

SKRIPSI

**KARAKTERISTIK GETARAN SINUSOIDAL UNTUK SISTEM
LIKUIFAKSI**

OLEH :

FIRMAN SYAH

D211 14 005



DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2021

SKRIPSI
KARAKTERISTIK GETARAN SINUSOIDAL UNTUK SISTEM
LIKUIFAKSI

Disusun dan diajukan oleh

FIRMAN SYAH

D211 14 005

Merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Mesin pada
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR

2021

LEMBAR PENGESAHAN

**KARAKTERISTIK GETARAN SINUSOIDAL UNTUK SISTEM
LIKUIFAKSI**

Disusun dan diajukan oleh

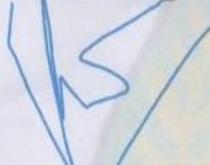
FIRMAN SYAH

D211 14 005

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada Tanggal 3 Agustus 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

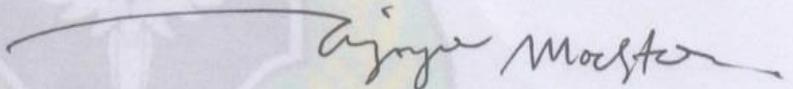
Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Rafiuddin Syam, ST., M.Eng., Ph.D
NIP. 19720330 199512 1 001

Pembimbing Pendamping,



Dr. Eng. Andi Amijoyo Mochtar, ST., M.Sc
NIP. 19760216 201012 1 002

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



Dr. Eng. Jalaluddin, ST., MT
NIP. 19720825 200003 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Firman Syah
Nim : D2 11 14 005
Program Studi : Departemen Teknik Mesin
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Karakteristik Getaran sinusoidal untuk Sistem Likuifaksi

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 11 Agustus 2021

Yang menyatakan


Firman Syah

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nama : Firman Syah
Tempat Tanggal Lahir : Batu Borong, 05 Juni 1996
Alamat : BTN Bumi Batara Mawang Blok AE.5 No.
7 Gowa
Jenis Kelamin : Laki-laki
Agama : Islam
Telepon : 0852 9913 3288
E-mail : syah.firmaan@gmail.com
Riwayat Pendidikan : SD Inpres Tonrorattang
MTs Annuriyah Bontocini
MA Annuriyah Bontocini
Riwayat Organisasi : HMM FT-UH
Pengalaman Magang (internship) : PLTU Tello

Abstrak

FIRMAN SYAH, Karakteristik Getaran Sinusoidal untuk Sistem Likuifaksi (dibimbing oleh Rafiuddin Syam, ST, M. Eng, PhD dan Dr. Eng Andi Amijoyo Mochtar, ST., M.Sc).

Gempa bumi adalah salah satu bencana alam paling berbahaya yang mengakibatkan kerusakan yang cukup besar. Salah satu efek paling merugikan yang disebabkan oleh gempa bumi adalah likuifaksi.

Dalam tugas akhir ini dilakukan analisis getaran sinusoidal di sistem likuifaksi dengan memanfaatkan *slider crank* dengan *shaking table* yang menggunakan mikrokontroler. Untuk mengetahui respon dinamis dari alat uji tersebut dilakukan variasi amplitudo pada *shaking table* dari 15 mm, 20 mm dan 25 mm sehingga dapat ditentukan panjang jari-jari *slider crank*. Dari variasi tersebut didapatkan variasi gaya eksitasi yang bekerja pada motor dan *shaking table*.

Dari analisis getaran sinusoidal sistem likuifaksi didapatkan dengan adanya perubahan amplitudo, maka panjang jari-jari akan terjadi perubahan nilai dimana panjang jari-jari sama dengan setengah nilai dari amplitudo. Hasil respon pada *shaking table* berupa kecepatan sudut, kecepatan linear dengan variasi jari-jari didapatkan bahwa semakin besar nilai r , maka semakin besar pula respon dinamis yang didapatkan.

Kata Kunci: *Shaking table*, *slider crank*, mikrokontroler, likuifaksi, amplitudo.

Abstract

FIRMAN SYAH, Characteristics of Sinusoidal Vibration for Liquefaction Systems (dibimbing oleh Rafiuddin Syam, ST, M. Eng, PhD dan Dr. Eng Andi Amijoyo Mochtar, ST., M.Sc).

Earthquakes are one of the most dangerous natural disasters that cause considerable damage. One of the most detrimental effects caused by earthquakes is liquefaction.

In this final project, analysis of sinusoidal vibrations in the liquefaction system is carried out by using a *slider crank* with a *shaking table* using a microcontroller. To determine the dynamic response of the test equipment, the amplitude variations on the *shaking table* from 15 mm, 20 mm and 25 mm can be determined so that the length of the radius of the *slider crank* can be determined. From these variations obtained variations in the excitation force acting on the motor and *shaking table*.

From the analysis of sinusoidal vibrations of the liquefaction system, it is found that with a change in amplitude, the length of the radius will change in value where the length of the radius is equal to half the value of the amplitude. The results of the response on the *shaking table* in the form of angular velocity, linear velocity with variations in the radius, it was found that the greater the value of r , the greater the dynamic response obtained.

Keywords: *Shake table, slider crank, microcontroller, liquefaction, amplitude.*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahahirobbil'alamin, segala puji hanya Allah subhanahuwata'ala dan sholawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad shallallahu'alaihiwasallam. Dengan rahmat dari Allah subhanahuwata'ala, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul "KARAKTERISTIK GETARAN SINUSOIDAL UNTUK SISTEM LIKUIFAKSI" dengan baik.

Penulis menyadari dalam penyusunan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan dikarenakan keterbatasan penulis sebagai manusia biasa. Untuk itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dalam menulis skripsi ini. Semoga berguna bagi penulis dan pihak-pihak lain sebagai acuan untuk kebutuhan ilmu pengetahuan.

Dalam penyelesaian Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis hendak mengucapkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Orang tua saya Ibu Suhani dan Bapak Saharuddin, dan istri saya yang tercinta terima kasih atas semua kasih sayang dan doa yang tidak pernah putus sehingga penulis semangat dalam menyelesaikan studi ini.
2. Bapak Dr. Eng. Ir. Jalaluddin, ST., M.T. selaku ketua Departemen teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin beserta seluruh staff Departemen teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala bantuan dan kemudahan administrasi yang diberikan.
3. Bapak Rafiuddin syam, ST, M.Eng, Ph.D. selaku pembimbing I penulisan Skripsi ini.
4. Bapak Dr. Eng Andi Amijoyo Mochtar, ST., M.Sc. selaku pembimbing II penulisan Skripsi ini.
5. Bapak Ir. Mukhtar Rahman., MT. selaku penguji I.
6. Bapak Fauzan, ST.,MT.,Ph.D. selaku penguji II.
7. Segenap Dosen Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
8. Saudara-saudara seperjuangan penulis Radiator 2014 yang sudah menjadi tim support hebat yang selalu ada dalam suka maupun duka.

9. Teman-teman seperjuangan Alumni MA Annuriyah 2014.
10. Teman-teman seperjuangan di Laboratorium Control and Robotic.

DAFTAR ISI

SAMPUL	1
HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	iv
Abstrak.....	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR NOTASI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB 1	1
PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	2
C. Tujuan Penelitian	2
D. Batasan Masalah.....	2
E. Manfaat Penelitian	3
BAB 2	4
TINJAUAN PUSTAKA	4
A. Shake Table.....	4
B. Likuifaksi	10
C. Getaran	11
D. Peredam.....	12
E. Mekanisme Gerak Piston (<i>slider crank</i>)	14
BAB 3	16
METODOLOGI PENELITIAN.....	16
A. Tempat Dan Waktu	16

B. Jenis Penelitian.....	16
C. Alat dan Bahan.....	16
D. Metode Penelitian.....	20
E. Jadwal penelitian.....	21
F. Diagram Alir Penelitian	21
G. Gambar Alat.....	23
BAB 4	25
ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN	25
A. Pengaruh perubahan amplitude terhadap jari-jari	25
B. Pengaruh perubahan kecepatan sudut terhadap variasi jari-jari.....	28
C. Pengaruh kecepatan linear terhadap variasi jari-jari	31
BAB 5	34
PENUTUP.....	34
A. Kesimpulan	34
B. Saran.....	34
DAFTAR PUSTAKA	35
LAMPIRAN.....	37

DAFTAR NOTASI

Simbol	Keterangan	Satuan
Kx	gaya pegas	N/m
Xp	perpindahan	m/s
r	jari-jari	milimeter
l	connecting rod	milimeter
ω	kecepatan sudut	Rad/detik
t	waktu	detik
π	phi	-

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1: <i>Shaking Table</i> at BPCB Prambanan Temple.....	5
Gambar 2.2: Menampilkan Model selama Pengujian Aktual.....	6
Gambar 2.3 : Foto fisik alat uji gempa bumi dengan mekanisme engkol	6
Gambar 2.4 : Pemodelan fisik alat uji gempa bumi dengan mekanisme engkol...7	
Gambar 2.5 : Getaran bebas tanpa redaman	10
Gambar 2.6 : Getaran paksa dengan redaman	11
Gambar 2.7 : Sistem getaran <i>Single Degree of Freedom</i>	11
Gambar 2.8 : Diagram <i>Stress-Strain</i>	13
Gambar 2.9 : Mekanisme Engkol	13
Gambar 3.1 : Diagram alir.....	21
Gambar 3.2 : Alat uji likuifaksi.....	22
Gambar 3.3 : Arah gerakan <i>Shake Table</i>	22
Gambar 3.4 : Komponen-komponen Alat <i>Shake Table</i>	23
Gambar 4.1 : Grafik variasi panjang r pada sumbu x	25
Gambar 4.2 : Grafik variasi panjang r pada sumbu y	26
Gambar 4.3 : Grafik kecepatan sudut dengan variasi panjang r sumbu x	28
Gambar 4.4 : Grafik kecepatan sudut dengan variasi panjang r sumbu y	29
Gambar 4.5 : Grafik kecepatan linear dengan variasi panjang r sumbu x	31
Gambar 4.6 : Grafik kecepatan linear dengan variasi panjang r sumbu y	32

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 : Respon untuk rumah bola berbentuk silinder belah pada frekuensi meja getar ± 151 cpm (± 15.8 rad/s)	7
Tabel 2.2 : Respon untuk rumah bola berbentuk silinder belah pada frekuensi meja getar ± 240 cpm (± 25.2 rad/s)	7
Tabel 2.3 : Respon untuk rumah bola berbentuk setengah bola pada frekuensi meja getar ± 151 cpm (± 15.8 rad/s)	8
Tabel 2.4 : Respon untuk rumah bola berbentuk setengah bola pada frekuensi meja getar ± 240 cpm (± 25.2 rad/s)	9
Tabel 3.1 : Daftar alat-alat pada pembuatan <i>shaking table</i>	16
Tabel 3.2 : Daftar bahan-bahan pada pembuatan <i>shaking table</i>	17
Tabel 3.3 : Tahapan penelitian	20
Tabel 4.1 : Perbandingan nilai r terhadap variasi amplitudo.....	24

BAB 1

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Gempa bumi merupakan bencana alam yang terjadi di bawah permukaan tanah yang dapat menyebabkan terjadinya kerusakan, bukan hanya pada bangunan yang berdiri di atas tanah saja, melainkan pada struktur tanah pula. Kerusakan pada tanah ini diakibatkan oleh besarnya energi yang dilepaskan oleh pusat gempa (hypocenter) berupa getaran yang merambat di permukaan bumi. Salah satu dampak geologi yang disebabkan oleh gempa bumi adalah fenomena hilangnya kekuatan lapisan tanah akibat getaran gempa yang disebut dengan likuifaksi (Kusumawardani et al., 2018).

Likuifaksi adalah suatu peristiwa perubahan fase padat menjadi fase cair yang disebabkan oleh peningkatan tekanan air pori dalam rongga tanah. Dampak dari terjadinya peningkatan tekanan air pori, tanah akan kehilangan kuat geser secara drastis akibat turunnya tegangan efektif air pori tanah. Kejadian ini terutama berkaitan dengan kondisi tanah pasiran jenuh yang memiliki kepadatan lepas atau sedang (Tini et al., 2017).

Peristiwa likuifaksi saat gempa bumi besar pada zona seismik atau jalur gempa bumi merupakan sesuatu yang dapat terjadi, dan dapat menimbulkan kerusakan yang luas pada bangunan dan sarana infrastruktur di wilayah perkotaan di Indonesia. Peristiwa likuifaksi dapat menimbulkan amblesan, keruntuhan, tilting pada bangunan, ground cracking, kelongsoran (Soebowo et al., 2014).

Wilayah Indonesia yang sering mengalami kejadian gempa bumi adalah wilayah Sumatera Barat seperti pada tahun 2009 dengan kejadian gempa bumi dengan kekuatan MW 7,6. Gempa tersebut terjadi di lepas pantai Sumatera, sekitar 50 km barat laut Kota Padang dengan episenter sejauh 80 kilometer (USGS, 2018). Intensitas gempa dilaporkan mencapai skala MMI VII-VIII di Kota Padang dan V-VI di kabupaten/kota sekitarnya. Kerusakan yang terjadi akibat gempa ini tersebar di 13 dari 19 kabupaten/kota dan

memakan korban jiwa lebih dari 1.100 orang. Data final jumlah korban meninggal di Sumatera Barat adalah sebanyak 1.195 orang. Data korban lainnya adalah luka berat 619 orang dan luka ringan 1.179 orang. Gempa juga memporakporandakan sarana dan prasarana publik (Kusumawardani et al., 2018).

Oleh karena itu, dilihat besarnya dampak yang diakibatkan dari gempa bumi yang diiringi dengan bencana sekunder yaitu fenome likuifaksi maka dari itu penulis tertarik untuk membuat penelitian tentang “ **Karakteristik Getaran Sinusoidal Untuk Sistem Likuifaksi** ” sebagai syarat menyelesaikan program studi sarjana pada Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Hasannuddin.

B. Rumusan Masalah

1. Bagaimana menformulasikan getaran yang timbul di mesin likuifaksi dengan menggunakan mekanisme slider crank pada sumbu x, sumbu y ?
2. Bagaimana mengukur parameter getaran yang timbul di mesin likuifaksi dengan menggunakan mekanisme slider crank pada sumbu x, sumbu y ?
3. Bagaimana menganalisis sistem getaran yang timbul di mesin likuifaksi dengan menggunakan mekanisme slider crank pada sumbu x, sumbu y ?

C. Tujuan Penelitian

1. Memformulasikan getaran yang timbul di mesin likuifaksi dengan menggunakan mekanisme slider crank pada sumbu x dan sumbu y.
2. Mengukur parameter getaran yang timbul di mesin likuifaksi dengan menggunakan mekanisme slider crank pada sumbu x dan sumbu y.
3. Menganalisis sistem getaran yang timbul di mesin likuifaksi dengan menggunakan mekanisme slider crank pada sumbu x dan sumbu y.

D. Batasan Masalah

Pada penelitian ini penulis membatasi hal-hal berikut:

Formulasi sistem likuifaksi dilakukan pada sumbu x dan sumbu y (tidak termasuk pada sumbu z).

1. Pengukuran parameter getaran dengan menggunakan sensor yang kompatibel terhadap sistem arduino.
2. Metode analisis yang digunakan adalah perbandingan hasil eksperimen dengan teori.

E. Manfaat Penelitian

1. Bagi penulis: mampu menganalisis *Karakteristik Getaran Sinusoidal Untuk Sistem Likuifaksi*.
2. Bagi akademik:
 1. Sebagai alat peraga untuk peneliti likuifaksi.
 2. Menjadi referensi ataupun pembelajaran bagi mahasiswa teknik mesin dan teknik sipil.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

A. Shake Table

Shake table, sebagai alat eksperimental yang sangat penting dalam penelitian teknik, banyak digunakan di banyak bidang industri utama seperti aerospace, otomotif dan arsitektur, menciptakan lingkungan multi-disiplin untuk penelitian di bidang sipil, mekanik dan teknik listrik. *Shake table* dapat digunakan untuk menguji ketahanan struktur terhadap penggetaran seismik. Ini juga dapat digunakan untuk menunjukkan sensitivitas struktur dari ketinggian yang berbeda terhadap frekuensi gerakan tanah. Saat melakukan pengujian getaran, spesimen dipasang di meja tes dan gaya beban simulatif diterapkan pada spesimen (Yao et al., 2011).

Sampai sekarang *shake table* semakin banyak digunakan dalam bidang penelitian teknik gempa bumi untuk pengujian seismik di mana target bentuk gelombang percepatan gempa harus tepat direproduksi untuk melakukan tes seismik yang akurat. Sistem *shake table* umumnya terdiri dari sistem servo hidrolik termasuk katup servo ataupun motor listrik sebagai penggerak utama, sebuah meja, dan sensor. Karena spesimen target di atas meja digerakkan secara langsung oleh aktuator ataupun motor listrik, maka dari itu reproduktifitas bentuk gelombang percepatan gempa tergantung pada kontrol kinerja dari sistem penggeraknya (Kaida et al., 2016).

Penelitian dilakukan oleh Mase, LZ pada tahun 2017 menggunakan peralatan *shake table* milik Balai Pelestarian Cagar Budaya (BPCB) (Badan Pelestarian Warisan Budaya) Kompleks Candi Prambanan, Yogyakarta. *Shake table* terdiri dari platform yang kokoh, tempat wadah ditempatkan. Meja getar digerakkan secara horizontal oleh aktuator dinamis dengan frekuensi getaran maksimum 1,8 Hz. Wadah uji berupa drum dengan diameter 60 cm dan tinggi 80 cm. Dalam wadah ini, sampel disiapkan. Kontainer dilengkapi dengan transduser tekanan pori yang dipasang pada sisi

kontainer pada ketinggian 30 m dari dasar container. Seluruh pengaturan pengujian disajikan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1: Shaking Table at BPCB Prambanan Temple(Mase, 2017)

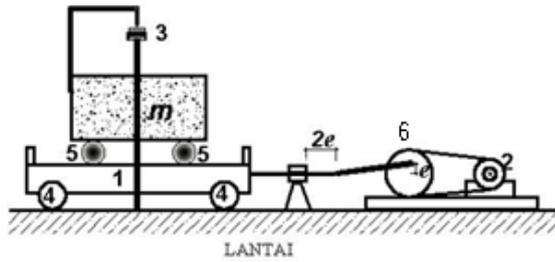
Penelitian juga telah dilakukan oleh pathak, joshi dan kshirsagar pada tahun 2013 dengan menggunakan *shake table* yang dirancang khusus untuk mensimulasikan getaran tanah selama gempa bumi. Menggunakan tiga komponen utama, platform bergetar ukuran 1000m x 1000 m terbuat dari besi cor dilapisi dengan pasta perak, yang bergetar dengan model tanah yang melekat padanya. Panel kontrol, komponen yang mengontrol frekuensi guncangan yang diberikan kombinasi amplitudo standar untuk menghasilkan akselerasi yang diperlukan. Platform bergetar digetarkan dengan bantuan motor. Dua jenis model wadah dari lembaran Perspex salah satunya model persegi dengan ukuran 400 x 400 x 400 mm telah menggunakan secara efektif model ini untuk mensimulasikan pencairan untuk pasir dan melakukan studi parametric lebih lanjut. Susunan peralatan untuk eksitasi sinusoidal satu dimensi dan model yang digunakan adalah seperti Gambar 2.2.



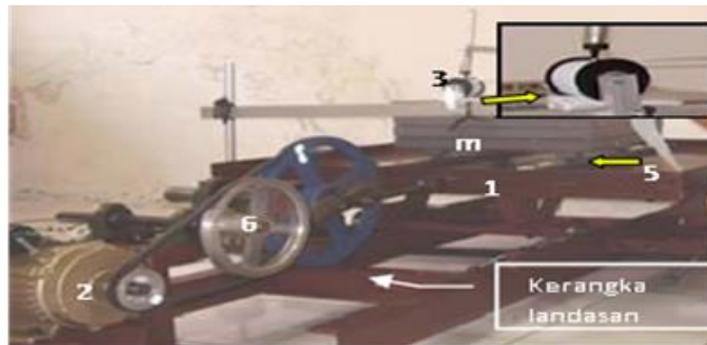
Gambar 2.2: Menampilkan Model selama Pengujian Aktual.
(Pathak et al., 2013)

Pada penelitian Benyamin dkk, 2010 yang berjudul “Karateristik Dinamika Bola Baja Sebagai Material Isolasi Seismik” simulator gempa yang digunakan menggunakan mekanisme engkol seperti yang terlihat pada Gambar 2.3 dan 2.4. Melalui model eksperimental dan pemodelan penelitian ini menjelaskan dan membahas bagaimana pengaruh perubahan parameter massa, frekuensi getar meja, dan amplitud terhadap respon bentuk rumah bola berbentuk silinder belah dan setengah bola .

Hasil dari pengujian didapat bahwa rumah bola berbentuk silinder belah jauh lebih efektif meredam pengaruh getaran dibandingkan dengan rumah bola berbentuk setengah bola. Semakin tinggi percepatan meja getar, semakin besar presentase redaman percepatan yang diteruskan ke massa.



Gambar 2.3 : Pemodelan fisik alat uji gempa bumi dengan mekanisme engkol.



Gambar 2.4 : Foto fisik alat uji gempa bumi dengan mekanisme engkol.

Pada Tabel 2.1, Tabel 2.2, Tabel 2.3, dan Tabel 2.4 merupakan respon untuk rumah bola dengan frekuensi meja getar. (Bontong et al., 2010)

Table 2.1 : Respon untuk rumah bola berbentuk silinder belah pada frekuensi meja getar ± 151 cpm (± 15.8 rad/s)

Massa (kg)	Meja getar		Respons massa		Percepatan		Ratio	Reduksi Percepatan %
	A_m (mm)	w (rad/s)	A_s (mm)	w (rad/s)	a_m gals	a_s gals	a_s/a_m %	
12.5	5	15.79	0.4	15.83	125	10.0	8.0%	92.0%
	10	15.84	0.4	15.86	251	10.0	4.0%	96.0%
	20	15.84	0.5	15.89	502	12.6	2.5%	97.5%
25	5	15.89	0.4	15.94	126	10.2	8.1%	91.9%
	10	15.84	0.4	15.84	251	10.0	4.0%	96.0%
	20	15.81	0.5	15.94	500	12.7	2.5%	97.5%
50	5	15.87	0.4	15.70	126	9.9	7.8%	92.2%
	10	15.84	0.4	15.90	251	10.1	4.0%	96.0%
	20	15.77	0.5	15.88	497	12.6	2.5%	97.5%
75	5	15.95	0.4	15.95	127	10.2	8.0%	92.0%
	10	15.89	0.4	15.89	252	10.1	4.0%	96.0%
	20	15.77	0.4	15.83	497	10.0	2.0%	98.0%

Pada Tabel 2.1 menunjukkan bahwa untuk tipe rumah bola berbentuk silinder belah dan frekuensi meja getar, dengan perlakuan variasi amplitudo meja getar 5, 10 dan 20 mm dan variasi massa 12,5, 25, 50 dan 75 kg, menimbulkan respons amplitudo massa A_s pada nilai yang dapat dikatakan konstan.

Tabel 2.2 : Respon untuk rumah bola berbentuk silinder belah pada frekuensi meja getar ± 240 cpm (± 25.2 rad/s)

Massa (kg)	Meja getar		Respons massa		Percepatan		Ratio	Reduksi
	A_m (mm)	ω (rad/s)	A_s (mm)	ω (rad/s)	a_m gals	a_s gals	a_s/a_m %	Percepatan %
12.5	5	25.19	0.2	25.18	317	12.7	4.0%	96.0%
	10	25.15	0.2	25.24	633	12.7	2.0%	98.0%
	20	25.19	0.2	25.24	1269	12.7	1.0%	99.0%
25	5	25.17	0.2	25.14	317	12.6	4.0%	96.0%
	10	25.19	0.2	25.14	634	12.6	2.0%	98.0%
	20	25.19	0.2	25.23	1269	12.7	1.0%	99.0%
50	5	25.17	0.2	25.19	317	12.7	4.0%	96.0%
	10	25.16	0.2	25.16	633	12.7	2.0%	98.0%
	20	25.15	0.2	25.36	1265	12.9	1.0%	99.0%
75	5	25.21	0.2	25.24	318	12.7	4.0%	96.0%
	10	25.16	0.3	25.07	633	15.7	2.5%	97.5%
	20	25.20	0.3	25.26	1270	19.1	1.5%	98.5%

Pada Tabel 2.2 menunjukkan bahwa untuk tipe rumah bola berbentuk silinder belah dan frekuensi meja getar, dengan perlakuan variasi amplitudo meja getar 5, 10 dan 20 mm dan variasi massa 12,5, 25, 50 dan 75 kg, menimbulkan respons amplitudo massa A_s pada nilai yang dapat dikatakan konstan. Dengan kata lain respons amplitudo massa tidak dipengaruhi oleh perubahan amplitudo meja getar maupun perubahan besarnya massa, tetapi dipengaruhi oleh tipe rumah bola dan frekuensi meja getar.

Tabel 2.3 : Respon untuk rumah bola berbentuk setengah bola pada frekuensi meja getar ± 151 cpm (± 15.8 rad/s)

Massa (kg)	Meja getar		Respons massa		Percepatan		Ratio	Reduksi
	Am (mm)	w (rad/s)	As (mm)	w (rad/s)	am gals	as gals	as/am %	Percepatan %
12.5	5	15.85	3.5	15.94	126	88.9	70.7%	29.3%
	10	15.79	4.0	15.77	249	99.4	39.9%	60.1%
	20	15.83	3.0	15.80	501	74.9	14.9%	85.1%
25	5	15.84	3.0	15.84	126	75.3	60.0%	40.0%
	10	15.79	4.0	15.87	249	100.7	40.4%	59.6%
	20	15.81	3.5	15.89	500	88.4	17.7%	82.3%
50	5	15.85	3.0	15.88	126	75.6	60.2%	39.8%
	10	15.87	3.5	15.80	252	87.4	34.7%	65.3%
	20	15.83	4.0	15.87	501	100.8	20.1%	79.9%
75	5	15.85	3.5	15.87	126	88.1	70.1%	29.9%
	10	15.85	3.5	15.82	251	87.6	34.9%	65.1%
	20	15.81	3.5	15.83	500	87.7	17.5%	82.5%

Pada Tabel 2.3 menunjukkan bahwa untuk tipe rumah bola berbentuk silinder belah dan frekuensi meja getar, dengan perlakuan variasi amplitudo meja getar 5, 10 dan 20 mm dan variasi massa 12,5, 25, 50 dan 75 kg, menimbulkan respons amplitudo massa As pada nilai yang dapat dikatakan konstan. Dengan kata lain respons amplitudo massa tidak dipengaruhi oleh perubahan amplitudo meja getar maupun perubahan besarnya massa, tetapi dipengaruhi oleh tipe rumah bola dan frekuensi meja getar.

Tabel 2.4 : Respon untuk rumah bola berbentuk setengah bola pada frekuensi meja getar ± 240 cpm (± 25.2 rad/s)

Massa (kg)	Meja getar		Respons massa		Percepatan		Ratio	Reduksi
	Am (mm)	w (rad/s)	As (mm)	w (rad/s)	am gals	as gals	as/am %	Percepatan %
12.5	5	25.14	1.5	25.16	316	95.0	30.0%	70.0%
	10	25.16	1.5	25.13	633	94.7	15.0%	85.0%
	20	25.16	1.5	25.19	1266	95.2	7.5%	92.5%
25	5	25.20	1.5	25.16	317	94.9	29.9%	70.1%
	10	25.13	1.5	25.13	632	94.7	15.0%	85.0%
	20	25.15	1.5	25.20	1265	95.2	7.5%	92.5%
50	5	25.15	1.5	25.22	316	95.4	30.2%	69.8%
	10	25.19	1.5	25.17	634	95.1	15.0%	85.0%
	20	25.13	1.5	25.17	1263	95.0	7.5%	92.5%

75	5	25.19	1.5	25.20	317	95.2	30.0%	70.0%
	10	25.17	1.5	25.13	634	94.7	15.0%	85.0%
	20	25.14	1.5	25.17	1264	95.0	7.5%	92.5%

Pada Tabel 2.4 menunjukkan bahwa untuk tipe rumah bola berbentuk silinder belah dan frekuensi meja getar, dengan perlakuan variasi amplitudo meja getar 5, 10 dan 20 mm dan variasi massa 12,5, 25, 50 dan 75 kg, menimbulkan respons amplitudo massa A_s pada nilai yang dapat dikatakan konstan. Dengan kata lain respons amplitudo massa tidak dipengaruhi oleh perubahan amplitudo meja getar maupun perubahan besarnya massa, tetapi dipengaruhi oleh tipe rumah bola dan frekuensi meja getar. (Bontong et al., 2010)

B. Likuifaksi

Likuifaksi merupakan fenomena hilangnya kekuatan lapisan tanah akibat tegangan air pori yang timbul akibat beban siklis (getaran). Getaran yang dimaksud dapat berupa getaran yang berasal dari gempa bumi maupun yang berasal dari pembebanan cepat lainnya. Ketika mengalami getaran tersebut sifat lapisan tanah berubah menjadi seperti cairan sehingga tak mampu menopang beban bangunan di dalam atau di atasnya. Likuifaksi biasanya terjadi pada tanah yang jenuh air, dimana seluruh rongga – rongga dari tanah tersebut dipenuhi oleh air. Pada saat mengalami getaran, air ini memberikan suatu tekanan di partikel-partikel tanah sehingga mempengaruhi kepadatan dari tanah tersebut. Sebelum terjadinya gempa bumi, tekanan air pada suatu tanah secara relatif rendah. Namun setelah menerima getaran, tekanan air dalam tanah meningkat, sehingga dapat menggerakkan partikel-partikel tanah dengan mudah. Setelah digerakkan oleh air, maka partikel tanah tidak memiliki lagi kekuatan atau daya dukung, sehingga daya dukung tanah sepenuhnya berasal dari tegangan air pori. Pada kondisi ini, tanah sudah berbentuk cairan yang tidak lagi memiliki kestabilan, sehingga beban - beban

yang ada di atas tanah tersebut seperti beban dari struktur bangunan akan amblas ke dalam tanah(Hutagalung & Dertha, 2019).

C. Getaran

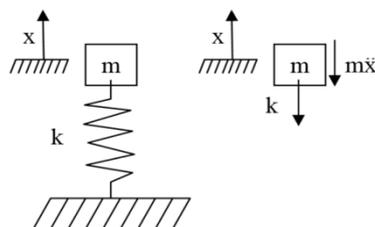
Getaran merupakan suatu gerak bolak-balik di sekitar kesetimbangan. Kesetimbangan di sini maksudnya adalah keadaan di mana suatu benda berada pada posisi diam.

Getaran sinusoidal adalah adanya gaya yang menyebabkan gelombang atau gerakan bolak balik yang terjadi dengan suatu keteraturan sampai gerakan itu berhenti.

Getaran dapat diklasifikasikan menjadi :

Free Vibration (Getaran bebas), terjadi jika sistem beresonansi karena bekerjanya gaya yang ada dalam sistem itu sendiri (inherent), dan jika ada gaya luar yang bekerja.

Getaran bebas tanpa redaman:



Gambar 2.5 : Getaran bebas tanpa redaman.(Abshor, 2014)

Dimana,

kx : gaya pegas N/m

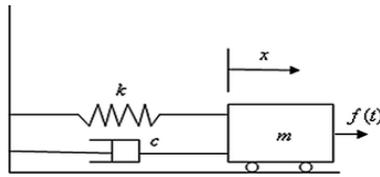
$m\ddot{x}$: gaya inersial

Berikut turunan persamaan dari Gambar 2.5:

$$m\ddot{x} + kx = 0 \dots \dots \dots (2.1)$$

Forced vibration (Getaran paksa), terjadi karena rangsangan gaya luar, jika rangsangan tersebut beresonansi maka sistem dipaksa untuk bergetar pada frekuensi rangsangan.

Getaran paksa dengan redaman:



Gambar 2.6 : Getaran paksa dengan redaman.(Abshor, 2014)

Dimana,

kx : gaya pegas N/m

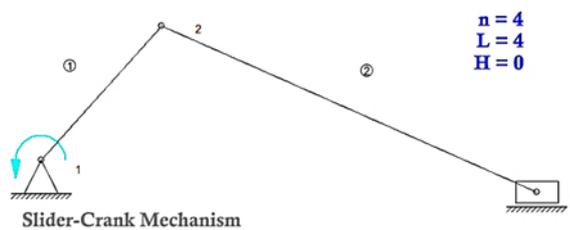
$m\ddot{x}$: gaya inersial

$c\dot{x}$: gaya redaman viscos (sebanding dengan kecepatan)

Berikut turunan persamaan dari Gambar 2.6:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F(t) \dots\dots\dots(2.2)$$

Degree of Freedom, merupakan derajat kebebasan yang diperlukan untuk menyatakan posisi suatu sistem mekanik. Beberapa kasus dinamik menggunakan sistem *Single Degree of Freedom* di mana memiliki derajat kebebasan tunggal, setiap massa m , kekakuan k , dan atau redaman c , dan atau gaya luar dianggap tertumpu pada elemen fisik tunggal. Sedangkan untuk sistem *Multi Degree of Freedom* merupakan sistem yang memiliki derajat kebebasan lebih dari satu. Dimana persamaan (2.2) dapat di aplikasikan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 : Sistem getaran *Single Degree of Freedom*(Abshor, 2014)

D. Peredam

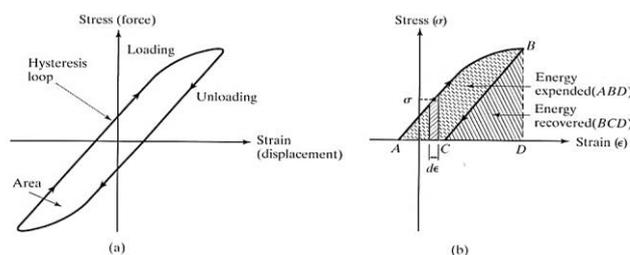
Pada umumnya, energi getaran diubah menjadi panas atau suara. Karena pengurangan energi, respon (seperti perpindahan pada sistem) akan menurun. Mekanisme dari energi getaran diubah menjadi panas atau suara diketahui sebagai redaman (damping). Walaupun jumlah energi yang diubah

menjadi panas atau suara relatif kecil, pertimbangan redaman menjadi penting untuk prediksi yang akurat dari respon getaran sistem. Berikut beberapa jenis redaman:

Viscous Damping merupakan mekanisme redaman yang paling sering digunakan dalam analisa getaran. Saat sistem mekanis bergetar dalam media fluida (seperti udara, gas, air, atau oli), perlawanan dari fluida terhadap sistem inilah yang menyebabkan energi terdisipasi. Jumlah energi yang terdisipasi bergantung beberapa factor, yaitu bentuk dan ukuran massa yang bergetar, viskositas fluida, frekuensi getaran, dan kecepatan massa tersebut bergetar. Dalam viscous damping, gaya redam sebanding dengan kecepatan massa bergetar.

Coulomb or Dry-Friction Damping, gaya redam besarnya konstan tetapi berlawanan arah dengan gerak massa yang bergetar. Hal ini disebabkan oleh gesekan antara menggosok permukaan yang baik kering atau pelumasan cukup.

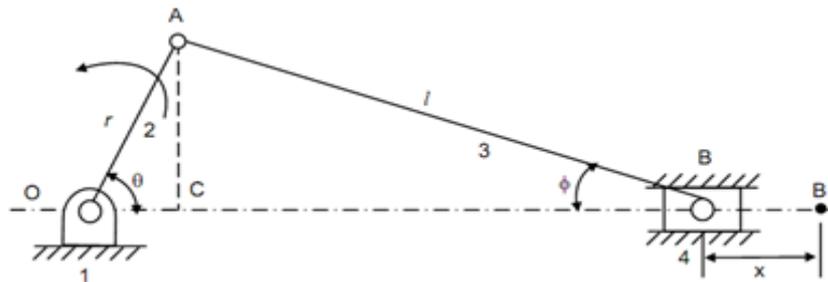
Material or Solid or Hysteretic Damping, ketika material berdeformasi, energi akan diserap dan terdisipasi oleh material. Hal ini disebabkan karena gesekan antara bagian dalam yang slip atau bergeser karena deformasi. Saat sebuah massa yang mempunyai material damping bergetar, diagram stress-strain ada pada Gambar 2.8. Daerah yang ditunjukkan pada gambar, menunjukkan energy yang hilang tiap unit volume massa per *cycle* karena redaman yang terjadi.



Gambar 2.8 : Diagram *Stress-Strain* (Dewanto et al., 1999)

E. Mekanisme Gerak Piston (*slider crank*)

Mekanisme silinder torak merupakan mekanisme gerak bolak-balik piston, engkol, dan batang penghubung. Mekanisme ini digunakan untuk mendapatkan gaya yang bekerja pada shaking table dan hubungan antara panjang batang penghubung, putaran motor dan kecepatan pada shaking table.



Gambar 2.9 : Mekanisme Engkol (Naharuddin, 2012)

Gambar 2.9 menunjukkan slider crank dengan panjang r, batang penghubung dengan panjang l, dan silinder torak yang bergerak bolak-balik. Engkol disumsikan berotasi melawan arah gerak jarum jam dengan putaran sudut ω . Perpindahan piston dapat diekspresikan pada persamaan :

$$Xp = r + l - r\cos\theta - l\cos\phi \dots\dots\dots(2.3)$$

$$= r + l - r\cos\omega t - l\sqrt{1 - \sin^2 2\phi} \dots\dots\dots(2.4)$$

Tetapi,

$$\sin\phi = r\sin\theta = r\sin\omega t \dots\dots\dots(2.5)$$

Sehingga,

$$\cos\phi = (1 - \frac{r^2}{l^2} \sin^2\omega t)^{1/2} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan 2.6 ke 2.4 maka di dapatkan,

$$Xp = r + l - r\cos\omega t - \sqrt{1 - \frac{r^2}{l^2} \sin^2\omega t} \dots\dots\dots(2.7)$$

Persamaan di atas dapat disederhanakan dengan catatan $\frac{r}{l} < \frac{1}{4}$ yang didapatkan pada persamaan

$$\sqrt{1 + \varepsilon} \approx 1 - \frac{\varepsilon}{2} \dots\dots\dots(2.8)$$

Sehingga

$$Xp \approx r (1 - \cos\omega t) + \frac{r^2}{l^2} \sin 2\omega t \dots\dots\dots(2.9)$$

$$Xp = r (1 + \frac{r}{2l}) - r (\cos\omega t + \frac{r}{4l} \cos 2\omega t) \dots\dots\dots (2.10)$$

Persamaan perpindahan di atas dapat diturunkan ke dalam bentuk kecepatan dan percepatan dari piston sehingga didapatkan :

$$\dot{X}p = r\omega (\sin\omega t + \frac{r}{2l} \sin 2\omega t) \dots\dots\dots (2.11)$$

$$\ddot{X}p = r\omega^2 (\cos\omega t + \frac{r}{l} \cos 2\omega t) \dots\dots\dots (2.12)$$

F. Mekanisme Sistem

Berdasarkan literasi review yang telah dilakukan di pembahasan sebagai landasan yang kuat untuk membuat mekanisme sistem likuifaksi buatan dengan judul “ Karakteristik Getaran Sinusoidal untuk Sistem Likuifaksi”. Dalam hal ini, mekanisme sistem yang digerakkan dengan motor stepper yang dihubungkan dengan *slider crank*.