

**ANALISIS MATERIAL MODEL BANGUNAN BERBAHAN  
DASAR *FILAMENT PLA 3D PRINTING***

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin**



**Disusun Oleh :**

**Nama : Muhammad Ariq Fadhilah Pranoto**  
**No. Mahasiswa : 19525123**  
**NIRM : 1907020083**

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA**

**2025**

## PERNYATAAN KEASLIAN

Nama : Muhammad Ariq Fadhilah Pranoto  
NIM : 19525123  
Program Studi : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknologi Industri  
Instansi : Universitas Islam Indonesia  
Judul Laporan : Analisis Material Model Bangunan Berbahan Dasar *Filament PLA*  
*3D Printing*

Dengan ini saya menyatakan bahwa karya tulis ilmiah yang saya buat merupakan karya saya sendiri bukan hasil plagiarisme dari karya tulis yang dibuat oleh orang lain. Semua referensi dan kutipan yang saya tulis pada karya tulis ini saya cantumkan sitasi dan sumber pustakanya. Apabila dikemudian hari saya dianggap melakukan pelanggaran hak kekayaan intelektual dan yang saya tulis pada karya ilmiah ini tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi dan hukuman yang berlaku.

Yogyakarta, 4 Agustus 2025



Muhammad Ariq Fadhilah Pranoto

**LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING**

**ANALISIS MATERIAL MODEL BANGUNAN BERBAHAN**  
**DASAR *FILAMENT PLA 3D PRINTING***

**TUGAS AKHIR**

**Disusun Oleh :**

**Nama : Muhammad Ariq Fadhilah Pranoto**  
**No. Mahasiswa : 19525123**  
**NIRM : 1907020083**

Yogyakarta, 14 Juli 2025

Pembimbing



Dr. Ir. Paryana Puspaputra, M.Eng.

## LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

### ANALISIS MATERIAL MODEL BANGUNAN BERBAHAN DASAR *FILAMENT PLA 3D PRINTING*

#### TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Muhammad Ariq Fadhilah Pranoto  
No. Mahasiswa : 19525123  
NIRM : 1907020083

Tim Penguji

Dr.Ir. Paryana Puspaputra, M.Eng.

Ketua

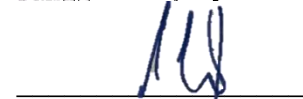


Tanggal : 04 Agustus 2025

Dr.Ir. Muhammad Khafidh, ST.,

M.T., IPP

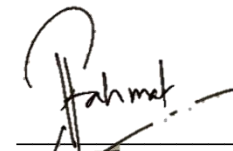
Anggota I



Tanggal : 3 Juli 2025

Rahmat Riza, S.T., M.Sc. ME

Anggota II



Tanggal : 04 Agustus 2025

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Ir. Muhammad Khafidh, ST., M.T., IPP

## **HALAMAN PERSEMBAHAN**

Segala puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rezeki dan rahmat-Nya serta panjatan doa dan dukungan yang diberikan oleh orang-orang tercinta, hingga pada akhirnya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Oleh sebab itu penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

Orang tua yang selalu senantiasa memberikan dukungan moral berupa doa dan kasih sayang maupun materil sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Bapak Dr. Ir. Paryana Puspaputra M.Eng. selaku dosen pembimbing yang banyak memberikan ilmu terhadap penulis baik itu ilmu yang berhubungan dengan studi Teknik Mesin maupun ilmu kehidupan yang sangat bermanfaat bagi penulis.

Penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat berguna dan bermanfaat untuk perkembangan ilmu pengetahuan khususnya pada bidang yang sesuai dengan topik penulis.

## **HALAMAN MOTTO**

Maka sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan,  
Sesungguhnya beserta kesulitan itu ada kemudahan  
(Q.S Al-*Insyirah* 5-6)

Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai  
dengan kemampuannya.  
(Q.S Al-*Baqarah* 286)

## KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMA KASIH

*“Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuhu”*

*Alhamdulillah* rabbil'alamin puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan berkah serta hidayah-Nya sehingga laporan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan. Shalawat serta salam kita panjatkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW yang telah membawa kita kepada kehidupan yang lebih baik. Laporan tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia. Penyusun laporan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik karena adanya bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Orangtua yang selalu memberikan kasih sayang, dukungan, materiil, dan doa kepada penulis sehingga penulis dapat menjalankan dan menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik
2. Bapak Dr. Muhammad Khafidh S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Dr. Ir. Paryana Puspaputra, M.Eng. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan ilmu dan arahan dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini.
4. Seluruh dosen dan staff pengajar Teknik Mesin FTI UII
5. Rekan-rekan ruangan 1.09 yang selalu bekerja sama saling membantu untuk menyelesaikan tugas akhir ini. Serta rekan-rekan Keluarga Besar Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia Angkatan 2019, yang telah berjuang bersama dan saling menyemangati.
6. Teman-teman kontrakan yang telah menjadi tempat bertukar pikiran, dan pengalaman serta saling membantu dalam kebaikan.

Demikian penulis sampaikan dalam laporan ini. Penulis mengetahui bahwa laporan ini jauh dari kata sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran. Semoga penelitian ini dapat berguna. Atas perhatiannya penulis ucapkan terima kasih.

*“Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuhu”*

## ABSTRAK

Teknologi *3D printing* adalah metode manufaktur aditif yang memungkinkan pencetakan objek tiga dimensi dengan menumpuk lapisan-lapisan material secara bertahap. Dengan teknologi *3D printing*, komponen mesin dapat dicetak dalam satu langkah, tanpa perlu pemotongan. Desain komponen yang lebih rumit dapat dibuat dengan hasil yang presisi dan mengurangi pemborosan material dan waktu produksi. Pada penelitian ini membuat miniatur gedung bangunan skala 1 : 25 dengan proses *Computer Aided Design* (CAD) menggunakan aplikasi *Solidworks* untuk proses desain dan proses *Computer Numerical Control* (CNC) memanfaatkan teknologi *3D printing* berbahan *Poly Lactid Acid* (PLA) untuk bentuk tiga dimensi. Proses pencetakan PLA menggunakan infill 20% untuk mencapai kekuatan 1 : 6 dari kekuatan gedung asli.

**Kata kunci :** *3D printing, Poly Lactid Acid, CNC*

3D printing technology is an additive manufacturing method that allows printing three-dimensional objects by gradually stacking layers of material. With 3D printing technology, machine components can be printed in one step, without the need for additional cutting. More complex component designs can be created with precise results and reduce material waste and production time. In this research, a 1:25 scale miniature building was created using the Computer Aided Design (CAD) process using the Solidworks application for the design process and the Computer Numerical Control (CNC) process using 3D printing technology made from Poly Lactid Acid (PLA) for three-dimensional shapes. The PLA printing process uses 20% infill to achieve a strength of 1:6 of the original building strength.

**Keywords:** *3D printing, Poly Lactid Acid, CNC*

## DAFTAR ISI

|                                               |      |
|-----------------------------------------------|------|
| Halaman Judul .....                           | i    |
| PERNYATAAN KEASLIAN .....                     | ii   |
| Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing .....      | iii  |
| Lembar Pengesahan Dosen Penguji .....         | iv   |
| Halaman Persembahan .....                     | v    |
| Halaman Motto .....                           | vi   |
| Kata Pengantar atau Ucapan Terima Kasih ..... | vii  |
| Abstrak .....                                 | viii |
| Daftar Isi .....                              | ix   |
| Daftar Tabel .....                            | xi   |
| Daftar Gambar .....                           | xii  |
| Daftar Notasi .....                           | xiii |
| Bab 1 Pendahuluan .....                       | 1    |
| 1.1 Latar Belakang .....                      | 1    |
| 1.2 Rumusan Masalah .....                     | 2    |
| 1.3 Batasan Masalah .....                     | 2    |
| 1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan .....  | 2    |
| 1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan ..... | 3    |
| 1.6 Sistematika Penulisan .....               | 3    |
| Bab 2 Tinjauan Pustaka .....                  | 4    |
| 2.1 Kajian Pustaka .....                      | 4    |
| 2.2 Dasar Teori .....                         | 5    |
| 2.2.1 Pemodelan Struktur .....                | 5    |
| 2.2.2 Computer Aided Design .....             | 7    |
| 2.2.3 Computer Aided Engineering .....        | 8    |
| 2.2.4 Computer Aided Manufacturing .....      | 8    |
| 2.2.5 3D Printing .....                       | 9    |
| 2.2.6 <i>Poly lactic acid (PLA)</i> .....     | 10   |
| 2.2.7 Uji Tarik .....                         | 10   |
| 2.2.8 Meja Simulator Gempa Bumi .....         | 11   |

|                                                     |    |
|-----------------------------------------------------|----|
| Bab 3 Metode Penelitian .....                       | 13 |
| 3.1 Alur Penelitian .....                           | 13 |
| 3.2 Perancangan .....                               | 14 |
| 3.2.1 Konsep Model Gedung Bangunan.....             | 14 |
| 3.2.2 Desain 3 Dimensi .....                        | 15 |
| 3.2.3 Analisis .....                                | 19 |
| 3.2.4 Proses produksi Miniatur Gedung Bangunan..... | 22 |
| 3.2.5 Proses pembuatan Spesimen.....                | 24 |
| 3.3 Peralatan dan Bahan.....                        | 26 |
| Bab 4 Hasil dan Pembahasan.....                     | 28 |
| 4.1 Hasil Perancangan.....                          | 28 |
| 4.2 Hasil Pengujian .....                           | 28 |
| 4.2.1 Pengujian Tarik .....                         | 28 |
| 4.2.2 Pengujian Gempa.....                          | 29 |
| 4.3 Analisis dan Pembahasan.....                    | 31 |
| 4.3.1 Hasil Pengujian Tarik .....                   | 31 |
| 4.3.2 Hasil Pengujian Gempa .....                   | 33 |
| Bab 5 Penutup.....                                  | 35 |
| 5.1 Kesimpulan .....                                | 35 |
| 5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya.....          | 35 |
| Daftar Pustaka .....                                | 36 |

## DAFTAR TABEL

|                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 3- 1 Parameter Data Gedung Bangunan .....             | 15 |
| Tabel 3- 2 Data Frekuensi Pribadi Bangunan.....             | 22 |
| Tabel 3- 3 Parameter 3D <i>Printing</i> Spesimen.....       | 24 |
| Tabel 4- 1 Data Hasil Analisis <i>Stress</i> .....          | 31 |
| Tabel 4- 2 Estimasi Data Hasil Analisis <i>Stress</i> ..... | 32 |
| Tabel 4- 3 Data Hasil Pengujian Tarik Pada Solidworks ..... | 33 |
| Tabel 4- 4 RPM dan Konversinya .....                        | 33 |

## DAFTAR GAMBAR

|                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2- 1 Diagram CAD .....                                       | 7  |
| Gambar 2- 2 Diagram CAE .....                                       | 8  |
| Gambar 2- 3 Diagram CAM.....                                        | 9  |
| Gambar 2- 4 Diagram Proses 3D Printing.....                         | 9  |
| Gambar 2- 5 Meja Simulator Gempa .....                              | 12 |
| Gambar 3- 1 Diagram Alur Perancangan dan Pembuatan.....             | 13 |
| Gambar 3- 2 Desain 3D Keseluruhan Model Gedung Bangunan .....       | 16 |
| Gambar 3- 3 Desain 3D Keseluruhan <i>Base</i> .....                 | 16 |
| Gambar 3- 4 Desain 3D <i>Base</i> Part 1.....                       | 17 |
| Gambar 3- 5 Desain 3D <i>Base</i> Part 2.....                       | 17 |
| Gambar 3- 6 Desain 3D <i>Base</i> Part 3.....                       | 17 |
| Gambar 3- 7 Desain 3D <i>Base</i> Part 4.....                       | 18 |
| Gambar 3- 8 Desain <i>Base</i> Lantai 1 .....                       | 18 |
| Gambar 3- 9 Desain 3D Kolom.....                                    | 19 |
| Gambar 3- 10 Analisis <i>Stress</i> Spesimen <i>Honeycomb</i> ..... | 19 |
| Gambar 3- 11 Analisis <i>Stress</i> Spesimen <i>Lines</i> .....     | 20 |
| Gambar 3- 12 Analisis <i>Stress</i> Spesimen <i>Triangle</i> .....  | 20 |
| Gambar 3- 13 Analisis Frekuensi Mode 1.....                         | 21 |
| Gambar 3- 14 Analisis Frekuensi Mode 2.....                         | 22 |
| Gambar 3- 15 Simulasi 3D <i>Printing</i> .....                      | 23 |
| Gambar 3- 16 Parameter <i>Printing</i> <i>Base</i> dan Kolom.....   | 24 |
| Gambar 3- 17 Hasil 3D <i>Printing</i> Spesimen.....                 | 25 |
| Gambar 3- 18 Spesimen <i>Infill Pattern Honeycomb</i> .....         | 25 |
| Gambar 3- 19 Spesimen <i>Infill Pattern Lines</i> .....             | 26 |
| Gambar 3- 20 Spesimen <i>Infill Pattern Triangle</i> .....          | 26 |
| Gambar 4- 1 Pengujian Tarik .....                                   | 28 |
| Gambar 4- 2 Alas Permukaan Lama .....                               | 29 |
| Gambar 4- 3 Alas Permukaan Baru.....                                | 30 |
| Gambar 4- 4 Pengujian Gempa .....                                   | 30 |
| Gambar 4- 5 Spesimen Hasil Pengujian Tarik .....                    | 31 |

## DAFTAR NOTASI

$\sigma_{\text{Max}}$  : Tegangan tarik maksimum ( $\text{N/mm}^2$ ) atau MPa

$P_{\text{max}}$  : Beban maksimal (N)

$\lambda$  : Modulus elastisitas (MPa)

RPM : Rotasi per menit

T : Periode gempa

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Material merupakan bahan baku dalam membuat sebuah produk atau barang yang dapat digunakan. Teknologi 3d *printing* merupakan salah satu teknologi yang banyak digunakan dalam dunia manufaktur. Teknologi ini dapat membuat suatu produk dengan waktu yang lebih cepat dengan pengerjaannya yang menghubungkan desain menggunakan teknologi CAD (*Computer Aided Design*). dan mesin *prototyping* (*3D Printing*). (Setyawan, B. A., & Ngadiyono, Y. 2022).

3d *printing* atau manufaktur aditif adalah proses untuk membuat objek 3d dalam bentuk apapun. Saat ini 3d *printer* dapat mencetak *modelling* dan membantu berbagai sektor, karena 3d *printing* memudahkan penggunaannya untuk membuat model dan bentuk sesuai dengan keinginan.

Terdapat beberapa jenis bahan cetak dalam proses 3d *printing*, salah satunya PLA. *Filament* PLA adalah salah satu jenis bahan cetak yang banyak digunakan di 3d *printing* karena PLA memiliki titik leleh yang lebih rendah yaitu 180°-220°C. Selain itu, PLA juga tidak mudah mengalami deformasi selama pencetakan sehingga menghasilkan cetakan yang lebih halus dan detail yang baik.

Dalam 3d *printing* terdapat *infill pattern* yang fungsinya membuat pola pada objek yang akan dicetak, *pattern* yang umum digunakan diantaranya *lines*, *triangles*, dan *honeycomb*. Kekuatan tarik PLA *infill* 20% dengan *pattern honeycomb* sebesar 4.29 Mpa. (Menna G.Aboelella, Samy J. Ebeid & Moustafa M. Sayed.2025).

Dalam membuat suatu gedung bangunan terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan seperti beban dan kekuatan material yang digunakan. Hal ini dilakukan agar bangunan yang dibuat sesuai dengan yang diinginkan.

Pembuatan gedung umumnya menggunakan beton sebagai material utama. Berdasarkan standar, beton yang digunakan untuk membangun gedung bertingkat adalah beton Fc`25, Kekuatan tekan beton fc-25 sebesar 27.12 Mpa. (Safitri, I., & Nizar,N.M. 2024)

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membuat sebuah model gedung bangunan bertingkat yang dapat memvisualisasikan gedung dalam skala 1:25. Selain itu, struktur model bangunan dirancang dengan kekuatan yang sama dengan beton menggunakan skala yang sesuai. Maka kekuatan material PLA yang mendekati dengan kekuatan beton menggunakan skala 1 : 6.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan, maka perlu dirumuskan masalah-masalah apa saja yang diselesaikan pada perancangan ini. Berikut merupakan rumusan masalah dalam penelitian ini.

1. Bagaimana memvisualisasikan gedung bangunan dalam skala 1 : 25 menggunakan material PLA?
2. Bagaimana penggunaan dan *infill density* yang sesuai dengan kekuatan beton dalam skala 1:6
3. Bagaimana menganalisis kekuatan material model PLA dengan kekuatan beton dengan menggunakan skala?

## **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam perancangan ini adalah sebagai berikut :

1. Material model menggunakan *filament* PLA.
2. Material model menggunakan *infill pattern honeycomb*.
3. Analisis menggunakan *frequency analysis*.

## **1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan**

Tujuan dari perancangan ini yaitu :

1. Memvisualisasikan model gedung bangunan dalam skala 1 : 25 menggunakan material PLA.
2. Penggunaan strategi dan infill yang sesuai dengan kekuatan bangunan
3. Menganalisis kekuatan material model bangunan PLA dengan kekuatan beton menggunakan skala 1 : 6.

## **1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan**

Manfaat yang diambil dari perancangan ini adalah model gedung bangunan dapat menjadi acuan sebelum membuat gedung bangunan dalam skala riil dan dapat mengetahui besarnya frekuensi pribadi yang dimiliki gedung tersebut.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Penulisan laporan tugas akhir ini diuraikan dalam 5 bab yang tersusun berurutan agar mempermudah dalam pembahasannya. Bab 1 terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan perancangan, manfaat perancangan dan sistematika penulisan. Pada bagian ini dituliskan urutan dan sistematika penulisan yang dilakukan. Berikan ringkasan mengenai isi masing-masing bab. Bab 2 terdiri dari kajian Pustaka dan dasar teori yang diterapkan pada perancangan dan penelitian ini. Bab 3 merupakan metode penelitian yang menjelaskan mengenai alur penelitian, alat dan bahan, dan tahapan perancangan yang dilakukan. Bab 4 menjelaskan mengenai proses pembuatan serta hasil dari perancangan alat yang telah dilakukan, pengujian dan hasil pengujian. Bab 5 berisi kesimpulan hasil perancangan dan saran untuk pengembangan perancangan.

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Kajian Pustaka

Pada jurnal “*A Review on Experimental Research Using Scale Models for Buildings: Application and Methodologies*” dijelaskan bahwa pemodelan meliputi sistem fisik dari suatu bangunan sehingga pengamatan pada model dapat digunakan untuk memprediksi secara akurat kinerja sistem fisik dalam hal yang diinginkan.

Berdasarkan jurnal tersebut dijelaskan pula hal-hal yang perlu diperhatikan di antaranya adalah sifat bahan, kualitas permukaan dan akurasi. Sehingga, apabila hal tersebut dapat diatasi dengan baik, penggunaan produksi dan manufaktur baru untuk model skala meningkatkan penerapan dan kemungkinan pengujian model skala fungsional untuk bangunan secara signifikan.

*3d printing* saat ini mulai banyak digunakan untuk berbagai sektor karena proses pengerjaannya yang cukup efisien. Dalam proses pembuatan model 3D diperlukan *filament* sebagai bahan untuk barang yang ingin dibuat. Dalam penelitian ini memakai *filament poly lactid acid (PLA)*. *PLA* dipilih sebagai *filament* pada penelitian ini karena bahannya kuat, keras dan *biodegradable* tetapi juga rapuh karena didasarkan pada pati tanaman daripada minyak mentah. *PLA* adalah termoplastik *biodegradable* yang didapat dari sumber terbarukan. Hal ini menjadikan *PLA* solusi paling ramah lingkungan dalam pencetakan 3D, berbeda dengan berbagai plastik berbasis petrokimia seperti *ABS* dan *PVA* (Kalpakjian & Schmid, 2003).

Pada jurnal dengan judul “*The Effect of Infill Pattern and Density Parameters on Tensile Strength of Polymer Materials in 3D Printing*” membahas mengenai pengaruh dari parameter pola *infill* terhadap kekuatan tarik dari produk *3d printing*. Dalam pengujian tersebut menggunakan material *PLA* dan pola *infill* yang memberikan pengaruh terhadap kekuatan tarik terbesar adalah pola *infill Tri-Hexagon* dengan densitas terbesar. Semakin tinggi persentase densitas dari suatu produk maka semakin tinggi kekuatan tariknya. (Cahyati, S., & Putra, R.A., 2023).

## **2.2 Dasar Teori**

Pada penelitian ini, penulis menggunakan beberapa dasar teori yang terkait dengan topik tugas akhir ini sebagai dasar pemikiran.

### **2.2.1 Pemodelan Struktur**

Pemodelan struktur harus mengacu pada standar tertentu untuk memastikan tercapainya struktur yang aman, tahan lama, dan ekonomis. Persyaratan ini biasanya mencakup standar material yang digunakan, metode dan analisis perhitungan, serta pembebanan dan kombinasi beban yang akan diterapkan pada model bangunan tersebut.

#### **2.2.1.1 Beban Struktur**

Pada sebuah struktur bangunan, terdapat beberapa jenis beban yang bekerja. Struktur yang dirancang harus mampu menahan berbagai beban tersebut. Berdasarkan SNI 1727-2013 tentang beban minimum untuk perancangan gedung dan struktur lain, jenis-jenis pembebanan yang perlu dianalisis adalah sebagai berikut:

1. Beban mati

Beban mati adalah berat semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk unsur tambahan, penyelesain, mesin dan peralatan tetap yang menjadi bagian yang tidak terpisahkan dari gedung tersebut.

2. Beban hidup

Beban hidup adalah beban yang timbul akibat penggunaan atau penghuni gedung, termasuk beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah.

3. Beban angin

Beban angin adalah beban yang bekerja pada gedung akibat perbedaan tekanan udara.

4. Beban gempa

Beban gempa adalah beban statik yang bekerja pada gedung akibat gerakan tanah karena terjadinya gempa bumi. Beban yang dimaksud

adalah gaya-gaya dalam struktur yang timbul akibat gerakan tanah tersebut.

#### **2.2.1.2 Material Struktur**

Beton bertulang merupakan salah satu material struktural utama dalam konstruksi masa kini karena mampu memadukan kekuatan tekan dari beton dengan kekuatan tarik dari baja tulangan. Beton yang umum digunakan untuk bangunan bertingkat adalah beton  $f_c'25$ . Beton  $f_c'25$  menunjukkan kuat tekan minimal beton tersebut sebesar 25 MPa. Pengujian kuat tekan beton dilakukan untuk memastikan bahwa beton mencapai kekuatan minimum 25 MPa.

#### **2.2.1.3 Frekuensi Natural**

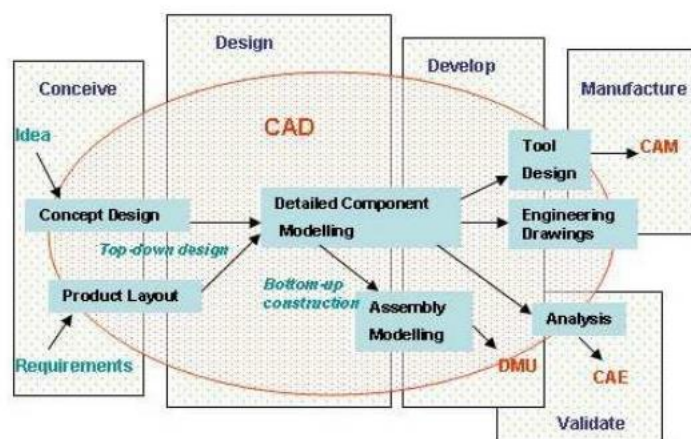
Dalam perencanaan bangunan tahan gempa perlu diperhatikan kualitas sebuah bangunan, salah satunya adalah mengetahui nilai frekuensi natural yang dimilikinya, di mana bangunan akan mengalami kerusakan berat jika frekuensi natural sebuah bangunan dan frekuensi gempa memiliki nilai yang sama atau berdekatan, sehingga akan terjadi resonansi.

Ketika sebuah bangunan diguncang oleh gempa, frekuensi getaran tanah dan gempa akan merambat secara bersamaan. Respon bangunan sangat bergantung pada frekuensi natural dan frekuensi gempa. Terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan untuk membuat frekuensi natural bangunan tidak sama dengan frekuensi gempa diantaranya:

1. Sistem struktur yang digunakan harus disesuaikan dengan tingkat kerawanan gempa di lokasi bangunan tersebut.
2. Pendetailan balok dan kolom harus diperhatikan supaya bangunan terikat menjadi satu kesatuan.
3. Perancangan dalam desain nantinya akan sesuai dengan yang akan dilaksanakan di lapangan.
4. Material yang digunakan memenuhi persyaratan material konstruksi untuk struktur bangunan tahan gempa.

### 2.2.2 Computer Aided Design

*Computer Aided Design* adalah sebuah teknologi aplikasi yang menggunakan perangkat lunak komputer dan mesin untuk merancang dan mengembangkan produk, CAD juga secara ekstensif digunakan dalam perancangan berbagai alat. Dengan CAD proses perancangan menjadi lebih efisien dan presisi karena memungkinkan pengguna untuk membuat revisi dengan mudah, mengukur dimensi dengan tepat, dan memvisualisasikan produk dalam berbagai sudut pandang.



**Gambar 2- 1 Diagram CAD**

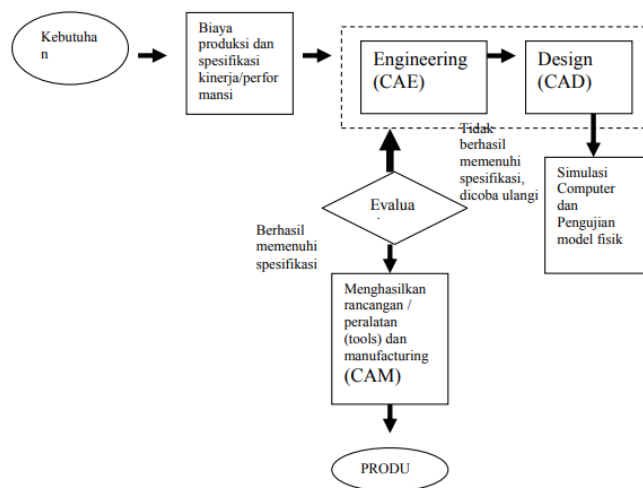
((Handayani & Ningsih,2005))

CAD mampu menghasilkan desain dengan akurasi dan presisi tinggi, mengurangi kemungkinan kesalahan yang sering terjadi dalam desain manual. Selain itu, CAD memungkinkan modifikasi desain dengan mudah, perubahan dapat dilakukan dengan cepat tanpa harus memulai dari awal, yang menghemat waktu dan biaya. Visualisasi dalam format 3D juga memungkinkan desainer untuk melihat dan mengevaluasi desain dengan cara yang lebih realistis sebelum diproduksi.

Banyak perangkat lunak CAD juga dilengkapi dengan alat simulasi dan analisis, seperti pengujian kekuatan bahan yang memungkinkan desainer untuk mengidentifikasi masalah potensial dan melakukan perbaikan sejak awal. CAD juga mempermudah pembuatan dokumentasi teknis otomatis, seperti gambar teknis dan daftar bahan, yang penting untuk proses manufaktur dan konstruksi.

### 2.2.3 Computer Aided Engineering

*Computer Aided Engineering (CAE)* adalah perangkat lunak komputer yang berfungsi untuk mensimulasikan kinerja guna meningkatkan desain produk atau membantu penyelesaian masalah teknik untuk berbagai industri. Beberapa aplikasi *CAE* dapat digunakan untuk desain dan pengembangan produk, analisis struktur, dan merancang rekayasa sipil. *CAE* memberikan solusi yang lebih efisien, akurat dan inovatif di berbagai industri.

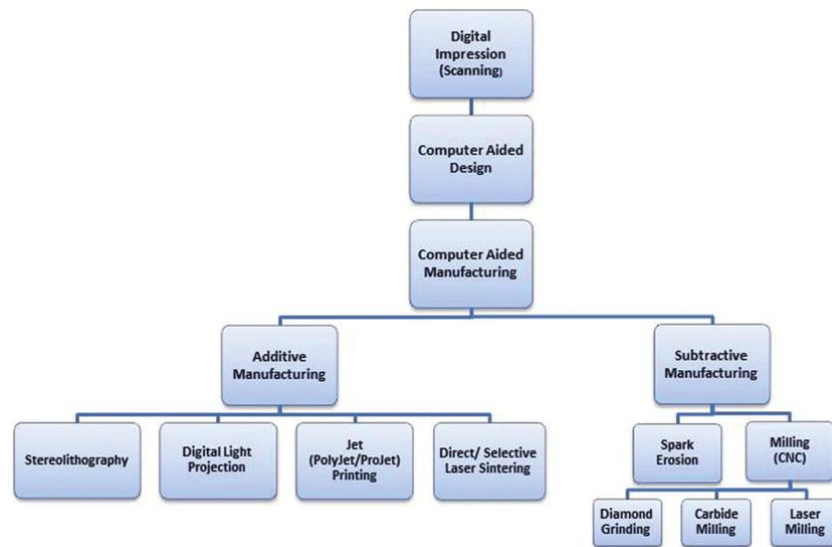


**Gambar 2- 2 Diagram CAE**

((Handayani & Ningsih,2005))

### 2.2.4 Computer Aided Manufacturing

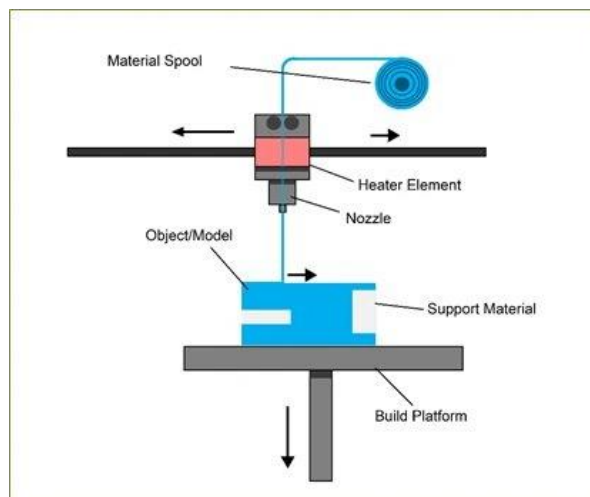
*Computer Aided Manufacturing (CAM)* adalah teknologi yang digunakan untuk memulai proses produksi berdasarkan model atau instruksi yang dibuat menggunakan perangkat lunak *CAD (computer Aided Desain)*. Tujuan dari *CAM* adalah meningkatkan efisiensi produksi, presisi, dan konsisten hasil produksi dengan meminimalkan kesalahan. *CAM* menunjuk ke pemakaian komputer yang mengkonversi rancangan teknik sampai produk akhir.



**Gambar 2- 3 Diagram CAM**

### 2.2.5 3D Printing

Teknologi 3D *printing* adalah teknologi manufaktur yang dapat membuat objek fisik dengan cara menambahkan material dalam lapisan-lapisan yang berurutan. Desain yang dibuat dengan teknologi 3d *printing* lebih kompleks karena pada pencetakan objek detail yang dihasilkan lebih tinggi. Pencetakan menggunakan teknologi ini juga dapat mengurangi waktu produksi sehingga proses pembuatan objek menjadi lebih efisien.



**Gambar 2- 4 Diagram Proses 3D Printing**

((Juan, Noverdo & Didik,2022))

### 2.2.6 *Poly lactid acid (PLA)*

*Filament* PLA adalah jenis bahan cetak 3D yang banyak digunakan. PLA adalah plastik yang berbasis bioplastik yang terbuat dari sumber daya terbarukan. Berikut adalah beberapa sifat mekanik utama dari PLA :

1. Kekuatan tarik (*Tensile strength*)

PLA memiliki kekuatan tarik yang relatif tinggi, yang berarti mampu menahan gaya tarik sebelum pecah atau putus. Kekuatan tarik PLA sekitar 50-70 MPa tergantung pada bentuk dan kondisi bahan.

2. Modulus elastisitas

Modulus elastisitas PLA tergolong cukup tinggi, artinya PLA cenderung kaku dan tidak mudah melengkung atau mengalami deformasi plastis di bawah beban. Modulus elastisitas yang dimiliki PLA biasanya sekitar 2-4 GPa.

3. Kekerasan (*Hardness*)

Kekerasan yang dimiliki PLA sekitar 60-80 dengan menggunakan skala shore D. Angka ini cukup tinggi, yang berarti PLA dapat menahan deformasi mekanis dalam penggunaan normal.

4. Sifat termal

Titik leleh yang dimiliki PLA relatif rendah dibandingkan plastik lainnya, sekitar 150°-160°C.

Dengan sifat mekanik yang dimiliki PLA maka, PLA cocok digunakan untuk model dengan toleransi rendah. Selain itu, PLA memberikan hasil cetakan yang lebih halus dan detail yang sangat baik sehingga memungkinkan untuk model yang memerlukan akurasi tinggi.

### 2.2.7 Uji Tarik

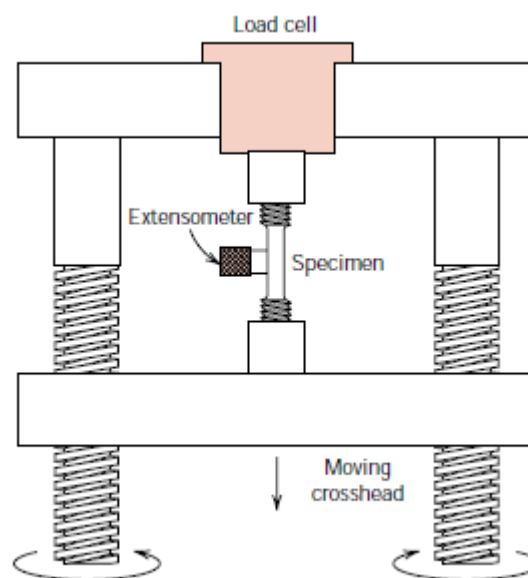
Uji tarik adalah pemberian gaya atau tegangan tarik kepada material yang berfungsi untuk mendeteksi kekuatan dari suatu material. Tegangan tarik dilakukan dengan cara penarikan benda uji dengan gaya tarik secara terus menerus sampai benda uji putus dengan tujuan menentukan nilai tarik. Berikut adalah beberapa fungsi utama dari uji tarik:

1. Menilai Kekuatan Tarik (*Tensile Strength*)

Kekuatan tarik adalah gaya maksimum per satuan area yang dapat diterima oleh material sebelum mengalami kegagalan. Pengukuran dalam MPa.

2. Mengukur Modulus Elastisitas (*Elastic Modulus*)

Modulus elastisitas bertujuan mengukur kekakuan material saat menerima beban tarik. Modulus elastisitas merupakan parameter yang menunjukkan sejauh mana suatu material akan mengalami deformasi elastis saat diberi tegangan.



**Gambar 2- 5 Diagram Proses Uji Tarik**

Sumber : <https://ejournal.polihasnur.ac.id/>

### 2.2.8 Meja Simulator Gempa Bumi

Meja simulator gempa bumi merupakan seperangkat alat yang terdiri dari suatu meja getar dan penggerak seperti motor atau aktuator hidrolik. Meja simulator gempa bumi didesain dalam skala besar dan kecil, dalam penggunaannya, skala besar digunakan untuk mengetahui respons struktur bangunan terhadap input eksitasi gempa. Sedangkan untuk skala kecil digunakan untuk mengetahui respons struktur terhadap beban seismik. Cara penggunaan meja

simulator gempa dengan meletakkan struktur bangunan di atas meja kemudian meja akan bergerak setelah motor dinyalakan.

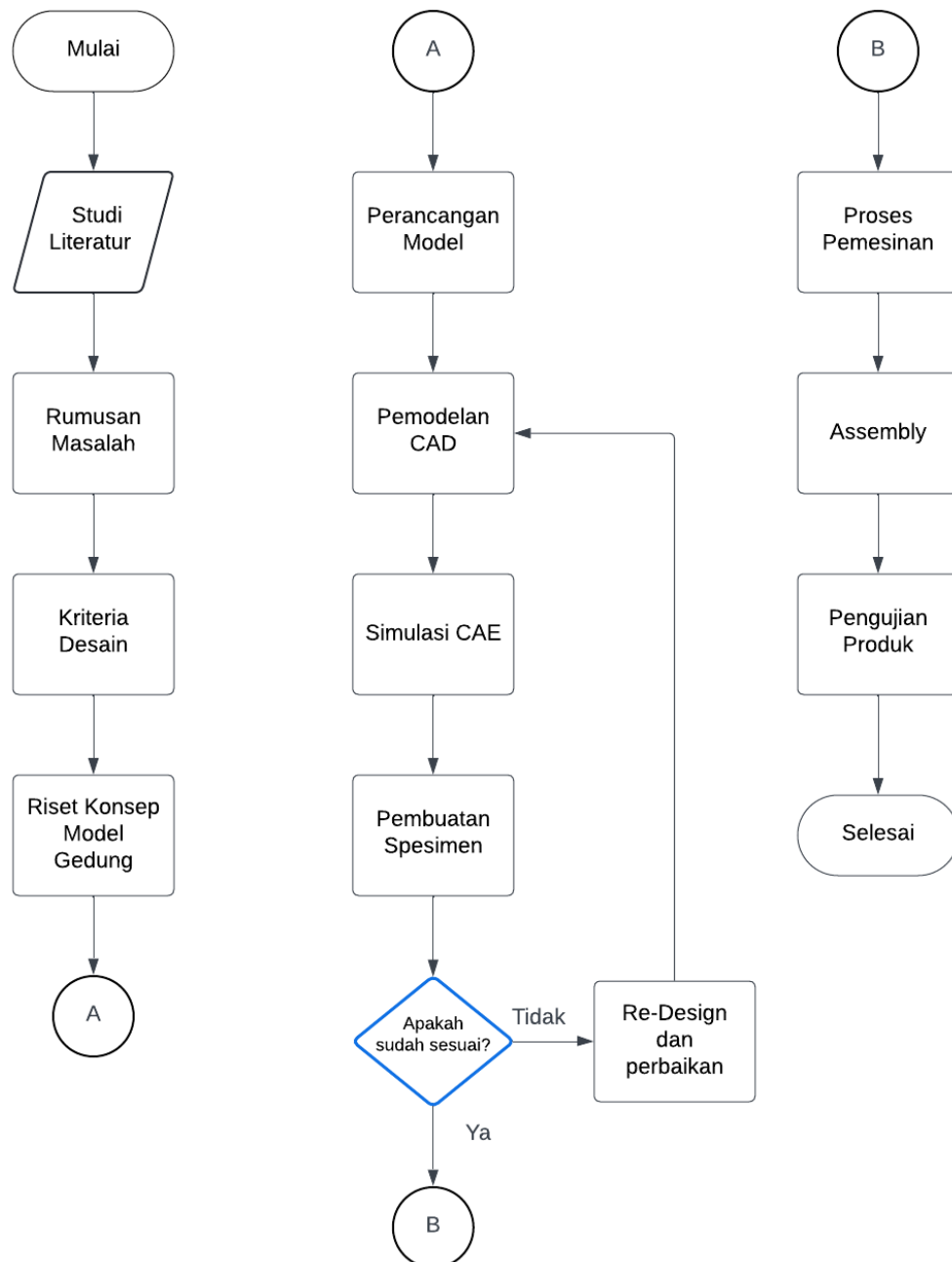


**Gambar 2- 6 Meja Simulator Gempa**

## BAB 3

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Alur Penelitian



**Gambar 3- 1 Diagram Alur Perancangan dan Pembuatan**

## 3.2 Perancangan

Proses perancangan struktur miniatur gedung bangunan terdiri dari konsep, desain, menentukan kriteria desain, menentukan ukuran desain, pembuatan desain 3D dan analisis *stress* dan *displacement*. Kemudian dilakukan pengujian pada spesimen uji pada perancangan ini menggunakan parameter dengan *infill pattern* yang berbeda untuk mengetahui *infill* yang hasilnya mendekati perbandingan 1 : 6 dari kekuatan beton.

Untuk mengetahui kekuatan miniatur gedung maka dilakukan pengujian tarik. Uji tarik merupakan pengujian untuk mencari nilai tegangan dan regangan. Hal ini memberikan data lengkap terhadap pembebanan secara mekanis. Kekuatan tarik maksimum yang disebut dengan beban maksimum dengan satuan *newton* (N) yang dibagi dengan luas penampang spesimen uji.

### 3.2.1 Konsep Model Gedung Bangunan

Proses perancangan struktur miniatur gedung bangunan dimulai dengan menentukan konsep desain. Terdapat beberapa proses untuk menentukan konsep desain miniatur gedung bangunan.

#### 3.2.1.1 Kriteria Desain

Setelah dilakukan analisis *stress*, kemudian menentukan kriteria desain untuk miniatur gedung bangunan, beberapa kriteria desain sebagai berikut:

1. Model gedung bangunan dirancang kuat menahan beban gedung itu sendiri dan dapat menahan beban gempa.
2. Model gedung menggunakan sistem *puzzle*.
3. Strategi dan *infill* disesuaikan dengan kekuatan gedung bangunan dengan skala 1 : 6
4. Model gedung bangunan berskala 1 :25 dari gedung asli.
5. Model yang dibuat dapat merepresentasikan bangunan asli ketika terkena gempa.

### 3.2.1.2 Menentukan ukuran desain

Untuk menentukan ukuran desain maka dilakukan perbandingan dari ukuran gedung bangunan asli yang terdapat pada data. Untuk data gedung bangunan asli dapat dilihat pada tabel 3-1

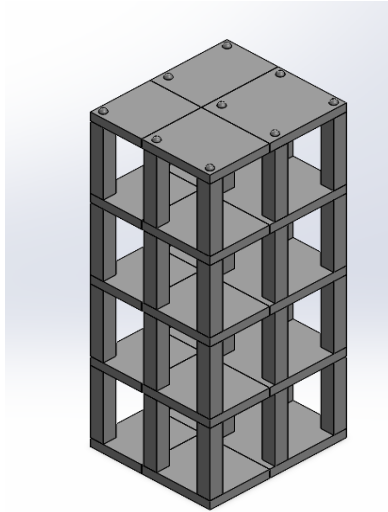
**Tabel 3- 1 Parameter Data Gedung Bangunan**

| Data Diketahui                |          |
|-------------------------------|----------|
| Panjang                       | 7000 mm  |
| Lebar                         | 8000 mm  |
| Tinggi Total                  | 16000 mm |
| Jumlah lantai                 | 4        |
| Kuat Tekan<br>Beton ( $F_c$ ) | 25 MPa   |

Pada data yang terdapat pada gambar 3-2 maka miniatur gedung bangunan yang dibuat menggunakan skala 1 : 25. Skala ini juga merujuk pada dimensi yang terdapat pada mesin 3D *Printing*.

### 3.2.2 Desain 3 Dimensi

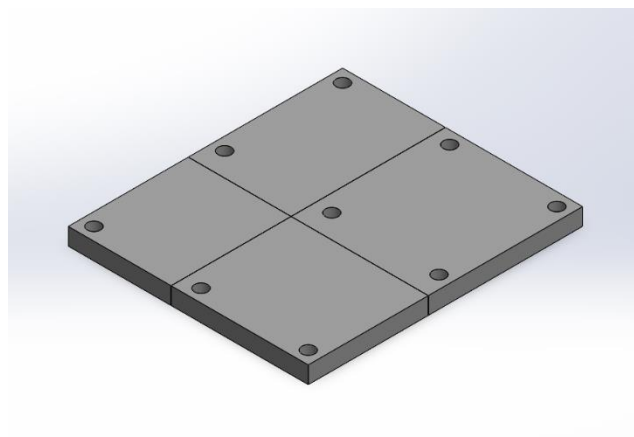
Setelah menentukan konsep miniatur gedung bangunan. Kemudian dilanjutkan dengan melakukan desain menggunakan *software* Solidwork 2022. Terdapat beberapa pertimbangan seperti pemilihan sambungan antar kolom dan *base*. Kemudian mempertimbangkan ukuran dari setiap *base* dan kolom agar proses pemesinan pada 3d *Printing* dapat dilakukan. Miniatur gedung bangunan ini dibuat dengan menggunakan material *Poly Lactid Acid (PLA)* secara keseluruhan. Berikut adalah desain 3 dimensi pada gambar 3-3:



**Gambar 3- 2 Desain 3D Keseluruhan Model Gedung Bangunan**

### **3.2.2.1 Desain *Base***

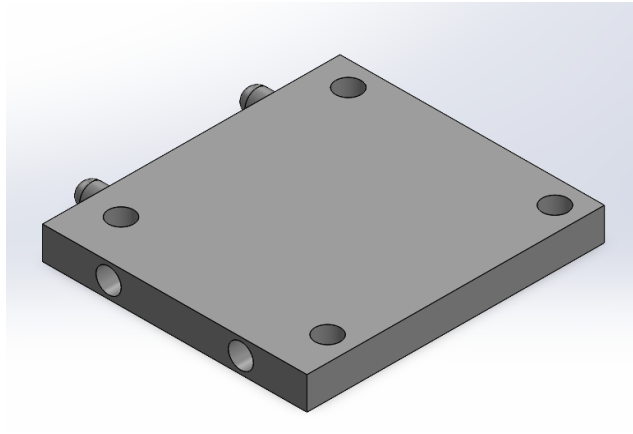
Pada proses desain *base* ini ukuran yang dipakai mengacu pada data gedung bangunan asli menggunakan skala 1 : 25. Panjang gedung bangunan asli pada data gambar 3-2 sebesar 7 m atau 7000 mm, dan lebar 8 m atau 8000 mm. Sehingga, panjang ukuran yang dibuat pada *base* miniatur gedung sebesar 280 mm atau 28 cm dan lebar 320 mm atau 32 cm. Desain 3D keseluruhan *base* dapat dilihat pada gambar 3-4.



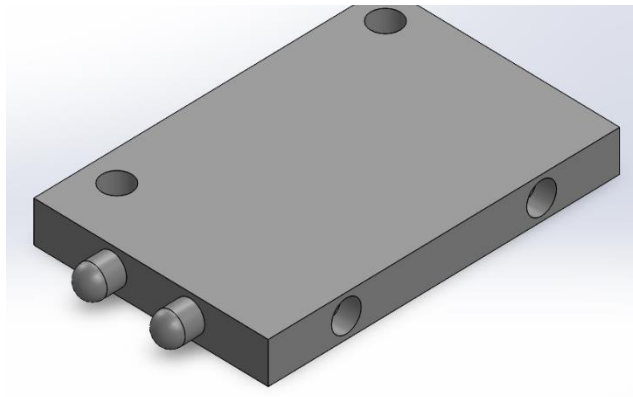
**Gambar 3- 3 Desain 3D Keseluruhan *Base***

Karena area *print* maksimum pada mesin 3d *printing creality ender v3* tidak cukup untuk melakukan proses pencetakan langsung secara keseluruhan maka,

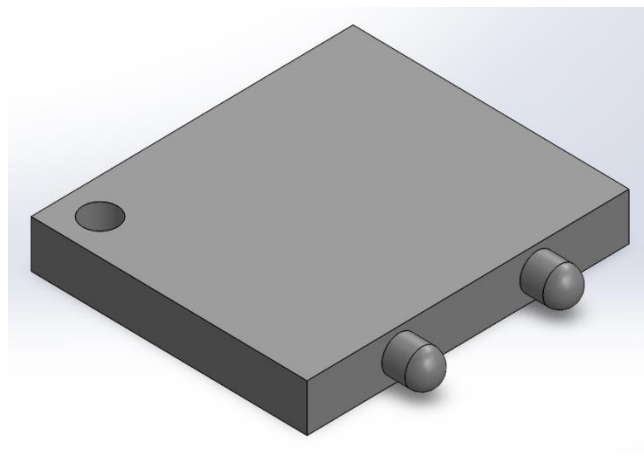
*base* dibuat menggunakan sistem *puzzle*. *Base* dipotong menjadi 4 bagian. Desain *part* masing-masing *base* dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



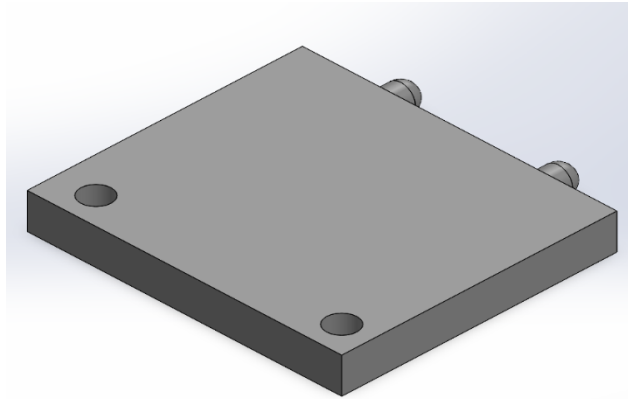
**Gambar 3- 4 Desain 3D *Base* Part 1**



**Gambar 3- 5 Desain 3D *Base* Part 2**

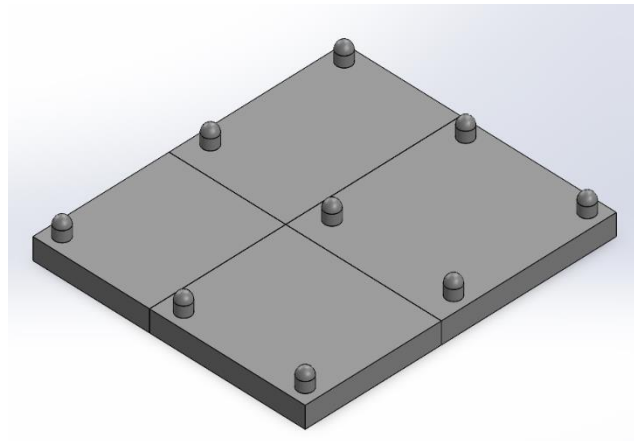


**Gambar 3- 6 Desain 3D *Base* Part 3**



**Gambar 3- 7 Desain 3D Base Part 4**

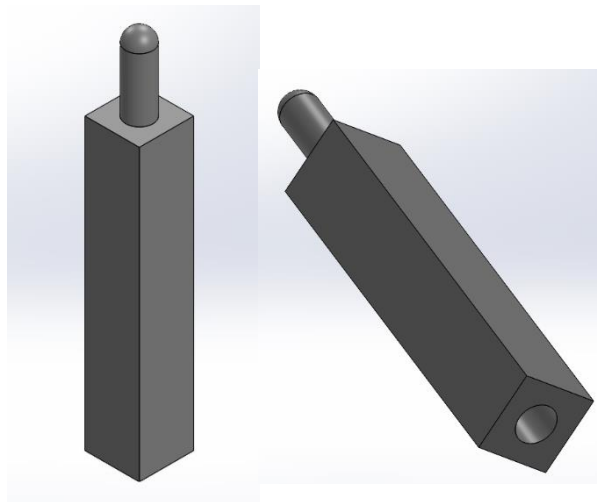
Pada desain *base* pada lantai 1 ukuran panjang dan lebarnya sama seperti *base* pada lantai lainnya hanya ditambahkan sambungan pada setiap lubangnya untuk menghubungkan *base* dan kolom. Desain 3D pada lantai 1 dapat dilihat pada gambar 3-9.



**Gambar 3- 8 Desain Base Lantai 1**

### **3.2.2.2 Desain Kolom**

Pada proses desain kolom ini ukuran yang dipakai juga mengacu pada data gedung bangunan asli menggunakan skala 1 : 25. Tinggi gedung bangunan per lantai sebesar 4m atau 4000mm. Sehingga, kolom yang dibuat untuk miniatur gedung sebesar 160mm atau 16cm. Kolom didesain dapat terhubung dengan kolom lainnya. Desain 3D kolom dapat dilihat pada gambar 3-10.

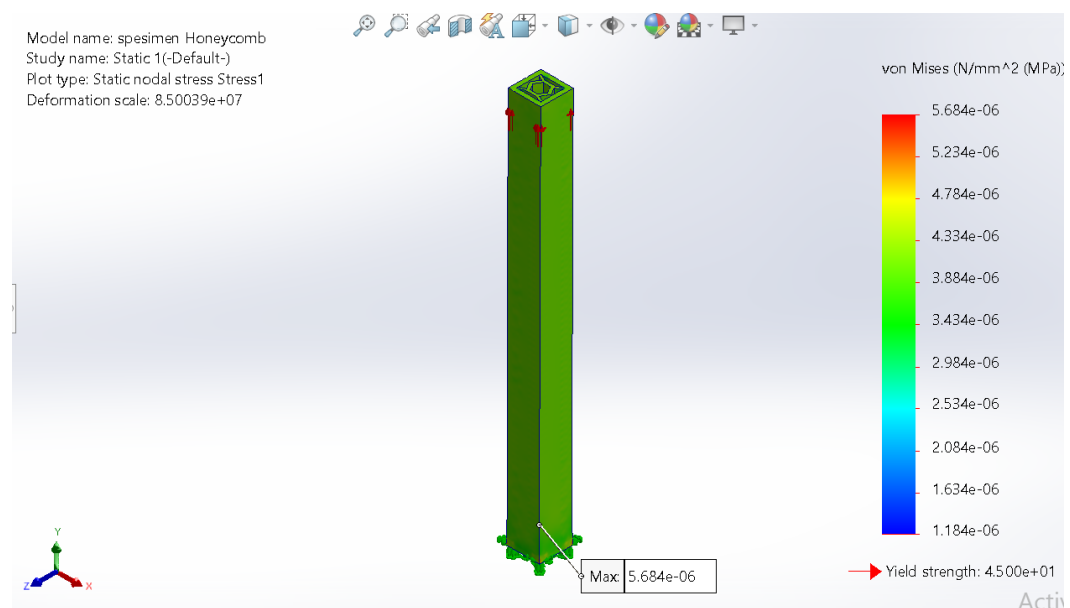


**Gambar 3- 9 Desain 3D Kolom**

### 3.2.3 Analisis

Pada tahap ini terdapat beberapa analisis yang dilakukan di antaranya sebagai berikut.

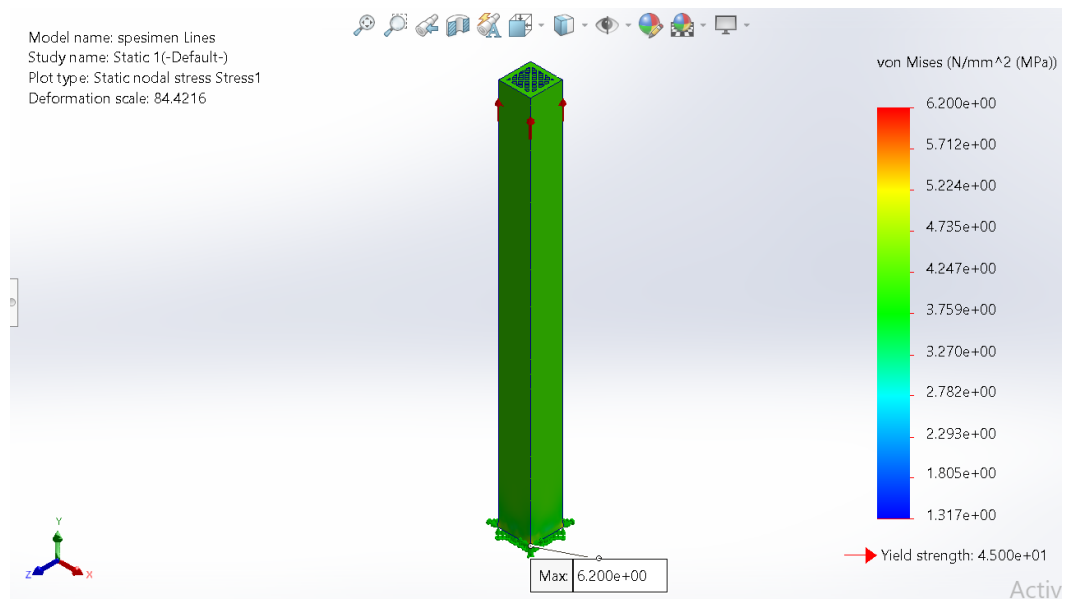
#### 3.2.3.1 Analisis Stress



**Gambar 3- 10 Analisis Stress Spesimen *Honeycomb***

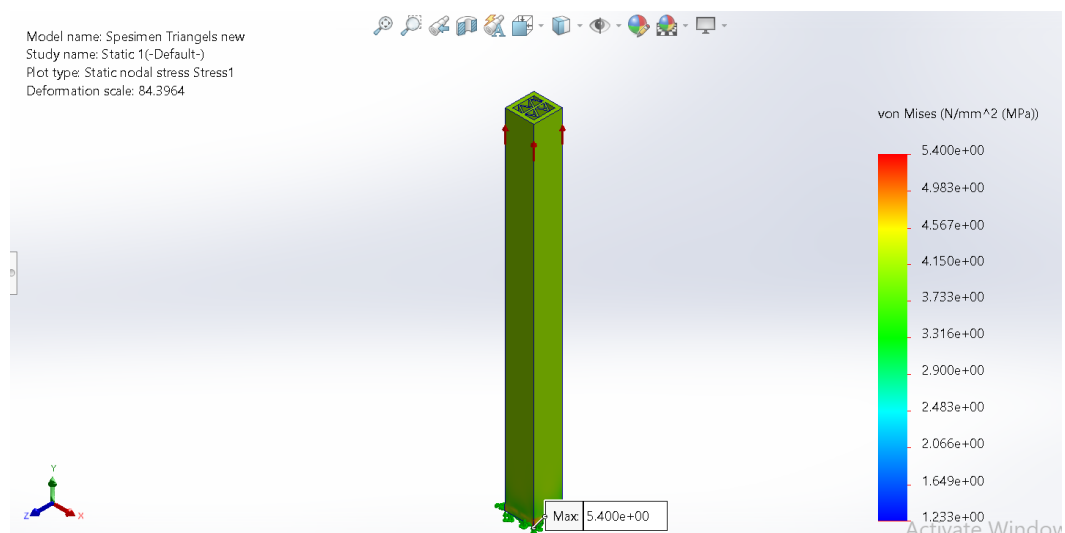
Pada analisis *stress* yang dilakukan untuk spesimen *honeycomb*, gaya aksial yang diberikan sebesar 4.16 MPa. Beban yang diberikan berdasarkan beban yang

sama pada saat pengujian tarik. Tegangan terbesar terdapat pada indikator berwarna merah dengan nilai 6.2 MPa. Tegangan luluh pada spesimen *honeycomb* sebesar 4.5 MPa.



**Gambar 3- 11 Analisis Stress Spesimen Lines**

Pada analisis *stress* yang dilakukan untuk spesimen *lines*, gaya aksial yang diberikan sebesar 4.16 MPa. Beban yang diberikan berdasarkan beban yang sama pada saat pengujian tarik. Tegangan terbesar terdapat pada indikator berwarna merah dengan nilai 6.2 MPa. Tegangan luluh pada spesimen *lines* sebesar 4.5 MPa.

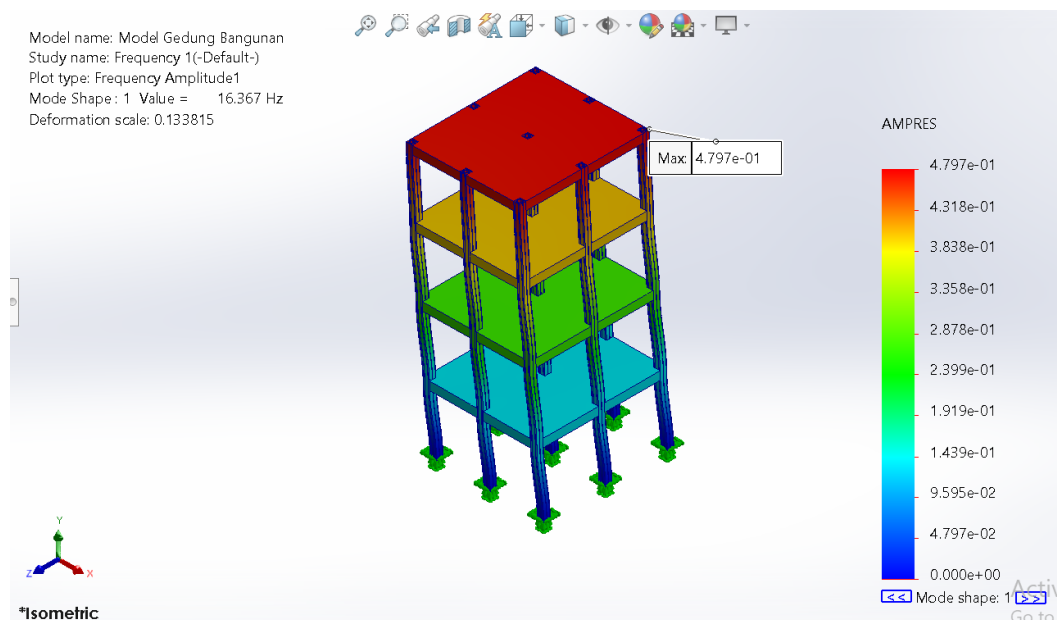


**Gambar 3- 12 Analisis Stress Spesimen Triangle**

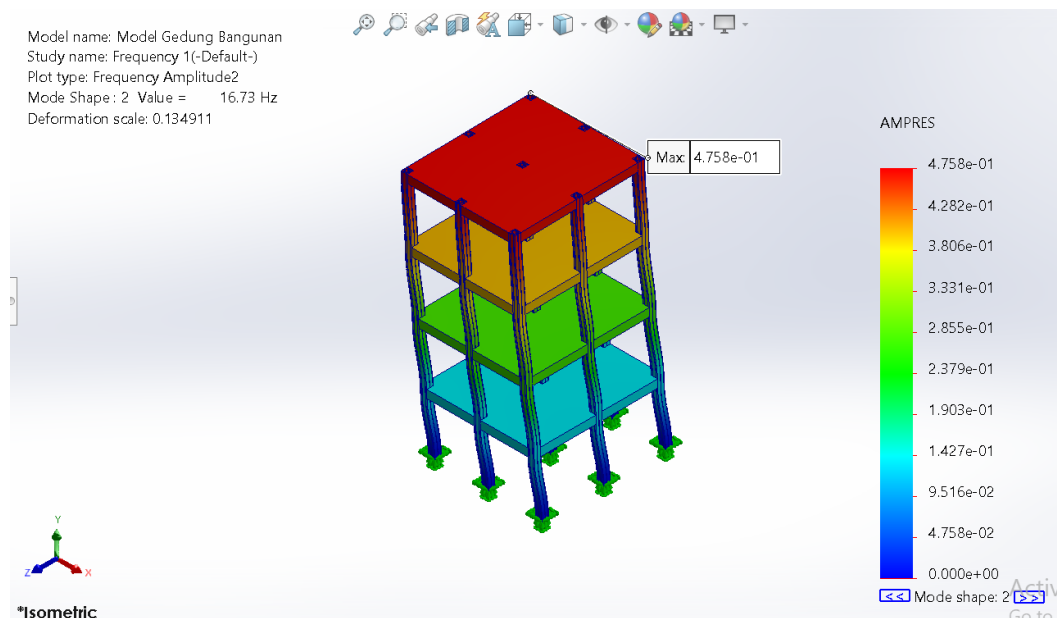
Pada analisis *stress* yang dilakukan untuk spesimen *triangle*, gaya aksial yang diberikan sebesar 4.16 MPa. Beban yang diberikan berdasarkan beban yang sama pada saat pengujian tarik. Tegangan terbesar terdapat pada indikator berwarna merah dengan nilai 5.4 MPa. Tegangan luluh pada spesimen *Triangle* sebesar 4.5 MPa.

### 3.2.3.2 Analisis frekuensi

Pada analisis frekuensi yang dilakukan terhadap model yang dibuat menghasilkan beberapa mode. Analisis frekuensi dilakukan untuk mencari frekuensi pribadi dari model yang sudah dibuat. Frekuensi pribadi berperan penting terhadap suatu bangunan ketika terkena beban seismik. Apabila beban seismik mencapai frekuensi pribadi dari suatu bangunan maka, bangunan akan terjadi *damage* / kegagalan pada struktur bangunan tersebut. Pada hasil analisis frekuensi yang sudah dilakukan ditunjukkan pada gambar di bawah ini:



**Gambar 3- 13 Analisis Frekuensi Mode 1**



**Gambar 3- 14 Analisis Frekuensi Mode 2**

Pada analisis frekuensi mode 1 yang terdapat pada gambar 3-14 frekuensi pribadi yang dihasilkan sebesar 16,367 Hertz dan amplitudo resultan maksimal yang dihasilkan sebesar 4,797e-1. Sedangkan pada analisis frekuensi mode 2 yang terdapat pada gambar 3-15 frekuensi pribadi yang dihasilkan sebesar 16.73 Hertz dan amplitudo resultan maksimal yang dihasilkan sebesar 4,758e-01.

**Tabel 3- 2 Data Frekuensi Pribadi Bangunan**

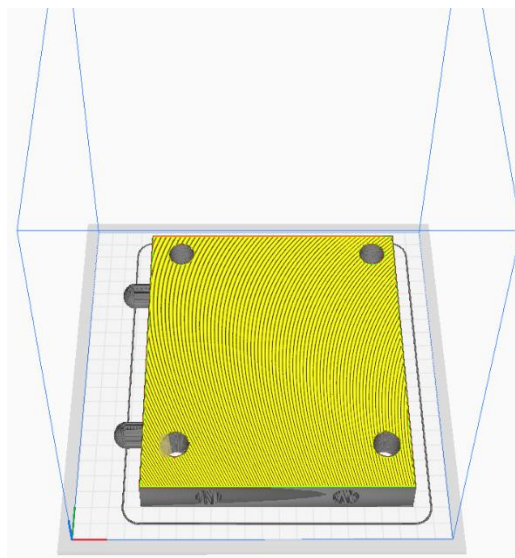
| Mode No | <i>Frequency<br/>(Rad/sec)</i> | <i>Frequency(Hertz)</i> | <i>Period(Seconds)</i> |
|---------|--------------------------------|-------------------------|------------------------|
| 1       | 102.84                         | 16.367                  | 0.061097               |
| 2       | 105.12                         | 16.73                   | 0.059774               |

### 3.2.4 Proses produksi Miniatur Gedung Bangunan

Setelah melakukan analisis, kemudian desain 3D diekspor dengan format STL. File STL diinput ke dalam *software Ultimaker Cura* untuk mengatur strategi pemesinan yang akan digunakan dalam proses pencetakan 3D *printing*. Terdapat beberapa parameter yang dapat memengaruhi kekuatan *part* yang akan dicetak seperti *infill density* dan *infill pattern*. *Infill density* yang digunakan dalam

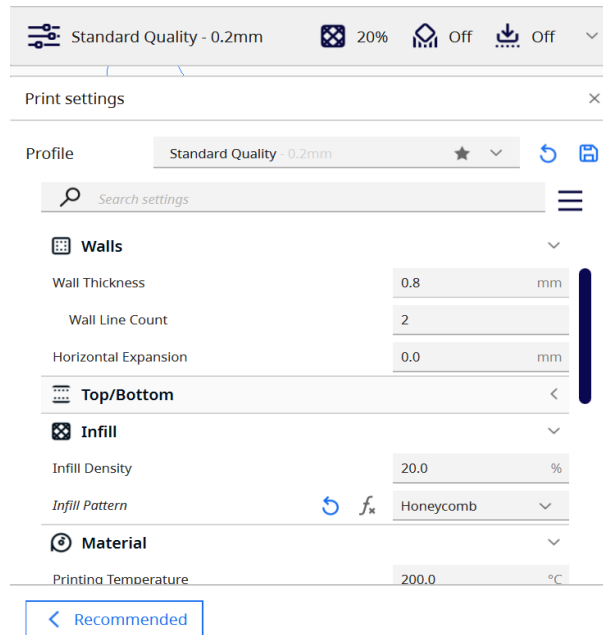
pembuatan miniatur gedung bangunan mengacu pada kekuatan gedung bangunan aslinya dengan menggunakan skala 1:6.

Data pada tabel 3-2 menunjukkan kekuatan gedung bangunan asli sebesar 25 MPa. Pengujian tarik yang sudah dilakukan menghasilkan angka yang paling dekat dengan skala 1:6 menggunakan *infill* 20%. Sehingga pada pembuatan miniatur gedung bangunan ini menggunakan *infill* 20% sedangkan untuk pemilihan *infill pattern* menggunakan *honeycomb* karena *pattern* yang paling kuat dalam pengujian tarik. Simulasi 3D *Printing* dapat dilihat pada gambar 3-17:



**Gambar 3- 15 Simulasi 3D *Printing***

Tahap selanjutnya yaitu melakukan kalibrasi pada mesin dimulai dari mengatur posisi *nozzle* dan *bed* pada posisi x,y,z bernilai 0, kemudian memanaskan *nozzle* dan *bed* dan *preload filament*. Mesin yang digunakan pada pembuatan miniatur gedung bangunan ini adalah mesin 3D *Printing Creality Ender 3* dengan kapasitas cetak 235mm x 235mm x 250 mm. *Filament* yang digunakan berjenis *PLA* dengan ukuran 1.75mm.



**Gambar 3- 16 Parameter *Printing Base* dan Kolom**

### 3.2.5 Proses pembuatan Spesimen

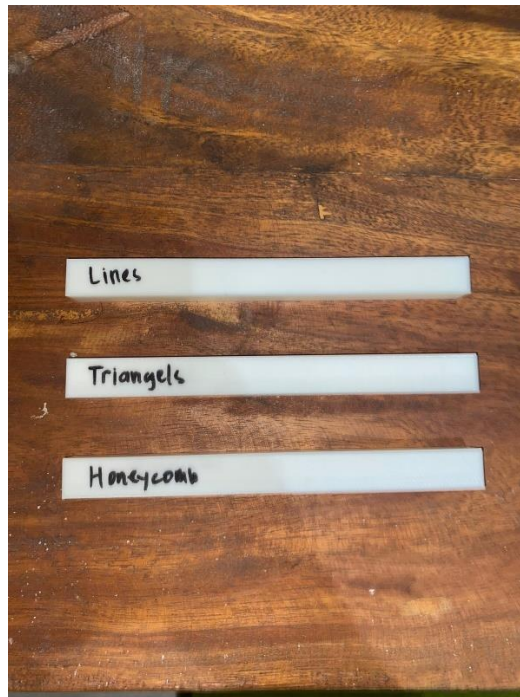
Proses pembuatan spesimen menggunakan mesin 3d *printing* *Creality Ender 3* dengan dimensi cetak 235mm x 235mm x 250 mm. Parameter yang digunakan pada pembuatan spesimen dapat dilihat pada tabel 3-3.

**Tabel 3- 3 Parameter 3D *Printing* Spesimen**

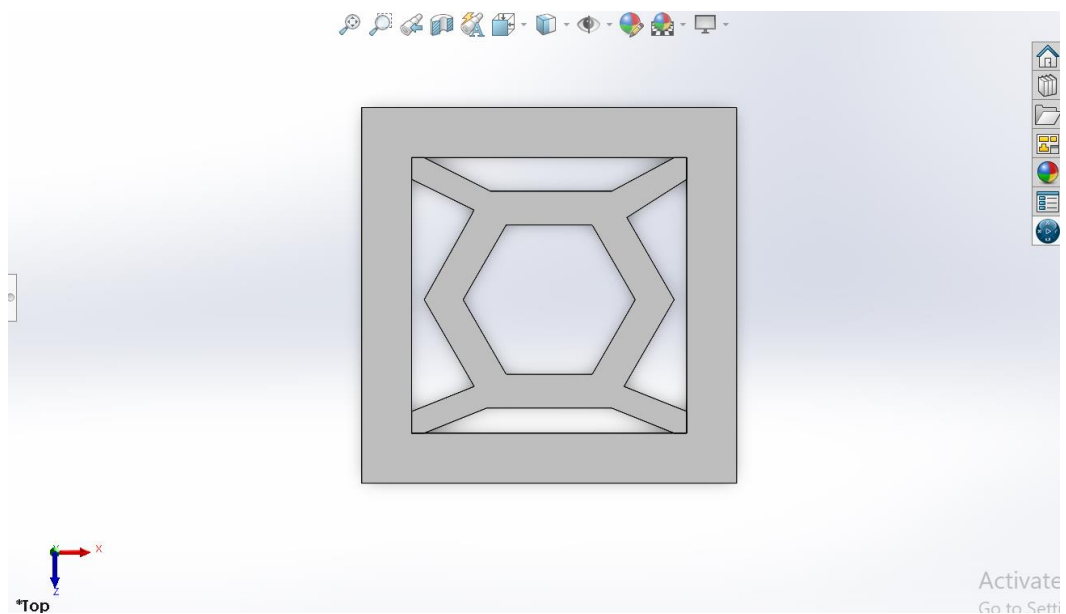
| Material | Parameter        |                      |                          |                     |                           |                       |
|----------|------------------|----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------|-----------------------|
|          | Tebal Layer (mm) | Suhu <i>Bed</i> (°C) | Suhu <i>Nozzle</i> ( °C) | <i>Speed</i> (mm/s) | <i>Infill density</i> (%) | <i>Infill Pattern</i> |
| PLA      | 0.2              | 60                   | 200                      | 100                 | 20                        | <i>Honeycomb</i>      |
|          | 0.2              | 60                   | 200                      | 100                 | 20                        | <i>Lines</i>          |
|          | 0.2              | 60                   | 200                      | 100                 | 20                        | <i>Tri-angels</i>     |

Tabel diatas menjelaskan parameter dalam proses pencetakan spesimen uji dengan material *PLA*. Tebal *layer* 0.2 mm, suhu *bed* 60°C, suhu *nozzle* 200°C, *speed* 100 mm/s, *infill* 20% dan 3 *infill pattern* yang berbeda. Ukuran yang dibuat

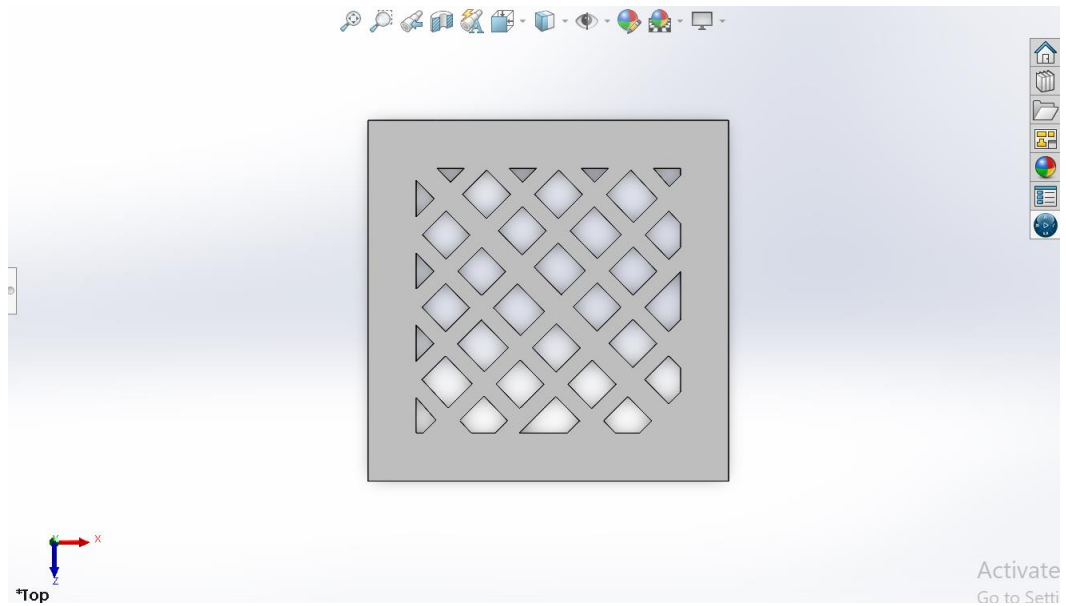
untuk spesimen ini menggunakan skala 1:2 dari ukuran kolom yang asli, hal ini dilakukan agar spesimen dapat dicekam oleh mesin uji tarik.



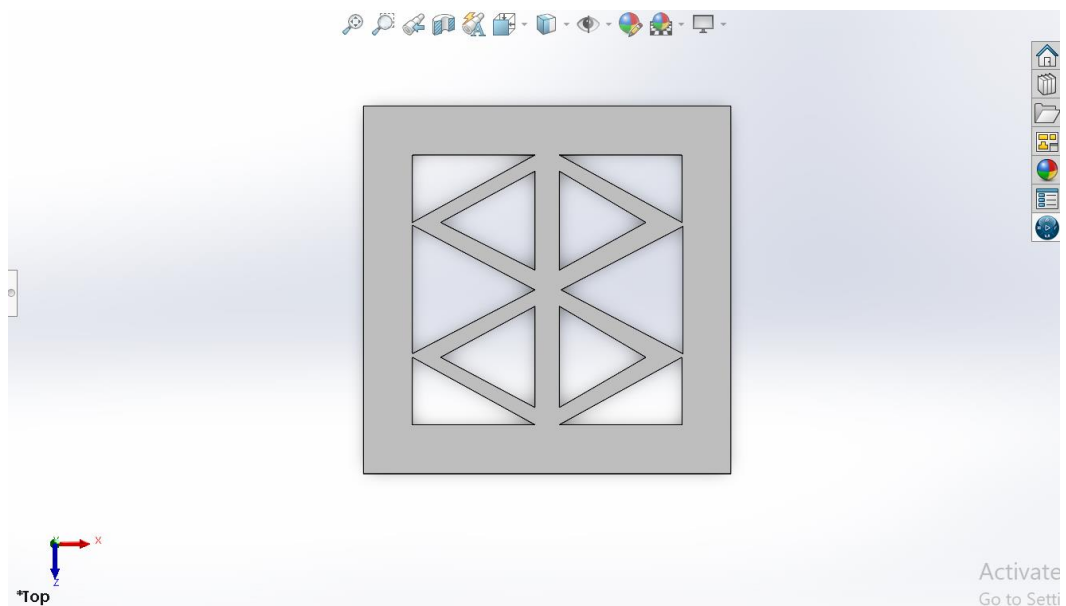
**Gambar 3- 17 Hasil 3D *Printing* Spesimen**



**Gambar 3- 18 Spesimen *Infill Pattern Honeycomb***



**Gambar 3- 19 Spesimen *Infill Pattern Lines***



**Gambar 3- 20 Spesimen *Infill Pattern Triangle***

### **3.3 Peralatan dan Bahan**

Peralatan yang digunakan dalam perancangan dan pembuatan miniatur gedung bangunan adalah sebagai berikut:

1. *Software Solidworks 2022*
2. *Mesin 3d Printer Creality Ender 3*
3. *Software Ultimaker cura*

4. Laptop
5. Mesin Uji Tarik
6. Meja Gempa

Bahan yang digunakan dalam perancangan dan pembuatan miniatur gedung bangunan ini adalah sebagai berikut:

1. *Filament PLA 1.75 mm*

## **BAB 4**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Hasil Perancangan**

Hasil perancangan miniatur gedung bangunan adalah hasil akhir dari pembuatan desain dengan berdasar pada data yang sudah ada. Hasil desain akhir kemudian akan dicetak dengan mesin 3D *printing* menggunakan *filament PLA* hingga pada akhirnya dilakukan proses pengujian.

#### **4.2 Hasil Pengujian**

##### **4.2.1 Pengujian Tarik**

Pada pengujian tarik menggunakan spesimen uji yang sudah dibuat, proses pengujian tarik dilakukan di laboratorium Universitas Gajah Mada, dengan langkah-langkah berikut ini:

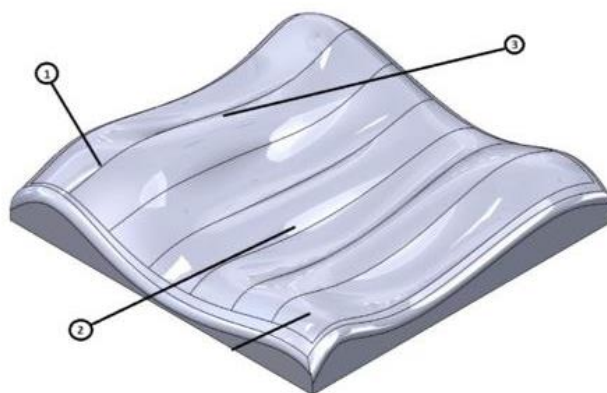


**Gambar 4- 1 Pengujian Tarik**

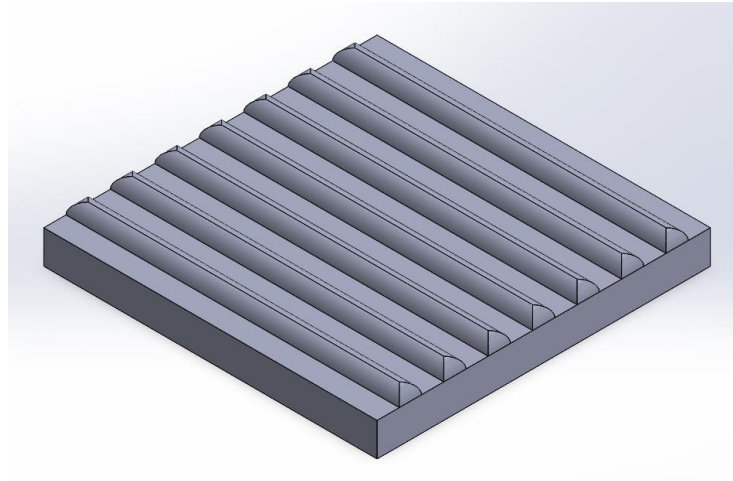
1. Membuat spesimen uji, spesimen yang dibuat menggunakan 3 parameter *infill pattern* yang berbeda, maka jumlah keseluruhan terdapat 3 spesimen.
2. Mengukur spesimen dengan alat ukur berupa jangka sorong, penggaris dan timbangan sebelum pengujian
3. Mengkalibrasi mesin uji tarik sebelum digunakan.
4. Memasang spesimen uji ke penjepit pada mesin uji tarik dan memastikan spesimen terjepit sempurna
5. Menjalankan mesin uji tarik dengan memutar tuas.
6. Mematikan mesin uji dengan memutar tuas ketika sudah terjadi deformasi pada spesimen uji.
7. Mengulangi kembali langkah 2 sampai 7 untuk pengujian spesimen berikutnya.

#### 4.2.2 Pengujian Gempa

Dalam pengujian gempa pada meja simulator gempa terdapat komponen alas permukaan untuk *ball transfer unit*. Pada alas permukaan sebelumnya yang ditunjukkan pada gambar 4-2 permukaan terlalu bergelombang sehingga pergerakan dari *ball transfer unit* terlalu kasar. Oleh karena itu alas permukaan diganti menggunakan alas yang ditunjukkan pada gambar 4-3.



**Gambar 4- 2 Alas Permukaan Lama**



**Gambar 4- 3 Alas Permukaan Baru**

Pengujian gempa dilakukan dengan cara menempatkan miniatur pada meja simulator gempa. Pada meja simulator gempa ditambahkan penyangga kayu untuk menahan miniatur gedung bangunan agar tidak bergeser saat pengujian gempa berlangsung dan ditambahkan *toggle clamp* untuk menahan penyangga kayu seperti yang ditunjukkan pada gambar 4-4.



**Gambar 4- 4 Pengujian Gempa**

## 4.3 Analisis dan Pembahasan

### 4.3.1 Hasil Pengujian Tarik

Hasil spesimen setelah dilakukan pengujian tarik menghasilkan patahan spesimen dan data hasil dapat dilihat di bawah ini.



Gambar 4- 5 Spesimen Hasil Pengujian Tarik

Tabel 4- 1 Data Hasil Analisis *Stress*

| No | Variasi Spesimen | Tebal (mm) | Lebar (mm) | Pmax (N) | $\Delta L$ (mm) | Tegangan (MPa) | Regangan (%) |
|----|------------------|------------|------------|----------|-----------------|----------------|--------------|
| 1  | <i>Lines</i>     | 14.89      | 14.96      | 920      | 2.49            | 4.13           | 4.98         |
| 2  | <i>Triangle</i>  | 15.12      | 14.92      | 1140     | 3.30            | 5.05           | 6.60         |
| 3  | <i>Honeycomb</i> | 14.92      | 15.10      | 540      | 2.10            | 2.40           | 4.20         |

Dari tabel 4-1 pada pengujian tarik mendapatkan nilai Pmax (N) dan  $\Delta L$  (mm), maka yang dibutuhkan dalam data yaitu tegangan maksimum dan modulus elastisitas, dengan hal itu untuk mencari dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Menghitung tegangan tarik maksimum

Tegangan tarik dapat dihitung dengan data pada tabel 4-1 dengan persamaan sebagai berikut :

$$\sigma_{\text{Max}} = \frac{P_{\text{max}}}{\text{Tebal} \times \text{Lebar}}$$

$$\sigma_{\text{Max}} = \frac{920}{14.89 \times 14.96}$$

$$\sigma_{\text{Max}} = 4.13 \text{ MPa}$$

Keterangan:

$\sigma_{\text{Max}}$  : Tegangan tarik maksimum (N/mm<sup>2</sup>) atau MPa

$P_{\text{max}}$  : Beban maksimal (N)

Tebal : Tebal Spesimen (mm)

Lebar : Lebar Spesimen (mm)

2. Menghitung modulus elastisitas

Modulus elastisitas menyatakan besaran kekakuan suatu bahan, sehingga semakin besar modulus elastisitasnya suatu bahan maka semakin tidak elastis benda tersebut sehingga benda sulit berubah. Modulus elastisitas dapat dihitung dengan data pada tabel 4-1 dengan persamaan sebagai berikut :

$$\lambda = \frac{\sigma_{\text{Max}}}{\varepsilon}$$
$$\lambda = \frac{4.13}{4.98 \%}$$
$$\lambda = 0.008 \text{ MPa}$$

Pada tabel 4-1 ditunjukkan data hasil pengujian tarik spesimen menggunakan perbandingan 1:2 dari dimensi kolom yang sesuai desain. Sedangkan apabila pengujian menggunakan dimensi kolom yang digunakan sesuai desain maka estimasi hasil pengujian tarik dapat dilihat di tabel 4-2:

**Tabel 4- 2 Estimasi Data Hasil Analisis *Stress***

| No | Variasi Spesimen | Tebal (mm) | Lebar (mm) | $P_{\text{max}}$ (N) | $\Delta L$ (mm) | Tegangan (MPa) | Regangan (%) |
|----|------------------|------------|------------|----------------------|-----------------|----------------|--------------|
| 1  | Lines            | 29.78      | 29.92      | 1840                 | 4.98            | 8.26           | 9.96         |
| 2  | Triangels        | 30.24      | 29.84      | 2280                 | 6.60            | 10.1           | 13.2         |
| 3  | Honeycomb        | 29.84      | 30.2       | 1080                 | 4.20            | 4.80           | 8.40         |

Pada pengujian tarik menggunakan mesin uji tarik terdapat kesalahan pada *gripper* yang terlalu mencekam spesimen, sehingga spesimen mengalami patah pada bagian yang dicekam sebelum spesimen mengalami deformasi dan menyebabkan mesin berhenti menarik karna mesin membaca spesimen sudah patah. Oleh karena itu dilakukan pengujian pada analisis *finite element* dengan

ukuran spesimen yang sama. Beban yang diberikan sesuai dengan beban pada bangunan aslinya menggunakan skala 1:6. Hasil pengujian analisis *finite element* dapat dilihat pada tabel 4-2.

**Tabel 4- 3 Data Hasil Pengujian Tarik Pada Solidworks**

| No | Variasi Spesimen | Tebal (mm) | Lebar (mm) | Pmax (N) | $\Delta L$ (mm) | Tegangan (MPa) | Regangan (%) |
|----|------------------|------------|------------|----------|-----------------|----------------|--------------|
| 1  | <i>Lines</i>     | 15         | 15         | 920      | 2.49            | 4.5            | 4.98         |
| 2  | <i>Triangels</i> | 15         | 15         | 1140     | 3.30            | 4.5            | 6.60         |
| 3  | <i>Honeycomb</i> | 15         | 15         | 540      | 2.10            | 4.5            | 4.20         |

#### 4.3.2 Hasil Pengujian Gempa

Pengujian gempa diawali dengan mengukur putaran per menit (RPM) yang diperoleh menggunakan alat tachometer. Hasil pengukuran RPM ini kemudian dikonversi menjadi Hertz dalam satuan detik. Kemudian mencari periode gempa menggunakan data yang sudah didapat. Untuk mencari perhitungan tersebut dapat dilihat rumus berikut.

Rumus untuk mencari hertz

$$\text{Hz} = \frac{\text{RPM}}{60 \text{ detik}}$$

Rumus untuk mencari periode gempa

$$T = \frac{1}{\text{RPM} \times (\text{Hertz})}$$

**Tabel 4- 4 RPM dan Konversinya**

| Potensio | RPM  | Gelombang (Hz) | Periode Gempa (T) |
|----------|------|----------------|-------------------|
| 10       | 6.6  | 0.11           | 1.377             |
| 20       | 16.7 | 0.278          | 0.215             |
| 30       | 25.4 | 0.423          | 0.093             |
| 40       | 34.7 | 0.578          | 0.049             |
| 50       | 45.6 | 0.76           | 0.029             |

|     |       |       |       |
|-----|-------|-------|-------|
| 60  | 55.8  | 0.93  | 0.019 |
| 70  | 66.4  | 1.106 | 0.014 |
| 80  | 76.3  | 1.271 | 0.010 |
| 90  | 83    | 1.383 | 0.009 |
| 100 | 101.7 | 1.695 | 0.006 |

Berdasarkan pengujian gempa yang sudah dilakukan, miniatur gedung bangunan tidak mengalami kerusakan karena meja simulator gempa hanya bisa memberikan gelombang maksimal pada 1.695 Hz. Sedangkan frekuensi pribadi yang dimiliki miniatur gedung bangunan tersebut sebesar 16,367 Hz untuk mode 1 dan 16,73 Hz untuk mode 2, sehingga bangunan tidak mengalami kerusakan akibat meja simulator gempa tidak mencapai frekuensi pribadi dari miniatur gedung bangunan.

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Kesimpulan yang didapatkan berdasarkan pengujian yang sudah dilakukan sebagai berikut:

1. Didapatkan miniatur gedung bangunan yang merepresentasikan bangunan asli dengan skala 1:25
2. Kekuatan material PLA *infill* 20% dan *pattern honeycomb* sama dengan beton dengan skala 1:6
3. Perancangan miniatur gedung bangunan telah dibuat dengan bahan yang mudah didapat.
4. Miniatur gedung bangunan telah direalisasikan dengan menggunakan sistem *puzzle*.
5. Hasil pengujian gempa pada meja simulator gempa tidak berdampak pada miniatur gedung bangunan karena frekuensi yang dihasilkan meja simulator gempa tidak mencapai frekuensi pribadi miniatur bangunan.

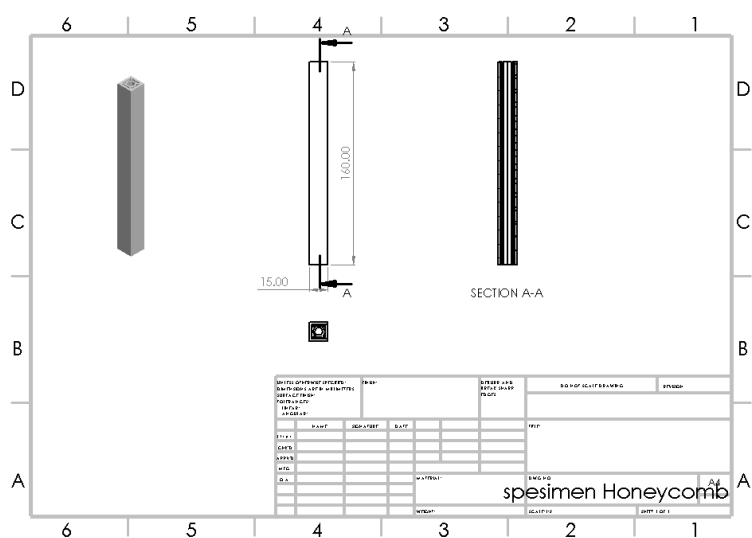
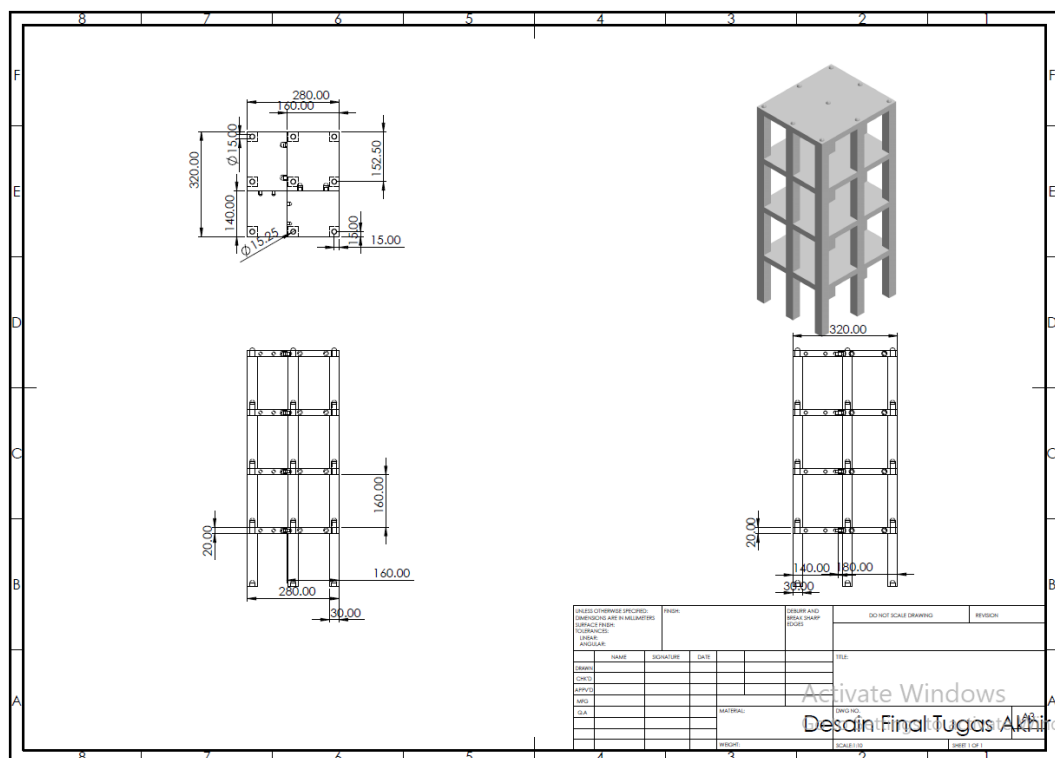
#### **5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya**

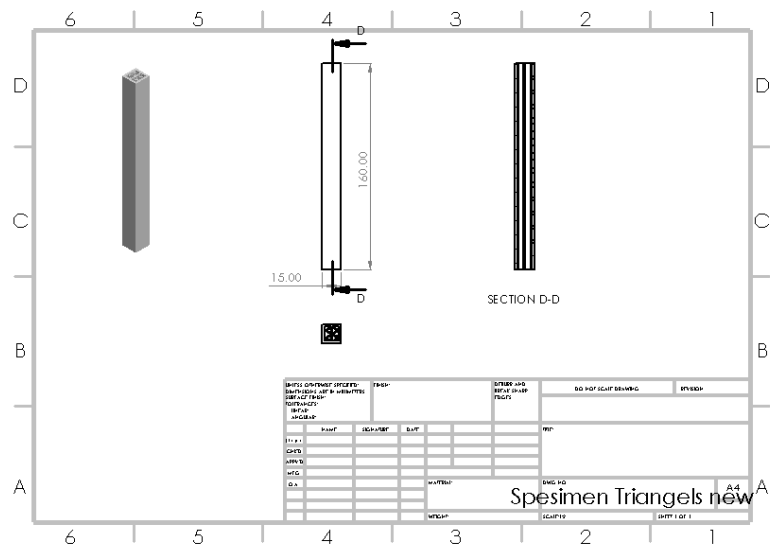
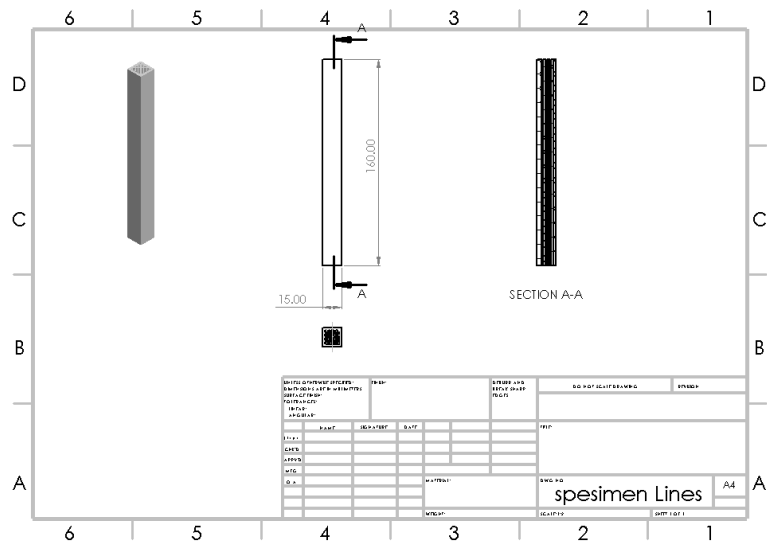
Saran untuk penelitian selanjutnya adalah peningkatan frekuensi dari meja simulator gempa agar pengujian pada miniatur dapat terlihat jelas.

## DAFTAR PUSTAKA

- Basri, D., Tisnawan, R., & Pribadi, W. (2021). ANALISA PERBANDINGAN KUAT TEKAN BETON FC-20,75 DENGAN DIRAWAT (CURING) DAN TIDAK DIRAWAT. *JURNAL RIVET*, 1(01), 32-39.
- Amstead, B.H, Ostwald, F.O., & Begeman, M.L. (1987). *Manufacturing Processes (8th ed.)*. John Wiley & Sons.
- Aszkler, C. (2005). Acceleration, Shock and Vibration Sensors. Pada Wilson, J. (Editor). *Sensor Technology Handbook*. Elsevier Inc.
- Craig, J.J. (1989). *Introduction to Robotics : Mechanics and Control (2nd Ed.)*. Addison Wesley Publishing Company.
- Deneb Robotics Inc.1998. *IGRIP ® User Manual and Tutorial*. Deneb Robotics Inc.
- Groover, M.P. (2005). *Otomasi, Sistem Produksi, dan Computer Integrated Manufacturing*. Jilid 1. Diterjemahkan oleh Bagus Arthaya & I Ketut Gunarta. Penerbit Guna Widya.
- Huang, Q. et al. (2001). Planning Walking Patterns For A Biped Robot. *Robotics and Automation, IEEE Transactions*. Volume 17.
- Kutz, M. (Editor). (2005). *Mechanical Engineers' Handbook (3rd Edition)*. John Wiley & Sons.
- Martin, S. 1996. Agus T. Exhibit show psychologi's power in treating illnesses. *Apa monitor*, p.42.
- Putra, T.S. (2008). *Perancangan Robot Dua Kaki dengan Tiga Derajat Kebebasan*. Skripsi. tidak diterbitkan. Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
- Tang, Z. (2003). Trajectory Planning for Smooth Transition of a Biped Robot. *Proceedings of the 2003 IEEE International Conference on Robotics & Automation*. Taipei, Taiwan.

## LAMPIRAN







**LABORATORIUM BAHAN TEKNIK**  
**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI**  
**UNIVERSITAS GADJAH MADA**

**HASIL PENGUJIAN TARIK**

| No. | Variasi Spesimen | Tebal (mm) | Lebar (mm) | Pmax (KN) | $\Delta L$ (mm) | Tegangan (MPa) | Regangan (%) |
|-----|------------------|------------|------------|-----------|-----------------|----------------|--------------|
| 1   | Lines            | 14.89      | 14.96      | 0.92      | 2.49            | 4.13           | 4.98         |
| 2   | Triangels        | 15.12      | 14.92      | 1.14      | 3.30            | 5.05           | 6.60         |
| 3   | Honeycomb        | 14.92      | 15.10      | 0.54      | 2.10            | 2.40           | 4.20         |

*Keterangan:*

1. Pengujian dilakukan tanggal 10 Agustus 2024
2. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine

*Identitas Penguji :*

Nama : Muhammad Arioq Fadhilah Pranoto  
NIM : 19525123  
Institusi : Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, 10 Agustus 2024  
Staf Laboratorium Bahan Teknik

Pengujian & Analisa  
Material  
Iain Bahan Teknik  
Departemen Teknik Mesin  
Dr. Erik Dwi Setiawan, S.T., M.T.  
NIP. 197703312002121002

Lembar asli, tidak untuk digandakan

