

SKRIPSI

**RANCANG BANGUN *SHAKING TABLE* UNTUK SIMULASI
GEMPA PADA SUMBU X DAN SUMBU Y**

OLEH :

WAHYUDI

D21115033



DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2022

SKRIPSI

**RANCANG BANGUN *SHAKING TABLE* UNTUK SIMULASI
GEMPA PADA SUMBU X DAN SUMBU Y**

**OLEH:
WAHYUDI
D21115033**

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

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2022**

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan mengikuti Ujian Akhir guna memperoleh gelar Sarjana Teknik Mesin pada Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

JUDUL :

RANCANG BANGUN *SHAKING TABLE* UNTUK SIMULASI GEMPA PADA SUMBU X DAN SUMBU Y

WAHYUDI

D21115033

Gowa, 2 Januari 2023

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II


Dr.Eng. Andi Amijoyo Mochtar, ST., M.Sc.

NIP. 19760216 201012 1 002


Ir. Azwar Hayat, ST., M.Sc., Ph.D

NIP. 19760216 201012 1 002

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin




Prof. Dr. Eng. Jalaluddin, S.T., M.T.

NIP. 19720825 20003 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Wahyudi
NIM : D21115033
Program Studi : Teknik Mesin
Jenjang : S-1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

“RANCANG BANGUN *SHAKING TABLE* UNTUK SIMULASI GEMPA PADA SUMBU X DAN SUMBU Y”

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambil 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, 2 Januari 2023


Yang membuat pernyataan,



The image shows a 10,000 Rupiah revenue stamp (Meterai Tempel) with a signature and the name Wahyudi. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text 'SEPULUH RIBU RUPIAH', '10000', 'METERAI TEMPEL', and 'FD45FAKX203736267'.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

DATA DIRI

Nama lengkap	: Wahyudi	
Nama Panggilan	: Yudi	
Tempat / Tanggal Lahir	: Libureng, 03 Februari 1996	
Jenis Kelamin	: Laki-Laki	
Agama	: Islam	
Golongan Darah	: O	
Alamat	: Taman Sudiang Indah Blok C4/5, Makassar.	
Telepon / No. HP	: 085340007709	
E-mail	: wahyudi030296@gmail.com	

RIWAYAT PENDIDIKAN

- SD Negeri 148 Selli (2002-2008)
- SMP Negeri 1 Lappariaja (2008-2011)
- SMK Negeri 5 Makassar (2011-2015)
- Universitas Hasanuddin (2015-2022)

RIWAYAT ORGANISASI

- RMRG 09
- OKFT-UH
- HMM FT-UH

ABSTRACT

Wahyudi., *Design a Shaking Table for Earthquake Simulations on the X-axis and Y-axis* (guided by Dr.Eng. Andi Amijoyo Mochtar, ST., M.Sc. and Ir.Azwar Hayat, ST.,M.Sc.,Ph.D.)

The research is at the Engineering Faculty of Hasanuddin University, precisely in the control and robotics laboratory, Department of Mechanical Engineering. The purpose of this study was to design and construct a shaking table as a means to simulate earthquakes that can move on the x-axis and y-axis. The operating mechanism on the shaking table uses a slider crank system on which the movement of the shaking table comes from a stepper motor linked to the slider crank mechanism. The research had conducted using two methods: analytical and experimental methods. The analytical method obtained data: displacement, velocity, and acceleration on the x-axis and y-axis. As for the experiment method, it was focused only on generating data in the form of the shaking table deviation against time with variations in the accretion angle positions of $5,4^\circ$, $7,2^\circ$ dan 9° . The motor angular velocity for the x-axis was ($\omega = 1,413 \text{ rad/s}$), while the y-axis had an angular velocity of ($\omega = 2,827 \text{ rad/s}$). The analytical results on the x and y axes indicate that the larger the angle (θ) given, the more displacement is also getting. And the greater the angular velocity input of the motor, the greater the velocity and acceleration generated due to changes in angular position. From the test result of angular position increase variation, it shows that the greater the angle position (θ) increase had given, the greater the deviation produced. So that the time required to reach the maximum deviation is less, the difference in motor velocity given on the x-axis and the y-axis with the same angular accretion only affects the time needed to complete one cycle of angular position accretion movement on the crank.

Keywords: *earthquake simulation, motor stepper, shaking table, simulink matlab, slider crank*

ABSTRAK

Wahyudi.,*Rancang Bangun Shaking Table untuk Simulasi Gempa pada Sumbu X dan Sumbu Y* (dibimbing oleh Dr.Eng. Andi Amijoyo Mochtar, ST., M.Sc. dan Ir.Azwar Hayat, ST.,M.Sc.,Ph.D.)

Penelitian berlokasi di Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin tepatnya di laboratorium kontrol dan robotika departemen Teknik Mesin. Tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan membuat *shaking table* sebagai alat simulasi gempa bumi yang dapat bergerak pada sumbu x dan sumbu y . Mekanisme kerja pada *shaking table* menggunakan sistem *slider crank* di mana gerakan meja getar berasal dari motor Stepper yang dihubungkan dengan *mekanisme slider crank*. Penelitian dilakukan menggunakan 2 metode yaitu metode analitik dan ekperimental. Untuk metode analitik diperoleh data perpindahan, kecepatan dan percepatan pada sumbu x dan sumbu y . Sedangkan pada metode ekperimental hanya difokuskan untuk menghasilkan data berupa simpangan meja terhadap waktu dengan variasi pertambahan posisi sudut $5,4^\circ$, $7,2^\circ$ dan 9° . Sumbu x diberi input kecepatan sudut motor ($\omega = 1,413 \text{ rad/s}$) dan pada sumbu y dengan input kecepatan sudut motor ($\omega = 2,827 \text{ rad/s}$). Pada hasil penelitian yang dilakukan secara analitik pada sumbu x dan sumbu y menunjukkan bahwa semakin besar sudut (θ) yang diberikan maka perpindahan yang dihasilkan juga lebih besar dan semakin besar input kecepatan sudut motor yang diberikan maka semakin besar kecepatan dan percepatan yang dihasilkan akibat perubahan posisi sudut. Dari hasil pengujian variasi pertambahan posisi sudut, menunjukkan bahwa semakin besar pertambahan posisi sudut (θ) yang diberikan maka semakin besar simpangan yang dihasilkan sehingga waktu yang dibutuhkan untuk mencapai simpangan maksimum lebih sedikit dan perbedaan kecepatan motor yang diberikan pada sumbu x dan sumbu y dengan pertambahan sudut yang sama hanya mempengaruhi waktu yang dibutuhkan dalam menyelesaikan satu siklus gerakan pertambahan posisi sudut pada engkol.

Kata kunci: motor stepper, *shaking table*, simulasi gempa, simulink matlab, *slider crank*

KATA PENGANTAR

Bismillahirrohmanirrohim

Puji Syukur senantiasa kita panjatkan kehadiran Allah Subhanahu wata'ala, karena atas kehendak-Nya penulisan tugas akhir ini dapat terselesaikan. Tak lupa pula shalawat beserta salam kepada junjungan kita Nabi Muhammad *Shallallahu 'alaihi wasallam*, manusia yang menjadi panutan kita menjalani kehidupan di dunia ini. Dengan izin dan rahmat dari Allah semata penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul: **Rancang Bangun *Shaking Table* untuk Simulasi Gempa pada Sumbu X dan Sumbu Y** untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan studi serta dalam rangka memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Penghargaan dan terima kasih penulis sampaikan kepada Bapak Dr.Eng. Andi Amijoyo Mochtar, ST., M.Sc. selaku Pembimbing Utama dan Bapak Ir.Azwar Hayat, ST.,M.Sc.,Ph.D. selaku Pembimbing Pendamping yang telah banyak membantu baik dalam penulisan maupun pemikiran pada Tugas Akhir ini.

Tak lupa pula penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada semua pihak yang telah memberikan bimbingan dan petunjuk, terutama kepada:

1. Ibu tercinta, Ibu Nani, beserta saudara dan saudari penulis yang telah menjadi sumber semangat dan motivasi penulis selama ini.
2. Yth. Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc. selaku Rektor Universitas Hasanuddin.
3. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Bapak Prof. Dr. Eng. Jalaluddin, S.T., M.T. selaku Ketua Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah menyetujui dan menerima tugas akhir penulis.

5. Bapak Dr. Ir. Nasruddin Azis, M.Si., selaku penguji atas segala kritikan dan saran yang diberikan selama penyusunan tugas akhir ini.
6. Bapak Dr. Ir. Muhammad Syahid, ST., MT., selaku penguji atas segala kritikan dan saran yang diberikan selama penyusunan tugas akhir ini.
7. Seluruh dosen Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah mendidik, mengajarkan, dan membagikan ilmu serta pengetahuannya sehingga penulis semakin paham akan bidang ilmu teknik terkhusus pada bidang Teknik mesin
8. Staf Departemen Teknik Mesin, terkhusus Pak Mansur, Ibu Sita dan Pak Arham yang telah banyak membantu.
9. Setyawati Dewi Mulya telah menjadi support system selama penyusunan tugas akhir ini.
10. Saudara-saudara seperjuangan Hydraulic 2015 yang sudah menjadi tim support dalam suka maupun duka, yang selalu memberi semangat hingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
11. Adiks - Adiks yang telah menemani serta memberi dukungan dalam proses penyusunan tugas akhir ini.
12. Terakhir, penulis ingin meminta maaf kepada orang-orang yang tak sempat mencantumkan satu per satu namanya, serta penulis mengucapkan banyak terima kasih atas doa yang senantiasa mengalir tanpa sepengetahuan penulis.

Segala kekurangan dan kekeliruan dalam penyusunan tugas akhir ini berasal dari penulis yang hanya seorang manusia biasa dan Semua kebenaran berasal dari Allah SWT semata, Karenanya masukan dan kritik rekan-rekan sekalian kiranya dapat membantu pengembangan penelitian ini selanjutnya.

Gowa, 2 Januari 2023

Wahyudi

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
ABSTRAK	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	14
1.1 Latar Belakang.....	14
1.2 Rumusan Masalah	15
1.3 Tujuan Penelitian.....	15
1.4 Manfaat Penelitian.....	15
1.5 Batasan masalah	16
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	17
2.1 <i>Shaking Table</i>	17
2.2 Getaran	19
2.3 Peredam.....	21
2.4 Mekanisme gerak piston (<i>slider crank</i>).....	22
2.5 Gaya dan Torsi	24
2.6 Motor Stepper.....	25
2.7 Arduino.....	28
BAB III METODOLOGI PERANCANGAN.....	31
3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan.....	31
3.2 Mendesain <i>Shaking Table</i>	31
3.3 Desain Gerakan Dasar <i>Shaking Table</i>	32

3.4 Alat dan Bahan	34
3.4.1 Alat.....	34
3.4.2 Bahan	38
3.5 Pencetakan Konstruksi <i>Shaking Table</i>	45
3.6 Perakitan <i>Shaking Table</i>	46
3.6.1 Meja simulasi.....	46
3.6.2 Rangkaian Elektronik	49
3.7 Diagram Alir Penelitian.....	51
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	54
4.1 Sistem Kontrol <i>Shaking Table</i>	54
4.2 Kode Perintah <i>Shaking Table</i>	57
4.3 Mekanisme <i>Slider Crank</i>	59
4.3.1 Penggerak Mekanisme <i>Slider Crank</i>	60
4.3.2 Analisis Gaya pada Mekanisme <i>Slider Crank</i>	62
4.3.3 Analisis Hubungan percepatan dengan Magnitude Skala Richter.....	66
4.3.4 Pengujian Mekanisme <i>Slider Crank</i> pada <i>Shaking table</i>	67
4.4 Pengujian <i>Shaking Table</i>	69
4.4.1 Hasil Pengujian <i>Shaking Table</i> pada Sumbu <i>x</i>	70
4.4.2 Pengujian <i>Shaking Table</i> pada Sumbu <i>y</i>	72
4.4.3 Pengujian <i>Shaking Table</i> pada Sumbu <i>x,y</i>	75
4.4.4 Simulasi Variasi Amplitudo dan Frekuensi Simulink Matlab	78
4.4.5 Simulasi <i>Mass Spring Dumped</i> Simulink Matlab.....	80
BAB V PENUTUP.....	82
5.1 Kesimpulan.....	82
5.2 Saran	83
DAFTAR PUSTAKA	84
LAMPIRAN.....	86

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. <i>Shaking table at ZAG with model M1</i>	18
Gambar 2. <i>Shaking Table Test</i>	19
Gambar 3. Getaran bebas tanpa redaman(Abshor, 2014).....	19
Gambar 4. Getaran paksa dengan redaman (Abshor, 2014).....	20
Gambar 5. Sistem getaran <i>Single Degree of Freedom</i>	21
Gambar 6. Diagram <i>Stress-Strain</i> (Cahyaningrum & Guntur, 2017).....	22
Gambar 7. Mekanisme <i>Slider Crank</i> (Holowenco, 1985)	22
Gambar 8. Momen Inersia (Tambati, 2015).....	25
Gambar 9. Motor Stepper (Alnaib, 2019).....	26
Gambar 10. Torsi vs Kurva Kecepatan (Alnaib, 2019).....	26
Gambar 11. Tampilan Software Arduino	30
Gambar 12. Desain 3D Shaking Table pada Inventor	31
Gambar 13. Arah Gerakan <i>Shaking Table</i> Sumbu <i>x</i>	32
Gambar 14. Arah Gerakan <i>Shaking Table</i> Sumbu <i>y</i>	33
Gambar 15. Arah Gerakan <i>Shaking Table</i> sumbu <i>x,y</i>	33
Gambar 16. Laptop Lenovo G400s	34
Gambar 17. Printer 3D Creality CR-10.....	35
Gambar 18. Solder Baku 936D.....	36
Gambar 19. Obeng set	37
Gambar 20. Tang set.....	37
Gambar 21. Wire Stripper	37
Gambar 22. (a) Arduino Mega2560 dan (b) Arduino Nano	38
Gambar 23. Motor Driver L293D.....	39
Gambar 24. Motor Stepper Nema17.....	40
Gambar 25. Sensor Ping Parallax	42
Gambar 26. Power Supplay AC to DC.....	43
Gambar 27. Push Button + LED.....	44
Gambar 28. PLA (Polylactic Acid)	45
Gambar 29. Proses cetak menggunakan mesin 3D printing	45
Gambar 30. Hasil Cetakan Print 3D	46
Gambar 31. Hasil perakitan komponen pada meja simulasi	48
Gambar 32. <i>Schematic circuit diagram shaking table</i>	49
Gambar 33. <i>Schematic circuit diagram Sensor Ultrasonic</i>	50
Gambar 34. Diagram Alir Perencanaan.....	52
Gambar 35. (a) Sistem Control <i>Open Loop</i> Penggerak meja Simulasi Sistem (b) Control <i>Open Loop</i> Sensor Pembacaan gerakan Meja Simulasi.....	54
Gambar 36. Skema Rangkaian Elektronika Sistem Penggerak Meja Simulasi.....	55
Gambar 37. Sistem Kontrol Penggerak Meja.....	56

Gambar 38. Skema Rangkaian Elektronika Sistem pembacaan Gerakan Meja Simulasi	57
Gambar 39. Tampilan antar muka penulisan kode perintah Arduino.....	58
Gambar 40. Diagram Kinematis <i>Shaking Table</i>	59
Gambar 41. Gaya Berat <i>Shaking Table</i>	60
Gambar 42. Grafik Perpindahan terhadap sudut θ pada sumbu x	63
Gambar 43. Grafik Kecepatan terhadap sudut θ pada sumbu x	63
Gambar 44. Grafik Percepatan terhadap sudut θ pada sumbu x	64
Gambar 45. Grafik Perpindahan terhadap sudut θ pada sumbu y	64
Gambar 46. Grafik Kecepatan terhadap sudut θ pada sumbu y	65
Gambar 47. Grafik Percepatan terhadap sudut θ pada sumbu y	65
Gambar 48. Perbandingan hasil perhitungan dan hasil pengujian mekanisme slider crank bergerak searah jarum jam	68
Gambar 49. Perbandingan hasil perhitungan dan hasil pengujian mekanisme slider crank bergerak berlawanan arah jarum jam	68
Gambar 50. Pengujian <i>Shaking Table</i>	69
Gambar 51. Grafik Simpangan Sumbu x_1 terhadap Waktu	70
Gambar 52. Grafik Simpangan Sumbu x_2 terhadap Waktu	71
Gambar 53. Grafik Simpangan Sumbu x_3 terhadap Waktu	71
Gambar 54. Grafik perbandingan pertambahan posisi sudut $5,4^\circ$; $7,2^\circ$; 9° pada sumbu x	72
Gambar 55. Grafik Simpangan Sumbu y_1 terhadap Waktu.....	73
Gambar 56. Grafik Simpangan Sumbu y_2 terhadap Waktu	73
Gambar 57. Grafik Simpangan Sumbu y_3 terhadap Waktu.....	74
Gambar 58. Grafik perbandingan pertambahan posisi sudut $5,4^\circ$; $7,2^\circ$; 9° pada sumbu y	74
Gambar 59. Grafik Simpangan Sumbu x,y (a) pertambahan posisi sudut $5,4^\circ$ (b) Pertambahan posisi sudut $7,2^\circ$ (c) Pertambahan posisi sudut 9°	76
Gambar 60. Grafik perbandingan sumbu x,y pada Pertambahan posisi sudut $5,4^\circ$...	77
Gambar 61. Grafik Torsi Terhadap Posisi Sudut Slider Crank	77
Gambar 62. Blok Diagram Variasi Amplitudo dan Frekuensi	78
Gambar 63. Grafik Simpangan terhadap Waktu (a) Variasi Amplitudo 25 mm, 20 mm dan 15 mm dengan frekuensi 2 rad/sec, 1 rad/sec dan 0,5 rad/sec. (b) Variasi Amplitudo dengan frekuensi 2 rad/sec (c) Variasi Amplitudo dengan frekuensi 1 rad/sec (d) Variasi Amplitudo dengan frekuensi 0,5 rad/sec	79
Gambar 64. Blok Diagram <i>Force Transmissibility</i> Simulink Matlab	80
Gambar 65. Grafik <i>Force Transmissibility</i> Terhadap Waktu dengan variasi Koefisien Redaman (c) 0.05, 0,1,dan 0,2	81

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Spesifikasi Laptop Lenovo G400s	34
Tabel 2. Spesifikasi Creality CR-10.....	35
Tabel 3. Spesifikasi Baku 936D	36
Tabel 4. Spesifikasi Arduino	39
Tabel 5. Spesifikasi Motor Driver L293D.....	40
Tabel 6. Spesifikasi Motor Stepper Nema17.....	41
Tabel 7. Spesifikasi Sensor Ping Parallax	42
Tabel 8. Spesifikasi Power Supplay	43
Tabel 9. Hubungan magnitudo skala richter dengan percepatan (Hoque et al., 2016)	66

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan yang terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik aktif dunia yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Pasifik yang bergerak satu sama lainnya. Kondisi ini menjadikan Indonesia sebagai daerah tektonik aktif dengan tingkat seismisitas atau kegempaan yang tinggi (Sari et al., 2012).

Gempa disebabkan oleh lempengan bumi yang saling bertumbukan satu sama lain. Ini terjadi secara konstan, namun kadang tumbukannya cukup besar dan relatif dekat dengan area padat penduduk sehingga menimbulkan konsekuensi parah. Salah satu penyebab utama kerusakan selama gempa bumi adalah kegagalan struktur tanah. (Pathak et al., 2010). Daerah Sulawesi Tengah merupakan salah satu daerah di Indonesia dengan resiko gempa yang tinggi. Dilihat dari segi geoteknik, peraturan perencanaan tahan gempa untuk rumah dan gedung belum sepenuhnya memperhatikan aspek geologi dan seismologi. Bangunan belum didesain berdasarkan kondisi tanah setempat dan catatan gempa terbaru (Ramadhani, 2011).

Kota palu menjadi salah satu daerah di Sulawesi Tengah yang terdampak gempa cukup parah serta turut memicu terjadinya fenomena Likuifaksi dan Tsunami pada tahun 2018. Likuifaksi merupakan sebuah fenomena hilangnya kekuatan lapisan tanah akibat getaran gempa. Hal ini terjadi saat lapisan pasir tidak dapat menopang beban di atas atau di dalamnya yang disebabkan oleh perubahan lapisan tersebut menjadi seperti cairan. Akibat fenomena ini terjadi perubahan signifikan pada struktur tanah yang mengakibatkan kerusakan lingkungan pada area tersebut. (Pancoro et al., 2018).

Salah satu bidang ilmu teknik yang mempelajari kriteria likuifaksi adalah keilmuan Teknik Sipil Universitas Hasanuddin yang ikut serta mempelajari fenomena likuifaksi yang terjadi di daerah kota Palu, maka dari itu dilakukan kerja

sama dengan pihak Teknik Sipil Universitas Hasanuddin untuk membuat suatu alat yang dapat memsimulasikan getaran tanah selama gempa bumi, penggunaan *shaking table* lebih memudahkan dalam pengujian likuifaksi karena dapat mengamati secara visual mekanisme likuifaksi, waktu mulai likuifaksi, waktu mulai disipasi, dan durasi likuifaksi (Mase, 2017), sehingga akhirnya penulis berkesimpulan untuk membuat tugas akhir berupa **“Rancang Bangun *Shaking Table* Untuk Simulasi Gempa Pada Sumbu X dan Sumbu Y”** sebagai syarat menyelesaikan program studi strata 1 di Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dikemukakan, maka rumusan masalah dari penelitian ini adalah bagaimana merancang dan membuat *shaking table* sebagai alat simulasi gempa bumi yang dapat bergerak pada sumbu x dan y .

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Merancang dan membuat *shaking table* sebagai alat simulasi gempa bumi yang dapat bergerak pada sumbu x dan sumbu y .
2. Pengujian Simpangan *Shake Table* dengan variasi pertambahan posisi sudut $5,4^\circ$; $7,2^\circ$; dan 9° pada sumbu x dan sumbu y .
3. Simulasi variasi frekuensi dan amplitudo menggunakan Matlab.

1.4 Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini diharapkan memiliki beberapa manfaat antar lain:

1. Bagi penulis:
Menambah wawasan dalam rancang bangun *shake table*
2. Bagi akademik
 - a. Rancang bangun ini dapat digunakan sebagai referensi bilamana tugas akhir ini dilanjutkan sebagai rancang bangun yang dapat bergerak secara horizontal dan vertikal.

b. Sebagai alat praktikum simulasi gempa dalam laboratorium.

3. Bagi industri

Dapat difungsikan bagi pelaku industri yang berhubungan dengan lingkup kerja pada bagian konstruksi. Menjadi alat simulasi untuk mempresentasikan gelombang gempa bumi untuk mengukur tingkat kekuatan goyangan sebelum membangun maupun mengukur potensi likuifaksi tempat pembangunan.

1.5 Batasan masalah

Adapun Batasan masalah dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Sistem penggerak mekanisme *slider crank* digerakkan dengan motor stepper.
2. Perancangan hanya berfokus pada dua sumbu gerakan, yaitu sumbu x dan sumbu y .
3. Gerakan maksimal pada sumbu x 25 mm dan sumbu y 25 mm
4. Gerakan yang dihasilkan berupa getaran

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

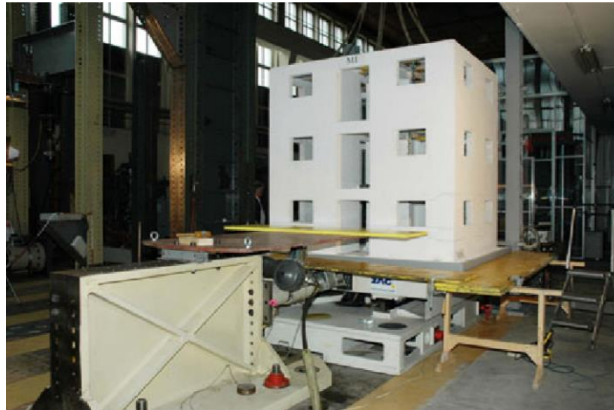
2.1 *Shaking Table*

Sampai sekarang *Shaking 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 meja pengocok 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).

Shaking table tersebut didesain dalam skala besar dan kecil. Skala besar digunakan untuk benar-benar mengetahui respon struktur bangunan terhadap input eksitasi gempa. Struktur bangunan yang biasanya diuji adalah struktur kerangka beton gedung yang memiliki banyak lantai Sedangkan untuk simulator gempa bumi skala kecil digunakan untuk pengujian skala kecil yang berguna untuk mengetahui respon struktur terhadap beban seismik maupun dalam pengujian likuifaksi (Cahyaningrum & Guntur, 2017).

Pada penelitian Tomažević dan Gams pada tahun 2012 melakukan simulasi gempa dalam skala besar. *Shaking table* yang terdiri dari kotak baja pondasi yang kaku, yang dipasang di lantai pengujian laboratorium, dan platform baja 2.0 / 3.2m yang dapat dipindah-pindahkan, di mana pelat pondasi dengan model dibaut dan yang digerakkan dengan menggunakan aktuator hidrolik (kapasitas gaya $\pm 160\text{kN}$) sudah cukup untuk secara akurat menggerakkan muatan hingga 5.000 kg, frekuensi yang dihasilkan sebesar 21 Hz. Konstruksi model yang diuji coba adalah bangunan

rumah dengan material mikro-beton 3 lantai dengan dimensi $1,71 \times 2,19$ m, dan tinggi lantai 2,03 m yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. *Shaking table at ZAG with model M1*

Sumber: *Shaking Table Study and Modelling of Seismic Behaviour of Confined AAC Masonry Buildings*(Tomažević & Gams, 2012).

Selain penelitian yang dilakukan Tomažević & Gams, pada tahun 2012 telah dilakukan penelitian sebelumnya oleh Pathak, Dalvi, dan Katdare pada tahun 2010 yaitu menggunakan *Shaking Table Test* untuk mensimulasikan gempa. Hasil yang diperoleh dari uji coba *Shaking Table Test* di laboratorium dibandingkan dengan kasus lapangan yang sebenarnya, serta dengan uji laboratorium menggunakan tanah yang telah dilakukan oleh peneliti lain. Pathak dkk, menggunakan *shaking table* dengan ukuran 1000 x 1000 mm dipasang di atas pelat pondasi yang terbuat dari besi cor berukuran 1900 x 1600 mm. Spesimen uji coba yang digunakan adalah pasir dengan total beban muatan 300 kg dengan rentang frekuensi 1-10 Hz. Untuk menggetarkan *shaking table* digunakan motor dengan kapasitas 3 HP dengan mekanisme penggerak berupa *slider crank*. Model spesimen yang digunakan dalam penelitian ini berupa pasir yang diletakkan di dalam kotak persegi berukuran 400 x 400 x 400 mm, seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 2. *Shaking Table Test*

Sumber : *Earthquake Induced Liquefaction Using Shake Table Test* (Pathak et al., 2010)

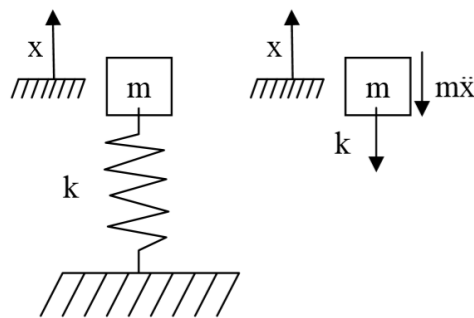
2.2 Getaran

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

Getaran dapat diklasifikasikan menjadi :

Free Vibration (Getaran bebas), seperti yang terlihat pada Gambar 3, getaran bebas terjadi jika sistem beresilasi karena bekerjanya gaya yang ada dalam sistem itu sendiri (inherent), dan jika ada gaya luar yang bekerja.

Getaran bebas tanpa redaman:



Gambar 3. Getaran bebas tanpa redaman (Abshor, 2014)

Dimana,

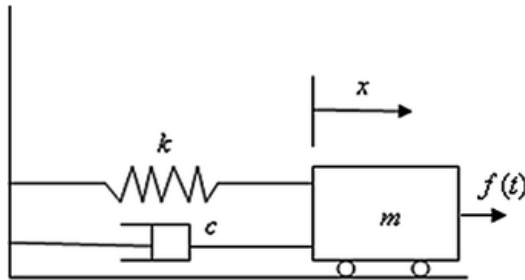
kx : gaya pegas

$m\ddot{x}$: gaya inersial

Berikut turunan persamaan dari Gambar 3:

$$m\ddot{x} + kx = 0 \quad (1)$$

Forced vibration (Getaran paksa), terjadi karena rangsangan gaya luar, jika rangsangan tersebut beresilasi maka sistem dipaksa untuk bergetar pada frekuensi rangsangan. Berikut Gambar 4 menunjukkan diagram getaran paksa dengan redaman:

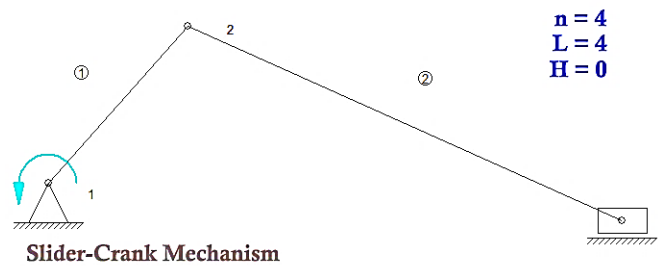


Gambar 4. Getaran paksa dengan redaman (Abshor, 2014)

Berikut turunan persamaan dari Gambar 4:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F(t) \quad (2)$$

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 penurunan rumus untuk gambar 2.5 dipakai pada pasal 2.4.



Gambar 5. Sistem getaran *Single Degree of Freedom*

(<http://ezymechanic.blogspot.com/2015/07/grueblers-equation-for-calculating.html>)

2.3 Peredam

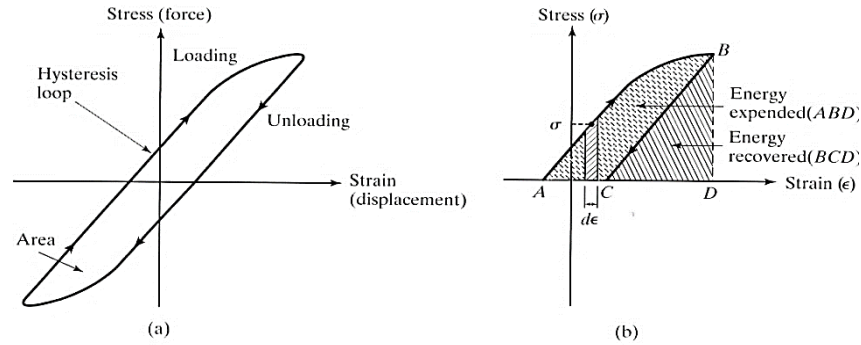
Pada umumnya, energi getaran diubah menjadi panas atau suara. Karena pengurangan energi, respon (seperti perpindahan pada sistem) akan menurun. Mekanisme dari energi getaran diubah menjadi panas atau suara diketahui sebagai redaman (*Damping*). Walaupun jumlah energi yang diubah menjadi panas atau suara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

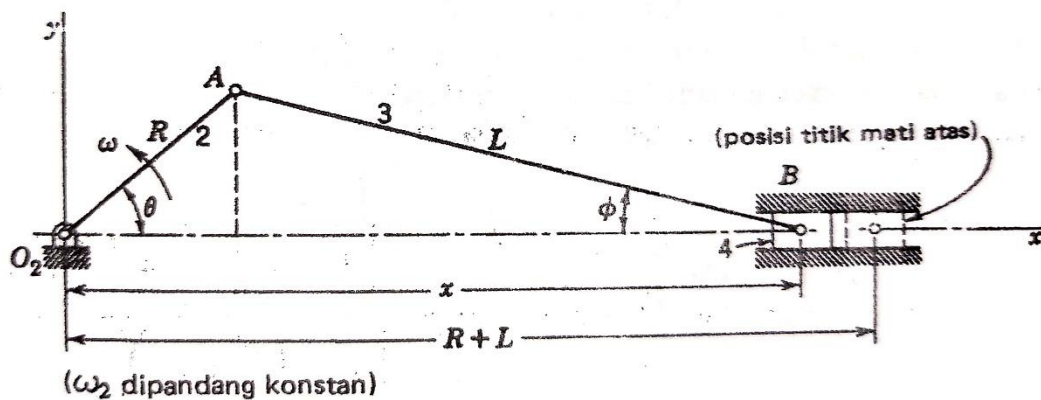
mempunyai material damping yang bergetar, diagram *stress-strain* ada pada Gambar 6. Daerah yang ditunjukkan pada gambar, menunjukkan energi yang hilang tiap unit volume massa per *cycle* karena redaman yang terjadi.



Gambar 6. Diagram *Stress-Strain* (Cahyaningrum & Guntur, 2017)

2.4 Mekanisme gerak piston (*slider crank*)

Mekanisme *slider crank* merupakan mekanisme gerak bolak-balik piston, Mekanisme ini digunakan untuk mendapatkan gaya yang bekerja dan hubungan antara panjang batang penghubung, putaran motor dan kecepatan *shaking table*(Cahyaningrum & Guntur, 2017).



Gambar 7. Mekanisme *Slider Crank* (Holowenco, 1985)

Seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 7, posisi titik B terhadap O_2 , yakni yakni titik asal sumbu-sumbu koordinat x dan y , dinyatakan dengan x . Penghubung 2 ada disuatu sudut θ dari sumbu x untuk posisi yang diperlihatkan. Panjang engkol dinyatakan dengan R , dan panjang batang hubung dinyatakan dengan L . Batang hubung membuat sudut ϕ dengan sumbu x . Jarak x dapat dinyatakan dengan jumlah dari proyeksi batang engkol dan batang hubung pada sumbu x (Holowenco, 1985), diekspresikan pada persamaan :

$$x = R \cos \theta + L \cos \phi \quad (3)$$

Karena diinginkan untuk menyatakan x sebagai suatu fungsi dari R , L , dan θ , maka ϕ dapat dihilangkan dengan mencatat bahwa proyeksi-proyeksi dari R dan L adalah sama , atau

$$R \sin \theta = L \sin \phi \quad (4)$$

Atau,

$$\sin \phi = \frac{R}{L} \sin \theta \quad (5)$$

Tetapi,

$$\cos \phi = \sqrt{1 - (\sin \phi)^2} \quad (6)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan 5 ke persamaan 6 maka di dapatkan,

$$\cos \phi = \sqrt{1 - \left(\frac{R}{L} \sin \theta\right)^2} \quad (7)$$

Substitusi persamaan 7 ke dalam persamaan 3 maka di dapatkan,

$$x = R \cos \theta + L \sqrt{1 - \left(\frac{R}{L} \sin \theta\right)^2} \quad (8)$$

Persamaan 8 adalah lokasi eksak untuk torak dari pusat bantalan engkol, persamaan untuk kecepatan dapat diperoleh dengan mendiferensiasikan x terhadap t , dengan catatan bahwa $d\theta/dt = \omega$, yakni kecepatan sudut engkol.

$$V = \frac{dx}{dt} = -R \omega \left[\sin \theta + \frac{R}{2L} \frac{\sin 2\theta}{\sqrt{1 - \left(\frac{R}{L} \sin \theta\right)^2}} \right] \quad (9)$$

Persamaan untuk percepatan (A), torak dapat diperoleh dengan mendiferensiasikan kecepatan (V) terhadap waktu (t), dengan memandang bahwa kecepatan sudut engkol (ω) konstan:

$$A = \frac{dV}{dt} = -R \omega^2 \left[\cos \theta + \frac{\frac{R}{2L} \cos 2\theta \left[1 - \left(\frac{R}{L}\right)^2\right] + \left(\frac{R}{L}\right)^3 \cos^4 \theta}{\left[\sqrt{1 - \left(\frac{R}{L} \sin \theta\right)^2}\right]^{1/2}} \right] \quad (10)$$

Persamaan eksak untuk perpindahan (x), persamaan 8 dapat dituliskan dalam bentuk pendekatan, dengan:

$$x = R \cos \theta + \frac{L}{n} \left[n - \frac{1}{2n} \sin^2 \theta \right] \quad (11)$$

Sebuah persamaan untuk kecepatan (V) dapat diperoleh dengan mendiferensiasikan perpindahan terhadap waktu :

$$V = -R \omega \left[\sin \theta + \frac{R}{2L} \sin 2\theta \right] \quad (12)$$

Untuk percepatan (A), diferensiasikan kecepatan terhadap waktu, dengan memandang kecepatan sudut engkol konstan :

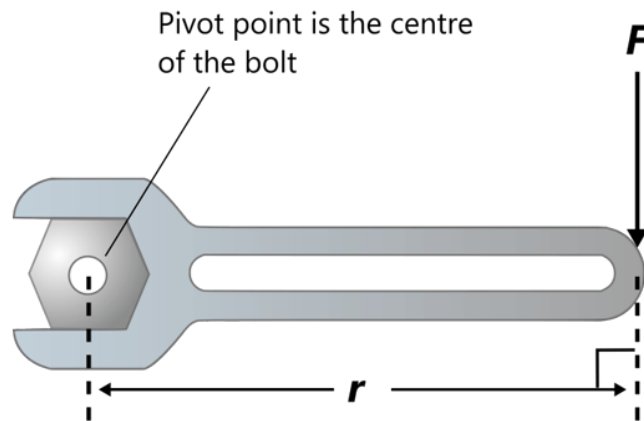
$$Ap = -R \omega^2 \left[\cos \theta + \frac{R}{L} \cos 2\theta \right] \quad (13)$$

2.5 Gaya dan Torsi

Gaya adalah sesuatu yang dapat menyebabkan terjadinya perubahan percepatan dan/atau perubahan bentuk suatu benda. Arah gaya adalah arah percepatan yang

diakibatkan oleh gaya itu sendiri. Besarnya gaya dapat didefinisikan sebagai hasil kali dari massa benda dengan besar percepatan yang dihasilkan oleh gaya (Tambati, 2015).

Penyebab terjadinya gerak translasi adalah gaya, sedangkan pada gerak rotasi penyebab berputarnya benda dinamakan momen gaya (torsi). Torsi adalah sebuah besaran yang menyatakan besarnya gaya yang bekerja pada sebuah benda sehingga mengakibatkan benda tersebut bergerak melingkar (berotasi) pada sumbu putarnya (Tambati, 2015).



Gambar 8. Momen Inersia (Tambati, 2015)

Sebagai penyebab yang mengakibatkan benda bergerak melingkar tidak hanya bergantung pada besarnya gaya saja, tetapi bergantung juga pada arah dan jarak titik kerja ke poros atau sumbu.

2.6 Motor Stepper

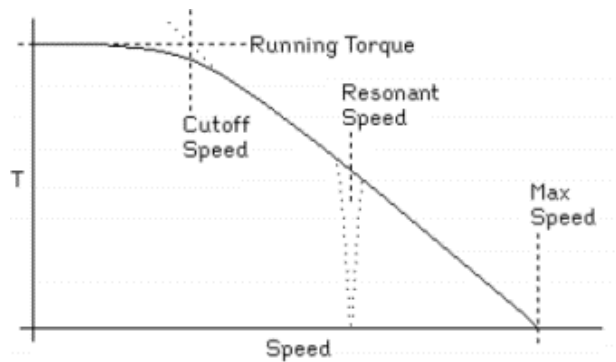
Motor stepper adalah perangkat elektromekanis yang bekerja dengan mengubah pulsa elektronis menjadi gerakan mekanis diskrit. Motor stepper bergerak berdasarkan urutan pulsa yang diberikan kepada motor. Karena itu, untuk menggerakkan motor stepper diperlukan pengendali motor stepper yang membangkitkan pulsa-pulsa periodic (Kusnadi, 2019). Motor stepper digunakan

secara umum untuk beberapa kegunaan di bidang industri seperti mesin CNC, printer, dan lengan las fleksibel. Robotika adalah salah satu area di mana penggunaan motor stepper paling banyak digunakan (Alnaib, 2019).



Gambar 9. Motor Stepper (Alnaib, 2019)

Satu kelemahan motor stepper adalah kemampuan batas torsi pada kecepatan tinggi, karena torsi motor stepper akan turun apabila kecepatan meningkat di atas kecepatan cutoff (yaitu dalam kecepatan resonansi), seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.9. Ketika motor beroperasi di bawah kecepatan cutoffnya, waktu naik dan turun arus melalui belitan motor menempati sebagian kecil dari setiap langkah, sedangkan pada kecepatan cutoff, durasi langkah sebanding dengan jumlah waktu naik dan turun.



Gambar 10. Torsi vs Kurva Kecepatan (Alnaib, 2019)

Sudut di mana poros motor berputar untuk setiap sinyal perintah dinamai sudut langkah (β) seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini. Mengurangi sudut langkah, meningkatkan jumlah langkah per putaran, dan meningkatkan resolusi atau akurasi pemosisian yang diperoleh. Sudut langkah dapat sekecil $0,72^\circ$ atau sebesar 90° . Tetapi besaran sudut langkah yang paling umum adalah $1,8^\circ$, $2,5^\circ$, $7,5^\circ$ dan 15° .

Nilai sudut langkah dapat dinyatakan baik dalam bentuk kutub rotor dan stator N_r dan N_s masing-masing sebagai persamaan (14) atau dalam hal jumlah fase stator (m) dan jumlah gigi rotor sebagai persamaan (15).

$$\beta = \frac{N_s - N_r}{N_s \times N_r} \times 360^\circ \quad (14)$$

atau,

$$\beta = \frac{360^\circ}{m \times N_r} \quad (15)$$

Jika $m \times N_r$, misalnya sama dengan 200 maka dari persamaan di atas sudut langkahnya adalah $1,8^\circ$. Resolusi diberikan oleh jumlah langkah yang diperlukan untuk menyelesaikan satu putaran poros rotor seperti persamaan (16). Semakin tinggi resolusinya, semakin besar akurasi pemosisian objek oleh motor (Alnaib, 2019).

$$\text{Resolution} = \frac{\text{No. of steps}}{\text{revolution}} = \frac{360^\circ}{\beta} \quad (16)$$

Pada motor stepper umumnya tertulis spesifikasi N_p (step/putaran). Sedangkan kecepatan pulsa diekspresikan sebagai pps (pulsa per second) dan kecepatan putar umumnya ditulis sebagai ω (rotasi / menit atau rpm). Kecepatan putar motor stepper (rpm) dapat diekspresikan menggunakan kecepatan pulsa (pps) sebagai persamaan:

$$\omega = 60 \frac{pps}{Np} [\text{rotasi/menit}] \quad (17)$$

Daya kerja motor dapat diketahui dengan persamaan berikut :

$$P = V \times I \quad (18)$$

Dengan:

P = Daya kerja motor (Watt)

V = Tegangan Motor (Volt)

I = Arus motor (Ampere)

Torsi yang dapat dihasilkan oleh motor stepper dapat dihitung berdasarkan perbandingan daya kerja motor terhadap kecepatan putarannya dengan persamaan :

$$\tau = \frac{P}{\omega} \quad (19)$$

Untuk mengetahui beban maksimum yang dapat digerakkan motor stepper dapat diperoleh dengan menghitung torsi dengan menggunakan persamaan :

$$\tau = F \times r \quad (20)$$

Dengan :

F = Gaya berat yang bekerja terhadap motor (Newton)

r = Jarak sumbu putar pada motor atau jari-jari pulley (Meter)

2.7 Arduino

Arduino adalah pengendali mikro single-board yang bersifat open-source, dirancang untuk memudahkan penggunaan elektronik dalam berbagai bidang. Hardware dalam arduino memiliki prosesor Atmel AVR dan menggunakan software dan bahasa sendiri.

a. Hardware

Hardware dalam arduino memiliki beberapa jenis, yang mempunyai kelebihan dan kekurangan dalam setiap papannya. Penggunaan jenis arduino disesuaikan dengan kebutuhan, hal ini yang akan mempengaruhi dari jenis prosesor yang

digunakan. Jika semakin kompleks perancangan dan program yang dibuat, maka harus sesuai pula jenis kontroler yang digunakan.

Perbedaan antara arduino yang satu dengan yang lainnya adalah penambahan fungsi dalam setiap boardnya dan jenis mikrokontroler yang digunakan. Seperti Microcontroller yang banyak jenisnya, Arduino lahir dan berkembang, kemudian muncul dengan berbagai jenis. Diantaranya adalah Arduino Uno, Arduino Due, Arduino Mega, Arduino Leonardo, Arduino Fio, Arduino Lilypad, Arduino Nano, Arduino Mini, Arduino Micro, dan Arduino Ethernet. Dalam tugas akhir ini, jenis arduino yang digunakan adalah Arduino Mega 2560.

b. Software

Kode Program Arduino biasa disebut sketch dan dibuat menggunakan bahasa pemrograman C. Program atau sketch yang sudah selesai ditulis di Arduino IDE bisa langsung dicompile dan diupload ke Arduino Board.

Secara sederhana, sketch dalam Arduino dikelompokkan menjadi 3 blok, antara lain:

1. Header

Pada bagian ini biasanya ditulis definisi-definisi penting yang akan digunakan selanjutnya dalam program, misalnya penggunaan library dan pendefinisian variable. Code dalam blok ini dijalankan hanya sekali pada waktu compile. Di bawah ini contoh code untuk mendeklarasikan variable led (integer) dan sekaligus di isi dengan angka 13 `int led = 13;`

2. Setup

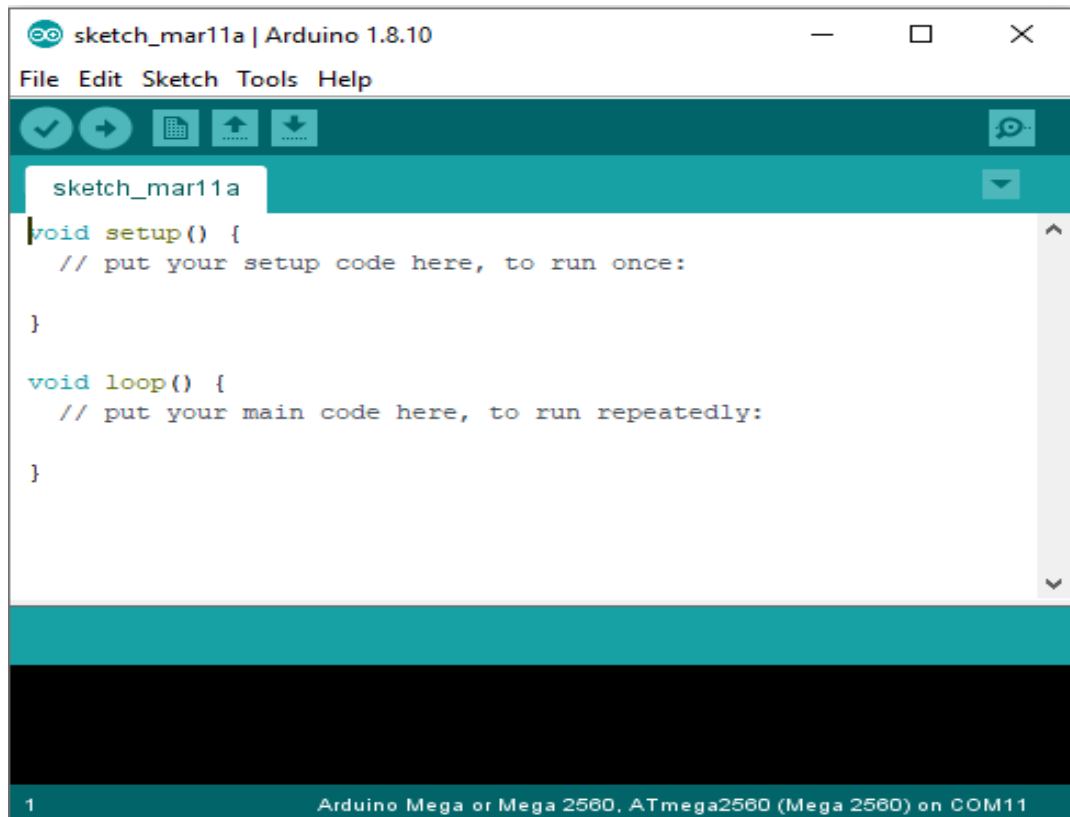
Di sinilah awal program Arduino berjalan, yaitu di saat awal, atau ketika power on Arduino board. Biasanya di blok ini diisi penentuan apakah suatu pin digunakan sebagai input atau output, menggunakan perintah `pinMode`. Inisialisasi variable juga bisa dilakukan di blok ini.

Suatu pin bisa difungsikan sebagai OUTPUT atau INPUT. Jika difungsikan sebagai output, dia siap mengirimkan arus listrik (maksimum 100 mA) kepada

beban yang disambungkannya. Jika difungsikan sebagai INPUT, pin tersebut 11 memiliki impedance yang tinggi dan siap menerima arus yang dikirimkan kepadanya.

3. Loop

Blok ini akan dieksekusi secara terus menerus. Apabila program sudah sampai akhir blok, maka akan dilanjutkan dengan mengulang eksekusi dari awal blok. Program akan berhenti apabila tombol power Arduino di matikan. Di sinilah fungsi utama program Arduino dibuat.



```
sketch_mar11a | Arduino 1.8.10
File Edit Sketch Tools Help
sketch_mar11a
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
}

1 Arduino Mega or Mega 2560, ATmega2560 (Mega 2560) on COM11
```

Gambar 11. Tampilan Software Arduino