

# Analisis Model Simulator Gempa Berupa Meja Getar (*Vibration Table*)

J. A. Harianja

Fakultas Teknik, Universitas Kristen Immanuel, Yogyakarta, INDONESIA

harianja\_andar@ukrimuniversity.ac.id

## INTISARI

*Gempa adalah getaran yang terjadi di permukaan bumi akibat pelepasan energi secara tiba-tiba sehingga tercipta gelombang seismik yang dapat mengakibatkan kerusakan bangunan. Oleh karena itu, pengetahuan efek getaran gempa terhadap struktur sangat diperlukan. Untuk mengetahui respon struktur gedung akibat gempa, maka dalam penelitian ini dibuat alat simulator meja getar yang dirancang khusus meniru getaran gempa sesungguhnya. Agar alat berfungsi baik menirukan getaran gempa dilakukan analisis terhadap simulator meja getar yang dibuat. Analisis yang dilakukan meliputi analisis beban maksimum, frekuensi, periode, amplitudo, displacement, kecepatan, percepatan dan gaya yang dihasilkan oleh alat simulator. Pengujian dimulai dari tanpa beban dan dilanjutkan dengan pemberian beban berturut-turut 5 kg, 10 kg, 15 kg, 20 kg, dan 25 kg. Hasil penelitian menunjukkan beban maksimum yang bisa diterima alat simulator adalah 80 kg dengan frekuensi maksimum inverter 40 Hertz. Untuk menentukan frekuensi aktual dilakukan analisis manual mengingat frekuensi inverter tidak sesuai dengan frekuensi sebenarnya. Semakin besar beban pada simulator diperoleh frekuensi getaran semakin kecil tetapi sebaliknya gaya yang terjadi semakin besar.*

*Kata kunci: simulator, gempa, getaran.*

## 1 PENDAHULUAN

Gempa bumi adalah getaran yang terjadi di permukaan bumi akibat pelepasan energi secara tiba-tiba yang menciptakan gelombang seismik. Gempa bumi biasanya disebabkan oleh pergerakan kerak bumi/lempeng bumi. 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. Oleh karena itu pengetahuan akan efek getaran akibat gempa terhadap perilaku respon struktur bangunan sangat diperlukan. Hal ini mendorong perlunya sistem perancangan yang matang mengenai struktur bangunan yang akan dibangun khususnya di daerah rawan gempa seperti di sebagian besar wilayah Indonesia.

Berdasarkan hal tersebut di atas, permasalahan yang masih harus dianalisa dan dijawab adalah bagaimana mengetahui perilaku respon suatu struktur terhadap getaran akibat gempa. Oleh sebab itu, dalam penelitian ini dirancang sebuah alat yang direncanakan dapat merepresentasikan getaran akibat gempa bumi yang terjadi. Sebelum alat simulator gempa berupa meja getar yang dirancang dapat diaplikasikan dalam menganalisis perilaku respon struktur, maka alat tersebut harus diuji terlebih dahulu untuk mengetahui getaran yang dihasilkan oleh alat simulator yang selanjutnya digunakan untuk perhitungan frekuensi getaran. Selain itu, pengukuran perpindahan, kecepatan dan percepatan getaran pada alat memerlukan informasi berupa data periode dan simpangan pada alat. Alat simulator gempa berupa meja getar yang dirancang dapat bergerak di arah sumbu X, Y, dan Z tetapi dalam penelitian ini hanya dianalisis getaran di

arah X saja dengan berat beban dimulai dari 5 kg, 10 kg, 15 kg, 20 kg, dan 25 kg.

## 2 TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

### 2.1 Gempa

Gempa Bumi biasa disebabkan oleh pergerakan kerak bumi (lempeng bumi). Gempa bumi merupakan fenomena alam biasa, sama dengan fenomena alam yang lain seperti hujan, angin, gunung meletus dan sebagainya. Menyusul terjadinya gerakan-gerakan lempeng tektonik pada proses pembentukan bumi, maka sejak itulah proses terjadinya gempa bumi dimulai. (Widodo Pawirodikromo, 2012). Dari beberapa definisi dan pengertian yang dikemukakan oleh para ahli, Widodo Pawirodikromo (2012) menyimpulkan bahwa gempa bumi adalah bergetarnya permukaan tanah karena pelepasan energi secara tiba-tiba akibat dari pecah/slipnya massa batuan dilapisan kerak bumi. Jenis-jenis gempa bumi ditinjau dari penyebabnya adalah gempa runtuh (*collapse earthquake*), gempa vulkanik (*volcanic earthquake*), gempa ledakan (*explosion earthquake*), dan gempa tektonik (*tectonic earthquake*).

Bolt (1975) menerangkan gelombang energi gempa dengan mengambil perumpamaan gelombang udara akibat tepukan tangan. Apabila kedua tangan bertepuk maka akan terjadi tekanan gelombang udara yang menyebar ke segala arah. Energi mekanik dari kedua tangan yang bertepuk kemudian ditransformasikan menjadi getaran udara. Kejadian yang hampir sama juga terjadi apabila dijatuhkan suatu benda dalam air yang tenang. Energi mekanik akibat benturan benda dengan muka air di transfer menjadi gelombang air di

permukaan yang menyebar ke segala arah. Akibat yang sama juga terjadi pada benturan dua material dan pecahnya suatu material yang keduanya akan mengakibatkan getaran udara.

Sebelum terjadi gempa, pada pusat gempa akan terjadi akumulasi energi yang menimbulkan tegangan yang besar sebagai akibat dari adanya kopel gaya. Oleh karena itu pada saat terjadinya gempa atau saat patah/pecahnya masaa batuan, akan terjadi pelepasan energy (*released energy*) yang besar yang umumnya kemudian disebut energi gelombang gempa. Pada saat terjadi gempa, energi regangan (*strain energy*) yang dilepaskan akibat pecah/bergesernya batuan karena peristiwa mekanik (desak, geser, dan tarik) kemudian ditransfer menjadi gelombang. Dari pusat gempa, gelombang gempa akan merambat kesegala arah yang salah satu arahnya dapat mencapai permukaan tanah. Sebelum mencapai alat pencatat, gelombang gempa akan melewati bermacam-macam kondisi lapisan tanah, sebagian gelombang akan di pantulkan, dibiaskan, dan lainnya akan bergerak sepanjang permukaan tanah.

Secara umum gelombang energi gempa dapat di bedakan menjadi *body waves* yaitu gelombang yang menjalar di dalam bumi dan *surface waves* yaitu gelombang yang menjalar pada lapis permukaan tanah. Menurut Daniel L. Schodek (1999), gempa bumi terjadi karena fenomena getaran dengan kejutan pada kerak bumi. Faktor utama adalah benturan pergesekan kerak bumi yang mempengaruhi permukaan bumi. Gempa bumi ini menjalar dalam bentuk gelombang. Gelombang ini mempunyai suatu energi yang dapat menyebabkan permukaan bumi dan bangunan di atasnya menjadi bergetar. Getaran ini nantinya akan menimbulkan gaya-gaya pada struktur karena struktur cenderung mempunyai gaya untuk mempertahankan dirinya dari gerakan.

## 2.2 Simulator Gempa Bumi

Simulator gempa bumi yang biasanya digunakan untuk mengetahui respon suatu struktur bangunan terdiri dari suatu meja getar dan penggerak seperti motor maupun aktuator hidrolis. Simulator gempa tersebut didesain dalam skala besar dan kecil. Skala besar digunakan untuk benar-benar mengetahui respon struktur bangunan terhadap input eksitasi gempa.

Simulator gempa pada penelitian yang dilakukan oleh Joel P. Conte pada tahun 2004 diletakkan di luar ruangan dengan kapasitas simulator mencapai 200 MN. Penggerak simulator tersebut menggunakan aktuator hidrolis dengan frekuensi yang dihasilkan adalah 0-20 Hz dengan material yang digunakan untuk meja getar

terbuat dari bahan baja. Untuk simulator gempa bumi berskala kecil umumnya digunakan untuk menguji kapasitas beban berskala kecil yang kegunaannya ditujukan untuk mengetahui respon struktur terhadap beban seismik. Salah satu contoh yaitu penelitian Herlien *et al.*, (2012) pada pengembangan sistem isolasi seismik pada struktur bangunan yang dikenai beban gempa sebagai solusi untuk membatasi respon dinamik menggunakan alat uji gempa dengan mekanisme *slider crank*. Alat uji gempa tersebut menerapkan mekanisme sederhana mengingat struktur bangunan yang ingin dianalisa dalam skala kecil. Alat uji gempa dengan menggunakan mekanisme *slider crank* memanfaatkan panjang radius ( $r$ ) *disc motor* dan lengan ( $l$ ) untuk mendapatkan gaya yang bekerja pada meja getar serta gaya yang harus ditransmisikan dari motor ke lantai (*base*).

Prinsip analisis getaran pada simulator gempa dapat berbeda-beda tergantung bagiannya. Pada bagian antara struktur beban dan meja getar menggunakan prinsip *motion of base* sedangkan pada bagian antar motor dan lantai (*base*) menggunakan prinsip *base isolation*. Input getaran yang diberikan pada alat uji gempa ini adalah *sinusoidal* karena gelombang gempa yang terjadi merupakan gelombang *sinusoidal* dan getaran dari meja getar menghasilkan gerak translasi.

## 2.3 Getaran

Getaran adalah suatu gerak bolak-balik di sekitar kesetimbangan. Kesetimbangan di sini maksudnya adalah keadaan di mana suatu benda berada pada posisi diam jika tidak ada gaya yang bekerja pada benda tersebut. Getaran mempunyai amplitudo (jarak simpangan terjauh dengan titik tengah) yang sama. Getaran dapat dibagi menjadi 2 jenis yaitu getaran bebas dan getaran paksa. Getaran bebas terjadi bila sistem mekanis dimulai dengan gaya awal, lalu dibiarkan bergetar secara bebas. Contoh getaran seperti ini adalah memukul garpu tala dan membiarkannya bergetar, atau bandul yang ditarik dari keadaan setimbang lalu dilepaskan. Getaran bebas masih dapat dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu getaran bebas tanpa peredam dan getaran bebas dengan redaman.

Pada model yang paling sederhana redaman dianggap dapat diabaikan, dan tidak ada gaya luar yang memengaruhi massa (getaran bebas). Dalam keadaan ini gaya yang berlaku pada pegas  $F_s$  sebanding dengan panjang peregangan  $x$ , sesuai dengan hukum Hooke yang dapat diekspresikan secara matematis sesuai Persamaan (1) berikut,

$$F_s = -kx \quad (1)$$

dengan  $k$  = kekakuan (kg/cm),  $F_s$  = gaya pegas (N), dan  $x$  = panjang peregangan (m). Sesuai Hukum kedua Newton, gaya yang ditimbulkan akan sebanding dengan percepatan massa sesuai Persamaan (2) berikut,

$$\sum F = ma = m \frac{d^2x}{dt^2} \quad (2)$$

dengan  $F$  = gaya (N),  $m$  = massa (kg),  $a$  = percepatan ( $m/s^2$ ),  $x$  = simpangan (m), dan  $t$  = waktu (s).

Jika dimulai getaran sistem dengan meregangkan pegas sejauh  $A$  kemudian melepaskannya, solusi persamaan di atas yang memberikan gerakan massa adalah sesuai dengan Per. (3) berikut,

$$x(t) = A \cos(2\pi f_n t) \quad (3)$$

Solusi ini menyatakan bahwa massa akan berosilasi dalam gerak harmonis sederhana yang memiliki amplitudo  $A$  dan frekuensi  $f_n$ . Bilangan  $f_n$  adalah salah satu besaran yang terpenting dalam analisis getaran, dan dinamakan frekuensi alami takredam. Untuk sistem massa-pegas sederhana,  $f_n$  didefinisikan sebagai,

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (4)$$

dengan  $f_n$  = frekuensi (Hz),  $m$  = massa (kg), dan  $k$  = kekakuan (kg/cm)

Getaran bebas redaman memiliki pengertian bahwa peredaman berlaku pada massa selain gaya yang disebabkan oleh peregangan pegas. Bila bergerak dalam fluida, benda akan mendapatkan peredaman karena kekentalan fluida. Gaya akibat kekentalan ini sebanding dengan kecepatan benda. Konstanta akibat kekentalan (*viskositas*)  $c$  ini dinamakan koefisien peredam, dengan satuan N s/m (SI)

$$F_d = -cv = -c \frac{dx}{dt} \quad (5)$$

dengan  $F_d$  = gaya hambat (N),  $c$  = kekentalan /viskositas ( $Ns/m^2$ ),  $x$  = simpangan (m), dan  $t$  = waktu (s). Jika dijumlahkan semua gaya yang berlaku pada benda akan diperoleh persamaan,

$$m + c + kx = 0 \quad (6)$$

Solusi persamaan ini tergantung pada besarnya redaman. Bila redaman cukup kecil, sistem masih akan bergetar, namun pada akhirnya akan berhenti. Keadaan ini disebut kurang redam, dan merupakan kasus yang paling mendapatkan perhatian dalam analisis vibrasi. Bila peredaman diperbesar sehingga mencapai titik saat

sistem tidak lagi berosilasi, akan dicapai titik redaman kritis. Bila peredaman ditambahkan melewati titik kritis ini sistem disebut dalam keadaan lewat redam. Nilai koefisien redaman yang diperlukan untuk mencapai titik redaman kritis pada model massa-pegas-peredam adalah,

$$C_c = 2\sqrt{km} \quad (7)$$

dengan  $C_c$  = Nilai koefisien redaman (Ns/m),  $k$  = kekakuan (kg/cm), dan  $m$  = massa (kg). Untuk mengkarakterisasi jumlah peredaman dalam sistem digunakan nisbah yang dinamakan nisbah redaman. Nisbah ini adalah perbandingan antara peredaman sebenarnya terhadap jumlah peredaman yang diperlukan untuk mencapai titik redaman kritis. Rumus untuk nisbah redaman ( $\zeta$ ) adalah.

$$\zeta = \frac{c}{2\sqrt{km}} \quad (8)$$

dengan  $\zeta$  = nisbah redaman,  $k$  = kekakuan (kg/cm), dan  $m$  = massa (kg).

Getaran paksa adalah getaran yang terjadi karena adanya gaya luar yang bekerja pada suatu sistem sehingga sistem tersebut bergetar. Bila gaya luar, biasanya  $f(t) = fc \sin \omega t$  atau  $fc \cos \omega t$  bekerja pada sistem getaran paksa, maka sistem cenderung bergetar pada frekuensi sendiri di samping mengikuti gaya eksitasi dan jika ada gesekan, bagian gerakan yang ditahan oleh gaya sinusoidal secara perlahan akan hilang dan dengan demikian sistem akan bergetar pada frekuensi pribadi sistem. Bagian getaran yang berlanjut terus disebut getaran keadaan *steady* atau respon sistem keadaan *steady* yang diperlukan dalam analisis getaran karena efek sinambungnya. Gerakan periodik atau getaran selalu berhubungan dengan frekuensi yang menyatakan banyaknya gerakan bolak-balik (satu siklus penuh) tiap satuan waktu. Hubungan antara frekuensi dan periode suatu getaran dapat dinyatakan dengan persamaan sederhana sebagai berikut.

$$F = \frac{n}{T} \quad (9)$$

dengan  $F$  = frekuensi (Hz),  $n$  = jumlah getaran, dan  $T$  = waktu (det).

Jarak yang ditempuh dari suatu puncak ke puncak yang lain disebut perpindahan getaran (*vibration displacement*). Selain perpindahan, getaran juga memiliki kecepatan getaran (*vibration velocity*). Untuk menghitung kecepatan getaran digunakan persamaan,

$$V = A\omega \cos(\omega t + \theta_0) \quad (10)$$

dengan  $V$  = kecepatan,  $A$  = amplitudo (simpangan maksimum), dan  $\omega t$  = frekuensi sudut ( $2\pi$ ), dan  $\theta_0$  = fase sudut awal.

Fase getaran merupakan informasi penting untuk menentukan bagaimana suatu bagian bergetar relatif terhadap bagian yang lain, atau untuk menentukan posisi suatu bagian yang bergetar pada suatu saat terhadap suatu referensi atau terhadap bagian lain yang bergetar dengan frekuensi yang sama. Simpangan getaran (*displacement*) adalah ukuran jumlah gerakan dari massa suatu benda yang menunjukkan jarak benda bergerak maju mundur (bolak-balik) pada saat mengalami getaran.

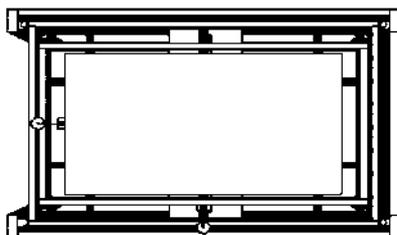
### 3 METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Alat dan Bahan Pembuatan Simulator Gempa

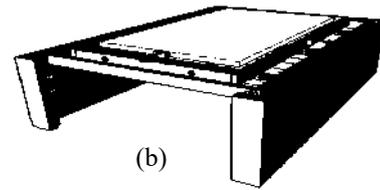
Rangka meja pertama dan kedua menggunakan baja hollow dimensi 40 mm × 40 mm × 1,8 mm sedang rangka lapisan meja ketiga dimensi 60 mm × 40 mm × 2 mm. Tempat *sliding* meja getar yang digerakkan motor penggerak menggunakan baja St 45  $\phi 1''$  dan St 45  $\phi 1 1/4''$ . Alat pengikat/tumpuan penghubung rangka meja getar dengan baja *sliding* menggunakan *bushing PE/ny/on*. Motor penggerak meja di arah sumbu X menggunakan dynamo 1/2 HP sedang di arah sumbu Y dan Z menggunakan dynamo 1 HP. Bahan-bahan lainnya adalah pegas untuk meredam getaran, dan plat dudukan benda uji dimensi 1,5 m × 1 m × 2,5 cm terbuat dari kayu. Untuk mengatur kecepatan dan torsi motor penggerak sesuai yang diinginkan digunakan *inverter control*. Alat-alat yang digunakan untuk pembuatan simulator gempa adalah peralatan las, mesin bubut, bor, gurinda, *stopwatch* dan kamera (digunakan saat pengujian) dan alat bantu lainnya.

#### 3.2 Proses Pembuatan Alat Simulator Gempa

*Design* alat terlebih dahulu dibuat sebagai acuan untuk membantu proses pelaksanaan. Dimensi meja alat simulator gempa yang dibuat adalah panjang 1,5 m, lebar 1 m dan tinggi 0,8 m. *Design* perspektif alat simulator gempa tampak pada Gambar 1. berikut.



(a)



(b)

Gambar 1. *Design* Simulator Gempa. (a) Tampak Atas (b) Tampak Samping.

Motor sebagai input gaya menuju *vibrator table* menggunakan mekanisme slider *crank* (engkol) di mana rotasi pada motor menjadi translasi. Sehingga gaya eksitasi pada motor dapat diteruskan pada *vibrator table*. Mekanisme slider *crank* dipengaruhi panjang lengan *crank* dan radius (*disc*) pada motor. Meja getar yang di gunakan memiliki 3 arah gaya yang bekerja yaitu arah X, Y dan Z yang bisa bergerak satu persatu atau bergerak secara bersamaan.

#### 3.3 Analisis Alat Simulator Gempa

Analisis frekuensi getaran yang dihasilkan alat simulator gempa memerlukan alat pengukur waktu *stopwatch* dan kamera. *Stopwatch* adalah alat ukur waktu yang dapat diaktifkan dan dimatikan. *Stopwatch* diaktifkan bersamaan dengan motor penggerak dan pada saat itu pengukuran waktu sudah dimulai dan dinonaktifkan pada saat akhir pengukuran dengan posisi kamera sudah aktif.

Analisis perpindahan getaran memerlukan data simpangan pada meja getar. Akibat getaran yang dihasilkan simulator meja getar cukup besar, maka dimungkinkan simpangan yang terjadi dapat bertambah sehingga untuk mendapatkan hasil yang akurat diperlukan pengukuran tersendiri. Cara yang dilakukan untuk pengukuran ini adalah menggunakan pena dan kertas skala millimeter. Pena ditempelkan pada alat simulator dengan ujung pena yang lembut menempel pada kertas millimeter gempa sehingga gesekan antara pena dan kertas dapat diabaikan. Pena akan menghasilkan coretan atau garis pada kertas ketika simulator meja getar diaktifkan. Hasil dari coretan pena berupa garis pada kertas millimeter digunakan sebagai data untuk menganalisis simpangan yang terjadi.

Untuk menganalisis kecepatan dan percepatan getaran simulator meja getar diperlukan data periode dan simpangan (amplitudo). Kecepatan getaran dihitung menggunakan Persamaan 10 dan percepatan dihitung menggunakan persamaan turunannya.

#### 4 HASIL PENELITIAN

##### 4.1 Frekuensi, Kecepatan, Percepatan, Periode, Simpangan, dan Gaya Tanpa Pembebanan

meja ditimbang dan diperoleh beratnya adalah 45 kg. Hasil pengujian alat simulator gempa tanpa beban dicantumkan dalam Tabel 1 dengan  $t = 30$  det.

Sebelum dilakukan analisis frekuensi *inverter* dan frekuensi aktual alat simulator gempa, berat frame dan

Tabel 1. Frekuensi kecepatan, percepatan, periode, simpangan dan gaya tanpa pembebanan

Jumlah getaran	Frekuensi Inverter (Hz)	Frekuensi Aktual (Hz)	Periode (s)	R (m)	$\omega$ (rad/s)	V (m/s)	a (m/s <sup>2</sup> )	F (N)
20	65	2,17	0,46	0,0295	13,61	0,40	5,46	245,8
22	75	2,50	0,40	0,0295	15,70	0,46	7,27	327,2
24	80	2,67	0,38	0,0295	16,75	0,49	8,27	372,3
26	85	2,83	0,35	0,0295	17,79	0,52	9,34	420,3
28	93	3,10	0,32	0,0295	19,47	0,57	11,18	503,1
30	101	3,37	0,30	0,0295	21,14	0,62	13,19	593,4
32	109	3,63	0,28	0,0295	22,82	0,67	15,36	691,1
34	117	3,90	0,26	0,0295	24,49	0,72	17,70	796,3
36	123	4,10	0,24	0,0295	25,75	0,76	19,56	880,1
38	131	4,37	0,23	0,0295	27,42	0,81	22,18	998,3
40	138	4,60	0,22	0,0295	28,89	0,85	24,62	1107,8

##### 4.2 Frekuensi, Kecepatan, Percepatan, Periode, Simpangan, dan Gaya dengan Pembebanan

Tabel 2. Frekuensi kecepatan, percepatan, periode, simpangan dan gaya dengan beban 5 kg

Frekuensi Inverter (Hertz)	Jumlah Getaran	Frekuensi Aktual (Hz)	Periode (s)	R (m)	$\omega$ (rad/s)	V (m <sup>2</sup> /s)	a (m/s <sup>2</sup> )	F (N)
20	60	2,00	0,50	0,0295	12,56	0,37	4,65	232,7
22	69	2,30	0,43	0,0295	14,44	0,43	6,15	307,7
24	76	2,53	0,39	0,0295	15,91	0,47	7,47	373,3
26	79	2,63	0,38	0,0295	16,54	0,49	8,07	403,4
28	89	2,97	0,34	0,0295	18,63	0,55	10,24	512,0
30	98	3,27	0,31	0,0295	20,51	0,61	12,42	620,8

Tabel 3. Frekuensi kecepatan, percepatan, periode, simpangan dan gaya dengan beban 10 kg

Frekuensi Inverter (Hertz)	Jumlah Getaran	Frekuensi Aktual (Hz)	Periode (s)	R (m)	$\omega$ (rad/s)	V (m <sup>2</sup> /s)	a (m/s <sup>2</sup> )	F (N)
20	57	1,90	0,53	0,0295	11,93	0,35	4,20	231,0
22	65	2,17	0,46	0,0295	13,61	0,40	5,46	300,4
24	72	2,40	0,42	0,0295	15,07	0,44	6,70	368,6
26	76	2,53	0,39	0,0295	15,91	0,47	7,47	410,7
28	81	2,70	0,37	0,0295	16,96	0,50	8,48	466,5
30	90	3,00	0,33	0,0295	18,84	0,56	10,47	575,9

Tabel 4. Frekuensi kecepatan, percepatan, periode, simpangan dan gaya dengan beban 15 kg

Frekuensi Inverter (Hertz)	Jumlah Getaran	Frekuensi Aktual (Hz)	Periode (s)	R (m)	$\omega$ (rad/s)	V (m <sup>2</sup> /s)	a (m/s <sup>2</sup> )	F (N)
20	50	1,67	0,60	0,0295	10,47	0,31	3,23	193,9
22	57	1,90	0,53	0,0295	11,93	0,35	4,20	252,0
24	62	2,07	0,48	0,0295	12,98	0,38	4,97	298,1
26	66	2,20	0,45	0,0295	13,82	0,41	5,63	337,9
28	71	2,37	0,42	0,0295	14,86	0,44	6,52	391,0
30	76	2,53	0,39	0,0295	15,91	0,47	7,47	448,0

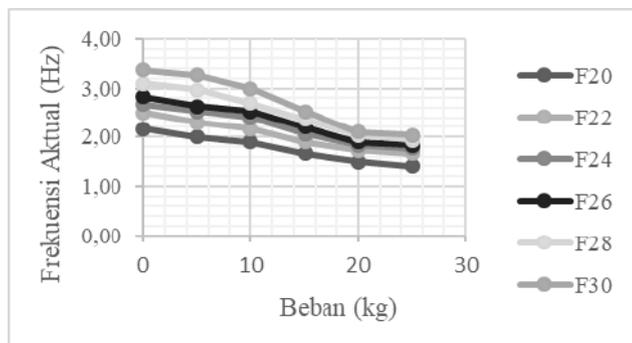
Tabel 5. Frekuensi kecepatan, percepatan, periode, simpangan dan gaya dengan beban 20 kg

Frekuensi Inverter (Hertz)	Jumlah Getaran	Frekuensi Aktual (Hz)	Periode (s)	R (m)	$\omega$ (rad/s)	V (m <sup>2</sup> /s)	a (m/s <sup>2</sup> )	F (N)
20	45	1,50	0,67	0,0295	9,42	0,28	2,62	170,2
22	52	1,73	0,58	0,0295	10,89	0,32	3,50	227,2
24	55	1,83	0,55	0,0295	11,51	0,34	3,91	254,2
26	57	1,90	0,53	0,0295	11,93	0,35	4,20	273,0
28	61	2,03	0,49	0,0295	12,77	0,38	4,81	312,7
30	63	2,10	0,48	0,0295	13,19	0,39	5,13	333,5

Tabel 6. Frekuensi kecepatan, percepatan, periode, simpangan dan gaya dengan beban 25 kg

Frekuensi Inverter (Hertz)	Jumlah Getaran	Frekuensi Aktual (Hz)	Periode (s)	R (m)	$\omega$ (rad/s)	V (m <sup>2</sup> /s)	a (m/s <sup>2</sup> )	F (N)
20	42	1,40	0,71	0,0295	8,79	0,26	2,28	159,6
22	50	1,67	0,60	0,0295	10,47	0,31	3,23	226,2
24	53	1,77	0,57	0,0295	11,09	0,33	3,63	254,2
26	55	1,83	0,55	0,0295	11,51	0,34	3,91	273,7
28	58	1,93	0,52	0,0295	12,14	0,36	4,35	304,4
30	61	2,03	0,49	0,0295	12,77	0,38	4,81	336,7

Dari Tabel 1 sampai dengan Tabel 6 selanjutnya dibuat grafik hubungan antara fekuensi aktual alat simulator gempa dengan beban yang diletakkan di atas meja getar dan grafik hubungan antara frekuensi aktual dan frekuensi inverter seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Grafik hubungan fekuensi aktual alat simulator gempa dengan beban

## 5 KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan ditarik kesimpulan yaitu beban yang bisa diterima oleh model simulator gempa maksimum 80 kg, dan untuk menentukan frekuensi aktual perlu dilakukan analisis manual mengingat frekuensi inverter tidak sesuai dengan frekuensi yang sebenarnya. Dari hasil

penelitian didapat frekuensi, kecepatan, percepatan, periode, amplitudo, dan gaya yang bekerja pada simulator gempa yang dapat dijadikan sebagai referensi penelitian model struktur. Semakin besar nilai massa beban struktur yang diuji, besarnya respon perpindahan, kecepatan, dan percepatan yang terjadi semakin kecil.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada saudara Faatulloh Baene yang telah membantu selama pengujian dan perakitan alat.

## REFERENSI

Bolt, B.A. (1975). *Earthquake A Primer*, W.H Freeman and Company, San Francisco.

Conte, J.P. (2004). *Large High Performance Outdoor Shake Table*, dalam Engineering Mechanic Conference, Delaware.

Herlien, D.S., Kusumastuti, D., Setio, S., Siregar, P.H.R., Hartanto, A. (2012). Pengembangan Sistem Isolasi pada Struktur Bangunan yang Dikenai Beban Gempa sebagai Solusi untuk Membatasi Respon Struktur. *Jurnal Teknik Sipil*. Vol 19(1), 1-14.

Pawirodikromo W. (2012). *Seismologi & Rekayasa Kegempaan*. Pustaka Pelajar, Yogyakarta.

Schodek D.L. (1999). *Struktur*. Erlangga, Jakarta.