan gempa seperti Indonesia.

Berdasarkan permasalahan tersebut maka perlu analisa untuk mengetahui respon suatu struktur terhadap beban gempa. Sehingga diperlukan simulator yang mampu. Alat tersebut digunakan sebelum struktur bangunan tersebut diaplikasikan pada kehidupan nyata di lapangan. Alat uji gempa tersebut didesain dengan mekanisme sederhana *slider crank* yang kemudian menggerakkan meja getar sebagai input getaran pada bangunan. Desain alat uji gempa ini dapat dikatakan berhasil bila dengan memvariasikan

II. URAIAN PENELITIAN

Dalam penelitian ini akan dianalisa respon dinamis yang terjadi pada *shaking table* dan beban terhadap variasi amplitudo, variasi beban, dan variasi frekuensi. Penelitian ini dimulai dengan memodelkan sistem simulator gempa serta memperhatikan desain dari sistem penggerak yang berupa *slider crank*.



(a)



(b)

Gambar 1. Pemodelan Fisik Simulator Gempa (a) tampak depan (b) tampak samping

Persamaan gerak translasi :

$$\begin{aligned}
 &+\rightarrow \Sigma F = 0 \\
 &F(t) - Fk - Fc - M_t \cdot \ddot{x}_t = 0 \\
 &F_0 \sin \omega t = k_{load}(x_t - x_l) + c_{load}(\dot{x}_t - \dot{x}_l) + M_t \cdot \ddot{x}_t \\
 &F_0 \sin \omega t = M_t \cdot \ddot{x}_t + k_{load} x_t - k_{load} x_l + c_{load} \dot{x}_t - c_{load} \dot{x}_l
 \end{aligned} \tag{8}$$

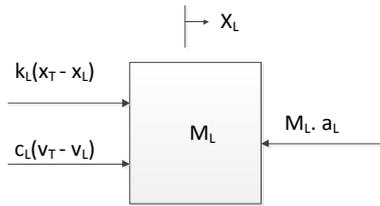
Dimana,

$$\begin{aligned}
 v_t &= \dot{x}_t \\
 \dot{v}_t &= \ddot{x}_t
 \end{aligned}$$

Persamaan state variable :

$$\dot{v}_t = \frac{1}{M_t} (F_0 \sin \omega t - k_{load} x_t + k_{load} x_l - c_{load} v_t + c_{load} v_l) \tag{9}$$

Sedangkan untuk state variable pada beban yang ditunjukkan gambar 9 adalah sebagai berikut :



Gambar 9 Free Body Diagram pada Beban

Persamaan gerak translasi :

$$\begin{aligned}
 &+\rightarrow \Sigma F = 0 \\
 &Fk + Fc - M_L \cdot \ddot{x}_t = 0 \\
 &k_{load}(x_t - x_l) + c_{load}(\dot{x}_t - \dot{x}_l) - M_L \cdot \ddot{x}_t = 0 \\
 &M_L \cdot \ddot{x}_t + c_{load} \dot{x}_t - c_{load} \dot{x}_l + k_{load} x_t - k_{load} x_l = 0
 \end{aligned} \tag{10}$$

Dimana,

$$\begin{aligned}
 v_l &= \dot{x}_l \\
 \dot{v}_l &= \ddot{x}_l
 \end{aligned}$$

Persamaan state variable :

$$\dot{v}_t = \frac{1}{M_L} (k_{load} x_t - k_{load} x_l + c_{load} v_t - c_{load} v_l) \tag{11}$$

Parameter yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

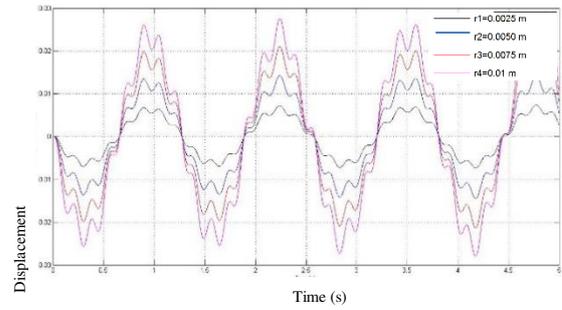
Tabel 1. Parameter penelitian

Parameter	Nilai	Keterangan
Massa bangunan (M_p)	10 kg, 30 kg, 50 kg	-
Konstanta kekakuan gedung (K_L)	$1,02 \times 10^9$ N/m	Berdasarkan jurnal [1]
Konstanta redaman gedung (C_L)	$2,04 \times 10^{10}$ N.s/m	Berdasarkan jurnal [1]
Massa shaking table (M_T)	5,88 kg	Sumber Produk Pasar
Massa motor (M_m)	15 kg	Sumber Produk Pasar
Konstanta kekakuan motor (K_m)	814664 N/m	Berdasarkan Jurnal [5]
Dimensi Meja Getar	57,5 X 12,7 X 7,62 cm	Sumber Produk di Pasar

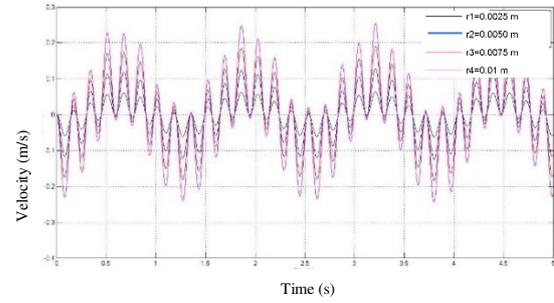
III. HASIL DAN ANALISA

Dalam pemodelan ini didapatkan respon dinamis dari simulator gempa dengan input sinusoidal sebagai representasi dari beban gempa.

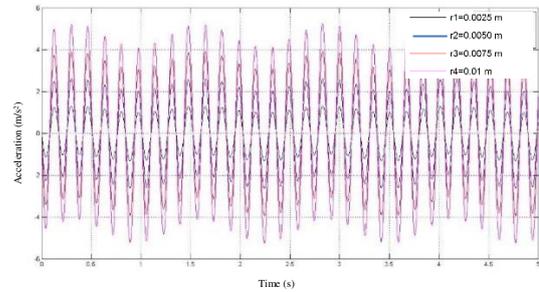
3.1 Respon Dinamis pada Shaking Table dan Beban dengan variasi Panjang Disc (r)



(a)

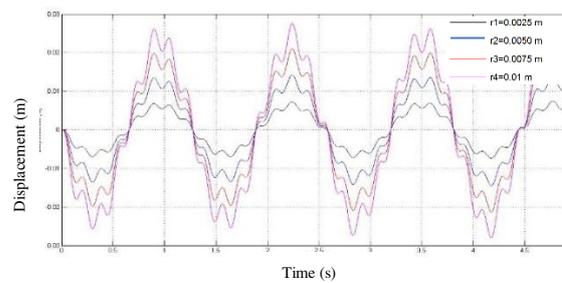


(b)

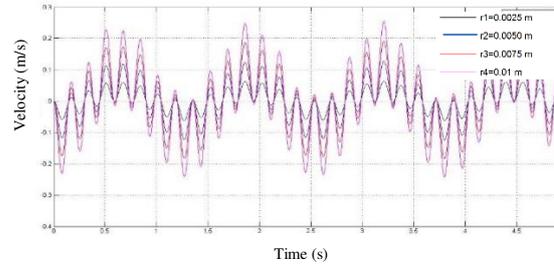


(c)

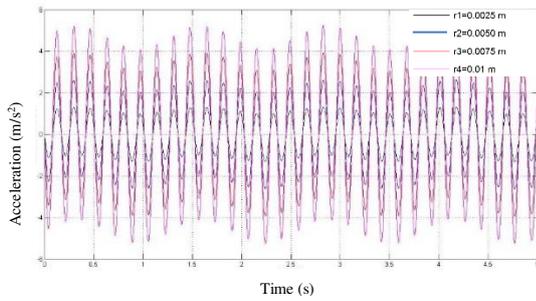
Gambar 10. Respon dinamis pada shaking table dengan variasi panjang disc r (a) displacement (b) velocity (c) acceleration



(a)



(b)

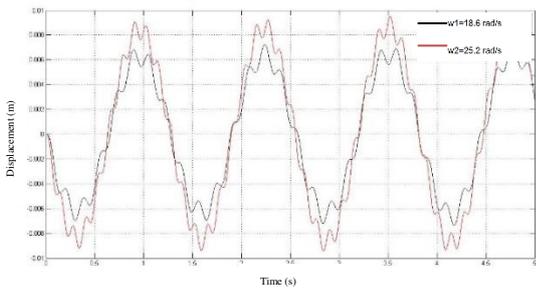


(c)

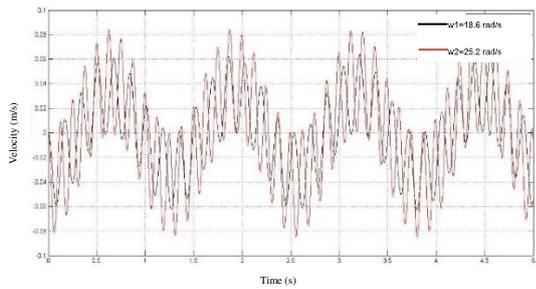
Gambar 11. Respon Dinamis pada Beban (a) Respon Perpindahan, (b) Respon Kecepatan dan (c) Respon Percepatan dengan variasi r

Pada gambar 10 dan 11 dimana merupakan respon dinamis dari *shaking table* dan beban terhadap variasi panjang (r) dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai (r) maka nilai perpindahan, kecepatan, dan percepatan juga semakin besar. Trendline pada grafik di atas menunjukkan trendline sinusoidal yang merupakan akibat dari input gaya eksitasi. Trendline gelombang pada grafik sinusoidal merupakan akibat dari perbedaan yang terlalu jauh dari frekuensi natural dari sistem dan frekuensi eksitasi.

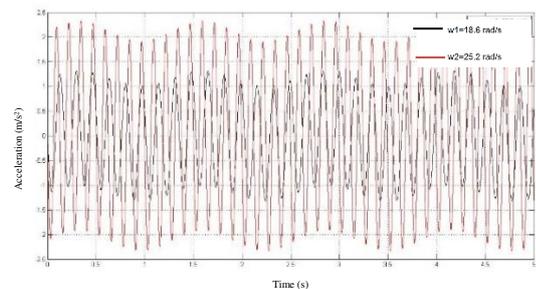
3.2 Respon Dinamis pada *Shaking Table* dan Beban dengan variasi Frekuensi (ω)



(a)

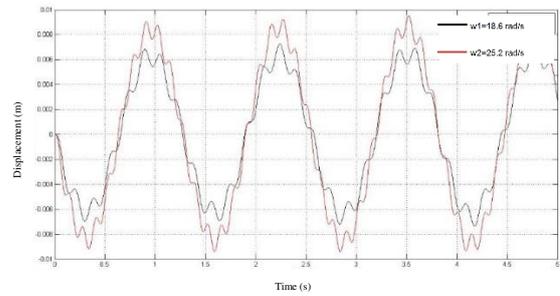


(b)

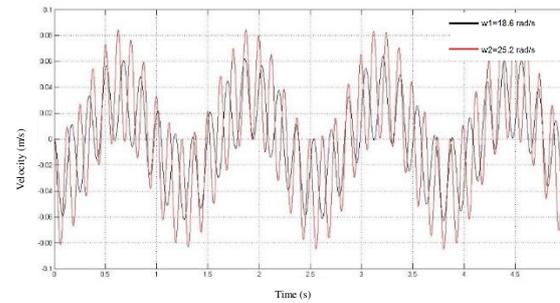


(c)

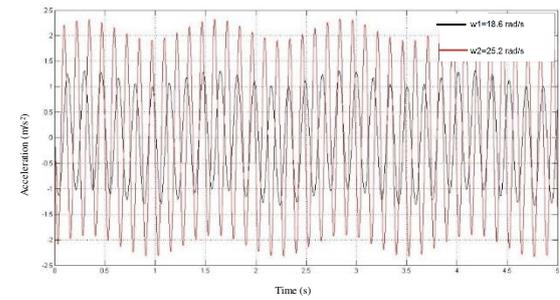
Gambar 12 Respon Dinamis pada *shaking table* (a) Respon Perpindahan, (b) Respon Kecepatan dan (c) Respon Percepatan dengan variasi frekuensi



(a)



(b)

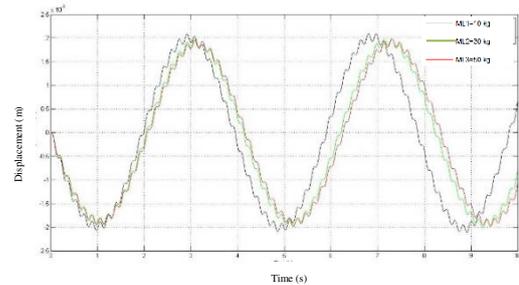


(c)

Gambar 13 Respon Dinamis pada beban (a) Respon Perpindahan, (b) Respon Kecepatan dan (c) Respon Percepatan dengan variasi frekuensi

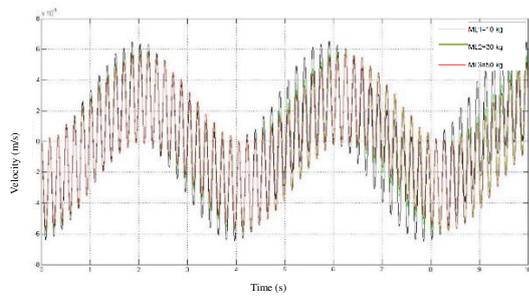
Pada gambar 12 dan 13 dimana merupakan respon dinamis dari *shaking table* dan beban terhadap variasi frekuensi (ω) dapat disimpulkan bahwa semakin besar frekuensi (ω) maka nilai perpindahan, kecepatan, dan percepatan juga semakin besar. Hal tersebut berkaitan dengan semakin besar nilai frekuensi maka semakin besar gaya eksitasi yang dihasilkan sehingga nilai respon juga semakin besar.

3.3 Respon Dinamis pada *Shaking Table* dan Beban dengan variasi Beban

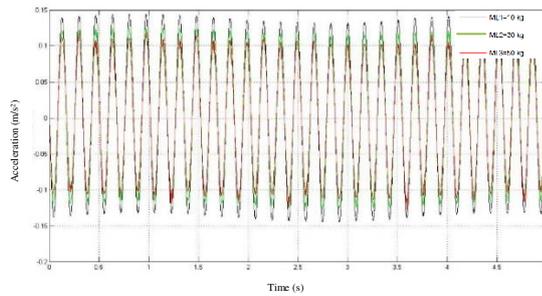


(a)

Gambar 12 Respon Dinamis pada *shaking table* (a) Respon Perpindahan, (b) Respon Kecepatan dan (c) Respon Percepatan dengan variasi frekuensi

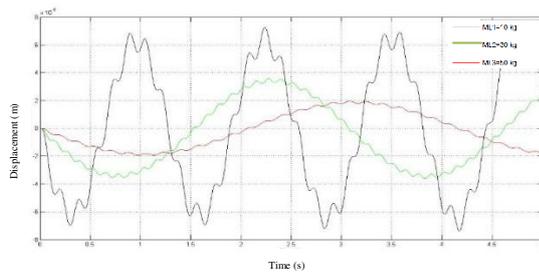


(b)

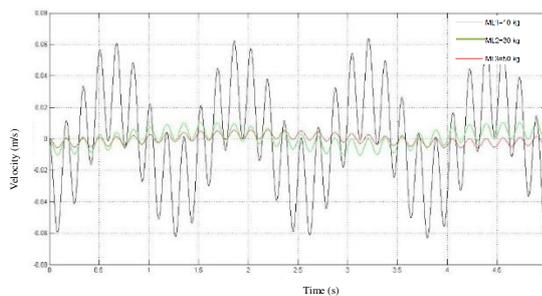


(c)

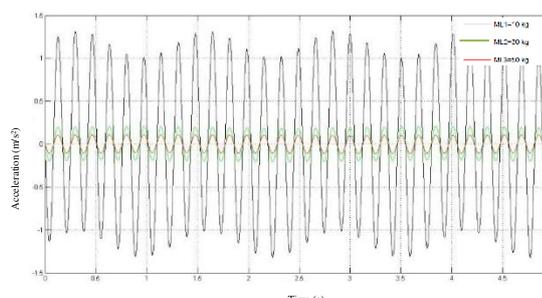
Gambar 14 Respon Dinamis pada *Shaking Table* (a) Respon Perpindahan, (b) Respon Kecepatan dan (c) Respon Percepatan dengan variasi massa beban



(a)



(b)

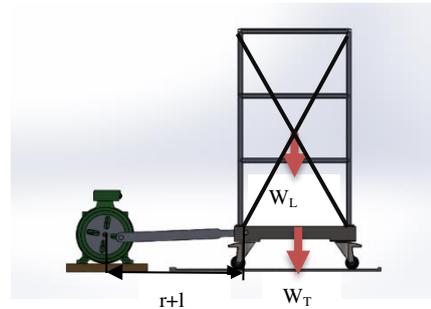


(c)

Gambar 15 Respon Dinamis pada beban (a) Respon Perpindahan, (b) Respon Kecepatan dan (c) Respon Percepatan dengan variasi massa beban

Pada gambar 14 dan 15 dimana merupakan respon dinamis dari *shaking table* dan beban terhadap variasi beban (M_L) dapat disimpulkan pada *shaking table* bahwa, pertambahan nilai beban tidak terlalu berpengaruh dengan respon dinamis yang dialami oleh *shaking table*. Sedangkan untuk respon dinamis pada gedung didapatkan bahwa semakin besar nilai massa maka respon yang didapatkan semakin kecil.

3.4 Redaman Motor



Gambar 16 Gaya berat sistem

Dimana,

W_L = Berat Beban

W_T = Berat *Shaking Table*

Didapatkan Torsi Maksimum yang diterima oleh motor sebesar 64,68 lbf.ft

Perhitungan daya Motor

$$P = T \times \omega$$

$$= 64,68 \text{ lbf.ft} \times 25,2 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 1629,9 \text{ watt} = 2,1857 \text{ HP}$$

Berdasarkan katalog motor didapatkan motor dengan berat 146 kg. Setelah mendapatkan massa motor, dan berdasarkan data kekakuan pada motor [3] maka frekuensi natural dari motor sebesar 74,6 rad/s.

Nilai frekuensi natural tersebut digunakan untuk mendapatkan frekuensi rasio dengan frekuensi eksitasi sebesar $\omega = 25,2 \text{ rad/s}$ sehingga didapatkan nilai frekuensi rasio seperti perumusan di bawah ini :

$$r = \frac{\omega}{\omega_n} = \frac{25,2}{74,6} = 0,337$$

Berdasarkan perumusan di atas dan dengan menginterpretasikan grafik *force transmissibility* [2] didapatkan nilai *damping ratio*, $\xi = 0,5$. Dengan menggunakan persamaan *force transmissibility* maka didapatkan nilai redaman sebesar 31876, 145 N.s/m

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan, simulasi dan analisis alat uji gempa penghasil gerak translasi menggunakan mekanisme slider crank, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Nilai redaman yang dibutuhkan pada motor penggerak agar mampu meredam efek getaran dari alat uji gempa dengan beban massa maksimum 50 kg bernilai sebesar 31876,145 (N.s)m
2. Semakin besar nilai amplitudo berbanding lurus dengan nilai panjang disc r sehingga, semakin panjang disc r semakin besar respon perpindahan, kecepatan, dan percepatan baik respon dinamis pada *shaking table* maupun respon dinamis pada beban struktur yang diuji.
3. Semakin besar nilai frekuensi input yang diberikan maka berbanding lurus dengan besar respon perpindahan,

kecepatan, dan percepatan baik respon dinamis pada shaking table maupun respon dinamis pada beban struktur

4. Semakin besar nilai massa beban struktur yang diujikan maka berbanding terbalik dengan besarnya respon perpindahan, kecepatan dan percepatan yang merunun pada respon beban.
5. Alat uji gempa ini dapat beroperasi hingga frekuensi kurang dari 74,6 rad/s dengan beban maksimal 50 kg.
6. Alat Uji gempa ini dapat diterapkan sebagai simulator gempa yang baik dikarenakan pada sistem shaking table sebagai representatif dari input gempa tidak berpengaruh dari variasi massa yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Dwiarti, "Pengembangan Sistem Isolasi Seismik pada Struktur Bangunan yang dikenai Beban Gempa sebagai Solusi untuk Membatasi Respon Dinamik," *Jurnal Teknik Sipil*, 2012
- [2] S.S. Rao, *Mechanical Vibration*, University of Miami: Prentice Hall, 2011.
- [3] A. Scholum, "Fundamental of Design Structural Connection and Interface," 2008.