



**PEMODELAN DAN SIMULASI POLA KERUNTUHAN PADA RENCANA  
PEMBONGKARAN BANGUNAN GEDUNG DENGAN PROGRAM  
BANTU ABAQUS**

diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana pada  
program studi S1 Teknik Sipil

**SKRIPSI**

Oleh

**LINTANG ADITAMA TRIARNANDA  
201910301116**

**KEMETERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN  
TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS JEMBER  
FAKULTAS TEKNIK  
TEKNIK SIPIL  
JEMBER  
2023**

**PERSEMBAHAN**

Skripsi berjudul “PEMODELAN DAN SIMULASI POLA KERUNTUHAN PADA RENCANA PEMBONGKARAN BANGUNAN GEDUNG DENGAN PROGRAM BANTU ABAQUS” ini saya persembahkan untuk:

1. Kedua orang tua saya yang selalu memberikan kasih sayang, dukungan, bimbingan, dan doanya tanpa henti.
2. Bapak Dr. Ketut Aswatama Wiswamitra, S.T., M.T. sebagai ketua jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember sekaligus sebagai Dosen Pembimbing Anggota (DPA) tugas akhir.
3. Bapak Dr. Ir. Jajok W. Soetjipto, S.T., M.T., IPM. selaku Dosen Pembimbing Utama (DPU) tugas akhir yang sudah membimbing penelitian ini dari penentuan topik hingga selesai.
4. Bapak dan Ibu Dosen Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.
5. Civitas Akademik Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan pelayanan dengan baik.

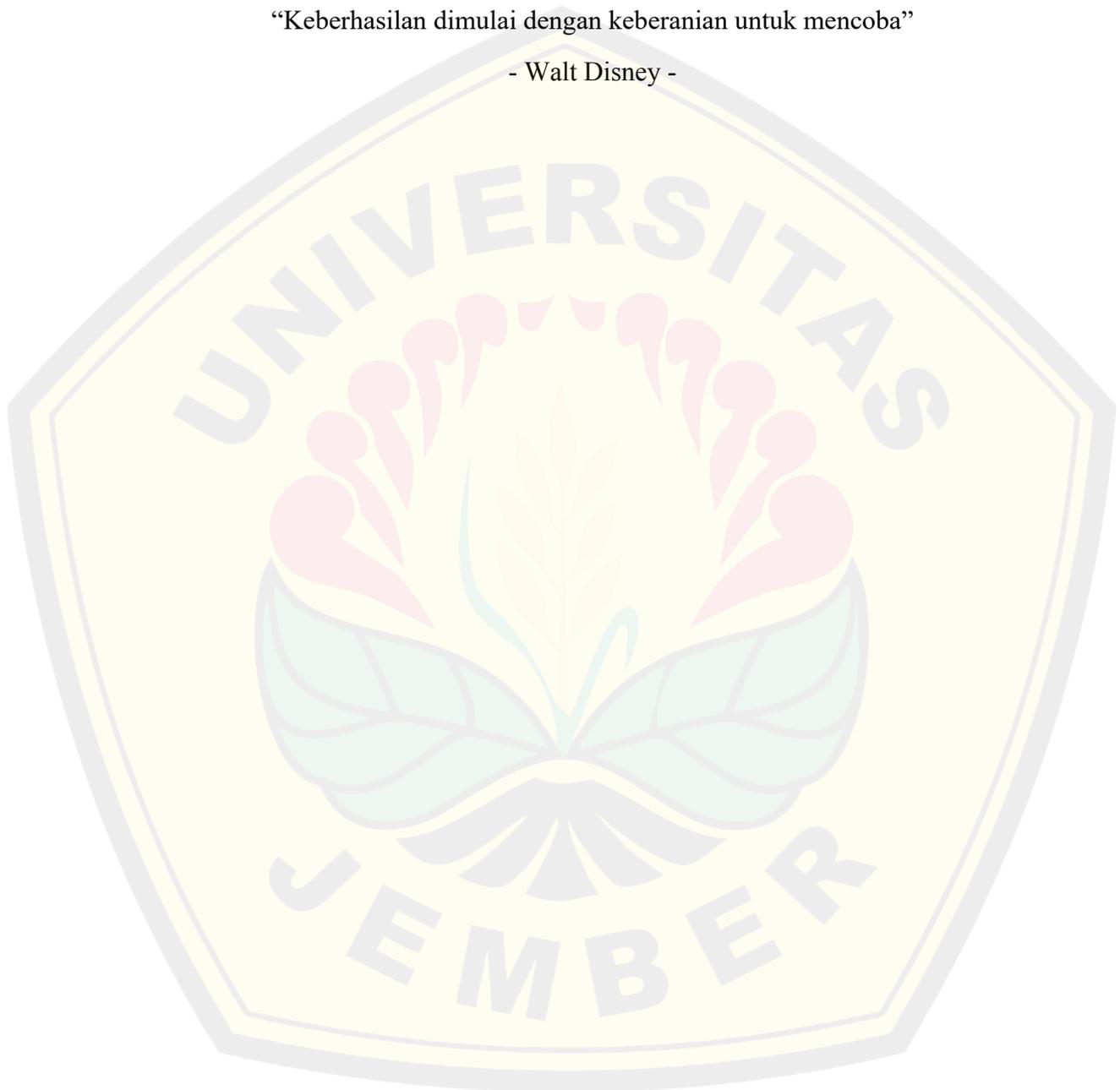
**MOTTO**

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”

- QS Al-Baqarah:286 -

“Keberhasilan dimulai dengan keberanian untuk mencoba”

- Walt Disney -



**PERNYATAAN ORISINALITAS**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Lintang Aditama Triarnanda

NIM : 201910301116

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul: PEMODELAN DAN SIMULASI POLA KERUNTUHAN PADA RENCANA PEMBONGKARAN BANGUNAN GEDUNG DENGAN PROGRAM BANTU ABAQUS adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan skripsi ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember,

Yang menyatakan,



Lintang Aditama Triarnanda

NIM. 201910301116

HALAMAN PERSETUJUAN

Skripsi berjudul *Pemodelan Dan Simulasi Pola Keruntuhan Pada Rencana Pembongkaran Bangunan Gedung Dengan Program Bantu Abaqus* telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada:

Hari : SELASA  
Tanggal : 9 Januari 2024  
Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Pembimbing

Tanda Tangan

1. Pembimbing Utama  
Nama: Dr. Ir. Jojok W. Soetjipto, S.T., M.T., IPM. (.....)

NIP : 197205272000031001

2. Pembimbing Anggota  
Nama: Dr. Ketut Aswatama Wiswamitra, S.T., M.T. (.....)

NIP : 197007132000121001

Penguji

1. Penguji Utama  
Nama : Dr. Ir. Anik Ratnaningsih, S.T., M.T. (.....)

NIP : 197005301998032001

2. Penguji Anggota 1  
Nama : Ir. Anita Trisiana, S.T., M.T. (.....)

NIP : 198009232015042001

## ABSTRAK

Demolisi adalah proses pembongkaran atau penghancuran suatu struktur bangunan gedung. Proses ini merupakan tahapan akhir dari siklus proyek konstruksi. Menurut modul "Code Of Practice-Demolition Work" mengenai rencana pembongkaran terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan sehingga diperlukan rencana demolisi agar keruntuhan gedung tidak menyimpang dan merusak fasilitas di sekitarnya. Arah keruntuhan dapat dianalisis menggunakan software yang berbasis elemen hingga atau Finite Element (FE). Secara garis besar simulasi arah keruntuhan dilakukan dengan cara memodelkan bangunan gedung yang ditinjau dan menghilangkan elemen struktur bangunan tersebut. Konsep perencanaan gedung "Strong Column Weak Beam" menjadi dasar dari pemilihan struktur kolom yang akan dihilangkan. Kolom merupakan struktur bangunan yang menerima beban paling besar sebelum diteruskan ke pondasi. Dari hasil *running* pada Abaqus, letak kolom yang dihilangkan adalah kolom interior dan arah keruntuhan menuju kolom tersebut.

Kata Kunci: Pemodelan, Demolition, Keruntuhan Progresif, Abaqus

## ABSTRACT

*Demolition is the process of dismantling or dismantling a building structure. This process is the final stage of the construction project cycle. According to the "Code of Practice-Demolition Work" module regarding demolition plans, there are several things that must be considered so that a demolition plan is needed so that the building collapse does not deviate and damage surrounding facilities. The direction of collapse can be explained using finite element (FE) based software. In general, the simulation of the direction of collapse is carried out by modeling the building by reviewing and eliminating structural elements of the building. The building planning concept "Strong Column Weak Beam" is the basis for selecting the column structure that will be removed. Columns are building structures that receive the greatest load before being left to the foundation. From the results of running on Abaqus, the location of the column that was removed was the interior column and the direction of collapse was towards that column.*

*Keywords: Modelling, Demolition, Progressive Collapse, Abaqus.*

## RINGKASAN

Demolisi adalah proses penghancuran atau pembongkaran suatu struktur bangunan, yang melibatkan penggunaan alat dan metode tertentu. Tahapan ini merupakan fase terakhir dalam siklus proyek konstruksi. Demolisi atau pembongkaran secara garis besar terbagi menjadi 2 metode yaitu metode top down dan bottom up. Terdapat beberapa hal yang menjadi pertimbangan dalam rencana pembongkaran. Adapun beberapa hal tersebut antara lain tinggi bangunan, lokasi bangunan, material yang digunakan, dan lain-lain. Perlu ada perencanaan yang tepat agar arah keruntuhan bangunan saat dibongkar tidak merusak fasilitas disekitarnya.

Arah keruntuhan dapat dianalisis menggunakan software yang berbasis elemen hingga atau Finite Element. Secara garis besar simulasi arah keruntuhan dilakukan dengan cara memodelkan bangunan gedung yang ditinjau. Kemudian menghilangkan beberapa struktur yang nantinya akan memberikan respon arah keruntuhan dari bangunan tersebut. Pada penelitian ini struktur yang dihilangkan adalah kolom. Konsep “*Strong Column Weak*” menjadi landasan dari pemilihan struktur yang akan dihilangkan. Kolom merupakan struktur yang menerima beban paling besar sebelum diteruskan menuju pondasi, sehingga jika kolom dihilangkan maka beban dari balok dan plat tidak akan terdistribusi sehingga struktur tersebut menahan beban berlebih. Jika kapasitas struktur kurang dari beban yang diterima maka akan terjadi kegagalan.

Pemodelan dan analisis gedung secara utuh atau saat gedung dalam kondisi normal menggunakan Abaqus dilakukan untuk menentukan titik kolom yang memiliki beban paling besar. Kolom tersebut menjadi acuan dalam proses penghilangan kolom. Analisis struktur dilakukan kembali dengan kondisi beberapa kolom dihilangkan. *Output* pada Abaqus berupa warna yang menunjukkan besarnya deformasi dan *displacement*. Dari hasil pengujian dengan menghilangkan 10 struktur kolom interior didapatkan *output* berwarna merah di area kolom tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi perpindahan posisi yang cukup besar karena hilangnya tumpuan/kolom dibawahnya sehingga beban tidak dapat tersalurkan dengan baik. Dengan demikian arah keruntuhan pada Gedung yang ditinjau mengarah pada kolom yang dihilangkan/menuju ke area kolom interior.

**PRAKATA**

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkah dan rahmatnya penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “PEMODELAN DAN SIMULASI POLA KERUNTUHAN PADA RENCANA PEMBONGKARAN BANGUNAN GEDUNG DENGAN PROGRAM BANTU ABAQUS” dengan lancar sebagaimana mestinya. Keberhasilan dari penyusunan Skripsi ini dapat terwujud dan terselesaikan secara baik dengan adanya bantuan, dorongan, serta bimbingan dari berbagai pihak yang terkait. Dalam kesempatan yang telah diberikan ini, penulis ingin memberikan ucapan terima kasih kepada:

1. Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan berkah yang telah diberikan.
2. Ayah dan ibu saya tercinta selaku orang tua yang selalu memberikan dukungan, semangat dan doa.
3. Bapak Dr. Ir. Jojok W. Soetjipto, S.T., M.T., IPM. selaku pembimbing utama.
4. Dr. Ketut Aswatama Wiswamitra, S.T., M.T. selaku pembimbing anggota.
5. Seluruh civitas akademika dan teman-teman yang selalu mendukung.

Penulis menyadari bahwa skripsi yang dikerjakan masih jauh dari kata sempurna, yang masih banyak memiliki kekurangan didalamnya. Oleh sebab itu, penulis mengharapkan seluruh saran dan kritik yang dapat membangun perkembangan pembahasan terkait topik skripsi maupun bagi penulis pribadi. Semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi banyak pihak,

Jember,  
Yang menyatakan,



Lintang Aditama Triarnanda

NIM. 201910301116

DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>PERSEMBAHAN.....</b>	<b>ii</b>
<b>MOTTO .....</b>	<b>iii</b>
<b>PERNYATAAN ORISINALITAS.....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vi</b>
<b>RINGKASAN .....</b>	<b>vii</b>
<b>PRAKATA.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian .....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
<b>BAB II TINJAUAN TEORI.....</b>	<b>5</b>
2.1 Kriteria Pembongkaran Bangunan Gedung .....	5
2.2 Umur Bangunan .....	6
2.3 Metode Pembongkaran Bagunan Gedung .....	7
2.3.1 Metode <i>Top Down</i> Manual .....	7
2.3.2 Metode <i>Top Down</i> Mesin .....	7
2.3.3 Metode pembongkaran dengan menarik kawat baja. ....	8
2.3.4 Metode <i>Blast Off</i> (Ledakan) .....	8
2.4 Keruntuhan Progresif Gedung Beton Bertulang .....	8
2.5 Kriteria Keruntuhan Progresif .....	9
2.6 <i>Software ABAQUS ( Finite Element Analysis Software )</i> .....	11
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>13</b>
3.1 Gambaran Umum .....	13
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	13

3.3	Diagram Alir Penelitian.....	14
3.4	Tahapan Penelitian Gedung dengan ABAQUS .....	15
3.5	Diagram Alir Pemodelan Abaqus.....	16
3.6	Tahapan Pemodelan Gedung dengan ABAQUS .....	17
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>19</b>
4.1	Pemodelan Bangunan Gedung Pada Abaqus.....	19
4.1.1	<i>Module Part</i> .....	19
4.1.2	<i>Module Property</i> .....	19
4.1.3	<i>Assembly</i> .....	23
4.1.4	<i>Step</i> .....	23
4.1.5	<i>Interaction</i> .....	24
4.1.6	<i>Load</i> .....	24
4.1.7	<i>Mesh</i> .....	26
4.1.8	<i>Job</i> .....	27
4.1.9	<i>Visualization</i> .....	27
4.2	Proses Penghilangan Elemen Struktur.....	27
4.2.1	Pemilihan Kolom yang Akan Dihilangkan .....	27
4.2.2	Hasil <i>Running</i> Penghilangan Kolom Lantai 10.....	28
4.2.3	Hasil <i>Running</i> Penghilangan Kolom Lantai 5.....	30
4.2.4	Hasil <i>Running</i> Penghilangan Kolom Lantai Dasar .....	32
4.3	Hasil Analisis Penghilangan Kolom.....	33
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>35</b>
5.1	Kesimpulan .....	35
5.2	Saran .....	35
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>36</b>

**DAFTAR TABEL**

Tabel 2. 1 Umur Ekonomi Bangunan Gedung.....	6
Tabel 4. 1 Distribusi Beban Balok .....	24



**DAFTAR GAMBAR**

Gambar 2. 1 Efek Beban Pada Saat Kondisi Struktur Utuh.....	11
Gambar 2. 2 Efek Beban Pada Saat Kondisi Struktur Dihilangkan.....	11
Gambar 3. 1 Tampilan ABAQUS .....	13
Gambar 3. 2 Lokasi Gedung Tinjau .....	13
Gambar 4. 1 Rekapitulasi <i>Geometry</i> Elemen Struktur.....	19
Gambar 4. 2 Nilai Sifat Mekanis Baja Tulangan .....	20
Gambar 4. 3 Nilai Sifat Mekanis Beton FC 30 .....	21
Gambar 4. 4 Rekapitulasi Profil Penampang .....	21
Gambar 4. 5 Rekapitulasi Section.....	22
Gambar 4. 6 Assign Section Pada Part .....	22
Gambar 4. 7 Assign Orientation Pada Part .....	23
Gambar 4. 8 Hasil Assembly Part.....	23
Gambar 4. 9 Input Beban Merata Balok .....	26
Gambar 4. 10 Hasil Mesh Pada Model .....	26
Gambar 4. 11 Hasil Visualisasi Analisis Abaqus .....	27
Gambar 4. 12 Denah Struktur Gedung Fakultas UHAMKA.....	28
Gambar 4. 13 Hasil Analisis Gaya Aksial Kolom .....	28
Gambar 4. 14 Hasil Penghilangan 4 Kolom.....	29
Gambar 4. 15 Hasil Penghilangan 6 Kolom.....	29
Gambar 4. 16 Hasil Penghilangan 10 Kolom.....	30
Gambar 4. 17 Hasil Penghilangan 4 Kolom.....	31
Gambar 4. 18 Hasil Penghilangan 10 Kolom.....	31
Gambar 4. 19 Hasil Penghilangan 4 Kolom.....	32
Gambar 4. 20 Hasil Penghilangan 4 Kolom.....	33

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Demolisi adalah proses pembongkaran atau penghancuran suatu struktur bangunan gedung. Proses ini melibatkan penggunaan alat-alat dan metode tertentu untuk meruntuhkan atau menghancurkan bangunan secara keseluruhan atau sebagian. Demolisi merupakan tahapan akhir dari siklus proyek konstruksi (Chunlu Liu, 2012). Struktur bangunan memiliki masa layan berbeda-beda pada setiap negara (Rathi, 2014). Pada saat akan dilakukan demolisi gedung, diperlukan wawasan lingkungan terkait limbah berbahaya dan beracun (B3) yang dihasilkan oleh proses demolisi itu sendiri (Zahir, 2015). Adapun beberapa limbah yang dihasilkan dari proses demolisi seperti beton, baja, batu bata, kayu, dan plastik (V Gokul, 2016). Dari limbah-limbah tersebut, ada sebagian limbah yang dapat digunakan kembali baik melalui proses daur ulang maupun tidak (Singh, 2015). Limbah komponen arsitektur yang terbuat dari bahan kayu/alumunium biasanya dapat dibongkar tanpa merusak komponen tersebut (kusen pintu dan jendela) sehingga dapat digunakan kembali. Sedangkan limbah dari komponen struktur seperti beton dan besi dapat didaur ulang yang kemudian dapat digunakan kembali. Namun perlu ditinjau lebih lanjut terkait limbah yang akan digunakan kembali. Mutu/kondisi komponen bangunan gedung yang dibongkar bisa jadi sudah tidak layak pakai. Hal tersebut dapat diidentifikasi dengan salah satu cara yaitu mengetahui penyebab dari demolisi gedung tersebut dilakukan.

Ada beberapa penyebab suatu bangunan gedung dibongkar atau dihancurkan. Selain dari umur bangunan gedung yang sudah melebihi waktu layan ada kriteria lain menurut modul pembongkaran gedung yang menjadi dasar dari pembongkaran bangunan gedung. Adapun kriteria pembongkaran bangunan gedung yaitu bangunan gedung tidak laik fungsi dan tidak dapat diperbaiki (Permen PU No. 25 Tahun 2007), bangunan gedung yang dapat menimbulkan bahaya selama masa operasional, serta masalah legalitas terkait perizinan seperti IMB (Izin Mendirikan Bangunan). Selama proses pembongkaran terdapat potensi kejadian yang dapat

membahayakan lingkungan sekitar (Erdogan, 2017). Oleh karena itu diperlukan metode yang tepat agar proses demolisi dapat berjalan dengan baik.

Pelaksanaan demolisi harus berdasarkan pertimbangan dari para ahli serta penyesuaian terhadap gedung yang akan dibongkar (Mardiawan, 2021). Metode demolisi secara umum dibagi menjadi metode *top down* dan metode *bottom up*. Metode *top down* berarti proses pembongkaran dilakukan urut mulai dari struktur atas hingga struktur bawah. Sedangkan metode *bottom up* proses demolisi dilakukan sebaliknya. Penentuan metode pembongkaran bergantung pada berbagai faktor seperti kondisi eksisting, tipe dan spesifikasi struktur yang digunakan, dimensi bangunan, serta kondisi keuangan (V Gokul, 2016). Pembongkaran gedung dapat dilakukan secara manual dengan cara menggunakan alat seperti *jack hammer* yang dioperasikan manusia (Mardiawan, 2021). Namun jika dibutuhkan proses pembongkaran yang cepat maka dapat menggunakan bantuan alat berat seperti *stone breaker*. Jika kondisi sekitaran gedung yang akan dibongkar memiliki ruang yang cukup luas maka proses pembongkaran dapat menggunakan metode *wire rope pulling* (Adi, 2016). Pemilihan metode pembongkaran diperlukan adanya analisis struktur agar proses pembongkaran tidak merugikan atau merusak area lain.

Pada penelitian sebelumnya, pemilihan metode demolisi menggunakan analisis hirarki (AHP). Penelitian tersebut mempertimbangkan beberapa faktor seperti lokasi bangunan, struktur dan material yang digunakan pada bangunan serta polusi yang dihasilkan. Faktor-faktor tersebut didapatkan bobot yang akan menentukan skala prioritas dari pemilihan metode demolisi. Namun *output* yang dihasilkan hanya beberapa pilihan metode yang dapat dilakukan untuk demolisi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis lebih lanjut dan memberikan visualisasi mengenai arah keruntuhan bangunan gedung. Gedung yang digunakan sebagai contoh dalam penelitian ini adalah gedung fakultas di UHAMKA yang berlokasi di Jakarta Selatan. Menurut modul "*Code Of Practice-Demolition Work*" mengenai rencana pembongkaran terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan. Beberapa hal tersebut antara lain: lokasi gedung, ketinggian gedung, struktur yang akan dihancurkan, material pada struktur gedung, dan lain-lain. Gedung Fakultas di UHAMKA termasuk dalam kategori *High Rise Building* yang memiliki ketinggian

sebanyak 15 lantai dengan tinggi tiap lantai 4 meter. Selain itu gedung ini berada diantara gedung-gedung dan fasilitas umum lainnya sehingga diperlukan rencana demolisi agar keruntuhan gedung tidak menyimpang dan merusak fasilitas di sekitarnya.

Arah keruntuhan dapat dianalisis menggunakan *software* yang berbasis elemen hingga atau *Finite Element (FE)*. Abaqus merupakan program analisis *Finite Element (FE)* kompleks dengan karakteristik material yang sangat detail dan parameter yang dapat menghasilkan akurasi tinggi dalam perhitungan. Tetapi tidak ada petunjuk untuk menetapkan nilai yang tepat untuk parameter-parameter tersebut (Ahmed, 2014). Secara garis besar simulasi arah keruntuhan dilakukan dengan cara memodelkan bangunan gedung yang ditinjau. Kemudian menghilangkan beberapa struktur yang nantinya akan memberikan respon arah keruntuhan dari bangunan tersebut. Pada penelitian ini struktur yang menjadi fokus utama adalah kolom. Konsep perencanaan gedung “*Strong Column Weak Beam*” menjadi dasar dari pemilihan struktur kolom yang akan dihilangkan. Kolom merupakan struktur bangunan yang menerima beban paling besar sebelum diteruskan ke pondasi. Hal ini disebabkan karena kolom menerima beban dari balok yang menopang beban plat. Jika kolom dihilangkan maka beban pada balok akan berlebih karena beban tidak terdistribusikan dengan baik, sehingga struktur dapat mengalami kegagalan. Oleh karena itu penelitian ini diharapkan mampu memberi gambaran mengenai arah keruntuhan menggunakan *software* Abaqus dengan konsep penghilangan kolom.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas didapatkan beberapa rumusan masalah sebagai berikut :

1. Dimana letak struktur kolom Gedung Fakultas di UHAMKA yang harus dihilangkan?
2. Kemana arah runtuh Gedung Fakultas di UHAMKA setelah dilakukan penghilangan struktur kolom?

### 1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini mencakup hal yang cukup luas sehingga diperlukan batasan masalah agar pembahasan tidak melenceng kemana-mana. Adapun beberapa Batasan masalah antara lain:

1. Penelitian ini tidak membahas tentang manajemen *waste* material.
2. Penelitian ini tidak membahas tentang estimasi biaya pembongkaran.
3. Penelitian ini tidak meninjau penghilangan struktur lain selain kolom.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk menjawab rumusan masalah yang sudah ditentukan.

1. Memodelkan dan mengetahui letak struktur Gedung Fakultas di UHAMKA yang harus dihilangkan.
2. Mengetahui arah runtuh Gedung Fakultas di UHAMKA setelah dilakukan penghilangan struktur kolom.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Adapun beberapa manfaat baik untuk akademisi maupun praktisi.

1. Manfaat untuk Akademisi
  - a. Menjadi bahan literatur yang nantinya dapat dikembangkan kembali untuk penelitian selanjutnya.
  - b. Memberi pemahaman seberapa penting penggunaan *software* (BIM, Analisa Struktur, *Scheduling*) dalam efisiensi pekerjaan khususnya di bidang konstruksi.
2. Manfaat untuk Praktisi
  - a. Menjadi referensi yang dapat digunakan dalam metode pelaksanaan pembongkaran gedung.

## BAB II TINJAUAN TEORI

### 2.1 Kriteria Pembongkaran Bangunan Gedung

1. Tidak laik fungsi dan tidak dapat diperbaiki

Kriteria tidak laik fungsi ini salah satunya dapat dilihat atau dinilai dari ada atau tidaknya Sertifikat Laik Fungsi (SLF) sebagaimana yang telah diatur dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 25 Tahun 2007 Tentang Pedoman Sertifikat Laik Fungsi Bangunan Gedung.

Beberapa syarat teknis untuk mendapatkan SLF adalah sebagai berikut:

- a. Bangunan gedung memiliki konstruksi, peralatan serta perlengkapan mekanikal elektrik sesuai dengan standar yang telah ditetapkan;
- b. Memperhatikan aspek keselamatan, kesehatan, kenyamanan dan kemudahan pada struktur, peralatan dan perlengkapan bangunan gedung. Adapun kriteria bangunan tidak dapat diperbaiki apabila bangunan tersebut jika diperbaiki memerlukan pembiayaan yang lebih tinggi dan tidak dapat memberikan manfaat sebesar biaya yang telah dikeluarkan untuk melakukan perbaikan.

2. Dapat menimbulkan bahaya dalam pemanfaatan gedung atau dampak terhadap lingkungan.

Pada bagian ini yang dimaksud bangunan memiliki dampak yang membahayakan baik terhadap pengguna maupun terhadap lingkungan apabila ketika suatu bangunan tersebut dimanfaatkan dapat menimbulkan kerugian dari segi pengguna bisa jadi bangunan tersebut memiliki konstruksi yang kurang kuat sehingga sewaktu-waktu dapat mencelakakan yang mengakibatkan cedera pada pengguna, sedangkan dampak terhadap lingkungan lebih disebabkan karena fungsi dari suatu bangunan tersebut, sebagai contoh apabila terdapat bangunan yang memiliki fungsi sebagai bangunan industri yang berada pada kawasan persawahan, sehingga hasil dari kegiatan yang berada di dalam bangunan gedung tersebut dapat mencemari lingkungan sekitar.

### 3. Tidak memiliki Izin Mendirikan Bangunan (IMB)

IMB merupakan salah satu syarat penting berdirinya suatu bangunan, apabila bangunan tersebut tidak memiliki IMB maka dapat diragukan dari segi legalitas berdirinya suatu bangunan tersebut.

## 2.2 Umur Bangunan

Penentuan usia bangunan gedung dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti metode konstruksi yang digunakan saat tahap desain proyek, pelaksanaan pembangunan bangunan gedung dan kegiatan operasional serta pemeliharaan bangunan gedung yang dilakukan selama usia bangunan gedung (Labombang, 2008). Berikut jenis-jenis dari usia bangunan gedung:

### 1. Usia Fisik

Bangunan gedung akan rusak menurut laju waktu dan akan berbeda antar komponen tergantung dari jenis material yang digunakan.

### 2. Usia Fungsional

Bangunan gedung akan berubah fungsi karena adanya perkembangan teknis maupun sosial. Maka dari itu terkadang bangunan gedung akan mengalami penyesuaian atau memerlukan sebuah modifikasi kualitas dan fungsi bangunan gedung.

### 3. Usia Ekonomi

Bangunan gedung memiliki bobot nilai ekonomis. Indikator untuk menilai usia ekonomi yaitu dengan membandingkan biaya operasional dan pemeliharaan bangunan gedung dengan biaya penggantian.

Tabel 2. 1 Umur Ekonomi Bangunan Gedung

No	Jenis Bangunan Gedung	Usia Ekonomi (tahun)
1	Rumah tinggal sangat sederhana	10
2	Rumah tinggal sederhana	20
3	Rumah tinggal menengah	30

Tabel 2.1 Umur Ekonomi Bangunan Gedung (Lanjutan)

No	Jenis Bangunan Gedung	Usia Ekonomi (tahun)
4	Rumah tinggal menengah mewah	40
5	Rumah tinggal mewah	50
6	Rumah susun kurang dari 5 lantai	40
7	Rumah susun lebih dari 5 lantai	50
8	Pertokoan	20
9	Rumah Makan	30
10	Pasar Tradisional	30
11	Mall	40
12	Kantor kurang 5 lantai	40
13	Kantor lebih dari 5 lantai	50
14	Gedung pemerintahan	50
15	Gedung ibadah	Lebih dari 60
16	Villa tidak bertingkat	30
17	Hotel/ motel /villa kurang dari 5 lantai	40
18	Hotel/ motel /villa lebih dari 5 lantai	50

### 2.3 Metode Pembongkaran Bangunan Gedung

Menurut penelitian sebelumnya mengenai pemilihan metode demolisi bangunan yang ditulis oleh Mardiaman dan Fernando Simarmata (2021). Ada beberapa metode demolisi yaitu:

#### 2.3.1 Metode *Top Down Manual*

Pembongkaran mulai dari lantai atas ke bawah menggunakan peralatan yang dioperasikan manusia. *jack hammer* dan palu godam. Fungsi alat ini untuk menghancurkan elemen-elemen struktur gedung. Tingkat kesulitan pada kegiatan penghancuran gedung bergantung pada kekuatan struktur.

#### 2.3.2 Metode *Top Down Mesin*

Pembongkaran menggunakan alat berat *hydraulic stone crusher*, *hydraulic stone breaker*. Crane digunakan untuk memindahkan *hydraulic stone*

*crusher* atau *hydraulic stone breaker* dari satu lantai ke lantai di bawahnya. Alat pembongkar diletakkan pada bagian paling atas bangunan. Proses pembongkaran membutuhkan alat tambahan yang diletakkan di ujungnya dan dapat diganti-ganti (*excavator attachments*) seperti *crusher*, *pneumatic hammer*, *hydraulic shear*, dan *grapple*.

### **2.3.3 Metode pembongkaran dengan menarik kawat baja.**

Alat dilengkapi dengan perangkat derek mekanik dan kawat baja untuk merobohkan bagian struktur bangunan. Menggunakan *mobile crane* dilengkapi dengan alat clam *shell* untuk meremukkan struktur bangunan.

### **2.3.4 Metode *Blast Off* (Ledakan)**

Metode ini memanfaatkan beban sendiri bangunan untuk meruntuhkan keseluruhan bangunan. Dengan menggunakan bahan peledak ataupun bahan kimia, dilakukan pengurangan kekuatan pada struktur utama bangunan di bagian bawah sehingga menjatuhkan bagian atas bangunan. Penggunaan bahan peledak harus mendapat ijin dan akan menimbulkan getaran dan kebisingan.

## **2.4 Keruntuhan Progresif Gedung Beton Bertulang**

Keruntuhan progresif (*progressive collapse*) adalah jenis keruntuhan yang dipicu oleh kegagalan satu atau lebih elemen struktur, yang berakibat pada keruntuhan beruntun dari elemen-elemen lainnya. Akibatnya, struktur mengalami keruntuhan sebagian besar atau keseluruhan (Yolanda, 2017). Fenomena ini dapat terjadi karena beban abnormal yang diterapkan pada struktur atau karena adanya kegagalan yang tak terduga, seperti akibat dari ledakan atau benturan yang hebat pada bangunan (Fazrian, 2017).

Karakteristik keruntuhan progresif adalah ketidakproporsionalan antara kondisi akhir kehancuran yang jauh lebih besar daripada kondisi awal kegagalannya (Sunamy, 2014). Dalam arti lain, ketika satu atau beberapa elemen struktur gagal, dampaknya dapat menyebar secara beruntun, menyebabkan keruntuhan struktur secara keseluruhan dengan kerusakan yang jauh lebih parah daripada kegagalan awal elemen tersebut. Fenomena ini menyebabkan keruntuhan yang melibatkan sebagian besar atau seluruh struktur, yang berakibat pada tingkat kerusakan yang

signifikan. Oleh karena itu, penting untuk mengenali dan mencegah potensi terjadinya keruntuhan progresif guna memastikan keselamatan dan kestabilan struktur.

Adapun beberapa macam keruntuhan progresif sebagai berikut (Starossek, 2009) :

1. Tipe Keruntuhan *Pancake* adalah keruntuhan struktur yang hasil akhirnya menyerupai *pancake*.
2. Tipe Keruntuhan Domino adalah keruntuhan berantai dimana satu elemen atau komponen struktur gagal dan memengaruhi elemen lainnya.
3. Tipe Keruntuhan Campuran adalah kombinasi keruntuhan antara keruntuhan *pancake* dan keruntuhan domino.
4. Tipe *Zipper* adalah keruntuhan yang terjadi akibat elemen struktur yang mendistribusikan gaya ke bagian lain hilang.
5. Tipe *Instability* adalah keruntuhan yang terjadi akibat elemen struktur yang menerima beban mengalami ketidakstabilan.
6. Tipe Keruntuhan section atau dikenal sebagai *brittle fracture* atau *fast failure*, sering terjadi pada struktur seperti jembatan bertipe *cable-stayed bridge*.

## 2.5 Kriteria Keruntuhan Progresif

Metode perhitungan keruntuhan progresif menggunakan pendekatan "*threat independent*", di mana respon struktur disederhanakan dengan menghilangkan elemen pemikul beban (kolom) secara instan (Elvira, 2011). Dalam analisis statis linier atau nonlinier, digunakan beberapa kombinasi pembebanan, seperti  $2(DL + 0,25LL)$  dengan DL sebagai beban mati dan LL sebagai beban hidup, sesuai dengan pedoman kriteria GSA 2003 (Fazrian, 2017). Selain itu, berdasarkan standar SNI 2847-2013, kombinasi pembebanan yang digunakan adalah  $1,4DL$ ;  $1,2DL+1,6LL$ ;  $0,9DL\pm 1,0E$ ; dan  $1,2DL\pm 1,0LL\pm 1,0E$ . Setiap kombinasi pembebanan tersebut memiliki peranan khusus sesuai dengan kebutuhan analisis dan untuk mengidentifikasi potensi keruntuhan pada struktur dengan lebih akurat.

Untuk memahami apakah terjadi keruntuhan progresif pada elemen struktur, dapat dilakukan perhitungan nilai kapasitas rasio (DCR). Jika nilai DCR mencapai angka 2 atau lebih, itu menunjukkan terjadinya keruntuhan progresif pada elemen struktur tersebut. Selain DCR, terdapat juga indikator lain yang perlu dipertimbangkan, seperti nilai momen lentur (*bending moment ratio*) dan ketahanan batas (*robustness indicator*).

$$RBM = M_{intact}/M_{damaged}$$

RBM = Rasio *Bending Moment*

$M_{intact}$  = Momen saat elemen struktur utuh

$M_{damaged}$  = Momen saat dilakukan penghapusan kolom

$$R = V_{intact}/V_{damaged}$$

R = Rasio Gaya Geser

$V_{intact}$  = Geser saat elemen struktur utuh

$V_{damaged}$  = Geser saat dilakukan penghapusan kolom

$$DCR = Q_{ud}/Q_{ce}$$

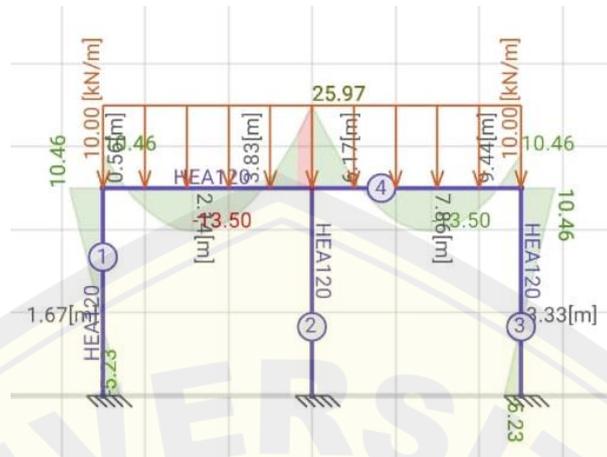
DCR = Nilai Rasio Kapasitas

$Q_{ud}$  = Gaya yang diterima komponen

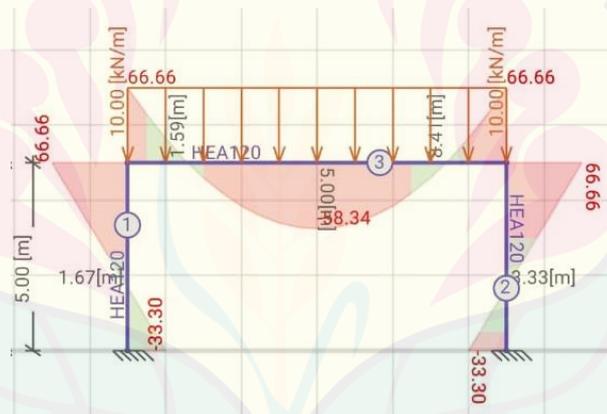
$Q_{ce}$  = Gaya tahanan komponen

Berikut ini contoh hasil Analisis struktur portal sederhana dengan kondisi awal menggunakan balok bentang 10 m yang dipikul oleh 3 kolom. Sepanjang balok mendapat beban merata sebesar 10 kN/m sehingga efek beban pada portal dapat dilihat pada gambar 2.1. Kemudian dicoba dengan menghilangkan kolom (2) atau kolom yang terletak di tengah portal. Momen maksimal yang mula-mula terdapat di  $\frac{1}{4}$  dan  $\frac{3}{4}$  bentang 10 m sebesar -13,50 kNm menjadi terletak pada  $\frac{1}{2}$  bentang dengan mengalami peningkatan momen maksimal menjadi -58,34 kNm. Selain itu gaya geser yang terjadi pada kolom (1) dan (2) juga ikut meningkat hingga 66 kN

menahan beban balok dengan bentang 10m. Hal tersebut memungkinkan terjadinya keruntuhan progresif akibat hilangnya kolom (2).



Gambar 2. 1 Efek Beban Pada Saat Kondisi Struktur Utuh



Gambar 2. 2 Efek Beban Pada Saat Kondisi Struktur Dihilangkan

## 2.6 Software ABAQUS ( Finite Element Analysis Software )

Abaqus adalah sebuah *software* simulasi komputer yang berbasis pada metode elemen hingga (*finite element analysis software*) yang dikembangkan oleh Dassault Systèmes Simulia Corp. *Software* ini digunakan untuk menganalisis dan memodelkan berbagai masalah dalam rekayasa dan simulasi mekanika, seperti analisis tegangan, deformasi, dinamika struktur, analisis termal, dan banyak lagi.

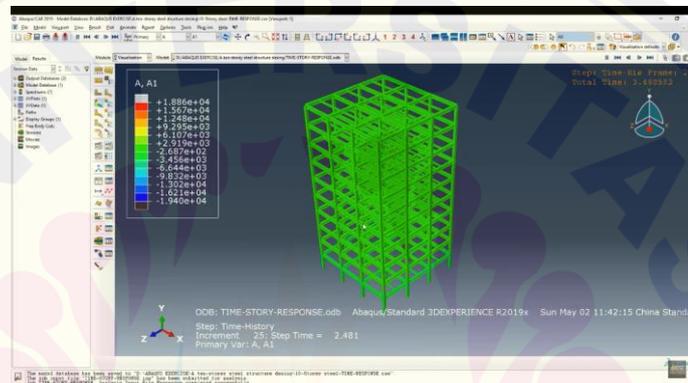
Adapun beberapa fitur dan kemampuan utama dari *software* ini antara lain:

1. Analisis Elemen Hingga: Abaqus menggunakan metode elemen hingga untuk membagi objek menjadi elemen-elemen kecil yang lebih mudah dihitung. Ini memungkinkan simulasi mekanika yang kompleks dan akurat.
2. Material Nonlinear: Abaqus mendukung perilaku material yang nonlinear, termasuk hiperelastisitas, plastisitas, dan krioplasitas. Ini memungkinkan simulasi dalam kondisi beban yang ekstrim dan material yang kompleks.
3. Analisis Struktur: Abaqus dapat melakukan analisis tegangan dan deformasi pada struktur, baik dalam kondisi statis maupun dinamis. Hal ini bermanfaat untuk memahami bagaimana struktur akan berperilaku di bawah berbagai beban.
4. Analisis Termal: Perangkat lunak ini dapat melakukan analisis perpindahan panas dan perubahan suhu pada objek.
5. Analisis Dinamika: Abaqus dapat memodelkan dan menganalisis respons dinamis sistem terhadap beban getaran, kejutan, atau perubahan gaya dalam waktu tertentu.
6. Analisis Komposit: Abaqus memiliki kemampuan untuk menganalisis material komposit.
7. Simulasi Proses Manufaktur: Selain analisis struktur, Abaqus juga dapat digunakan untuk menganalisis proses manufaktur seperti pemadatan logam, pengecoran, dan berbagai proses pembentukan lainnya.
8. Interaksi Kontak: Perangkat lunak ini memungkinkan pemodelan interaksi kontak antara komponen yang berbeda, seperti komponen mekanis yang saling bersentuhan.

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Gambaran Umum

Penelitian ini dilakukan dengan pemodelan gedung pada *software* Abaqus. Setelah memodelkan gedung selanjutnya dilakukan penghilangan kolom dan analisis respon struktur akibat hilangnya kolom tersebut. Abaqus akan memberikan *output* berupa warna yang dapat dijadikan sebagai tolak ukur dari hasil analisis. Tampilan Abaqus dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3. 1 Tampilan ABAQUS

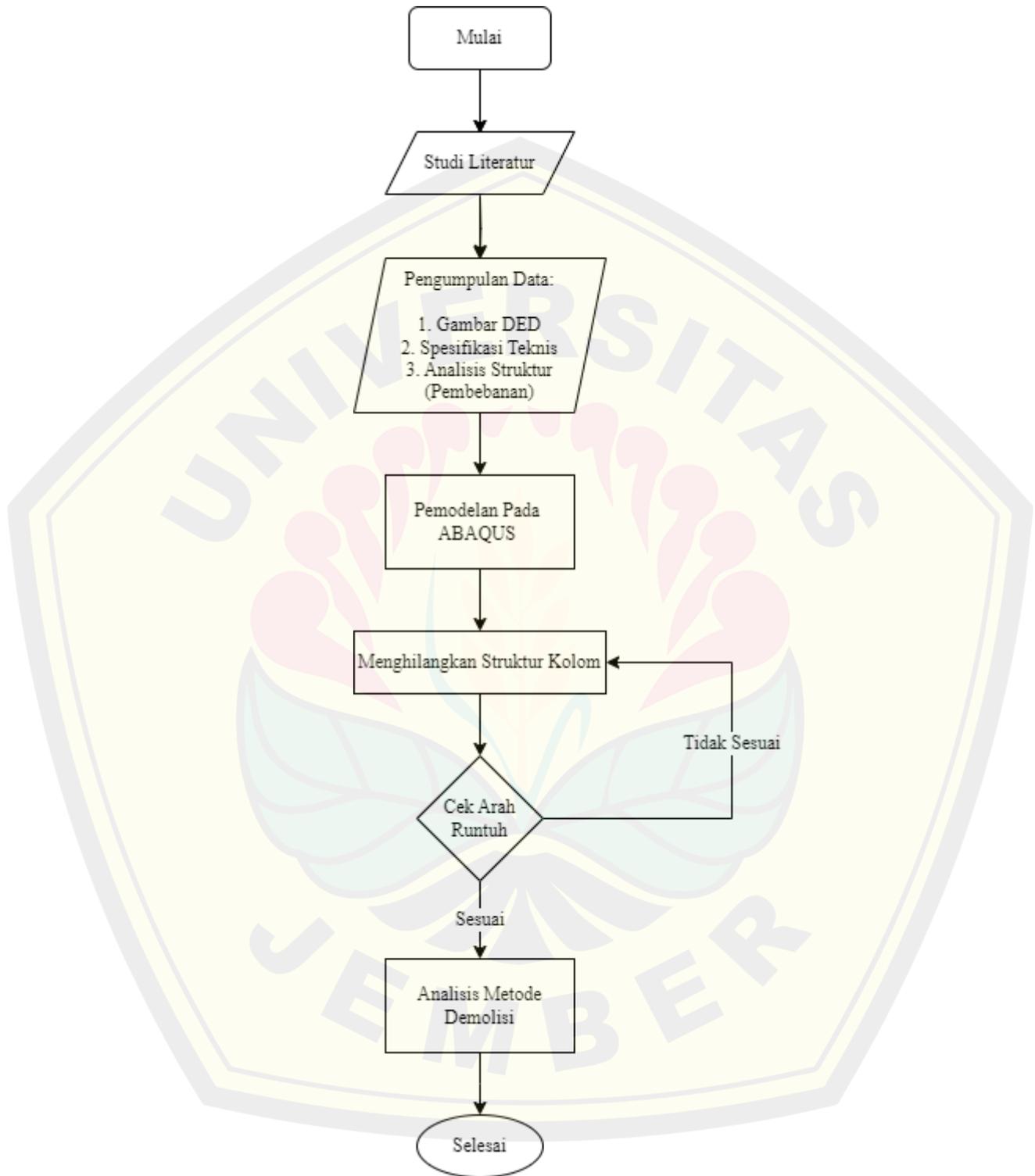
#### 3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Gedung Fakultas di UHAMKA yang akan digunakan sebagai objek pemodelan dalam penelitian ini berlokasi di Jakarta Selatan. Lokasi dapat dilihat dari hasil pengambilan *google maps* seperti pada Gambar 3.2



Gambar 3. 2 Lokasi Gedung Tinjau

### 3.3 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 3 *Flowchart* Penelitian

### 3.4 Tahapan Penelitian Gedung dengan ABAQUS

#### 1. Pengumpulan Data Penelitian:

Data yang diperlukan dalam penelitian ini terdiri dari *Detailed Engineering Design*, Spesifikasi Teknis, dan Analisis Struktur/Pembebanan Gedung. Data tersebut menjadi dasar dari pemodelan pada ABAQUS.

#### 2. Pemodelan Gedung Pada ABAQUS:

Pada tahap awal pemodelan dilakukan penyesuaian pengaturan pada ABAQUS seperti satuan dan skala yang digunakan. Identifikasi material dan mutu struktur yang menjadi *input* data pada ABAQUS disesuaikan dengan spesifikasi teknis bangunan gedung.

#### 3. Analisa Struktur Pada ABAQUS:

Memasukan pembebanan pada struktur bangunan gedung. Data yang digunakan adalah data beban mati. Kemudian lakukan *run/analys* pada ABAQUS.

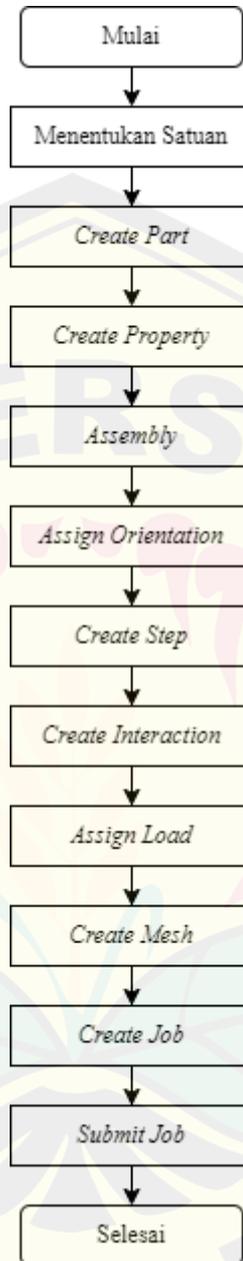
#### 4. Pemilihan Struktur Kolom yang Akan Dihilangkan

Pada hasil analisis struktur didapatkan gaya yang bekerja atau gaya yang diterima pada setiap elemen struktur bangunan. Struktur kolom yang memiliki gaya aksial paling besar berarti menerima distribusi beban yang besar juga dari struktur lain. Jika kolom tersebut dihilangkan maka beban tidak akan terdistribusi dengan baik dan akan menyebabkan keruntuhan progresif. Oleh karena itu pemilihan kolom yang akan dihilangkan berdasarkan kolom yang menerima gaya aksial terbesar.

#### 5. Analisis Efek Beban Struktur:

Hasil analisis struktur setelah kolom dihilangkan akan menunjukkan indikator berupa warna dari setiap elemen struktur gedung. Warna struktur bangunan sebelum kolom dihilangkan akan berubah menjadi lebih merah setelah kolom dihilangkan. Hal ini menunjukkan terjadi perubahan beban yang melebihi kapasitas beban dari struktur tersebut.

### 3.5 Diagram Alir Pemodelan Abaqus



Gambar 3. 4 *Flowchart* Pemodelan Pada ABAQUS

### 3.6 Tahapan Pemodelan Gedung dengan ABAQUS

#### 1. *Create Part*

Membuat komponen struktur balok dan kolom dengan pengaturan *3D Deformable*. Gambarkan dengan ukuran yang tepat dan beri nama sesuai type struktur.

#### 2. *Create Property*

- A. Edit *Material*: *Input* data sifat mekanis beton dan baja.
- B. Edit *Profile*: *Input* bentuk serta dimensi penampang.
- C. Edit *Section*: Definisikan *section* dengan memasukan material dan *profile* yang sudah dibuat sebelumnya.
- D. Assign *Section*: *Assign Section* pada *geometry* yang sudah dibuat pada proses *Create Part*

#### 3. *Assembly*

Gabungkan semua komponen yang sudah memiliki bentuk penampang dan materialnya masing-masing. Sesuaikan bentuk gedung dengan denah yang ada. Setelah semua *geometry* digabungkan menjadi satu model gedung, *merge* model tersebut sehingga model tersebut menjadi *geometry* baru.

#### 4. *Assign Orientation*

Setelah model gedung terdefiniskan sebagai *geometry*, Langkah selanjutnya adalah kembali ke bagian *property* kemudian *Assign Orientation* agar posisi penampang sesuai dengan orientasi awal saat penampang tersebut dibuat.

#### 5. *Create Step*

Pada pengaturan Step gunakan opsi *Dynamic Explicit* untuk proses analisis.

#### 6. *Create Interaction*

Pada pengaturan Interaction gunakan opsi *Tie* dengan pengaturan *default* Abaqus.

#### 7. *Assign Load*

- A. Create Load: Gunakan pengaturan *Mechanical* dan *Line Load* untuk memasukan beban distribusi plat ke balok. Isi pada kolom *component*

2 dan menambahkan tanda minus (-) agar arah beban menuju pusat gravitasi.

B. *Create Boundary Condition*: Gunakan pengaturan *Mechanical* dan *Displacement* untuk membuat tumpuan *fixed* pada pondasi.

#### 8. *Create Mesh*

Pada pengaturan *mesh* gunakan *default* Abaqus. Abaqus akan merekomendasikan ukuran *mesh* sesuai dengan ukuran seluruh model sehingga proses analisis tidak terlalu berat.

#### 9. *Create Job*

Pada pengaturan *job* gunakan *default* Abaqus. Setelah itu tekan *submit* untuk memproses analisis struktur.

#### 10. *Visualization*

Pada pengaturan *visualization* aktifkan *render beam section* agar dapat menampilkan visual secara 3D. Kemudian pilih opsi *preassure* untuk menentukan titik mana yang mengalami beban aksial paling besar. Hasil ini dapat digunakan sebagai acuan pemilihan kolom yang akan di hilangkan.

Proses selanjutnya yaitu penghilangan kolom. Langkah-langkah yang dilakukan sama seperti tahapan pemodelan namun beberapa kolom yang akan ditinjau dihapus dari gambar/model. Pada hasil akhir akan didapatkan perbedaan nilai deformasi dan *displacement* pada struktur gedung yang di analisis.

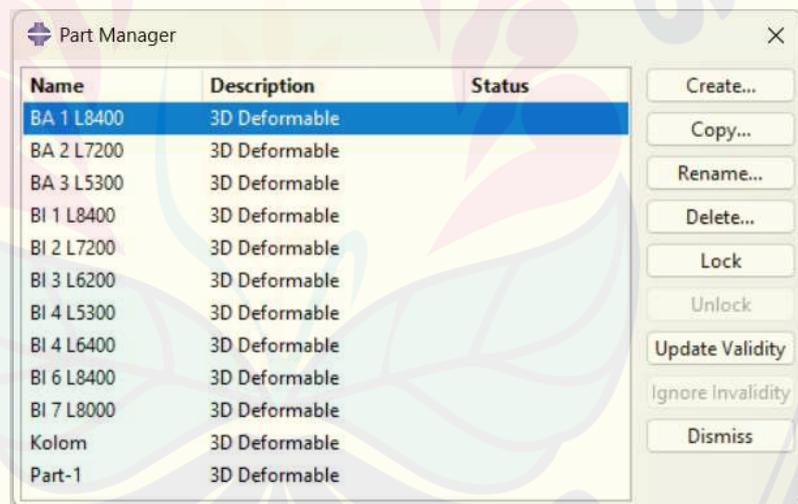
## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Pemodelan Bangunan Gedung Pada Abaqus

Dalam *software* Abaqus ada beberapa module seperti *part*, *property*, *assembly*, *interaction*, *load*, *step*, *mesh*, *optimization*, *job*, *visualitation*, *sketch*. Berikut ini Langkah-langkah dalam pemodelan Abaqus

#### 4.1.1 Module Part

Modul *part* merupakan salah satu elemen dalam Abaqus yang dipergunakan untuk menggambarkan objek yang akan dianalisis. Di dalam modul *part*, terdapat area *toolbox* yang memuat beberapa alat yang dapat digunakan untuk membuat objek baru atau memodifikasi objek yang telah dibuat. Hasil dari bagian atau *geometry* yang sudah dibuat akan tercantum dan dapat diubah pada *tool Part Manager* seperti pada Gambar 4.1



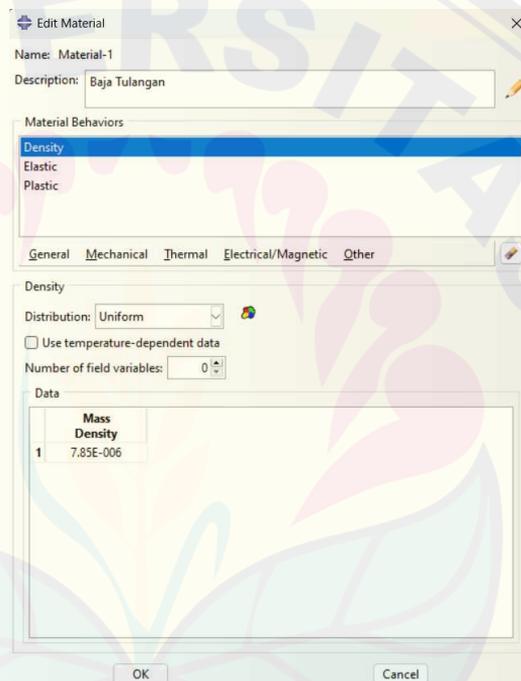
Gambar 4. 1 Rekapitulasi *Geometry* Elemen Struktur

#### 4.1.2 Module Property

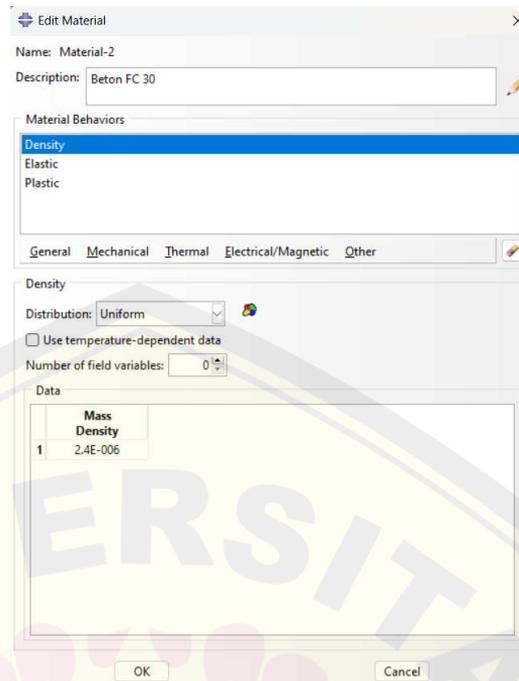
Modul *property* memiliki peran utama dalam memasukkan karakteristik mekanis material atau bahan, termasuk jenis material dan berbagai spesifikasi teknis dari material yang hendak dianalisis.

### A. Create Material

Nilai-nilai sifat mekanis baja tulangan dapat dimasukkan pada *tool Edit Material*. Baja memiliki massa jenis atau *density* sebesar 7850 kg/m<sup>3</sup> atau 7,85E-6 kg/mm<sup>3</sup>. Nilai tersebut dapat diinput pada kolom *Mass Density* seperti pada Gambar 4.2. Sedangkan beton memiliki massa jenis atau *density* sebesar 2400 kg/m<sup>3</sup> atau 2,4E-6 kg/mm<sup>3</sup>. Nilai tersebut dapat diinput pada kolom *Mass Density* seperti pada Gambar 4.3.



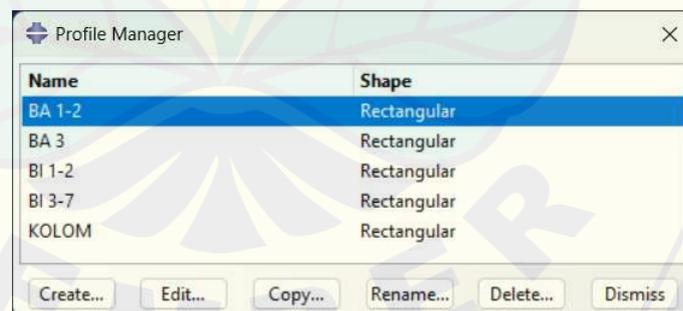
Gambar 4. 2 Nilai Sifat Mekanis Baja Tulangan



Gambar 4. 3 Nilai Sifat Mekanis Beton FC 30

### B. Create Profile

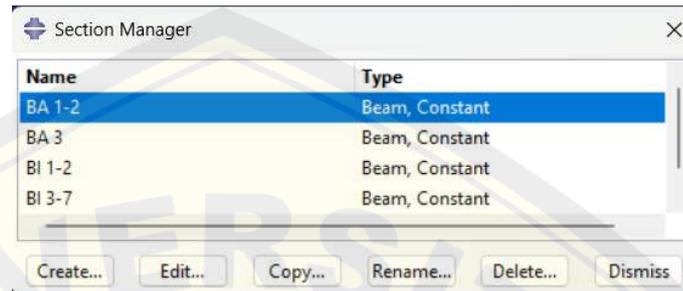
Hasil dari bentuk dan ukuran penampang yang sudah dibuat tercantum dan dapat diubah pada *tool Profile Manager* seperti pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Rekapitulasi Profil Penampang

### C. Create Section

Penampang yang sudah dibuat kemudian disesuaikan dengan material. Hasilnya akan tercantum dan dapat diubah pada *tool Section Manager* seperti pada Gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Rekapitulasi *Section*

### D. Assign Section

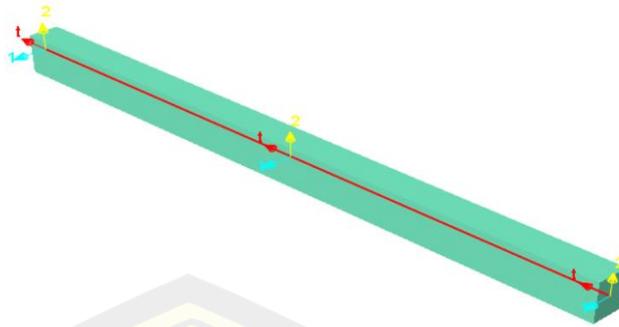
*Assign Section* pada *geometry* berfungsi untuk memberi bentuk penampang. Jika *geometry* sudah memiliki bentuk penampang, maka dapat dilihat pada *tool Section Assignment Manager* seperti pada Gambar 4.6..



Gambar 4. 6 *Assign Section* Pada *Part*

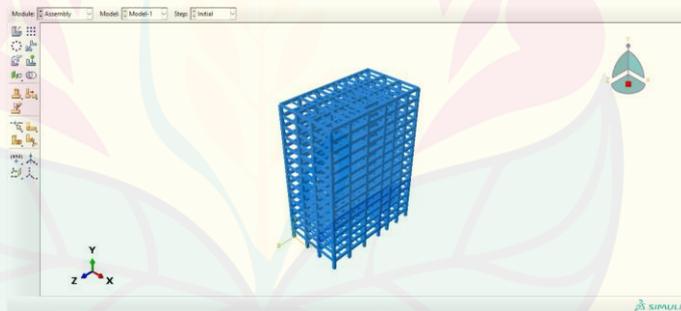
### E. Assign Orientation

*Assign Orientation* pada *geometry* berfungsi untuk memberi arah orientasi agar nilai  $b$  (lebar) dan  $h$  (tinggi) dari penampang tidak tertukar. Jika *geometry* sudah memiliki orientasi, maka dapat dilihat pada Gambar 4.7.

Gambar 4. 7 *Assign Orientation Pada Part*

#### 4.1.3 *Assembly*

Modul *Assembly* dalam Abaqus berperan dalam proses merakit atau menggabungkan objek-objek individual yang memiliki sistem koordinat masing-masing. Objek-objek tersebut kemudian digabungkan dalam suatu koordinat global, dan posisi relatif antara satu objek dengan objek lainnya diatur sedemikian rupa sehingga membentuk satu model yang saling terhubung seperti pada Gambar 4.8.

Gambar 4. 8 Hasil *Assembly Part*

#### 4.1.4 *Step*

Fungsi dari modul *step* dalam Abaqus adalah untuk menetapkan jenis analisis yang akan dilakukan serta mengatur besar beban yang diberikan selama proses running, sesuai dengan penelitian yang dilakukan. Dalam penelitian ini, jenis analisis yang digunakan adalah *Dynamic, Explicit*.

#### 4.1.5 Interaction

Modul *interaction* dalam Abaqus berperan dalam menentukan bagian dari objek yang akan mengalami kontak dengan material atau objek lain yang telah didefinisikan. Dalam penelitian ini, jenis *interaction* yang digunakan adalah *default setting*.

#### 4.1.6 Load

Modul *Load* dalam Abaqus berperan dalam menetapkan jenis pembebanan yang akan diberikan dan memasukkan besaran beban atau gaya yang akan diterapkan. Selain itu, dalam modul *Load* terdapat alat *Create Boundary Condition* yang dapat digunakan untuk menentukan jenis tumpuan yang akan diterapkan. Berikut ini hasil pembebanan plat yang didistribusikan pada balok dapat dilihat pada Tabel 4.1.

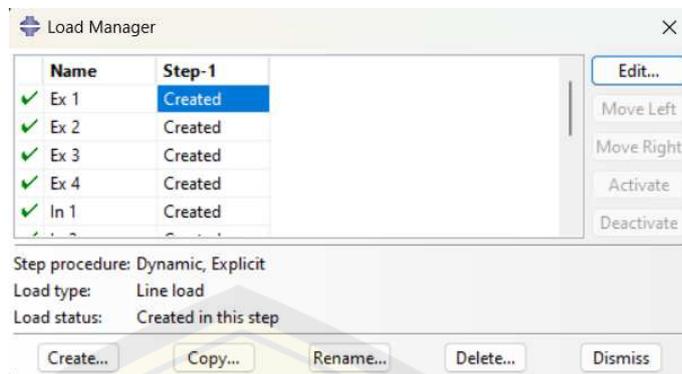
Tabel 4. 1 Distribusi Beban Balok

No	Grid/As	Kode Detail	Sets Load	Distributed Load Normal	Distributed Load Demolisi
1	1 / A - B	BI - 1	Ex 1	2454	1487
2	1 / B - C	BI - 2	Ex 1	2454	1487
3	1 / C - D	BI - 1	Ex 1	2454	1487
4	/ A - B	BA - 1	In 1	3979	2045
5	/ B - C	BA - 2	In 1	3979	2045
6	/ C - D	BA - 1	In 1	3979	2045
7	1' / A - B	BI - 1	In 1	3979	2045
8	1' / B - C	BI - 2	In 1	3979	2045
9	1' / C - D	BI - 1	In 1	3979	2045
10	/ A - B	BA - 1	In 1	3979	2045
11	/ B - C	BA - 2	In 1	3979	2045
12	/ C - D	BA - 1	In 1	3979	2045
13	2 / A - B	BI - 1	In 2	3690	1896
14	2 / B - C	BI - 2	In 2	3690	1896
15	2 / C - D	BI - 1	In 2	3690	1896
16	/ A - B	BA - 1	In 2	3690	1896
17	/ B - C	BA - 2	In 2	3690	1896

Tabel 4.1 Distribusi Beban Balok (Lanjutan)

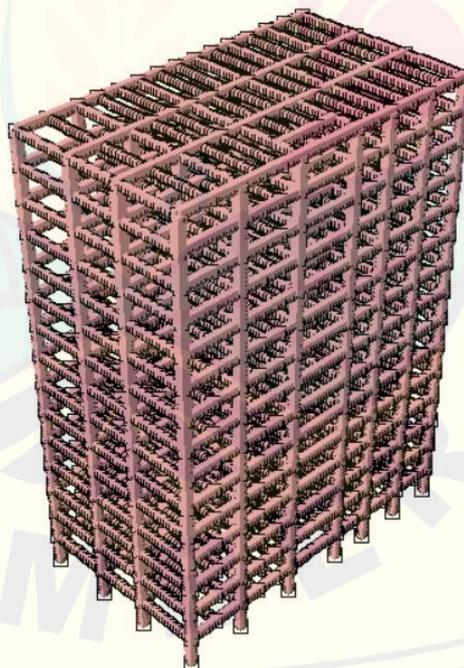
No	Grid/As	Kode Detail	Sets Load	<i>Distributed Load Normal</i>	<i>Distributed Load Demolisi</i>
18	/ C - D	BA - 1	In 2	3690	1896
19	3 / A - B	BI - 1	In 3	2744	1410
20	3 / B - C	BI - 2	In 3	2744	1410
21	3 / C - D	BI - 4	In 3	2744	1410
22	/ A - B	BA - 1	In 4	1797	923
23	/ B - C	BA - 2	In 4	1797	923
24	/ C - D	BA - 3	In 4	1797	923
25	/ A - B	BA - 1	In 4	1797	923
26	/ B - C	BA - 2	In 4	1797	923
27	/ C - D	BA - 3	In 4	1797	923
28	4 / A - B	BI - 1	In 4	1797	923
29	4 / B - C	BI - 2	In 4	1797	923
30	4 / C - D	BI - 4	In 4	1797	923
31	/ A - B	BA - 1	In 4	1797	923
32	/ B - C	BA - 2	In 4	1797	923
33	/ C - D	BA - 1	In 4	1797	923
34	/ A - B	BA - 1	In 4	1797	923
35	/ B - C	BA - 2	In 4	1797	923
36	/ C - D	BA - 1	In 4	1797	923
37	5 / A - B	BI - 1	In 5	2182	1121
38	5 / B - C	BI - 2	In 5	2182	1121
39	5 / C - D	BI - 1	In 5	2182	1121
40	/ A - B	BA - 1	In 6	2567	1319
41	/ B - C	BA - 2	In 6	2567	1319
42	/ C - D	BA - 1	In 6	2567	1319
43	6 / A - B	BI - 1	Ex 2	1584	960
44	6 / B - C	BI - 2	Ex 2	1584	960
45	6 / C - D	BI - 1	Ex 2	1584	960

Dari hasil perhitungan distribusi beban balok, input kedalam pembebanan pada Abaqus. Tipe beban yang digunakan adalah *Line Load* atau beban merata. Beban-beban yang sudah diinput tercantum dan dapat diubah pada *tool Load Manager* seperti pada Gambar 4.9.

Gambar 4. 9 *Input* Beban Merata Balok

#### 4.1.7 *Mesh*

Modul *mesh* dalam Abaqus berfungsi untuk melakukan diskretisasi pada objek, yaitu membagi geometri objek yang telah dibuat menjadi elemen dan nodal. Selain itu, dalam modul ini dapat menentukan jenis *mesh* dan mengontrol ukuran *mesh* yang akan diterapkan pada objek. Model yang telah memiliki *mesh* dapat dilihat pada Gambar 4.10..

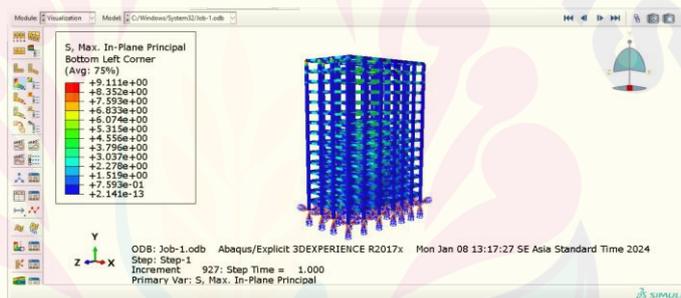
Gambar 4. 10 Hasil *Mesh* Pada Model

#### 4.1.8 Job

Modul *job* dalam Abaqus berfungsi untuk menjalankan proses pada model yang telah dibuat. Setelah objek dan sifat mekanisnya dimasukkan, modul *job* akan melakukan proses penyelesaian secara numerik. Dalam penelitian ini pengaturan yang digunakan adalah *default setting*.

#### 4.1.9 Visualization

Modul *visualization* dalam Abaqus berperan dalam menampilkan bentuk dari model setelah menjalankan proses. Selain itu, pada modul *visualization* digunakan untuk mengambil *output* atau hasil dari proses *running* yang telah dilakukan. Hasil analisis yang terdapat pada modul *visualization* dapat dilihat pada Gambar 4.11.

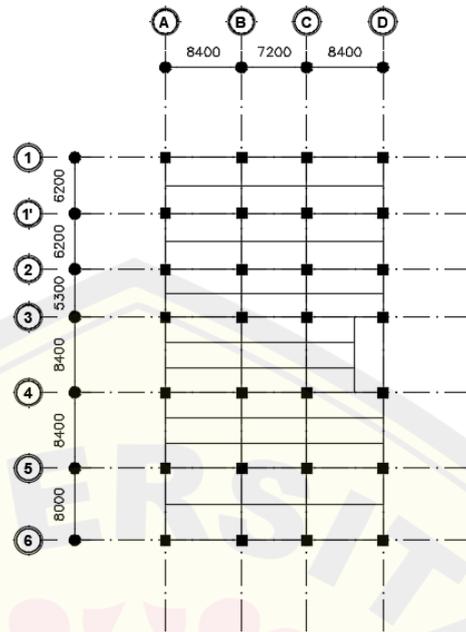


Gambar 4. 11 Hasil Visualisasi Analisis Abaqus

## 4.2 Proses Penghilangan Elemen Struktur

### 4.2.1 Pemilihan Kolom yang Akan Dihilangkan

Pada penelitian ini pemilihan kolom dilakukan dengan melihat hasil analisis struktur pada kondisi normal. Kolom yang menerima gaya aksial paling besar menjadi acuan untuk proses penghilangan kolom. Denah gedung fakultas UHAMKA dapat dilihat pada Gambar 4.12 dan hasil analisis model dalam keadaan normal (tanpa kolom yang dihilangkan) dapat dilihat pada Gambar 4.13.



Gambar 4. 12 Denah Struktur Gedung Fakultas UHAMKA

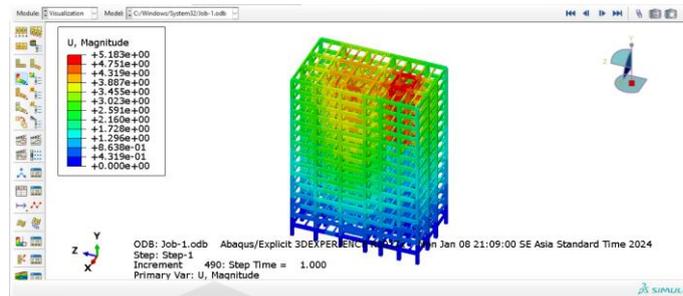


Gambar 4. 13 Hasil Analisis Gaya Aksial Kolom

#### 4.2.2 Hasil *Running* Penghilangan Kolom Lantai 10

##### A. Penghilangan 4 Kolom B-1', C-1', B-2, C-2

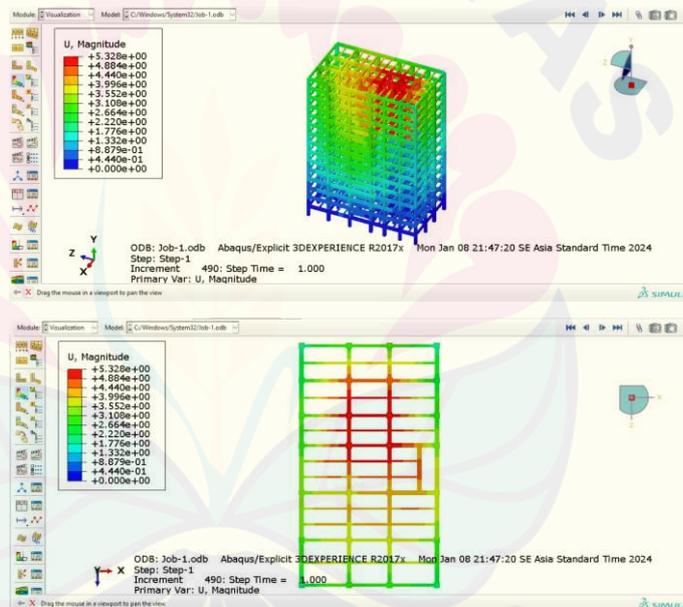
Kolom yang dihilangkan berdasarkan Gambar 4.14 berada di lantai 10. Hasil pada Abaqus menunjukkan warna merah pada kolom yang berada di atasnya. Hal tersebut menunjukkan bahwa terjadi *displacement* yang besar.



Gambar 4. 14 Hasil Penghilangan 4 Kolom

### B. Penghilangan 6 Kolom B-1', C-1', B-2, C-2, B-3, C-3

Hasil pada Abaqus menunjukkan warna merah pada kolom yang berada di atasnya. Hal tersebut menunjukkan bahwa terjadi *displacement* yang besar.

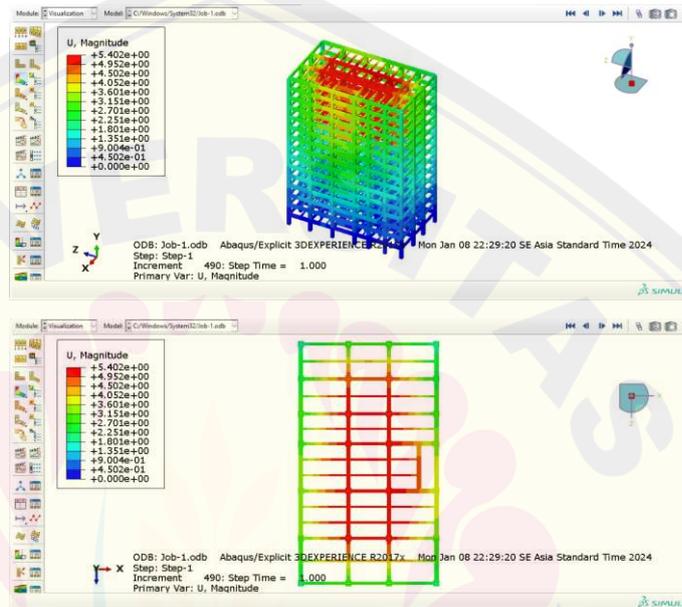


Gambar 4. 15 Hasil Penghilangan 6 Kolom

Pada Gambar 4.15 balok disekitar kolom yang dihilangkan memiliki warna kuning hingga merah. Pada struktur yang berubah warna menunjukkan terjadinya *displacement* akibat hilangnya kolom sebagai tumpuan sehingga struktur lainnya tertarik menuju arah runtuhnya.

C. Penghilangan 10 Kolom B-1', C-1', B-2, C-2, B-3, C-3, B-4, C-4, B-5, C-5

Hasil pada Abaqus menunjukkan warna merah pada kolom yang berada di atasnya. Hal tersebut menunjukkan bahwa terjadi *displacement* yang besar. Struktur yang mengalami deformasi akibat beban berlebih dapat dilihat pada Gambar 4.16.

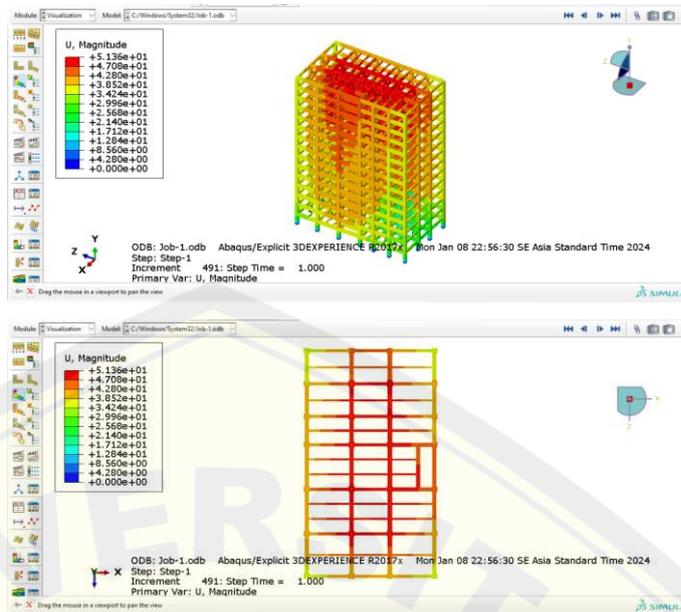


Gambar 4. 16 Hasil Penghilangan 10 Kolom

#### 4.2.3 Hasil *Running* Penghilangan Kolom Lantai 5

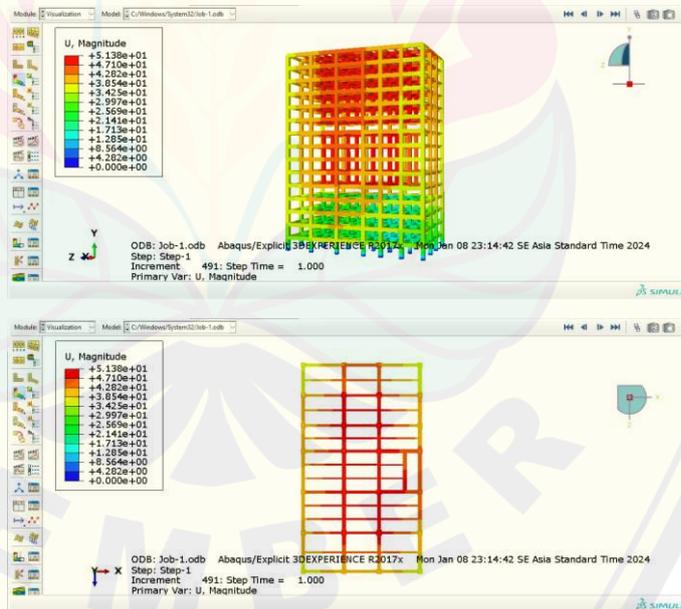
A. Penghilangan 4 Kolom B-1', C-1', B-2, C-2

Berikut ini hasil dari penghilangan kolom lantai 5 dengan kondisi pada lantai 10 sudah mengalami penghilangan 10 kolom. Area yang berwarna merah semakin menyebar. Hal ini disebabkan terjadinya *displacement* pada struktur terutama kolom sehingga struktur yang lain ikut terkena dampaknya. Struktur yang mengalami deformasi akibat beban berlebih dapat dilihat pada Gambar 4.17.



Gambar 4. 17 Hasil Penghilangan 4 Kolom

### B. Penghilangan 10 Kolom B-1', C-1', B-2, C-2, B-3, C-3, B-4, C-4, B-5, C-5

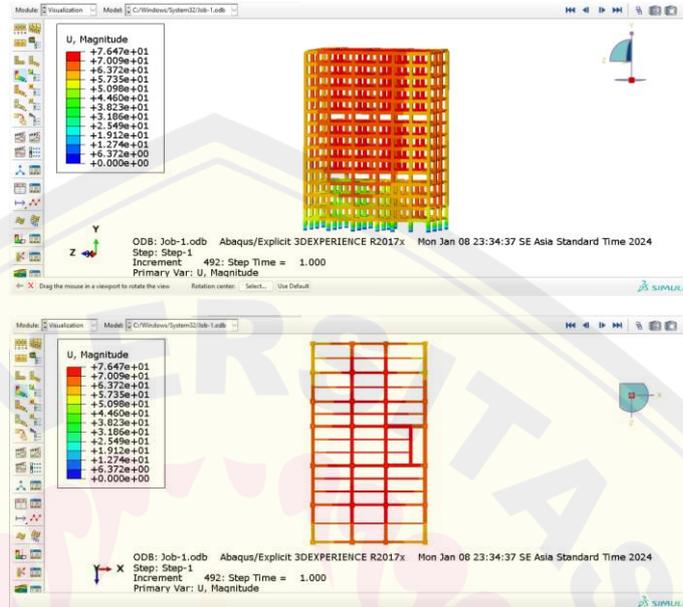


Gambar 4. 18 Hasil Penghilangan 10 Kolom

Pada gambar 4.18 menunjukkan struktur yang berwarna merah semakin banyak. Hal tersebut dipengaruhi oleh *displacement* akibat penghilangan 10 kolom.

#### 4.2.4 Hasil *Running* Penghilangan Kolom Lantai Dasar

##### A. Penghilangan 4 Kolom B-1', C-1', B-2, C-2

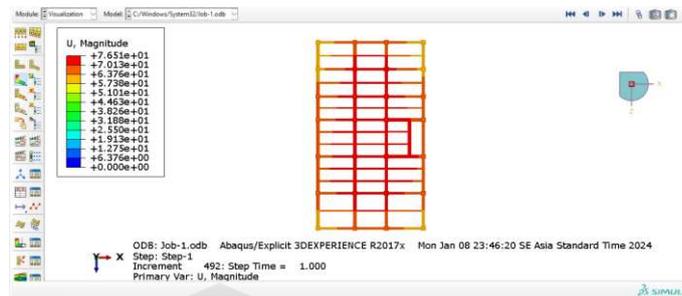


Gambar 4. 19 Hasil Penghilangan 4 Kolom

Pada gambar 4.19 menunjukkan bahwa kondisi struktur pada lantai 5 keatas sudah mengalami *displacement* yang sangat besar. Hal tersebut diakibatkan karena tidak ada penumpu yaitu 10 kolom yang dihilangkan pada lantai 5 dan 10. Sehingga beban tidak dapat tersalurkan.

##### B. Penghilangan 10 Kolom B-1', C-1', B-2, C-2, B-3, C-3, B-4, C-4, B-5, C-5





Gambar 4. 20 Hasil Penghilangan 4 Kolom

Pada gambar 4.20 struktur bangunan berwarna merah terutama pada bagian dalam (interior). Hal tersebut dikarenakan tidak tersalurnya beban struktur akibat penghilangan 10 kolom pada lantai 1, 5, dan 10. Dengan demikian terjadi *displacement* yang sangat besar. Pada Struktur luar (eksterior) warna mulai berubah dari kuning menuju merah. Struktur tersebut terkena dampak dari hilangnya kolom yang berada di tengah sehingga kolom eksterior tertarik menuju kolom tengah yang dihilangkan.

### 4.3 Hasil Analisis Penghilangan Kolom

Pada hasil *running* 1 dengan menghilangkan 4 kolom B-1', C-1', B-2, C-2 area yang berwarna merah hanya ada disekitar area 4 kolom tersebut. Sedangkan pada area *grid* 4 dan 5 tidak menunjukkan perubahan warna yang signifikan. Hal ini disebabkan karena struktur pada daerah tersebut masih mampu menahan beban akibat hilangnya 4 kolom. Hasil *running* 2 menghilangkan 6 kolom B-1', C-1', B-2, C-2, B-3, C-3. Area yang berwarna merah sudah mulai menyebar pada *grid* 4. Namun pada *grid* 5 dan 6 tidak menunjukkan perubahan warna yang signifikan. Hasil *running* 3 dengan menghilangkan 10 kolom B-1', C-1', B-2, C-2, B-3, C-3, B-4, C-4, B-5, C-5. Penghilangan 10 kolom interior menyebabkan struktur bangunan pada lantai yang ditinjau mengalami *displacement* yang sangat besar.

Pemodelan gedung 15 lantai dianggap tipikal pada setiap lantai, sehingga proses penghilangan kolom menggunakan titik yang sama. Penghilangan 10 kolom interior pola keruntuhan setiap lantai sama yaitu menuju ke arah kolom yang

dihilangkan karena truktur disekitar kolom yang dhilangkan tertarik menuju kolom tersebut.



## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Pada hasil *running* model gedung dalam kondisi normal dengan memasukan kombinasi beban plat yang didistribusikan ke balok didapat hasil kolom B-1', C-1', B-2, C-2 memiliki beban terbesar pada struktur gedung fakultas UHAMKA sehingga kolom pada AS tersebut dapat dijadikan sebagai acuan dalam proses penghilangan kolom.

Titik penghilangan kolom ada pada kolom B-1', C-1', B-2, C-2, B-3, C-3, B-4, C-4, B-5, C-5, dan didapatkan hasil di area sekitar kolom yang dihilangkan berwarna merah. Hal tersebut dapat terjadi karena indikator warna merah menunjukkan adanya *Displacement* atau perpindahan posisi struktur akibat deformasi yang besar sehingga dapat disimpulkan arah keruntuhan menuju ke arah kolom tersebut.

### 5.2 Saran

Pada penelitian ini jenis struktur yang digunakan adalah beton bertulang, sehingga pada penelitian selanjutnya diharapkan terdapat variasi terkait jenis struktur yang digunakan. Bangunan dengan material beton *precast*, baja, kayu, dan material lainnya dapat digunakan sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya. Selain itu penelitian selanjutnya juga diharapkan terdapat variasi dalam metode pemilihan struktur yang dihilangkan. Pemilihan struktur dapat ditinjau dengan menentukan titik berat atau pusat beban pada denah yang digunakan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adi, W. &. (2016). Model Alat Bantu Pengambilan Keputusan Metode Demolisi Pada Proyek Konstruksi. *Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi XXV*, 1-8.
- Ahmed, A. (2014). Modelling of a Reinforced Concrete Beam Subjected to Impact Vibration Using ABAQUS. *International Journal of Civil And Structural Engineering*, 227-236.
- Cheng, J. C. (2013). A BIM-based system for demolition and renovation waste estimation and planning. *Waste Management*, 1539-1551.
- Chunlu Liu, B. L. (2012). Estimating Demolition Costs for Single Residential Buildings. *The Australian Journal of Construction Economics and Building*, 33-42.
- Elvira. (2011). *Simulasi Numerik Penomona Progressive Collapse Pada Pada Struktur Beton Bertulang Akibat Beban Ledakan Bom*.
- Erdogan, S. (2017). An Analysis of Occupational Accidents in Demolition Work. *Civil Engineering and Architecture*, 37-51.
- Fazrian, D. (2017). KERUNTUHAN PROGRESIF GEDUNG BERATURAN SISTEM GANDA. *Jurnal Teknik Sipil*, 161-169.
- Labombang. (2008). *Manajemen Pemeliharaan Fasilitas Dalam Pengelolaan Gedung*. Mektek.
- Mardiaman, F. S. (2021). Pemilihan Metode Pembongkaran Gedung Bertingkat Menggunakan Analytical Hierarchy Process. *e-Journal CENTECH 2020*, 108-117.
- Rathi, K. (2014). Demolition of Buildings An Overview. *International Journal of Advance Engineering and Research Development*, 1-8.
- Singh, B. &. (2015). Sustainable Handling of Construction and Demolition (C&D) Waste. *International Journal of Sustainable Energy and Environmental Research*, 22-48.
- Starossek. (2009). *Progressive Collapse of Structures*. Thomas Telford Publishing.
- Sunamy. (2014). Progressive Collapse Analysis Of A Reinforced Concrete Rangka Building. 93-98.
- V Gokul, T. J. (2016). A Study on Adverse Effects in the Existing Demolition Technologies and Deriving Modified Technologies to Maximize the Reuse

of Demolished Building Materials. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*.

Widyawan, F. (2021). *Penawaran Proyek Gedung Laboratorium Terpadu*. Surabaya.

Yolanda, A. (2017). KERUNTUHAN PROGRESIF GEDUNG STRUKTUR BERATURAN DAN TIDAK BERATURAN . *Jom FTEKNIK*, 1-13.

Zahir, S. (2015). *Approaches and Associated Costs of Building Demolition and Deconstruction*. Michigan State University.

