

Evaluasi Kinerja Seismik Gedung Fakultas Bahasa dan Seni Universitas Negeri Medan Berdasarkan Uji NDT dan Analisis Strong Column–Weak Beam Menggunakan ETABS

Oktavia Uly Artha Silalahi*, Parman, Ricky Bakara, Indra Jhon Fischer

Politeknik Negeri Medan, Indonesia

Email: oktaviasilalahi@polmed.ac.id*, parman@polmed.ac.id, rickybakara@polmed.ac.id, indrajhon@polmed.ac.id

Keywords:

Structural Evaluation; Reinforced Concrete; Non-Destructive Test; Strong Column Weak Beam; Earthquake.

Abstract

Evaluation of the condition of existing building structures is an important part in maintaining the level of safety and reliability of buildings, especially in multi-storey buildings that serve public services. This study aims to evaluate the seismic performance of the Faculty of Languages and Arts Building, State University of Medan, which consists of 8 floors using a combination of Non-Destructive Test (NDT) and numerical analysis based on ETABS software. NDT testing was conducted using the Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) and Hammer Test methods to obtain an estimate of the actual concrete quality of the structural elements of beams, columns, slabs, and shear walls. Concrete quality data resulting from test correlations were used as material parameters in structural modeling. Structural analysis was conducted using ETABS with three-dimensional modeling based on the actual conditions of the building. The structural performance evaluation includes earthquake response, forces in structural elements, column element capacity, and examination of the Strong Column Weak Beam concept. The evaluation results show that the use of actual concrete quality data from field testing provides a more appropriate representation of the existing conditions compared to only using the design concrete quality. ETABS analysis provides information on the behavior of the structure under a combination of gravity and earthquake loading, while the Strong Column Weak Beam examination is used to ensure that the structure's collapse mechanism remains in accordance with earthquake-resistant design principles.

Kata Kunci:

Evaluasi Struktur; Beton Bertulang; *Non-Destructive Test; Strong Column Weak Beam; Gempa.*

Abstrak

Evaluasi kondisi struktur bangunan eksisting merupakan bagian penting dalam menjaga tingkat keamanan dan keandalan bangunan, terutama pada gedung bertingkat yang memiliki fungsi pelayanan publik. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja seismik Gedung Fakultas Bahasa dan Seni Universitas Negeri Medan yang terdiri dari 8 lantai menggunakan kombinasi pengujian *Non-Destructive Test* (NDT) dan analisis numerik berbasis perangkat lunak ETABS. Pengujian NDT dilakukan menggunakan metode *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) dan *Hammer Test* untuk memperoleh estimasi mutu beton aktual pada elemen struktur balok, kolom, pelat, dan dinding geser. Data mutu beton hasil korelasi pengujian digunakan sebagai parameter material dalam pemodelan struktur. Analisis struktur dilakukan menggunakan ETABS dengan

pemodelan tiga dimensi berdasarkan kondisi aktual bangunan. Evaluasi kinerja struktur meliputi respons gempa, gaya dalam elemen struktur, kapasitas elemen kolom, serta pemeriksaan konsep *Strong Column Weak Beam*. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa penggunaan data mutu beton aktual dari pengujian lapangan memberikan representasi yang lebih sesuai terhadap kondisi eksisting dibandingkan hanya menggunakan mutu beton rencana. Analisis ETABS memberikan informasi mengenai perilaku struktur terhadap kombinasi pembebanan gravitasi dan gempa, sedangkan pemeriksaan *Strong Column Weak Beam* digunakan untuk memastikan mekanisme keruntuhan struktur tetap sesuai prinsip desain tahan gempa.

PENDAHULUAN

Gedung bertingkat yang telah digunakan dalam periode tertentu perlu dilakukan evaluasi untuk mengetahui kemampuan struktur dalam menerima beban yang bekerja (Mehta & Monteiro, 2014; Neville, 2011). Perubahan kondisi material akibat umur bangunan, lingkungan, maupun variasi mutu pelaksanaan dapat menyebabkan perbedaan antara kondisi aktual dengan asumsi perencanaan awal (228, 2013; 318, 2019; Nasional, 2019a).

Gedung Fakultas Bahasa dan Seni Universitas Negeri Medan merupakan gedung fasilitas pendidikan yang memiliki tingkat kepentingan tinggi sehingga diperlukan pemeriksaan terhadap kapasitas struktur dan perilaku seismiknya (Bogdan, 2022; Nasional, 2019b, 2020). Pemeriksaan struktur Gedung Fakultas Bahasa dan Seni Universitas Negeri Medan ini merupakan pemeriksaan struktur beton bertulang yang terdiri dari 8 lantai (Inc., 2022; Priestley et al., 2007; Sastry & Kumar, 2018; Wight & MacGregor, 2012). Sistem struktur gedung ini dihitung kekuatannya dengan menggunakan Sistem Ganda dengan Rangka Pemikul Momen Khusus dengan Dinding Geser Beton Bertulang Khusus untuk mengetahui dan memastikan apakah performa struktur gedung yang sudah berdiri mempunyai performa struktur yang cukup baik dalam menerima dan memikul beban tambahan seperti: beban mati, beban hidup, dan beban gempa yang terjadi (Agency, 2005; Council, 2021; Paulay & Priestley, 1992).

Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi data mutu beton aktual hasil pengujian NDT ke dalam pemodelan struktur ETABS untuk menghasilkan representasi kondisi eksisting yang lebih akurat. Penelitian sebelumnya umumnya menggunakan mutu beton rencana tanpa mempertimbangkan penurunan kualitas material akibat faktor waktu dan lingkungan. Penelitian ini juga menggabungkan tiga metode korelasi untuk estimasi mutu beton dari data UPV dan Hammer Test, dengan memilih metode yang paling sesuai berdasarkan kesepakatan bersama. Pendekatan ini memungkinkan evaluasi kinerja seismik yang lebih realistis dibandingkan hanya mengandalkan asumsi perencanaan awal. Selain itu, penggunaan program spColumn untuk justifikasi kapasitas kolom dengan berbagai variasi mutu beton aktual memberikan analisis yang lebih komprehensif terhadap keamanan elemen struktur.

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja struktur Gedung Fakultas Bahasa dan Seni Universitas Negeri Medan berdasarkan data pengujian NDT dan analisis struktur menggunakan ETABS. Evaluasi struktur eksisting tidak hanya dilakukan melalui analisis dokumen perencanaan, tetapi juga perlu mempertimbangkan kondisi aktual material. Metode *Non-Destructive Test* (NDT) seperti *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) dan *Hammer Test* dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik beton tanpa merusak elemen struktur. Selain

pemeriksaan material, analisis terhadap beban gempa menjadi aspek penting pada bangunan bertingkat. Konsep *Strong Column Weak Beam* merupakan salah satu prinsip desain tahan gempa yang bertujuan agar elemen balok mengalami pelelehan lebih dahulu dibandingkan kolom sehingga mencegah keruntuhan struktur secara tiba-tiba.

Pemeriksaan struktur gedung beton bertulang ini mengacu pada SNI 1727:2020 (Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain), SNI 2847:2019 (Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung), dan SNI 1726:2019 (Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung) diharapkan struktur gedung dapat memenuhi semua persyaratan keamanan struktur.

METODE PENELITIAN

Objek Penelitian

Objek penelitian adalah Gedung Fakultas Bahasa dan Seni Universitas Negeri Medan dengan jumlah tingkat sebanyak 8 lantai. Lokasi pekerjaan pemeriksaan struktur bangunan terletak di Jalan Williem Iskandar, Kota Medan, Sumatera Utara, Indonesia.

Sistem struktur bangunan berupa beton bertulang dengan Sistem Ganda yang terdiri dari rangka pemikul momen dan dinding geser beton bertulang.

Pengujian Material Beton

Pengujian material dilakukan menggunakan *Hammer Test* digunakan untuk memperoleh nilai kekerasan permukaan beton yang kemudian dikorelasi terhadap estimasi kuat tekan beton. Dan *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)* digunakan untuk mengetahui kualitas beton berdasarkan kecepatan rambatan gelombang ultrasonik pada elemen struktur. Hasil korelasi kedua metode digunakan sebagai mutu beton input pada pemodelan struktur.

Pemodelan Struktur ETABS

Sistem struktur bangunan ini merupakan sistem Ganda dengan Rangka Pemikul Momen Khusus dengan Dinding Geser Beton Bertulang Khusus yang ditentukan berdasarkan kelas situs tanah SD (tanah sedang). Adapun Struktur gedung ini akan dianalisis dengan model analisis, yaitu Analisis dinamik (analisa pembebanan gempa dengan *response spectrum*). Dari model analisis yang akan dilakukan berdasarkan beban yang diberikan, diharapkan dapat memberikan gambaran terkait dengan syarat keamanan, kekuatan dan kekakuan bangunan dari fungsi bangunan yang telah direncanakan. Analisa dan pengecekan terhadap sistem struktur ini akan dilakukan menggunakan program bantu ETABS v22.6.0. yang merupakan paket program analisa struktur berbasis teori Metode Elemen Hingga dalam pemodelan dan penyelesaian persamaan-persamaan statikanya. Kemudian pengecekan kapasitas kolom menggunakan program spColumn. Pemodelan struktur dilakukan menggunakan ETABS dengan pendekatan model tiga dimensi. Elemen struktur dimodelkan sebagai balok dan kolom sebagai elemen *frame*, pelat dan dinding geser sebagai elemen *shell*, Pondasi dianggap sebagai tumpuan jepit.

Data Analisis Struktur

Penjelasan Umum

Pembahasan mengenai kriteria kaji ulang dan pemeriksaan struktur gedung akan disesuaikan dengan ketentuan dan tata-cara yang berlaku akan dibahas secara terinci dalam bagian ini. Pembebanan struktur ini akan menggunakan beberapa ketentuan dan tata cara, hal ini dikarenakan untuk mencegah adanya pembebanan yang tidak dimasukkan ke dalam analisa struktur yang mungkin dalam satu ketentuan atau tata cara tidak dibahas secara detail.

Data dan Spesifikasi Material Rencana Struktur

Berdasarkan hasil pemeriksaan, mutu beton aktual digunakan sebagai dasar evaluasi struktur.

Material yang digunakan dalam pemeriksaan bangunan ini dibagi menjadi beberapa jenis material sesuai dengan fungsi dan jenis elemennya. Untuk material mutu beton yang digunakan disesuaikan dengan data pemeriksaan di lapangan yang sudah didapat menggunakan UPV Test dan Hammer Test. Setelah dilakukan 3 korelasi terhadap data mutu beton aktual, maka mutu beton yang digunakan pada evaluasi bangunan menggunakan Metode 3 - Bogdan Bolborea et.al (Concrete Compressive Strength By Means Of Ultrasonic Pulse Velocity and Moduli Of Elasticity, 2022) yang telah disepakati bersama. Untuk data mutu beton adalah sebagai berikut.

Tabel 1. Mutu beton elemen struktur balok, kolom, pelat, SW
Bogdan Bolborea et.al (Concrete Compressive Strength By Means Of Ultrasonic Pulse Velocity and Moduli Of Elasticity, 2022)

No	Lantai/Elevasi	Kode	Lokasi/Grid	Jenis Elemen	f'c
1	(+25,150) – (29,350)	K47	F-3	Kolom	26,08
2		K48	F-4	Kolom	24,55
3		K49	E-1	Kolom	25,82
4		K50	D-4	Kolom	25,05
5		K51	D-5	Kolom	43,85
6		K52	C-5	Kolom	23,81
7		K53	C-3	Kolom	18,28
8		K54	A-3	Kolom	21,15
9		K55	B-3	Kolom	45,61
10		K56	A-5	Kolom	22,09
11		SW6	A-A'	Shear Wall	22,33
12	(+20,950) – (+25,150)	K1	F-5	Kolom	29,01
13		K2	C-3	Kolom	25,56
14		K3	C-5	Kolom	23,56
15		K4	B-4	Kolom	32,61
16		K5	A-5	Kolom	32,92
17		K6	B-2	Kolom	22,15
18		K7	F-3	Kolom	20,36
19		K8	F-1	Kolom	18,71
20		K9	A-6	Kolom	50,18
21		K10	D-4	Kolom	22,38
22		SW1	A-A'	Shear Wall	30,20
23	(+16,750) – (+20,950)	K11	D-3	Kolom	22,85
24		K12	F-4	Kolom	26,60
25		K13	E-1	Kolom	17,88
26		K14	D-1	Kolom	24,33
27		K15	D-5	Kolom	28,42
28		K16	C-4	Kolom	28,50
29		K17	A-6	Kolom	51,97
30		K18	B-5	Kolom	34,33
31		K19	A-2	Kolom	26,18
32		SW2	E-F	Shear Wall	27,57
63	+25,150	B1	(A-A')-4	Balok	38,8
64		B2	B-(4-5)	Balok	23,8
65		B3	D-(4-5)	Balok	24,0
66		B4	E-F-3	Balok	51,5
67		P1	(A'-B)-(4-5)	Pelat	19,7
68		P2	(B-C)-(4-5)	Pelat	25,1
69		P3	(C-D)-(4-3)	Pelat	52,8

No	Lantai/Elevasi	Kode	Lokasi/Grid	Jenis Elemen	f'c
70		P27	(E-F)-(2-3)	Pelat	43,8
71		P28	(C-D)-(4-5)	Pelat	24,5
72	+20,950	B5	(A-A')-4	Balok	33,6
73		B6	B-(3-4)	Balok	27,2
74		B7	C-D-4	Balok	26,1
75		B8	D-(4-5)	Balok	27,8
76		B30	D-E-1	Balok	25,3
77		P4	B-C-(4-5)	Pelat	50,6
78		P5	C-D-(4-5)	Pelat	25,3
79		P6	D-E-(4-5)	Pelat	28,7
80		P7	D-E-(2-3)	Pelat	29,6
81		P26	A-B-(4-5)	Pelat	57,6
82	+16,750	B9	E-F-5	Balok	39,9
83		B10	D-E-1	Balok	47,5
84		B11	C-D-4	Balok	27,0
85		B12	B-(3-4)	Balok	21,6
86		B13	A-A'-4	Balok	22,0
87		P8	D-E-(4-5)	Pelat	22,8
88		P9	B-C-(4-5)	Pelat	17,8
89		P10	D-E-(2-3)	Pelat	22,8
90		P11	C-D-(4-5)	Pelat	23,8
91		P12	E-F-(3-4)	Pelat	31,1
92	+12,550	B14	(D-E)-5	Balok	33,67
93		B15	D-(3-4)	Balok	22,61
94		B16	(B-C)-3	Balok	24,07
95		B17	(B-C)-4	Balok	37,08
96		B18	B-(4-5)	Balok	22,82
97		P13	(D-E)-(4-5)	Pelat	27,57
98		P14	(C-D)-(3-4)	Pelat	26,45
99		P15	(C-D)-(4-5)	Pelat	23,31
100		P16	(B-C)-(3-4)	Pelat	31,74
101		P17	(A'-B)-(4-5)	Pelat	30,50
102	+8,350	B19	(D-E)-4	Balok	21,62
103		B20	(C-D)-4/5	Balok	18,92
104		B21	(D-E)-1	Balok	24,59
105		B22	(E-F)-3	Balok	25,64
106		B23	B-(3-4)	Balok	38,88
107		B24	B-(4-5)	Balok	25,91
108		P18	(C-D)-(4-5)	Pelat	26,73
109		P19	(B-C)-(3-4)	Pelat	27,85
110		P20	(A'-B)-(4-5)	Pelat	29,01
111		P29	(A'-B)-(3-4)	Pelat	33,34
112	+4,150	B25	B-(4-5)	Balok	22,33
113		B26	(B-C)-5	Balok	22,57
114		B27	(B-C)-3	Balok	43,85
115		B28	F-(4-5)	Balok	35,00
116		B29	F-(2-3)	Balok	36,73
117		P21	(A-A')-(3-4)	Pelat	29,60
118		P22	(B-C)-(4-5)	Pelat	34,67
119		P23	(C-D)-(3-4)	Pelat	56,67
120		P24	(C-D)-(4-5)	Pelat	41,50
121		P25	(C-D)-(4-5)	Pelat	24,33

- a) Material elemen struktur mutu baja tulangan geser menggunakan BJTP 280 ($f_y = 280$ MPa) – sesuai *shop drawing*
- b) Material elemen struktur mutu baja tulangan longitudinal menggunakan BJTS 420B ($f_y = 420$ MPa) – sesuai *shop drawing*

Standar Pengujian dan Evaluasi Mutu Beton

Standar pengujian dan evaluasi mutu beton didasarkan pada kelompok uji (*set of test*) sesuai SNI 2847:2019.

STANDAR	PENJELASAN
<p>d) Beton dalam zona yang diuji beton inti dianggap cukup apabila ketentuan 1) dan 2) terpenuhi:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Rata-rata tiga beton inti sama dengan atau sekurang-kurangnya 85 persen nilai f_c'. 2) Tidak ada satupun hasil beton inti yang kurang dari 75 persen f_c'. 	<p>kekuatan beton dalam pengujian lapangan. Oleh karena itu, prosedur penguapan yang diperbolehkan disipasi gradien penguapan dapat diterapkan untuk beton inti. ASTM C42M memperbolehkan tindakan spesifik dalam pengujian untuk merubah durasi kondisi penguapan sebelum pengujian.</p> <p>R26.12.4.1 d) Kekuatan tekan beton inti rata-rata sebesar 85 persen dari kekuatan tekan spesifik adalah nilai yang realistis (Dloem 1968). Namun, tidak realistis jika mengharapkan kekuatan tekan rata-rata beton inti sama dengan f_c', karena perbedaan ukuran, kondisi, derajat konsolidasi spesimen dan kondisi perawatan. Kriteria kelayakan untuk kekuatan beton inti telah ditetapkan dengan pertimbangan beton inti yang digunakan untuk menginvestigasi beton berkekuatan rendah diambil pada usia lebih tua dari usia f_c'. Agar memenuhi 26.12.4.1(d), standar ini tidak ditujukan agar kekuatan beton inti diatur sesuai umur beton inti.</p>

Gambar 1. Standar Pengujian Mutu Beton

Syarat Penerimaan Hasil Minimal Uji Beton Inti

1. Mutu beton rencana = 25 MPa
2. $75\% * f_c' = 0,75 \times 25$ MPa = 18,75 MPa
3. $85\% * f_c' = 0,85 \times 25$ MPa = 21,25 MPa

Tabel 2. Rekapitulasi Nilai Mutu Beton f_c' yang diinput pada Program ETABS Bogdan Bolborea et.al (Concrete Compressive Strength By Means Of Ultrasonic Pulse

No	Lantai/Elevasi	Kode	Lokasi / Grid	Jenis Elemen	f_c'
7	(+25,150) – (29,350)	K53	C-3	Kolom	18,28
8		K54	A-3	Kolom	21,15
18	(+20,950) – (+25,150)	K7	F-3	Kolom	20,36
19		K8	F-1	Kolom	18,71
25	(+16,750) – (+20,950)	K13	E-1	Kolom	17,88
33	(+12,550) – (+16,750)	K20	F-1	Kolom	19,35
34		K21	D-4	Kolom	19,93
36		K23	F-5	Kolom	19,35
50	(+8,350) – (+12,550)	K36	F-4	Kolom	20,14
51		K37	B-4	Kolom	20,79
55	(+4,150) – (+8,350)	K40	C-3	Kolom	17,49
56		K41	D-4	Kolom	13,93
57		K42	C-5	Kolom	18,08
58		K43	B-2	Kolom	18,48
60		K45	A-5	Kolom	18,68
67	+25,150	P1	(A'-B)-(4-5)	Pelat	19,79
88	+16,750	P9	(B-C)-(4-5)	Pelat	17,88
103	+8,350	B20	(C-D)-4/5	Balok	18,92

Keterangan (KET)

(< 75% $f'c$) : data diinput sesuai mutu eksisting

(75% – 85% $f'c$) : diambil rerata 21,5 MPa

Tahapan Pembebanan dalam Analisa Struktur

Dalam pemeriksaan struktur bangunan ini beban yang bekerja pada sistem struktur gedung tersebut harus didasarkan atas pertimbangan – pertimbangan sebagai berikut: pembebanan dan kombinasi pembebanan, penentuan wilayah gempa, penentuan klasifikasi tanah setempat, penentuan sistem struktur, peninjauan terhadap pengaruh gempa.

Pembebanan dan Kombinasi Pembebanan

Pembebanan yang bekerja pada struktur ini terdiri dari beban mati (berat sendiri dan beban mati tambahan), beban hidup, dan beban gempa. Untuk kombinasi pembebanan mengacu pada beberapa peraturan yaitu SNI 2847:2019, ACI 318-14, dan SNI 1726:2019. Beban – beban yang bekerja secara detail dijabarkan sebagai berikut:

- **Beban Mati**

Beban mati pada pemeriksaan ini meliputi berat sendiri dari masing – masing elemen struktur seperti berat pelat, balok dan kolom. Besarnya beban – beban mati tersebut secara otomatis langsung diperhitungkan di dalam pemodelan struktur berdasarkan berat jenis masing – masing materialnya. Sedangkan terdapat juga beban mati tambahan yang berupa beban finishing, plafond dan dinding yang besarnya:

Beban Mati Plat Atap

- Lapisan waterproofing	= 0,05 kN/m ²
- Ducting Mechanical	= 0,19 kN/m ²
- Penggantung	= 0,10 kN/m ²
- Plafond	= 0,05 kN/m ²
- Beban Gondola	= 4,75 kN/m ²
- Beban Mesin	= <u>4,15 kN/m²</u>
Total SDL	= 9,29 kN/m²

Beban Mati Plat Lantai

- Beban Dinding ½ Bata	= 2,30 kN/m ²
- Keramik + Spesi	= 1,10 kN/m ²
- Ducting Mechanical	= 0,19 kN/m ²
- Penggantung	= 0,10 kN/m ²
- Plafond	= <u>0,05 kN/m²</u>
Total SDL	= 3,74 kN/m²

- **Beban Hidup**

Beban hidup lantai yang bekerja dalam struktur ini berupa beban terbagi rata sesuai fungsi ruangnya, yang besarnya diambil sebesar: (SNI 1727:2020, Pasal 4.3)

Beban hidup lantai Atap	: 0,96 kN/m ²
Beban hidup ruang kelas	: 1,92 kN/m ²
Beban hidup koridor di atas lantai pertama	: 3,83 kN/m ²
Beban Partisi	: 0,72 kN/m ²

- **Beban Gempa**

Peninjauan beban gempa pada pemeriksaan struktur bangunan Gedung Perkuliahan ini ditinjau secara analisa dinamis 3 dimensi. Fungsi response spectrum ditetapkan sesuai peta wilayah gempa untuk daerah Medan, pada jenis tanah SD. Berdasarkan SNI 1726-2019, zonasi peta gempa menggunakan peta gempa untuk probabilitas 2% terlampaui dalam 50 tahun atau memiliki periode ulang 2500 tahun. Untuk wilayah gempa berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 6.2, ditetapkan berdasarkan parameter S_s (percepatan batuan dasar pada periode pendek 0,2 detik) dan S_1 (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik). Faktor keutamaan gempa dan kategori risiko struktur bangunan dari gedung ini yang merupakan Gedung Sekolah dan Fasilitas Pendidikan memiliki faktor keutamaan gempa (I_e) 1.5, karena sesuai Tabel 3 dan Tabel 4 termasuk dalam kategori resiko IV.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian NDT

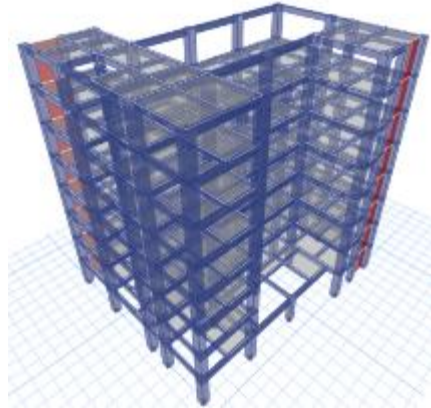
Hasil pengujian UPV dan Hammer Test menunjukkan adanya variasi mutu beton pada elemen struktur. Variasi tersebut menunjukkan bahwa kondisi aktual beton tidak selalu seragam pada seluruh bagian gedung sehingga penggunaan data pemeriksaan lapangan diperlukan dalam evaluasi.

Tabel 3. Rekapitulasi Pengujian UPV VS Uji Tekan

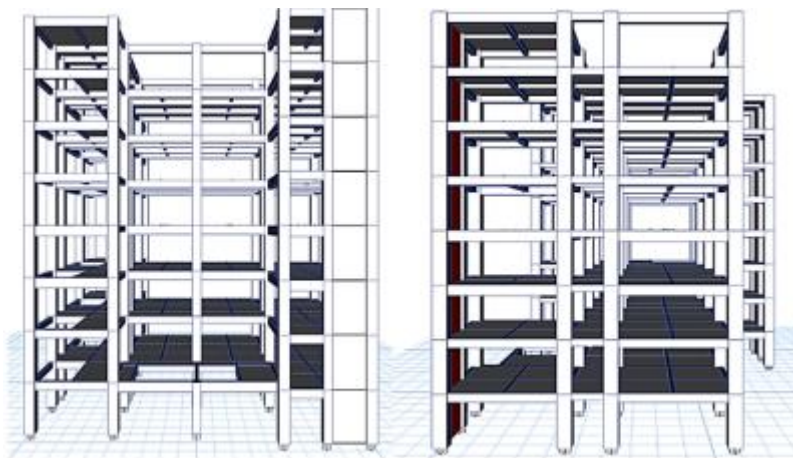
N o	Lantai/ Elevasi (m/s)	Kecamatan	Metode	Faktor Koreksi	Kecamatan Terseksi	Ed	Ec Meto 1	Ec Meto 2	Ec Meto 3	Fc Meto (M Pa)	Fc Meto (M Pa)	Fc Meto (M Pa)	Rata-rata	Batas Bawah (kN)	Kuat Tahan (M Pa)	Deviasi Standar 1	Deviasi Standar 2	Deviasi Standar 3	Deviasi Standar Ra- ta
1	S1 (Mutu 15s15 s15)	400	Direct /Oppo site	1	400	32. 31 08	28. 85 2	27. 98 6	24. 24 3	32. 6	35. 1	26. 6	31. .4	87 9	32 .4 3	- 4.1 5	- 2.7 2	- 5.8 2	- 0.9 6
2	S2 (Mutu 15s15 s15)	420	Direct /Oppo site	1	420	35. 96 52	40. 3	43. 5	32. 9	40. 3	43. 5	32. 9	38 .9	97 6	36 .0 0	- 4.3 1	- 7.4 9	- 3.0 8	2.9 1
3	S3 (Mutu 15s15 s15)	460	Direct /Oppo site	1	460	45. 31 52	37. 61 1	39. 06 4	33. 93 6	64. 0	69. 1	52. 3	61 .8	91 8	51 .9 7	- 12. 07	- 17. 11	0.3 1	9.8 3
4	S4 (Mutu 15s15 s15)	472	Direct /Oppo site	1	472	45. 55 68	35. 86 2	38. 41 1	33. 41 7	61. 9	66. 8	50. 6	59 .8	76 8	43 .4 6	- 18. 43	- 23. 31	7.0 7	16. 27

Analisis Respons Gempa

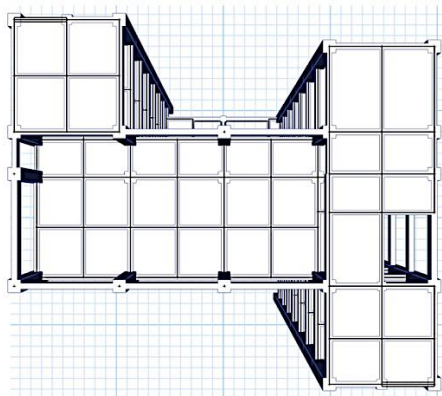
Analisis ETABS dilakukan dengan pembebanan gempa arah X dan Y. Hasil analisis digunakan untuk mengevaluasi periode struktur, gaya geser dasar, simpangan antar lantai, distribusi gaya dalam. Berdasarkan hasil pemodelan, perilaku struktur dianalisis terhadap batas kinerja yang dipersyaratkan standar.



Gambar 2. Pemodelan 3D



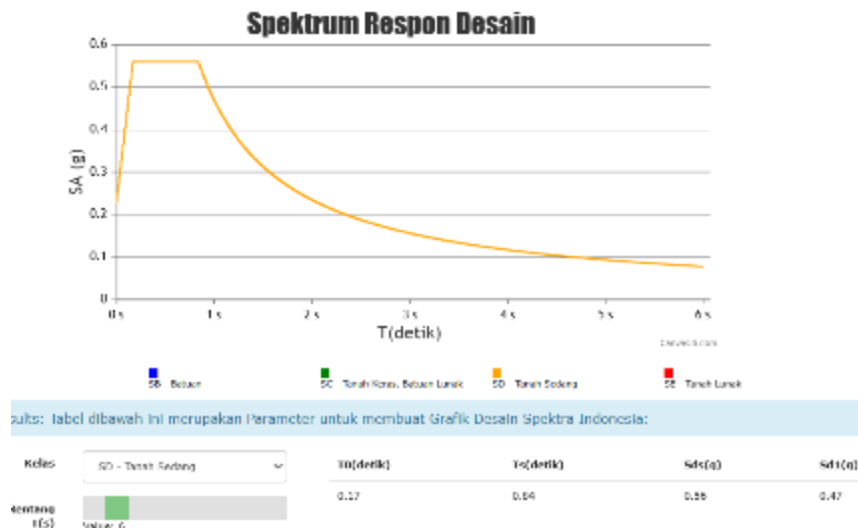
Gambar 3. Pemodelan Struktur Tampak Depan dan Samping



Gambar 4. Pemodelan Struktur Tampak Atas

Pembebanan Gempa dengan *Response Spectrum* Pada ETABS

Pembebanan *response spectrum* pada ETABS v.22.6.0. dengan menggunakan zona wilayah gempa wilayah kota Medan, sedangkan untuk faktor pembesaran bebannya diambil dari formulasi perumusan sebagai berikut:



Gambar 5. Spektral percepatan (g) Kota Medan

Dari aplikasi Desain Spektra Indonesia, didapatkan data:

1. Nama Kota : Medan
2. Bujur/Longitude : 98.633333°
3. Lintang/Latitude : 3.633333°
4. Kelas Situs : SD – Tanah Sedang
5. PGAm : 0.3038 g
6. S_s : 0.6558 g
7. S_1 : 0.3634 g
8. F_a : 1.27
9. T_L : 20 detik
10. F_v : 1.90
11. S_{ms} : 0.833 g
12. S_{m1} : 0.690 g
13. S_{ds} : 0.56 g
14. S_{d1} : 0.47 g
15. T_0 : 0.17 detik
16. T_s : 0.84 detik

$$\text{Load Factor } Y = \frac{I}{R} g = \frac{1.5}{7} (9.8) = 2.1$$

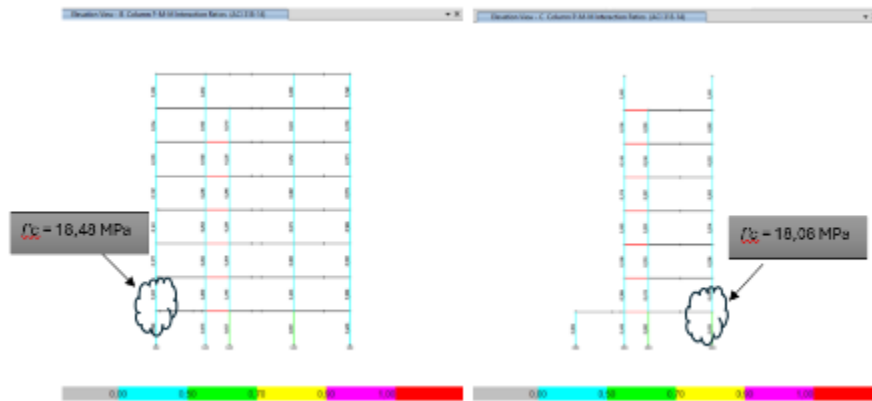
$$\text{Load Factor } X = \frac{I}{R} g = \frac{1.5}{7} (9.8) = 2.1$$

Load factor tersebut adalah untuk arah gempa yang ditinjau sedangkan arah yang tegak lurus dari peninjauan gempa tersebut akan dikenakan gempa sebesar 25% dari arah gempa yang ditinjau.

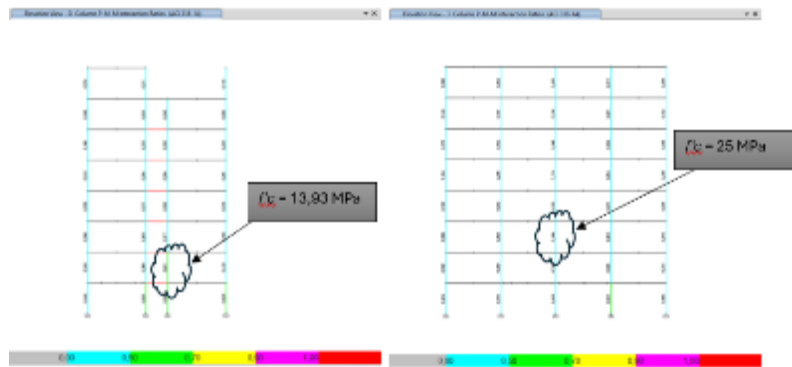
Evaluasi Kapasitas Kolom dan SCWB

Pemeriksaan kapasitas kolom dilakukan menggunakan diagram interaksi aksial - momen (P-M-M). Beberapa elemen kolom diperiksa terhadap kombinasi beban maksimum untuk memastikan kapasitas kolom masih mampu menerima gaya aksial dan momen akibat pembebanan. Hasil analisis menunjukkan bahwa kapasitas kolom dibandingkan terhadap gaya terfaktor hasil ETABS untuk menentukan tingkat keamanan elemen. Pemeriksaan *Strong*

Column Weak Beam (SCWB) dilakukan untuk memastikan bahwa kapasitas kolom lebih besar dibandingkan kapasitas balok. Berdasarkan hasil evaluasi, mekanisme struktur diperiksa terhadap persyaratan desain tahan gempa beton bertulang.

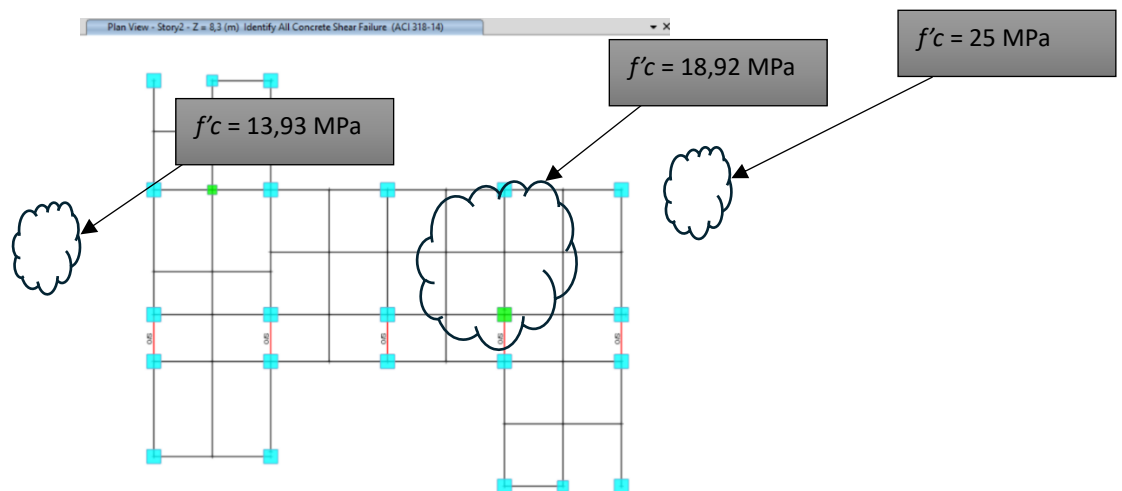


Gambar 6. Hasil Interaksi Aksial – Momen Kolom K1 (900x900) mm Grid B-2 ($f'c = 18,48$ MPa) dan Grid C-5 ($f'c = 18,08$ MPa)



Gambar 7. Hasil Interaksi Aksial – Momen Kolom K1 (900x900) mm Grid D-4 ($f'c = 13,93$ MPa) dan Grid 3-D ($f'c = 25$ MPa)

Hasil Identifikasi Geser Beton



Gambar 8. Balok B1 (400x650) mm Pada Grid C-D/4-5

Output Gaya Dalam Etabs untuk *Element Forces – Columns*

Tabel 4. Output Gaya Dalam Terbesar di Semua Stories

Aksial Lentur			
Kondisi	P (kN)	M2 (kN-m)	M3 (kN-m)
P max	3437,3499	170,6916	42,4086
P min	-7072,0236	-412,2441	-516,6447
M2 Max	-4259,3735	921,7902	152,1271
M2 Min	-5224,9551	-1009,8037	-154,5366
M3 Max	2328,0173	310,6737	574,1079
M3 Min	-614,7767	160,3407	-576,8925

Tabel 6. Output Gaya Dalam ($f'c = 18,08$ MPa) pada Grid C-5 (Story 2)

Aksial Lentur			
Kondisi	P (kN)	M2 (kN-m)	M3 (kN-m)
P max	-1358,7919	-18,639	39,4947
P min	-4438,4138	-564,3722	-83,9125
M2 Max	-3162,5103	658,2347	132,8537
M2 Min	-4438,4138	-564,3722	83,9125
M3 Max	-3477,2074	352,7744	393,8096
M3 Min	-2075,2388	-51,9318	-380,6717

Tabel 7. Output Gaya Dalam ($f'c = 18,48$ MPa) pada Grid B-2 (Story 2)

Aksial Lentur			
Kondisi	P (kN)	M2 (kN-m)	M3 (kN-m)
P max	-453,0806	33,2403	30,6943
P min	-4438,4138	-564,3722	-83,9125
M2 Max	-3162,5103	658,2347	132,8537
M2 Min	-4438,4138	-564,3722	83,9125
M3 Max	-1298,0729	79,7711	396,4092
M3 Min	-2075,2388	-51,9318	-380,6717

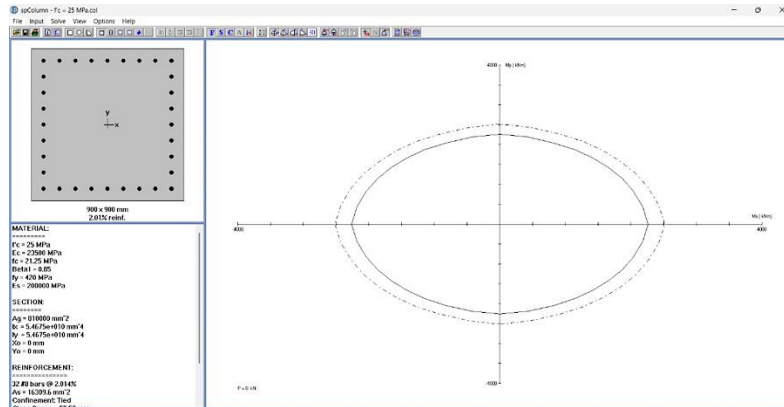
Tabel 8. Output Gaya Dalam ($f'c = 13,93$ MPa) pada Grid D-4 (Story 2)

Aksial Lentur			
Kondisi	P (kN)	M2 (kN-m)	M3 (kN-m)
P max	-1613,083	86,0875	32,0772
P min	-4438,4138	-564,3722	-83,9125
M2 Max	-1667,4645	350,9116	86,7225
M2 Min	-4438,4138	-564,3722	83,9125
M3 Max	-3937,6638	22,5877	277,6491
M3 Min	-2168,2145	-236,0483	-274,839

Justifikasi Kolom Menggunakan Program spColumn

Justifikasi kolom diperiksa menggunakan program spColumn untuk mengetahui hubungan diagram interaksi beban aksial - momen terfaktor (Pu-Mu) untuk memastikan kapasitas kekuatan kolom terpenuhi dan *safety factor* masih memenuhi syarat aman > 1 .

1. Pu-Mu terbesar All Stories

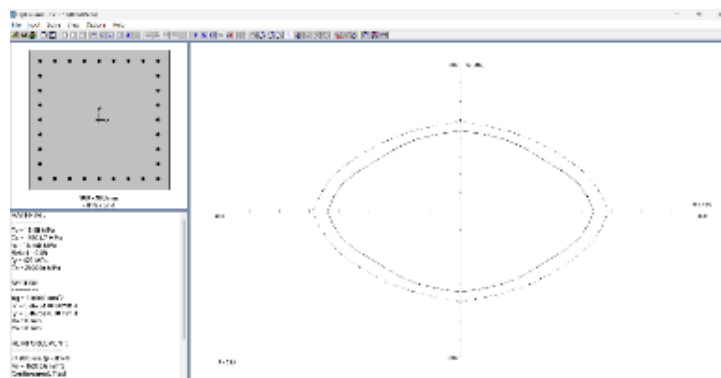


Gambar 9. Diagram Interaksi Pu-Mu Kolom K1 (900x900) mm ($f'c = 25$ MPa)

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities										
Pu	Mux	Muy	ϕ Mnx	ϕ Mny	ϕ Mn/Mu	NA Depth	dt Depth	et	ϕ	
kN	kNm	kNm	kNm	kNm	kNm		mm	mm		
5224.96	-1009.80	-154.54	-2248.14	-344.05	2.226	562	970	0.00218	0.657	
-2328.02	310.67	574.11	734.02	1356.42	2.363	256	1070	0.00955	0.900	
4259.37	921.79	152.13	2452.13	404.69	2.660	498	979	0.00291	0.719	
7072.02	-412.24	-516.64	-1184.24	-1484.15	2.873	780	1166	0.00148	0.650	
6147.78	160.30	-576.89	632.03	-2274.51	3.943	330	1008	0.00625	0.900	
-3437.35	170.69	42.41	1054.16	261.91	6.176	122	913	0.02181	0.900	

Gambar 10. Beban dan Momen Terfaktor Kolom K1 (900x900) mm ($f'c = 25$ MPa)

2. Pu-Mu ($f'c = 18,08$ MPa) pada Grid C-5 (Story 2)

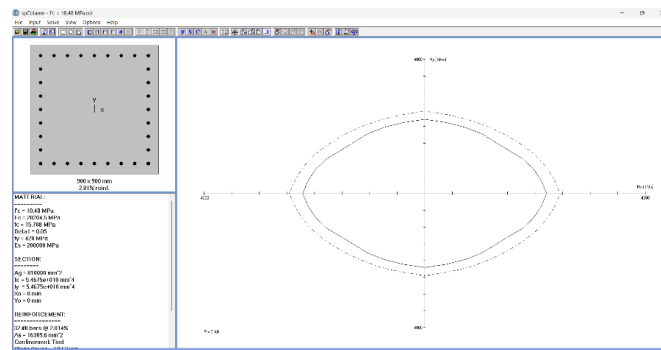


Gambar 11. Diagram Interaksi Pu-Mu Kolom K1 (900x900) mm

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities										
No	Pu	Mux	Muy	ϕ Mnx	ϕ Mny	ϕ Mn/Mu	NA Depth	dt Depth	et	
	kN	kNm	kNm	kNm	kNm		mm	mm		
3	3162.51	658.23	132.85	2026.17	408.95	3.078	526	1001	0.00271	
2	4438.41	-564.37	-83.91	-1843.13	-274.04	3.266	595	965	0.00187	
4	4438.41	-564.37	83.91	-1843.13	274.04	3.266	595	965	0.00187	
5	1298.07	79.77	396.41	459.69	2284.35	5.763	385	988	0.00472	
6	2075.24	-51.93	-380.67	-316.28	-2318.42	6.090	405	951	0.00405	
1	1358.79	-18.64	39.49	-879.96	1864.58	47.211	485	1109	0.00387	

Gambar 12. Beban dan Momen Terfaktor Kolom K1 (900x900) mm ($f'c = 18,08$ MPa)

3. Pu-Mu ($f'c = 18,48$ MPa) pada Grid B-2 (Story 2)

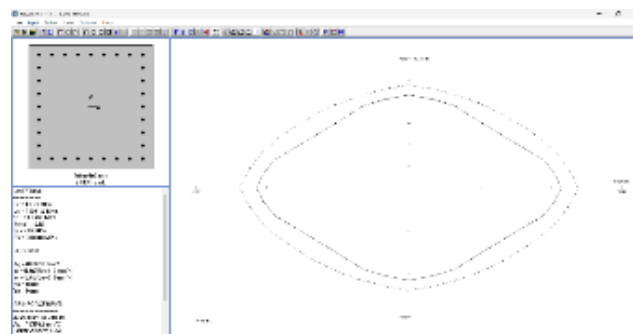


Gambar 13. Diagram Interaksi Pu-Mu Kolom K1 (900x900) mm

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities										
No	Pu	Mux	Muy	ϕ Mnx	ϕ Mny	ϕ Mn/Mu	NA Depth	dt Depth	et	
	kN	kNm	kNm	kNm	kNm		mm	mm		
3	3162.51	658.23	132.85	2059.31	415.64	3.129	520	1001	0.00278	
2	4438.41	-564.37	-83.91	-1871.04	-278.19	3.315	590	965	0.00191	
4	4438.41	-564.37	83.91	-1871.04	278.19	3.315	590	965	0.00191	
5	1298.07	79.77	396.41	464.53	2308.42	5.823	382	987	0.00480	
6	2075.24	-51.93	-380.67	-320.37	-2348.37	6.169	400	950	0.00414	
1	453.08	33.24	30.69	1458.95	1347.20	43.891	478	1166	0.00433	

Gambar 14. Beban dan Momen Terfaktor Kolom K1 (900x900)mm ($f'c = 18,48$ MPa)

4. Pu-Mu ($f'c = 13,93$ MPa) pada Grid D-4 (Story 2)



Gambar 15. Diagram Interaksi Pu-Mu Kolom K1 (900x900) mm

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities										
No	Pu	Mux	Muy	ϕ Mnx	ϕ Mny	ϕ Mn/Mu	NA Depth	dt Depth	et	
	kN	kNm	kNm	kNm	kNm		mm	mm		
3	4150.41	-564.37	-83.91	-1530.01	-278.19	3.712	678	601	0.00190	
4	4438.41	-564.37	83.91	-1530.01	278.19	3.712	678	601	0.00190	
2	7160.31	-351.25	-374.91	-1223.08	-1330.49	4.596	621	1105	0.00527	
2	1061.40	350.21	36.72	1031.04	491.40	5.291	462	1029	0.00326	
5	1917.02	22.59	277.25	135.45	1639.52	5.906	567	621	0.00132	
1	1012.00	36.22	32.29	1130.06	841.10	25.702	327	1029	0.00264	

Gambar 16. Beban dan Momen Terfaktor Kolom K1 (900x900) mm ($f'c = 13,93$ MPa)

KESIMPULAN

Pengujian *Non-Destructive Test* menggunakan UPV dan *Hammer Test* dapat digunakan untuk memperoleh estimasi mutu beton aktual tanpa merusak elemen struktur. Setelah dilakukan pemeriksaan struktur secara menyeluruh menggunakan mutu beton berdasarkan metode 3, hasil numerik menunjukkan bahwa kolom secara keseluruhan masih memenuhi

syarat aman. Pemodelan struktur menggunakan ETABS berdasarkan kondisi aktual memberikan gambaran perilaku struktur terhadap kombinasi pembebanan gravitasi dan gempa. Kolom dengan nilai $f'c < 75\%$ mutu rencana dan tinjauan kolom di semua lantai bangunan, dilakukan pengecekan kapasitas kolom menggunakan spColum dengan mengambil nilai terfaktor (P_u-M_u) untuk mengetahui hubungan diagram interaksinya. Adapun hasil menunjukkan syarat $\frac{\phi M_n}{M_u} > 1$ dalam kondisi batas aman. Evaluasi gabungan antara pemeriksaan lapangan dan analisis numerik dapat menjadi metode assessmen yang efektif untuk bangunan bertingkat eksisting.

DAFTAR PUSTAKA

- 228, A. C. I. C. (2013). *Report on Non-destructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures (ACI 228.1R-13)*. American Concrete Institute.
- 318, A. C. I. C. (2019). *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) and Commentary (ACI 318R-19)*. American Concrete Institute.
- Agency, F. E. M. (2005). *Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures (FEMA 440)*. Federal Emergency Management Agency.
- Bogdan, B. (2022). Concrete Compressive Strength by Means of Ultrasonic Pulse Velocity and Modulus of Elasticity. *Journal of Materials and Engineering Research*.
- Council, I. C. (2021). *International Building Code (IBC 2021)*. ICC.
- Inc., C. and S. (2022). *ETABS Integrated Building Design Software User's Guide Version 22.6.0*. Computers and Structures Inc.
- Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2014). *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials* (4th ed.). McGraw-Hill Education.
- Nasional, B. S. (2019a). *SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Badan Standardisasi Nasional.
- Nasional, B. S. (2019b). *SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*. Badan Standardisasi Nasional.
- Nasional, B. S. (2020). *SNI 1727:2020 Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Badan Standardisasi Nasional.
- Neville, A. M. (2011). *Properties of Concrete* (5th ed.). Pearson Education Limited.
- Paulay, T., & Priestley, M. J. N. (1992). *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*. John Wiley & Sons.
- Priestley, M. J. N., Calvi, G. M., & Kowalsky, M. J. (2007). *Displacement-Based Seismic Design of Structures*. IUSS Press.
- Sastry, V. V., & Kumar, R. P. (2018). Evaluation of Concrete Strength Using Rebound Hammer and Ultrasonic Pulse Velocity Methods. *International Journal of Civil Engineering and Technology*.
- Wight, J. K., & MacGregor, J. G. (2012). *Reinforced Concrete: Mechanics and Design* (6th ed.). Pearson Education.