

Asesmen dan Analisa Gedung Eksisting (Studi Kasus Bangunan Johar *Shopping Center* Semarang)

¹Eka Prasetya Aji Yahya, ²Faizal Adhitama Bhanu Pradipta*, Antonius,
³PrabowoSetiyawan

^{1,2,3}Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung Semarang

*Corresponding Author:
adhitama.bhanu@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini membahas penilaian eksisting struktur Gedung Johar Shopping Center dilakukan berdasarkan kebutuhan yang tidak hanya untuk penilaian Sertifikat Laik Fungsi (SLF), namun untuk jangka panjang yang berguna untuk mengetahui tingkat kelayakan struktur eksisting karena mengingat akan diadakannya pengalihfungsian Gedung Johar Shopping Center menjadi Pasar Johar. Dengan berdirinya Gedung Johar Shopping Center yang sudah berdiri sejak tahun 1990 – an tentunya untuk mengetahui bahwa bangunan ini mampu menopang beban dari pengalihfungsian yang notabene memiliki beban yang berbeda dari sebelumnya, oleh karena itu diperlukannya pengkajian ulang daripada gedung tersebut untuk mengetahui apakah diperlukannya perubahan struktur atau tidaknya menggunakan software atau aplikasi ETABS V.18.1.1. Diperlukannya kembali proses analisis struktur untuk mengkaji hasil eksisting menggunakan data – data pengujian dan juga untuk mengetahui kondisi elemen struktur mengenai kondisi apakah mengalami perubahan bentuk atau deformasi yang dapat mengurangi tingkat keamanan struktur. Beberapa metode dilakukan dalam penelitian antara lain Hammer Test untuk mengetahui mutu atau kualitas selimut beton, Rebar Test untuk mengetahui tebal selimut dan jarak ataupun jenis tulangan, dan menggunakan Waterpass untuk mengukur kondisi ketegakan gedung tersebut. Selain penggunaan alat uji pada proses analisis struktur dilakukan juga pengamatan visual Adapun juga pengumpulan data – data yang didapat data data sendiri di vagi menjadi dua yaitu data primer dan sekunder. Setelah pengumpulan data maka dilakukan analisa struktur, setelah melakukan beberapa tahapan pada analisa struktur maka tahapan berikutnya melakukan pengujian pushover pada struktur. Setelah melakukan analisis terhadap struktur maka didapatkan kesimpulan bahwa Gedung Johar Shopping Center memiliki hasil analisa yang aman sehingga bangunan ini masih layak untuk digunakan namun masih diperlukan beberapa perkuatan struktur untuk meningkatkan kualitas kekuatan bangunan.

Kata kunci: gedung, struktur, kelayakan, eksisting, analisis

Abstract

This study discusses the assessment of the existing structure of the Johar Shopping Center Building based on the need not only for the assessment of the Certificate of Feasibility of Function (SLF), but for the long term which is useful for determining the feasibility level of the existing structure because considering that there will be a conversion of the Johar Shopping Center Building into Johar Market. . With the establishment of the Johar Shopping Center Building which has been established since the 1990s, of course, to know that this building is able to support the burden of the conversion which incidentally has a different load than before, therefore a re-examination of the building is needed to find out whether a structural change is needed or not, whether or not to use the ETABS V.18.1.1 software or application. It is necessary to return to the structural analysis process to review the existing results using test data and also to determine the condition of the structural elements regarding the condition of whether they experience changes in shape or deformation that can reduce the level of structure security. Several methods were used in the research, including Hammer Test to determine the quality or quality of the concrete cover, Rebar Test to determine the thickness of the blanket and the distance or type of reinforcement, and using a Waterpass to measure the condition of the building's uprightness. In addition to the use of test equipment in the structural analysis process, visual observations were also carried out. As for collecting data, the data obtained from the data itself was divided into two, namely primary and secondary data. After collecting data, structural analysis is carried out, after carrying out several stages of structural analysis, the next step is to do pushover testing on the structure. After analyzing the structure, it can be concluded that the Johar Shopping Center Building has a safe analysis result so that this building is still feasible to use but still needs some structural reinforcement to improve the quality of the building's strength

Keywords: *building, structure, feasibility, existing, analysis*

PENDAHULUAN

Gedung Matahari Johar atau yang dulu bernama Johar *Shopping Center* (JSC) berlokasi di jalan K.H Agus Salim No.2, Kauman, Kec. Semarang Tengah, Kota Semarang, Jawa Tengah. Gedung ini dibangun sekitar tahun 1990 – an. Seiring berjalannya waktu gedung ini mengalami penurunan fungsi material dan beberapa kerusakan struktur. Adanya kerusakan struktur perlu kiranya untuk dilakukan kajian terhadap kelayakan Gedung Johar *Shopping Center* dan solusi perbaikannya karena gedung ini akan dialihfungsikan menjadi Pasar Johar. Hal inilah yang melatarbelakangi perlunya diadakan analisis tentang keadaan gedung Johar *Shopping Center*.

Menelisik dari latar belakang gedung tua ini yang nantinya akan dialihfungsikan maka perlu dilakukan pengujian dan analisis kembali. Pengujian gedung ini menggunakan metode pengamatan visual, *hammer test*, *waterpass* dan *rebar detector* serta melakukan analisis menggunakan program ETABS dan *Microsoft Excel*. Hasil yang diharapkan adalah dapat mengetahui kelayakan gedung dan solusi yang tepat apabila gedung sudah mengalami kerusakan.

TINJAUAN PUSTAKA/ LANDASAN TEORI

Sebuah struktur bangunan memiliki standart kelayakan dengan dipatok dari Sertifikat Laik Fungsi (SLF). Untuk menentukan apakah bangunan yang ada masih dapat digunakan, strukturnya perlu diperiksa dan diuji. Dalam menentukan tingkat keamanan suatu

bangunan yang telah berdiri cukup lama, maka perlu ditentukan kelayakan struktur bangunan tersebut. Pada umumnya bangunan yang berumur lebih dari dua puluh tahun akan mengalami penurunan fungsi materialnya. Penurunan fungsi material ini sangat mempengaruhi kekuatan suatu bangunan terhadap beban yang dipikulnya.

Seiring bertambahnya usia bangunan, stabilitas dan kekuatannya menjadi semakin rentan, sehingga diperlukan studi teknis tentang faktor struktural. Dengan cara ini dapat diketahui apakah struktur bangunan mengalami kerusakan struktural atau mengalami penurunan fungsi karena penuaan, serta mencegah struktur bangunan dari keruntuhan.

A. Beban – Beban yang Bekerja Pada Bangunan

Pada dasarnya pembebanan pada bangunan gedung tergantung dari fungsi setiap ruangan yang akan digunakan, sehingga beban pada setiap ruangan berbeda-beda sesuai dengan kegunaan dan fungsinya, serta didasarkan pada standar pembebanan minimal yang ditetapkan oleh Badan Standardisasi Nasional. Adapun jenis-jenis beban yang bekerja pada bangunan, yaitu :

1. Beban Mati

Beban mati adalah beban yang berasal dari berat bangunan itu sendiri, mencakup komponen struktural dan arsitektural dan juga semua peralatan yang terpasang pada bangunan tersebut. Umumnya beban mati ini bersifat tetap atau tidak berubah seiring berjalannya waktu.

2. Beban Hidup

Beban hidup adalah beban yang berpindah-pindah atau tidak tetap yang disebabkan oleh penghuni atau pengguna bangunan dan segala suatu obyek yang sifatnya tidak tetap selama masa layan bangunan.

3. Beban Gempa

Beban gempa adalah beban yang terjadi akibat pergerakan tanah yang disebabkan oleh getaran gempa bumi. Beban gempa pada SNI 1726 2019 ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewat terbesar selama umur struktur bangunan 50 tahun sebesar 20%.

4. Beban Angin

Beban angin adalah beban yang bekerja pada struktur yang diakibatkan oleh struktur yang berada di lintasan angin menyebabkan aliran angin berbelok atau bahkan terhenti. Angin tersebut menimbulkan tekanan dan hisapan pada struktur. Besarnya tekanan angin ditetapkan oleh instansi yang berwenang dengan tekanan angin minimum 0.38 kN/m^2 .

5. Beban Hujan

Beban hujan adalah beban akibat akumulasi massa air yang terjadi di atap bangunan selama hujan bercurah tinggi. Air yang terkumpul di atap bangunan akibat hujan dapat menimbulkan beban struktural yang besar.

B. Sistem Struktur Tahan Gempa

Kolom-kolom pada struktur gedung bertingkat biasanya dikenai gaya-gaya yang cukup besar untuk menahan beban gempa sehingga elemen struktur kaku berupa dinding geser dirancang untuk menahan pengaruh gabungan dari beban geser, momen, dan gaya aksial yang dapat akibat dari gempa bumi.

Ada kondisi khusus kerjasama antara sistem rangka pemikul momen dan dinding geser, dimana dua struktur dengan sifat yang berbeda digabungkan menjadi satu. Melalui kombinasi kedua struktur ini, struktur yang lebih kuat dan lebih ekonomis dapat dicapai. Kerjasama ini dapat dibagi menjadi beberapa sistem struktural, seperti:

1. Sistem Dinding Penumpu
2. Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM)

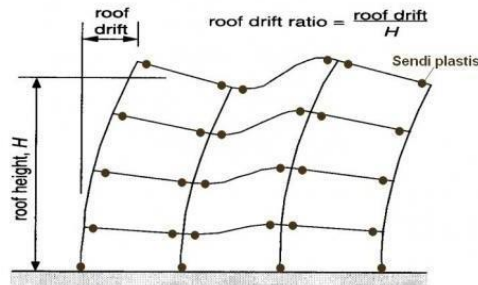
C. Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM)

Sesuai dengan namanya, sistem rangka pemikul momen adalah sistem rangka yang elemen struktur dan sambungannya menahan gaya kerja sekaligus memiliki rangka ruang bantalan beban gravitasi yang lengkap. Sistem ini dibagi menjadi tiga bagian yaitu (Karisoh *et.al.*, 2018):

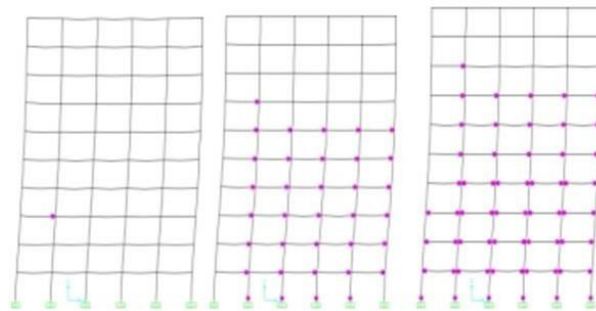
1. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), sistem ini memiliki tingkat daktilitas terbatas dan hanya cocok digunakan pada daerah dengan tingkat resiko gempa yang rendah. Kelebihan dari sistem ini adalah arsitekturalnya yang sederhana dan biaya yang terjangkau, sedangkan kekurangan dari sistem ini adalah struktur sangat beresiko jika sewaktu-waktu terjadi perubahan alam dan mempengaruhi kondisi tanah yang ada.
2. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), sistem ini memiliki tingkat daktilitas sedang dan cocok digunakan pada daerah dengan tingkat resiko gempa yang sedang. Kelebihan dari sistem ini adalah arsitektural yang sederhana dan tidak memerlukan banyak perkuatan, sedangkan kekurangan dari sistem ini adalah struktur sangat beresiko jika sewaktu-waktu terjadi perubahan alam dan mempengaruhi kondisi tanah yang ada.
3. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), sistem ini memiliki tingkat daktilitas tinggi dan cocok digunakan pada daerah dengan tingkat resiko gempa yang tinggi. Prinsip dari sistem ini yaitu *strong column weak beam*, tahan terhadap geser dan memiliki pendetailan yang khusus. Kelebihan dari sistem ini adalah arsitekturnya yang sederhana, sedangkan kekurangannya yaitu pendetailan yang kompleks sehingga dapat mempersulit pekerjaan.

D. Desain Kapasitas

Ini adalah konsep desain kapasitas untuk mengatasi daktilitas elemen struktur serta melindungi elemen struktur lainnya yang diharapkan berperilaku elastis, untuk memastikan struktur memiliki ketahanan terhadap gaya lateral (gempa bumi). Untuk mencegah jatuhnya korban akibat runtuhnya struktur, oleh karena itu metode ini digunakan.



Gambar 2.1 Konstruksi Bangunan Dengan Desain Kapasitas



Gambar 2.2 Lokasi Sendi Plastis Struktur Gedung Pada Tahap Beban *Push-over*

E. Pengujian Struktur *Existing*

Tujuan dari pengujian struktur eksisting adalah untuk mengetahui secara lebih rinci kondisimaterial yang akan dievaluasi guna mengetahui sejauh mana permasalahannya. Hal-hal yang dilakukan dalam pengujian struktur antara lain yaitu :

1. Mengidentifikasi semua indikasi kerusakan yang terjadi pada bangunan.
2. Mengidentifikasi penyebab dari kerusakan yang terjadi.
3. Mengevaluasi kerusakan berdasarkan penyebabnya yang telah teridentifikasi.
4. Mencari solusi untuk menanggulangi kerusakan yang ada.

Metode pengujian dikategorikan ke dalam metode destruktif, metode non-destruktif, dan kombinasi keduanya, yang dapat digunakan dalam berbagai keadaan. Pada akhirnya, kedua metode yang digunakan dalam proses tersebut dijadikan sebagai bahan analisis struktur sistem.

F. Tahapan Dalam Pengujian Struktur *Existing*

Dalam pengujian struktur *existing* terdapat tiga tahapan yang pada umumnya sering dilakukan, meliputi :

1. Tahap Perencanaan

Langkah pertama dalam tahap ini adalah mengidentifikasi masalah, menentukan metode pengujian yang akan digunakan untuk mengatasi masalah yang telah diidentifikasi, memilih jumlah benda uji atau sampel yang akan digunakan, dan memilih lokasi pengujian pada komponen struktur yang diharapkan dapat mewakili setiap elemen struktur dan kondisi struktur. Secara umum dipahami bahwa tahap perencanaan terdiri dari tahap-tahap berikut yang biasanya dicapai selama tahap perencanaan :

a. Pengamatan Visual

Perlu adanya observasi visual sebagai tahap awal untuk mendefinisikan permasalahan yang ada di lapangan. Dari hasil pengamatan visual ini dapat diperoleh informasi tentang tingkat layan struktur, termasuk menentukan apakah terjadi deformasi berlebihan pada struktur, baik atau buruknya pekerjaan konstruksi yang dilakukan, apakah telah terjadi kerusakan pada struktur. material, seperti pelapukan beton, kehilangan beton, retak, dan defleksi struktur.

b. Pemilihan Jenis Pengujian

Dalam memilih jenis metode pengujian yang akan digunakan pada struktur eksisting, ada beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan, seperti tingkat kerusakan pada struktur eksisting, waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pengujian, biaya yang diperlukan, tingkat keandalan hasil pengujian, jenis masalah yang dihadapi, dan peralatan yang tersedia serta mampu mendeteksi masalah yang muncul. Agar pemilihan jenis metode pengujian menghasilkan data yang valid, selain itu data yang dikumpulkan dalam hasil pengujian juga dapat digunakan untuk keperluan analisis kapasitas struktural, sehingga jika hasil pengujian tidak valid, kualitas analisis kapasitas struktural akan dipertanyakan.

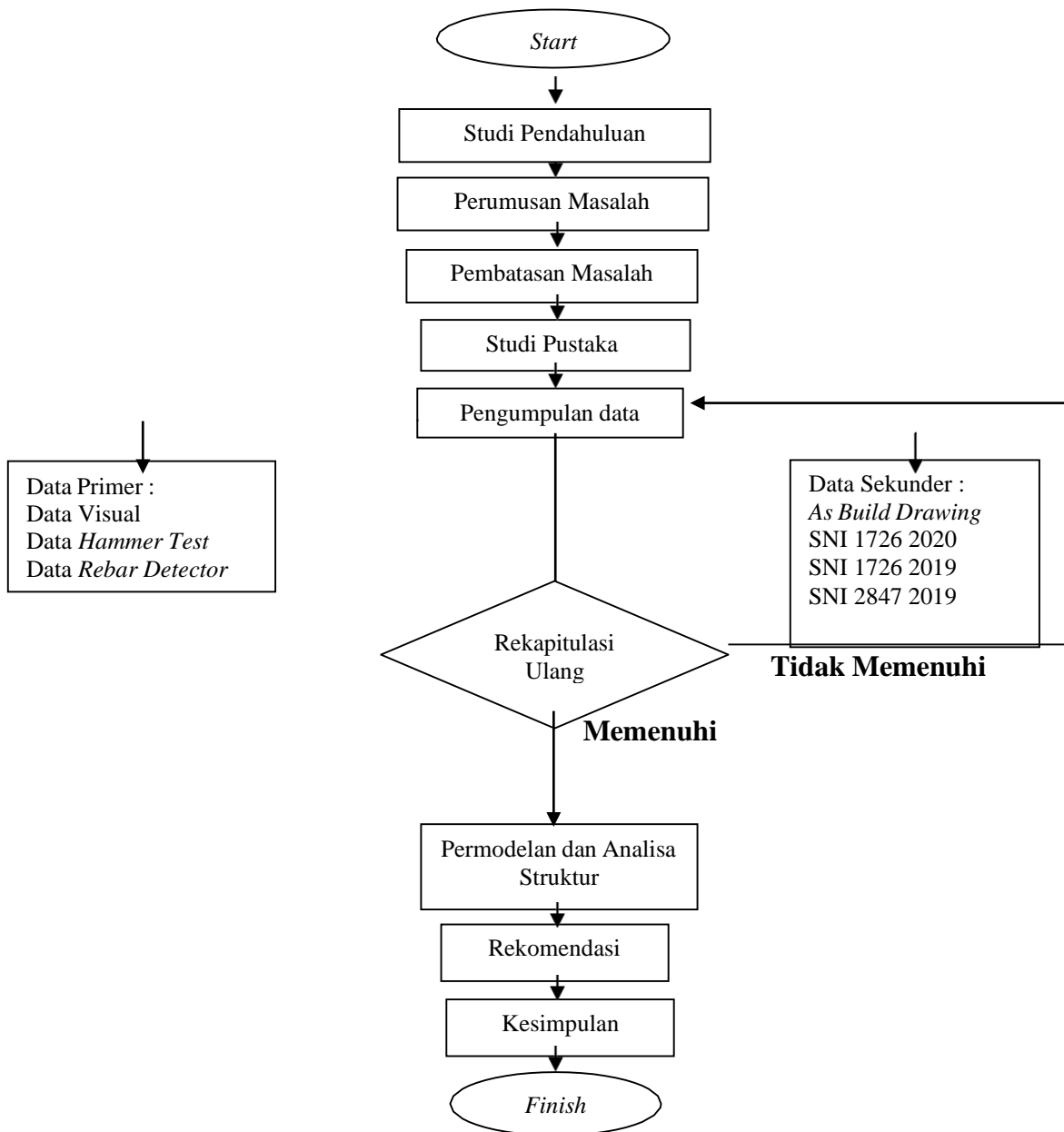
2. Tahapan Pelaksanaan

Pada tahap pelaksanaan, tingkat kesulitan untuk mencapai lokasi pengujian yang ditentukan harus diperhitungkan selama tahap pelaksanaan. Penting untuk mempertimbangkan keselamatan selama pelaksanaan pengujian bangunan sertamenggunakan peralatan keselamatan pribadi standar selama pelaksanaan pengujian bangunan untuk memastikan keselamatan peserta.

3. Tahapan Pengolahan Data

Setelah tahap perencanaan dan pelaksanaan selesai, maka tahap selanjutnya adalah melanjutkan ke tahap pengolahan data setelah tahap perencanaan dan pelaksanaan selesai. Untuk mengetahui hasil pengujian bangunan yang sesuai dengan kebutuhan awal pengujian, maka data yang diperoleh dari pelaksanaan pengujian bangunan tersebut harus diolah dan dianalisis untuk menentukan hasil pengujian bangunan tersebut. Pengolahan data ini dilakukan menggunakan *software* yaitu ETABS atau SAP dan *Microsoft Excel*. Dari pengolahan data tersebut nantinya akan didapatkan hasil yang diperlukan.

METODOLOGI



Gambar 3.1 Bagan Alir Pengujian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum melakukan pembahasan dan melakukan analisa terhadap kondisi eksisting dilakukan terlebih dahulu pengamatan visual. Pada saat melakukan pengamatan visual terdapat beberapa elemen struktur yang mengalami retak halus atau pengkroposan pada selimut beton, namun tidak berpengaruh terhadap kekuatan kondisis eksisting karena kerusakan elemen struktur yang terjadi tidak melebihi 50% dari total semua elemen struktur.



Gambar 4.1 Visual kolom **Gambar 4.2** Visual Balok **Gambar 4.3** Visual Pelat

Berikut adalah permodelan struktur Gedung Johar *Shopping Center* Semarang dengan data geometrik bangunan yang didapat dari hasil pengujian di lapangan secara berkala seperti berikut:

Tabel 4.1 Data Geometrik Bangunan

No	Uraian	Besaran Eksisting
1	Dimensi Pondasi	Tidak dapat diamati, sehingga diasumsikan menggunakan pondasi dalam berdasarkan jenis struktur yang digunakan.
	Kolom Struktur	
	a. Tinggi Kolom	
	- Lantai <i>Basement</i>	3.000 mm
	- Lantai 1	4.200 mm
	- Lantai 2	4.200 mm
	- Lantai 3	4.200 mm
2	- Lantai 4	4.200 mm
	- Lantai 5	4.200 mm
	- Lantai 6	4.200 mm
	b. Dimensi Kolom	
	- Lantai <i>Basement</i> - 1	800 x 800 mm
	- Lantai 2 - 3	700 x 700 mm
	- Lantai 4 - 6	600 x 600 mm
	- Kolom RAM	450 x 500 mm
	Dimensi Balok Struktur	
3	a. Balok Induk	700 x 400 mm
	b. Balok Anak	600 x 300 mm
	c. Balok Konsol	700 x 400 mm
	Dimensi Pelat Lantai	
4	Pelat lantai menggunakan tebal yang tipikal atau sejenis mulai dari <i>basement</i> hingga lantai 6	Tebal 120 mm

Adapun kuat tekan pada elemen struktur yang didapat dari hasil pengujian menggunakan hasil *Rebound Hammer* pada kolom, balok dan pelat lantai. Pada kolom memiliki nilai rata – rata 39,098 MPa, pada balok memiliki nilai rata – rata 50,222 MPa, serta pada pelat lantai memiliki nilai rata – rata 43,179 MPa. Gedung ini dibangun pada tahun 1990-an, maka acuan perencanaan dan kemampuan membuat campuran beton structural secara umum adalah sekitar 22,065 MPa, dengan demikian hasil *Rebound Hammer* secara umum dapat dikatakan aman.

Sedangkan pada hasil *Rebar Detector* mendapatkan hasil pengujian yang dapat ditinjau pada tabel 4.2

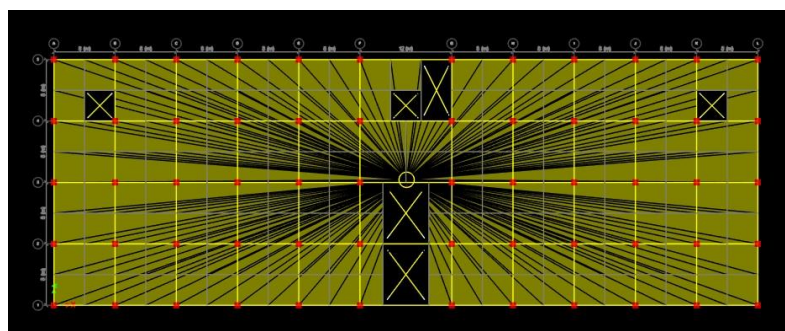
Tabel 4.2 Hasil *Rebar Detector*

Lantai	Diameter Kolom	Jenis Tulangan
Lantai Basement	80 x 80	15 D22, $\phi 12 - 100$ mm, $\phi 12 - 200$ mm
Lantai 1	80 x 80	15 D22, $\phi 12 - 100$ mm, $\phi 12 - 200$ mm
Lantai 2	70 x 70	14 D22, $\phi 12 - 100$ mm, $\phi 12 - 200$ mm
Lantai 3	70x 70	14 D22, $\phi 12 - 100$ mm, $\phi 12 - 200$ mm
Lantai 4	60 x 60	13 D22, $\phi 12 - 100$ mm, $\phi 12 - 200$ mm
Lantai 5	60 x 60	13 D22, $\phi 12 - 100$ mm, $\phi 12 - 200$ mm
Lantai 6	60 x 60	13 D22, $\phi 12 - 100$ mm, $\phi 12 - 200$ mm

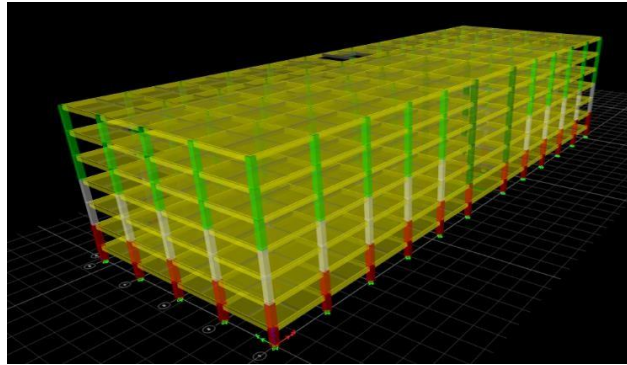
G. Permodelan Struktur Berdasarkan Kondisi Eksisting

Model struktur terhadap beban vertikal menggunakan system pelat, balok dan kolom sebagai penahan beban lateral, dalam hal ini berupa beban gempa bumi. Sesuai sistem strukturyang digunakan maka diperoleh parameter R, Cd dan Ω_0 berdasarkan SNI 1726 2019 yaitu :

1. Faktor reduksi gempa, $R = 8$ (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus)
2. Faktor pembesaran Defleksi, $C_d = 5,5$
3. Faktor kuat lebih, $\Omega_0 = 3$



Gambar 4.4 Denah struktur Lantai 1 Sampai Lantai 6



Gambar 4.5 Model Tiga Dimensi Struktur

H. Pembebanan Gravitasi

Pengaplikasian struktur bangunan sesuai dengan denah arsitektural yang diperoleh dari *AsBuild Drawing*. Peraturan dan standar atau data – data yang digunakan sebagai acuan besaran beban yang diaplikasikan yaitu Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lain, SNI 1727 2020.

Tabel 4.3 Kategori Beban

LANTAI 1				
Berat Sendiri Struktur				
Elemen Balok	Luas Penampang	Panjang	Volume per Jenis Balok	
	Balok Induk (0,4 m x 0,7 m = 0,28 m ²)	8 m x 98 = 784 m	236,32	
		12 m x 5 = 60 m		
	Balok Anak (0,3 m x 0,5 m = 0,15 m ²)	8 m x 86 = 688 m	103,2	
	Balok Basement (0,6 m x 0,6 m = 0,36 m ²)	8 m x 6 = 48 m	30,24	
		12 m x 3 = 36 m		
	Volume Total Balok (m ³) =			369,76
Berat Total Balok (γ = 24 kN/m ³) =			8874,24 kN/m³	
Elemen Kolom	Luas Penampang	Panjang Elemen	Volume (Panjang x Luas)	
	Kolom 80x80 (0,8 mx 0,8 m = 0,64 m ²)	60 x 6,3 m = 378 m	241,92	
	Volume Total Kolom (m ³)=			241,92
	Berat Totak Kolom (γ = 24 kN/m ³) =			5806,08 kN/m³

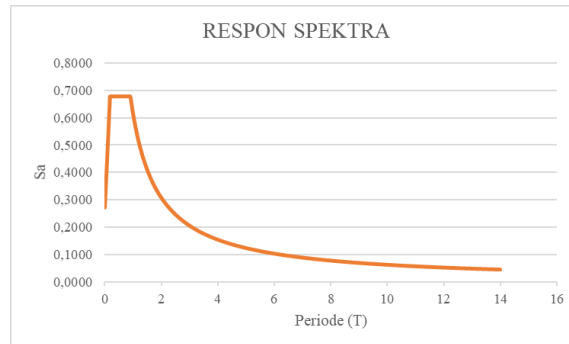
Elemen Pelat	Luas Total Penampang	Tebal Pelat
	PanjangxLebar = 92 m x 32 m=2944m ²	12 cm = 0,12 m
	Volume Total Pelat =	353,28 m ³
	Berat Total Pelat ($\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$) =	8478,72 kN/m³
Beban Mati Tambahan Pada Struktur		
Plesteran Keramik	Luas Penampang	Tebal Plesteran
	Luas Lantai yang Harus Diplester = LuasPelat = 2944 m ²	1,5 cm = 0,015 m
	Volume Total Plesteran Keramik =	44,16 m ³
	Berat Total Plesteran Keramik ($\gamma = 2000 \text{ kg/m}^3 = 20 \text{ kN/m}^3$)=	883,2 kN
Plafond	Luas Penampang	
	Luas Plafond = Luas Pelat = 2944 m ²	
	Berat Total Plesteran Keramik ($W_{\text{plaf}} = 10 \text{ kg/m}^2 = 0,1 \text{ kN/m}^2$)=	294,4 kN
M & E	Beban Mechanical & Electrical pada Area Pelat Seluas = 2944 m ² Maka Berat M & E ($W_{\text{M\&E}} = 20 \text{ kg/m}^2 = 0,2 \text{ kN/m}^2$) = 588,8 kN	
Berat Sendiri Struktur + Beban Mati Tambahan = 24925,44 kN		
Beban Hidup yang Bekerja Pada Struktur		
Beban Hidup	Beban Hidup Area Pelat Seluas = 2846 m ² & 48 m ²	
	Maka Berat Akibat Beban Hidup ($W_{\text{live}} = 4,79 \text{ kN/m}^2$) = 2846 x 4,79 = 13632,34 kN (untuk beban hidup koridor)	
	Maka Berat Akibat Beban Hidup ($W_{\text{live}} = 2,5 \text{ kN/m}^2$) = 48 x 2,5 = 120 kN (untuk beban hidup gudang)	
	Beban Hidup Tereduksi pada Struktur (30% Beban Hidup) = 4125,702 kN	
Berat Total Lantai 1 =		29051,142 kN

I. Pembebanan Gempa pada Struktur

Parameter yang digunakan dalam analisis ini adalah respon spektra yang diperoleh dari data sistus web <http://puskim.go.id/> sesuai dengan koordinat lokasi yang diambil berada dikotaSemarang. Beberapa parameter yang digunakan dalam analisis respon spektra yang digunakan sebagai acuan sebagai berikut :

1. Katageori tanah on site : E (Tanah lunak, berdasarkan hasil pengujian tanah)

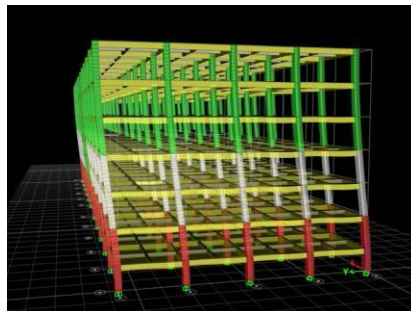
2. Percepatan respon spektra MCE periode pendek, $S_s : 0,8112 \text{ g}$
3. Percepatan respon spektra MCE periode 1 detik, $S_{d1} : 0,3571 \text{ g}$
4. Koefisien situs untuk periode pendek, $F_a : 1,251$
5. Koefisien situs untuk periode 1 detik, $F_v : 2,5716$
6. Percepatan respon spektra pada periode pendek, $SDS : 0,6766 \text{ g}$
7. Percepatan respon spektra pada periode 1 detik, $SD1 : 0,6122 \text{ g}$
8. Faktor keutamaan bangunan, $I_e : 1.0$
9. Kategori resiko : tipe II (Pasar) 10. Periode Panjang, $T_L : 12 \text{ detik}$



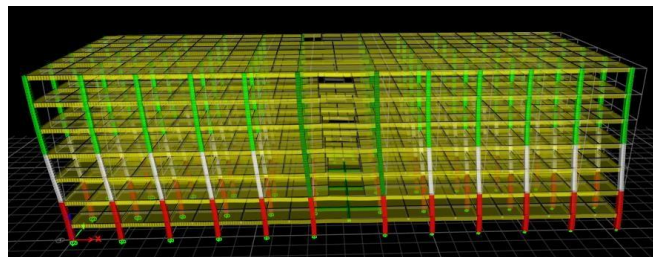
Gambar 4.6 Respon Spektrum Desain

J. Analisis Ragam Getar Struktur

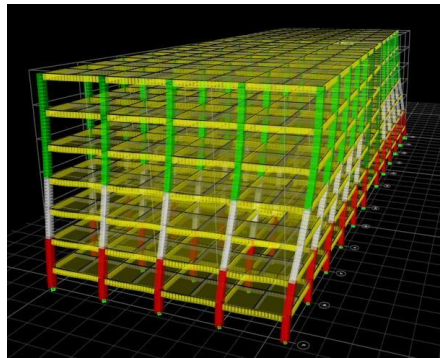
Permodelan 3 dimensi yang dilakukan minimal 3 derajat kebebasan terpenuhi terdiri dari dua arah translasi dan rotasi boleh terjadi pada mode ke – 3 menurut pasal 7.7.3. pada SNI 1726– 2019.



Gambar 4.7 Mode 1 Translasi Arah Y



Gambar 4.8 Mode 2 Translasi Arah X



Gambar 4.9 Mode 3 Translasi Arah Z

K. Periode Getar dan Partisipasi Massa Struktur

1. Penentuan Batas Bawah Periode Getar Struktur

$$T_{a \text{ min}} = C_t \times H_n \quad (4.1)$$

Diketahui,

$$T_{a \text{ min}} = \text{Periode Batas}$$

$$\text{Bawah (S) } C_t =$$

Koefisien Batas Bawah

$$H_n = \text{Ketinggian Total Struktur (M)}$$

$$X = \text{Koefisien Tipikal Struktur}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} T_{a \text{ min}} &= 0,0466 \times 28,20,9 \\ &= 0,9410 \text{ detik} \end{aligned}$$

2. Penentuan Batas Atas Periode Getar Struktur

$$T_{a \text{ maks}} = C_u \times T_a \quad (4.2)$$

Diketahui,

$$T_{a \text{ maks}} = \text{Periode Batas}$$

$$\text{Atas (S) } T_a = \text{Periode Batas}$$

$$\text{Bawah (S)}$$

$$C_u = \text{Koefisien}$$

Batas Atas

$$\begin{aligned} T_{a \text{ maks}} &= 1,4 \times 0,9410 \\ &= 1,317 \text{ detik} \end{aligned}$$

Tabel 4.4 Periode Getar Struktur

TABLE: Modal Periods And Frequencies					
Case	Mode	Period	Frequency	CircFre q	Eigenvalue
		sec	cyc/sec	rad/sec	rad ² /sec ²
Modal	1	1,141	0,877	5,5075	30,3323

Modal	2	1,1	0,909	5,7112	32,6175
Modal	3	1,079	0,927	5,8257	33,939
Modal	4	0,361	2,769	17,397	302,6569
Modal	5	0,35	2,859	17,9626	322,6565
Modal	6	0,343	2,92	18,3446	336,5258
Modal	7	0,198	5,038	31,657	1002,1668
Modal	8	0,194	5,165	32,4531	1053,205
Modal	9	0,189	5,293	33,2556	1105,938
Modal	10	0,129	7,76	48,757	2377,2498
Modal	11	0,127	7,897	49,6193	2462,0724
Modal	12	0,123	8,116	50,9947	2600,4562
Modal	13	0,092	10,822	67,994	4623,1891
Modal	14	0,091	10,933	68,6911	4718,4693
Modal	15	0,089	11,253	70,7072	4999,5072
Modal	16	0,072	13,849	87,0152	7571,6389
Modal	17	0,072	13,905	87,3673	7633,0482
Modal	18	0,07	14,328	90,0263	8104,7394
Modal	19	0,057	17,579	110,4499	12199,1909
Modal	20	0,057	17,629	110,7667	12269,2622

Untuk keterlibatan massa 100% atau setidaknya 90% dari massa struktur, analisis harus memperhitungkan jumlah variasi yang diperlukan.

Tabel 4.5 Partisipasi Massa Struktur

TABLE: Modal Load Participation Ratios				
Case	ItemType	Item	Static	Dynamic
			%	%
Modal	Acceleration	UX	100	99,99
Modal	Acceleration	UY	100	100
Modal	Acceleration	UZ	0	0

L. Gaya Lateral Ekuivalen

Distribusi gaya gempa lateral (F) pada tiap lantai diatur dalam pasal 7.8.3 dengan interpolasi nilai k untuk arah x perida desain pada rentang $0,5 < T < 2,5$ adalah :

$$k = 0,5 \times T_x + 0,75$$

$$k = 0,5 \times 1,141 + 0,75$$

$$k = 1,3205$$

Tabel 4.6 Gaya Geser Antar Tingkat Arah X

LANTAI	TINGGI	BERAT	k	$W_i \times h_i^k$ (kN/m)	Cv	LATERAL
	h_i (m)	W_i (kN)				Fi-X (kN)
Atap	28,2	19611,84	1,3205	1612769,453	0,249832	2935,8699
6	24	24098,78		1601636,663	0,248108	2915,60387
5	19,8	24200,88		1247606,251	0,193265	2271,13034
4	15,6	24348,91		916221,6643	0,141931	1667,88105
3	11,4	24650,133		613002,3269	0,09496	1115,9035
2	7,2	25099,733		340233,1791	0,052705	619,357185
1	3	29051,142		123937,2416	0,019199	225,614155
JUMLAH		171061,418			6455406,779	



Gambar 4.10 Gaya Geser Antar Tingkat Arah X

Tabel 4.7 Gaya Geser Antar Tingkat Arah Y

LANTAI	TINGGI	BERAT	k	$W_i \times h_i^k$ (kN/m)	Cv	LATERAL
	h_i (m)	W_i (kN)				Fi-Y (kN)
Atap	28,2	19611,84		1506059,682	0,247815	3004,64539
6	24	24098,78		1500616,34	0,24692	2993,78572
5	19,8	24200,88		1173534,619	0,1931	2341,24545

4	15,6	24348,91	1,3	866047,0811	0,142504	1727,79632
3	11,4	24650,133		583170,5359	0,095958	1163,44703
2	7,2	25099,733		326739,2795	0,053763	651,857083
1	3	29051,142		121177,1797	0,019939	241,753005
JUMLAH		171061,418		6077344,717		



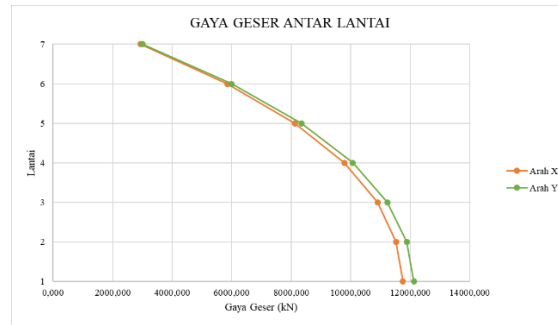
Gambar 4.11 Gaya Geser Antar Tingkat Arah Y

M. Gaya Geser Tiap Lantai

Gaya geser tiap lantai merupakan komulatif dari penjumlahan gaya lateral ekuivalen tiap lantai.

Tabel 4.8 Gaya Geser Tiap lantai

Gaya Geser Tiap Lantai				
LANTAI	F _x	V _x	F _y	V _y
	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)
Atap	2935,87	2935,870	3004,645	3004,645
6	2915,604	5851,474	2993,786	5998,431
5	2271,13	8122,604	2341,245	8339,677
4	1667,881	9790,485	1727,796	10067,473
3	1115,904	10906,389	1163,447	11230,920
2	619,357	11525,746	651,857	11882,777
1	225,614	11751,360	241,753	12124,530



Gambar 4.12 Grafik Gaya Geser Tiap lantai

N. Relasi Beban Gempa Statik – Dinamik

SNI 1726-2019 Pasal 7.9.2.5.1 menyatakan bahwa beban gempa dinamik harus minimal 85% dari beban gempa statis, atau $V_{DINAMIK} \geq 0.85V_{STATIK}$. Jika persyaratan ini tidak dipenuhi, beban gempa dinamis harus ditingkatkan dengan faktor skala.

Gambar 4.9 Gaya Geser Statik dan Dinamik Tiap Lantai

Story	STATIK		85% Statik		DINAMIK	
	Vx	Vy	Vx	Vy	Vspec-X	Vspec-Y
	kN	kN	kN	kN	kN	kN
Atap	2935,870	3004,645	2495,489	2553,949	1808,136	1769,739
Lt 6	5851,474	5998,431	4973,753	5098,666	3994,501	3876,822
Lt 5	8122,604	8339,677	6904,213	7088,725	5804,848	5609,970
Lt 4	9790,485	10067,473	8321,912	8557,352	7251,788	6991,914
Lt 3	10906,389	11230,920	9270,430	9546,282	8329,667	8024,579
Lt 2	11525,746	11882,777	9796,884	10100,360	8982,608	8656,061
Lt 1	11751,36	12124,530	9988,656	10305,851	9184,158	8852,418

$$\begin{aligned}
 \text{Scale Factor arah X (pada lantai 1)} &= \frac{85\% V_{STATIK-X}}{V_{DINAMIK-X}} \\
 &= \frac{9988,656}{9184,158} = 1,088
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Scale Factor arah Y (pada lantai 1)} &= \frac{85\% V_{STATIK-Y}}{V_{DINAMIK-Y}} \\
 &= \frac{10305,85}{8852,418} = 1,16
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan lengkap *Scale Factor* ditunjukkan pada tabel 4.10.

Tabel 4.10 Gaya Geser Antar Tingkat *Dinamik Correction*

Story	85% Statik		Dinamik		Skala Gaya		Dinamik <i>Correction</i>	
	V _x	V _y	V _{SPEC-X}	V _{SPEC-Y}	X-Dir	Y-Dir	V _{SPEC-X}	V _{SPEC-Y}
	kN	kN	kN	kN			kN	kN
Atap	2495,489	2553,949	1808,1363	1769,7388	1,380	1,443	2495,489	2553,949
Lt 6	4973,753	5098,666	3994,5006	3876,8217	1,245	1,315	4973,753	5098,666
Lt 5	6904,213	7088,725	5804,8479	5609,9697	1,189	1,264	6904,213	7088,725
Lt 4	8321,912	8557,352	7251,7884	6991,9136	1,148	1,224	8321,912	8557,352
Lt 3	9270,430	9546,282	8329,6669	8024,5787	1,113	1,190	9270,430	9546,282
Lt 2	9796,884	10100,360	8982,6077	8656,0611	1,091	1,167	9796,884	10100,360
Lt 1	9988,656	10305,851	9184,1582	8852,418	1,088	1,164	9988,656	10305,851

Dari hasil faktor skala tiap lantai yang tercantum dalam Tabel 4.10 maka didapatkan pulahasil perhitungan dinamik *correction*, dengan penjabaran sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Dinamik } \textit{Correction} \text{ Arah X} &= \text{Dinamik - X x Faktor Skala - X} \quad (\text{Lantai 1}) \\ &= 9184,158 \times 1,088 \\ &= 9988,656 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Dinamik } \textit{Correction} \text{ Arah Y} &= \text{Dinamik - Y x Faktor Skala - Y} \quad (\text{Lantai 1}) \\ &= 8852,418 \times 1,164 \\ &= 10305,851 \text{ kN} \end{aligned}$$

Untuk menentukan gaya geser desain antar tingkat menggunakan hasil perhitungan dinamik *correction*.

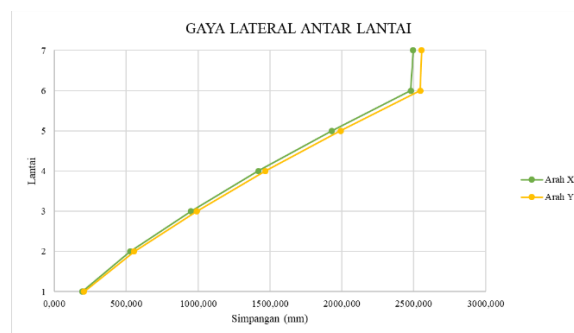
Tabel 4.11 Gaya Geser Desain Antar Tingkat

Story	Statik		85% Statik		Dinamik <i>Correction</i>		Gaya Geser Desain	
	V _x	V _y	V _x	V _y	V _{SPEC-X}	V _{SPEC-Y}	V _x	V _y
	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN
Atap	2935,870	3004,645	2495,489	2553,949	2495,489	2553,949	2495,489	2553,949
Lt 6	5851,474	5998,431	4973,753	5098,666	4973,753	5098,666	4973,753	5098,666
Lt 5	8122,604	8339,677	6904,213	7088,725	6904,213	7088,725	6904,213	7088,725
Lt 4	9790,485	10067,473	8321,912	8557,352	8321,912	8557,352	8321,912	8557,352
Lt 3	10906,389	11230,920	9270,430	9546,282	9270,430	9546,282	9270,430	9546,282
Lt 2	11525,746	11882,777	9796,884	10100,360	9796,884	10100,360	9796,884	10100,360
Lt 1	11751,36	12124,530	9988,656	10305,851	9988,656	10305,851	9988,656	10305,851

Setelah mengetahui dinamik *correction* maka dilakukan perhitungan Gaya Lateral Desain dengan cara nilai komulatif dari penjumlahan Gaya Geser Desain.

Tabel 4.12 Gaya Lateral Desain

Story	Gaya Geser Desain		F, Gempa Desain	
	V _x	V _y	F _x	F _y
	kN	kN	kN	kN
Atap	2495,489	2553,949	2495,489	2553,949
Lt 6	4973,753	5098,666	2478,263	2544,718
Lt 5	6904,213	7088,725	1930,461	1990,059
Lt 4	8321,912	8557,352	1417,699	1468,627
Lt 3	9270,430	9546,282	948,518	988,930
Lt 2	9796,884	10100,36 0	526,454	554,079
Lt 1	9988,656	10305,85 1	191,772	205,490



Gambar 4.13 Grafik Gaya Lateral Desain Antar Lantai

O. Simpangan Antar Lantai

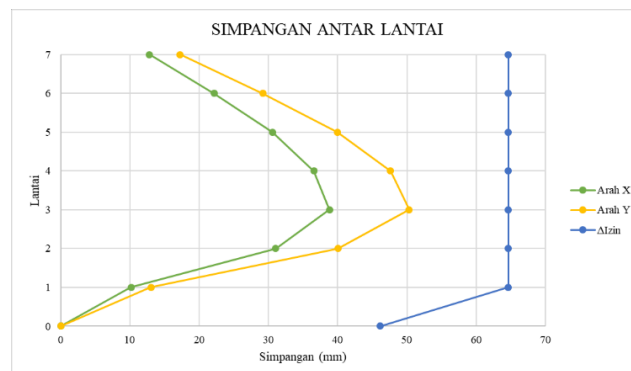
Untuk mengetahui layan bangunan diperlukan pengecekan simpangan antar lantai yang terjadi.

Tabel 4.13 Simpangan Antar Lantai Arah X

Story	Load Case/Combo	Direction	δ_e	Δx_e	Cd	Δx	h	ΔI_{zin}	Cek
			mm	mm		mm		mm	
Atap	Ex Max	X	33,107	2,32 6	5,5	12,793	4200	64,615	AMAN
6	Ex Max	X	30,781	4,03	5,5	22,165	4200	64,615	AMAN
5	Ex Max	X	26,751	5,55 3	5,5	30,541 5	4200	64,615	AMAN
4	Ex Max	X	21,198	6,64 4	5,5	36,542	4200	64,615	AMAN
3	Ex Max	X	14,554	7,05 9	5,5	38,824 5	4200	64,615	AMAN
2	Ex Max	X	7,495	5,64 3	5,5	31,036 5	4200	64,615	AMAN
1	Ex Max	X	1,852	1,85 2	5,5	10,186	4200	64,615	AMAN
Base	Ex Max	X	0	0	5,5	0	3000	46,154	AMAN

Tabel 4.14 Simpangan Antar Lantai Arah Y

Story	Load Case/Combo	Direction	δ_e	Δy_e	Cd	Δy	h	ΔI_{izin}	Cek
			mm	mm		mm		mm	
Atap	Ey Max	Y	43,167	3,136	5,5	17,248	4200	64,615	AMAN
6	Ey Max	Y	40,031	5,308	5,5	29,194	4200	64,615	AMAN
5	Ey Max	Y	34,723	7,264	5,5	39,952	4200	64,615	AMAN
4	Ey Max	Y	27,459	8,661	5,5	47,6355	4200	64,615	AMAN
3	Ey Max	Y	18,798	9,148	5,5	50,314	4200	64,615	AMAN
2	Ey Max	Y	9,65	7,279	5,5	40,0345	4200	64,615	AMAN
1	Ey Max	Y	2,371	2,371	5,5	13,0405	4200	64,615	AMAN
Base	Ey Max	Y	0	0	5,5	0	3000	46,154	AMAN



Gambar 4.14 Simpangan Antar Lantai Arah X dan Y

Dengan rumus :

- $\Delta I_{izin} = \frac{h \times 0,02}{1,3}$
- Δx_e : Δ total Atap - Δ total Lantai 6
- Δx : Δx_e Atap \times Cd

Pada tahapan pengecekan dapat dikatakan AMAN apabila $\Delta x \leq \Delta I_{izin}$.

P. Cek Kestabilan Struktur Akibat Gempa

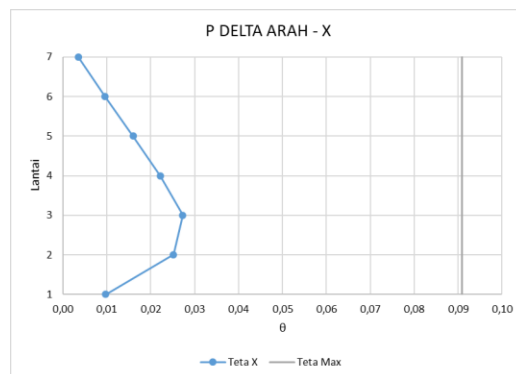
Untuk mengetahui layan bangunan tidak hanya dari menentukan simpangan antar lantai tetapi juga harus mengetahui tingkat kestabilan struktur yang terjadi akibat gempa yang dihitung menggunakan rumus :

Akan dikatakan aman apabila $\theta < \theta_{max}$

$$\theta = \frac{P \times \Delta \times I_e}{(V_y \times h_{sx} \times C_d)}$$

Tabel 4.15 Cek Kestabilan Struktur Akibat Gempa Arah X

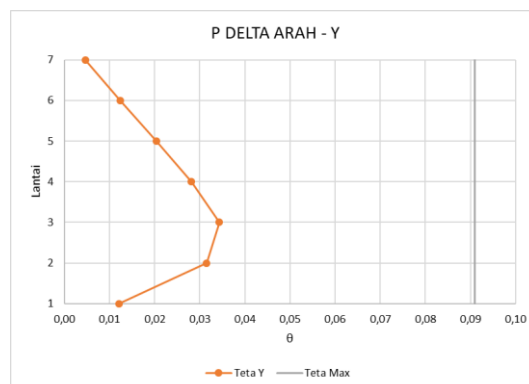
Arah X								
Story	Px	Delta	Ie	Vx	hsx	Cd	Teta	Cek
	kN	mm		kN	mm			
Atap	15834,4	12,793	1	2495,5	4200	5,5	0,0035	Aman
6	49691,3	22,165	1	4973,8	4200	5,5	0,0096	Aman
5	83470,3	30,542	1	6904,2	4200	5,5	0,0160	Aman
4	116837,9	36,542	1	8321,9	4200	5,5	0,0222	Aman
3	150412,9	38,825	1	9270,4	4200	5,5	0,0273	Aman
2	183811,7	31,037	1	9796,9	4200	5,5	0,0252	Aman
1	221703,6	10,186	1	9988,7	4200	5,5	0,0098	Aman



Gambar 4.15 Grafik P Delta Arah X

Tabel 4.16 Cek Kestabilan Struktur Akibat Gempa Arah Y

Arah Y								
Story	Px	Delta	Ie	Vy	hsx	Cd	Teta	Cek
	kN	mm		kN	mm			
Atap	15834,4	17,248	1	2553,9	4200	5,5	0,0046	Aman
6	49691,3	29,194	1	5098,7	4200	5,5	0,0123	Aman
5	83470,3	39,952	1	7088,7	4200	5,5	0,0204	Aman
4	116837,9	47,636	1	8557,4	4200	5,5	0,0282	Aman
3	150412,9	50,314	1	9546,3	4200	5,5	0,0343	Aman
2	183811,7	40,035	1	10100,4	4200	5,5	0,0315	Aman
1	221703,6	13,041	1	10305,9	4200	5,5	0,0121	Aman



Gambar 4.16 Grafik P Delta Arah Y

Cek Ketidakberaturan Struktur

Struktur harus dikategorikan beraturan atau tidak beraturan berdasarkan kriteria dalam pasal-pasal dalam SNI 1726 2019, yang meliputi ketidakberaturan struktur secara horizontal dan vertikal. Hal ini sesuai dengan Pasal 7.3.2 SNI 1726 2019 yang meliputi klasifikasi bangunan beraturan dan tidak beraturan.

Tabel 4.17 Rekapitulasi Cek Ketidakberaturan Struktur

No	Tipe Ketidakberaturan	Hasil
Ketidakberaturan Horizontal		
1	1A	Tidak Ada
2	1B	Tidak Ada
3	2	Tidak Ada
4	3	Tidak Ada
5	4	Tidak Ada
6	5	Tidak Ada
Ketidakberaturan Vertikal		
1	1A	Tidak Ada
2	1B	Tidak Ada
3	2	Tidak Ada
4	3	Tidak Ada
5	4	Tidak Ada
6	5A	Tidak Ada
7	5B	Tidak Ada

Berdasarkan pada Tabel 4.17 hasil dari pengecekan ketidakberaturan struktur adalah tidak didapatkan ketidakberaturan struktur atau dapat dikatakan aman, dikarenakan struktur bangunan Gedung Johar *Shopping Center* adalah struktur yang beraturan karena berbentuk persegi panjang.

Q. Cek Eksentrisitas

SNI 1726 2019 pasal 7.8.4.1 Sebagai dasar Karena adanya eksentrisitas antara letak pusat massa dan pusat kekakuan, untuk diafragma tidak fleksibel, distribusi gaya lateral pada setiap tingkat harus memperhitungkan dampak momen puntir internal.

Tabel 4.18 Momen Torsi Arah X

Arah X	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	A_x	%	Ecc. (m)
Atap	1,004	0,700	3,5%	1,120
6	1,005	0,701	3,5%	1,122
5	1,006	0,703	3,5%	1,124
4	1,006	0,703	3,5%	1,124
3	1,006	0,703	3,5%	1,124
2	1,006	0,703	3,5%	1,124
1	1,006	0,703	3,5%	1,124

Tabel 4.19 Momen Torsi Arah Y

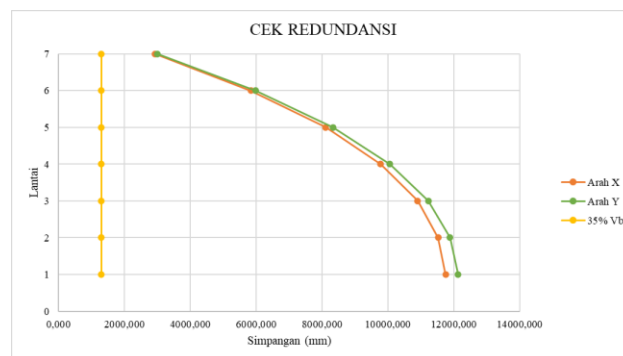
Arah Y	A_{max}/A_{avg}	A_x	%	Ecc. (m)
Atap	1,009	0,707	3,5%	3,252
6	1,012	0,711	3,6%	3,272
5	1,014	0,714	3,6%	3,285
4	1,015	0,715	3,6%	3,291
3	1,015	0,715	3,6%	3,291
2	1,014	0,714	3,6%	3,285
1	1,014	0,714	3,6%	3,285

Rumus yang digunakan untuk perhitungan momen torsi yaitu:

- $(A_x) = \left(\frac{\delta_{max}}{1,2\delta_{avg}}\right)^2$
- $Rasio (\%) = Torsi \text{ tak terduga (SNI 1726 2019)} \times A_x$
- $Eksentrisitas (Ecc) = Rasio \times Lebar \text{ struktur arah Y}$

R. Cek Redundansi

Cek redundansi tidak sebesar 1,3 karena tidak memiliki ketidakberaturan struktur maka pbesar 1,0 berdasarkan Tabel 15 SNI 1726 2019.



Gambar 4.17 Grafik Cek Redudansi

S. Cek Kapasitas Penampang Struktur

1. Cek Kapasitas Penampang Balok

Sistem penahan gaya gempa yang dijelaskan dalam SNI 2847 2019 pasal 18.6.1.1, termasuk balok sistem rangka tahan momen khusus yang pada prinsipnya dibuat untuk menahan lentur geser dan memiliki batasan dimensi yang tercantum dalam pasal 18.6.2.1. Balok harus memenuhi :

- Bentang bersih ℓ_n , harus minimal $4d$.
- Lebar penampang b_w , harus sekurangnya nilai terkecil dari $0,3h$ dan 250 mm.
- Proyeksi lebar balok yang melampaui lebar kolom penumpu tidak boleh melebihi nilai terkecil dari c_2 dan $0,75c_1$ pada masing – masing sisi kolom.

Tabel 4.20 Cek Kapasitas Penampang Balok

Parameter	Pasal Referensi		Persamaan	Satuan	Nilai
	SNI 2847:2013	SNI 2847:2019			
Properti Material dan Penampang					
Panjang Balok, L			Input	mm	8000
Lebar Balok, b			Input	mm	400
Tinggi Balok, h			Input	mm	700
Panjang Tumpuan	21,5,3,1	18,6,4,1	$2 * h$	mm	1400
Diameter Tulangan Longitudinal, d_b			Input	mm	19
Diameter Tulangan Pinggang, d_{bt}			Input	mm	13
Diameter Tulangan Sengkang, d_s			Input	mm	13
Selimit Bersih, c_c			Input	mm	30
Tinggi Efektif Balok, d			$h - c_c - d_s - d_{bt}/2$	mm	647,5
Kuat Tekan Beton, f_c'			Input	MPa	20,75
Kuat Leleh Tul, Longitudinal, f_y			Input	MPa	420
Kuat Leleh Tul, Transversal, f_y			Input	MPa	420
β_1	10,2,7,3	Tabel 22,2,2,4,3	$0,65 \leq 0,85 - 0,05 * (f_c' - 28) / 7 \leq 0,85$		0,8500
Panjang Kolom, c_1			Input (Sisi tegak lurus lebar balok)	mm	800
Lebar Kolom, c_2			Input (Sisi yang ditempel balok/sejajar lebar balok)	mm	800
L_n			$L - c_1$	mm	7200
λ			Asumsi tidak menggunakan beton ringan		1
Gaya Dalam					
$M_{u,tumpuan} (-)$			Input	kN-m	-763,013
$M_{u,tumpuan} (+)$			Input	kN-m	481,6568
$M_{u,lapangan} (-)$			Input	kN-m	-352,672
$M_{u,lapangan} (+)$			Input	kN-m	333,1835
P_u			Input	kN	0
Syarat Gaya dan Geometri					
Syarat Gaya Aksial	21,5,1,1	Tidak dipersyaratkan, Baca R18,6,1 dan 18,6,4,7	$P_u \leq 0,1 A_g f_c'$?		OK
Syarat Tinggi Efektif	21,5,1,2	18,6,2,1	$L_n \geq 4d$?		OK
Syarat Lebar 1	21,5,1,3	18,6,2,1	$b \geq \min(0,3h, 250 \text{ mm})$?		OK
Syarat Lebar 2	21,5,1,4	18,6,2,1	$b \leq c_2 + 2 * \min(c_2, 0,75 c_1)$?		OK

2. Cek Kapasitas Penampang Kolom

Sistem penahan gaya gempa yang dijelaskan dalam SNI 2847 2019 Pasal 18.7.1.1, meliputi kolom dengan rangka penahan momen tertentu yang terutama dibuat untuk menanggapi gaya lentur, geser, dan aksial. Kolom harus mematuhi batasan dimensi yang dinyatakan dalam pasal 18.7.2.1.

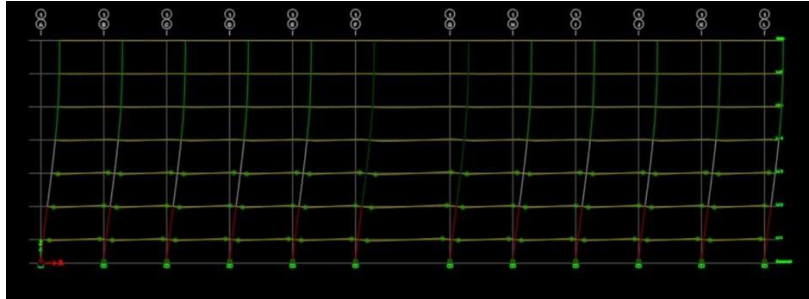
- Dimensi penampang terkecil, diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri, tidak kurang dari 300mm.
- Rasio dimensi penampang terkecil terhadap dimensi tegak lurus nya tidak kurang dari 0,4.

Tabel 4.21 Kapasitas Penampang Kolom

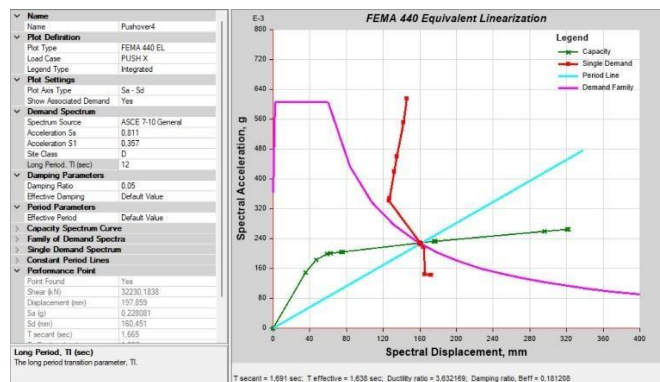
Properti Material dan Penampang				
Panjang/Tinggi Kolom, L		Input	mm	4200
Sisi Pendek Kolom, b		Input	mm	800
Sisi Panjang Kolom, h		Input	mm	800
Diameter Tulangan Longitudinal, d_b		Input	mm	22
Diameter Tulangan Sengkang, d		Input	mm	10
Selimit Bersih, c_c		Input	mm	40
Kuat Tekan Beton, f'_c		Input	MPa	20,75
Kuat Leleh Baja Tulangan, f_y		Input	MPa	420
Tinggi Balok, hb		Input	mm	700
L_n		L - hb	mm	3500
Syarat Gaya dan Geometri				
Paramete	Pasal Referensi		Persamaa	Satuan
	SNI 2847:2013	SNI		
Syarat Gaya	21.6.1	Tidak dipersyaratkan.	$P_u > 0.1 A_g f'_c$	OK
Syarat Sisi Terpendek	21.6.1.1	Baca	$b \geq 300 \text{ mm}$	OK
Syarat Rasio Dimensi Penampang	21.6.1.2	R18.7.1	?	OK
Pengecekan Terhadap Gaya Dalam Aksial-Lentur (Menggunakan PCA Column, atau SP Column, atau CSI Column,				
Jumlah Tulangan, n			Input	20
Luas Tulangan Longitudinal, A_s			$n * \pi/4 * d^2$	mm ² 7602,7
			b	
Rasio Tulangan, ρ			$A_s / (b * h)$	1,19%
Cek ρ_{min} dan ρ_{max}	21.6.3.1	18.7.4.1	$1\% \leq \rho \leq 6\%$	OK

T. *Pushover*

1. Hasil Analisis *Pushover* Arah X



Gambar 4.18 Hasil *Pushover* Tahap 18 (Akhir)



Gambar 4.19 *Static Pushover Curve* Tipe FEMA 440 EL Arah X

Dari Gambar 4.16 maka *pushover* arah X aman, karena garis permintaan tunggal bersinggungan dengan garis kapasitas. Pada *performance level* atau level kinerja struktur pada tabel 4.22 *pushover* arah X tergolong pada level performa *damage control* yang didapat dari :

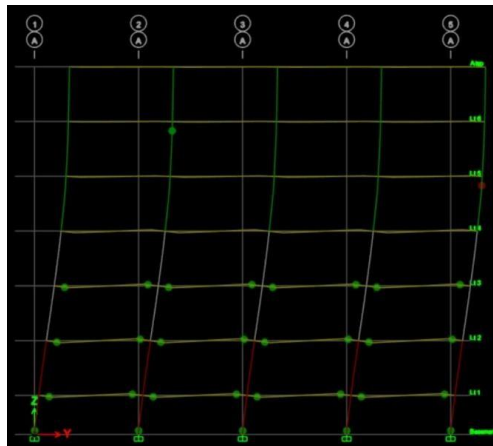
Tabel 4.22 Level Kinerja Struktur

PERFORMANCE LEVEL				
INTERSTORY DRIFT LIMIT	IMMEDIATE OCCUPANCY	DAMAGE CONTROL	LIFE SAFETY	STRUCTURAL STABILITY
MAXIMUM TOTAL DRIFT	0,01	0,01 - 0,02	0,02	0,33 Vi/Pi
MAXIMUM INELASTIC DRIFT	0,005	0,005 - 0,015	no limit	no limit

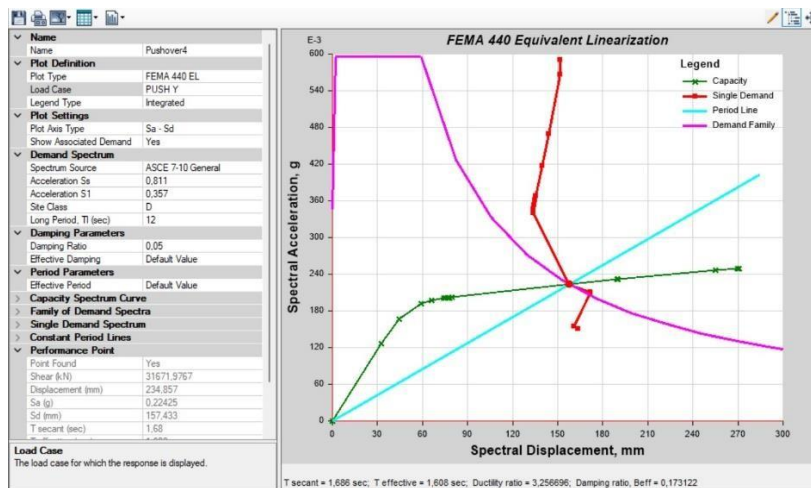
Dengan perhitungan yang dijabarkan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Rasio} &= \text{Control Displacement} / \text{Tinggi Struktur} \\ &= 395,599 / 28200 \\ &= 0,014 \text{ (Damage Control)} \end{aligned}$$

2. Hasil Analisis *Pushover* Arah Y



Gambar 4.20 Hasil *Pushover* Tahap 18 (Akhir)



Gambar 4.21 *Static Pushover Curve* Tipe FEMA 440 EL Arah Y

Dari Gambar 4.18 maka *pushover* arah Y aman, karena garis permintaan tunggal bersinggungan dengan garis kapasitas. Pada *performance level* atau level kinerja struktur pada tabel 4.23 *pushover* arah Y tergolong pada level performa *damage control* yang didapat dari :

Tabel 4.23 Level Kinerja Struktur

PERFORMANCE LEVEL				
INTERSTORY DRIFT LIMIT	IMMEDIATE OCCUPANCY	DAMAGE CONTROL	LIFE SAFETY	STRUCTURAL STABILITY
MAXIMUM TOTAL DRIFT	0,01	0,01 - 0,02	0,02	0,33 Vi/Pi
MAXIMUM INELASTIC DRIFT	0,005	0,005 - 0,015	no limit	no limit

Dengan perhitungan yang dijabarkan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\text{Rasio} &= \text{Control Displacement} / \text{Tinggi Struktur} \\ &= 382,794 / 28200 \\ &= 0,014 \text{ (Damage Control)}\end{aligned}$$

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian di lapangan serta telah dilakukan analisa struktur eksisting, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Secara visual struktur mengalami kerusakan ringan dan berat, namun tidak ada perubahan ataupun deformasi elemen struktur yang signifikan.
2. Gambar *As Bulid Drawing* tidak lengkap, sehingga pendimensian penampang menggunakan hasil pengukuran lapangan.
3. Kuat tekan beton sesuai dengan standar struktur berdasarkan hasil *Hammer Test*.
4. Kemampuan layan struktur dapat disimpulkan aman karena telah memenuhi syarat sesuai acuan yang tertera pada SNI 1726 2019 dan SNI 2847 2019.
5. Hasil analisa *Pushover* Menunjukkan bahwa analisis *Pushover* Arah X dan Y berada pada level *Damage Control*.
6. Secara garis besar struktur bangunan Johar *Shopping Center* Semarang memiliki hasil analisa yang aman sehingga bangunan ini masih layak untuk digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Fadli, Hamzah (2015). *APLIKASI ETABS PADA PERANCANGAN GEDUNG 15 LANTAI DENGAN STRUKTUR BETON BERTULANG MENGGUNAKAN SISTEM GANDA SEBAGAI PENAHAN BEBAN GEMPA SESUAI SNI 1726:2012*. Jakarta: *Structure Engineer*.
- Imran, Iswandi dan Fajar Hendrik. (2016). *Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang*. Bandung: ITB Press.
- Budiono, Bambang dkk. (2017). *Contoh Desain Bangunan Tahan Gempa Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus dan Sistem Dinding Struktur Khusus Di Jakarta*. Bandung: ITB Press.
- Mustofa, Rizal dan Agus Purwinto Moestasmin. (2018). *STUDI KELAYAKAN PEMBANGUNAN APARTEMEN BIZ SQUARE SURABAYA*. (Tugas Akhir, Universitas Wijaya Kusuma Surabaya).
- Ariyanto, Arief Subakti. (2020). *ANALISIS JENIS KERUSAKAN PADA BANGUNAN GEDUNG BERTINGKAT (Studi Kasus pada Gedung Apartemen dan Hotel Candiland Semarang)*. (Tugas Akhir, Politeknik Negeri Semarang).
- Pranoto, Yudi dan Riza Setiabudi. (2019). *EVALUASI STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG (Studi Kasus pada Bangunan Gedung SMPN 19 Samarinda, Kalimantan Timur)*. (Tugas Akhir, Politeknik Negeri Samarinda).

Sulendra, I Ketut. (2008). *EVALUASI STRUKTUR BANGUNAN ADMINISTRASI RSUD UNDATA*. Tadulako: Jurusan Teknik Sipil Universitas Tadulako.

Antonius. (2020). *LAPORAN HASIL KAJIAN STRUKTUR LIPPO CIKARANG ORANGECOUNTRY TOWER C D & E F*. Cikarang: CV. CAHAYA KARYA UTAMA.

Badan Standarisasi Nasional. (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Gedung dan Nongedung*. SNI 1726 2019. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. (2020). *Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. SNI 1727 2020. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. (2019). *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*. SNI 2847 2019. Jakarta.

Antonius. (2020). *Konsep Dasar dan Desain Struktur Beton Bertulang*. Unissula Press. Semarang

Enggartiasto, Lintang. (2021). *STUDI KELAYAKAN STRUKTUR BANGUNAN LAMA BERDASARKAN STANDAR BANGUNAN GEDUNG TERBARU YANG BERLAKU DI INDONESIA*. (Tesis, Universitas Islam Sultan Agung Semarang)

Bachtiar, Shabri Helmi dan Ahmad Ibrahim. (2020). *DESAIN STRUKTUR GEDUNG MENGGUNAKAN TULANGAN GFRP (GLASS FIBER REINFORCED POLYMER)*.

(Tugas Akhir, Universitas Islam Sultan Agung Semarang).