



Kajian Keandalan Struktur Gedung Berdasarkan Hasil Pengujian Statik (Studi Kasus Gedung di Tangerang)

Dian Puspita Sari¹, Pariatmono Sukamdo²

^{1,2} Program Studi Magister Teknik Sipil, Pascasarjana Universitas Mercu Buana, Jakarta, Indonesia

Email: dianpuspitsari@gmail.com

Article Info

Article history:

Received February 02, 2026

Revised February 13, 2026

Accepted February 21, 2026

Keywords:

Structural Reliability, Static Testing, Building in Tangerang

ABSTRACT

This study examines the structural reliability of a three-story building in Tangerang based on the results of static testing and material characteristic data, with a focus on reinforced concrete elements, namely beams, columns, and slabs. Concrete strength data were obtained from a combination of non-destructive testing (Ultrasonic Pulse Velocity and Hammer Test) and destructive testing (Concrete Core Drill), which were then calibrated using linear regression equations so that all NDT results could be converted into equivalent compressive strength values. The compressive strength values from core drill tests were analyzed using probability distributions and showed that the normal distribution provided the best fit between theoretical parameters and sample data (mean of 27.12 MPa and coefficient of variation of 16.12). Based on these material characteristics, structural modeling of the building was carried out using ETABS v22.0.0 with several schemes: the design planning model, a model incorporating 27 core drill points, and the current model reflecting the actual concrete strength with a single f_c' value assigned to elements that were not tested. Static analysis was conducted using load combinations in accordance with SNI 1727:2020 to obtain responses in the form of normal stress, shear stress, and deflection of structural elements. The maximum deflection response in the current model was then treated as a random variable, analyzed using continuous probability distributions, and used to calculate the probability of failure and reliability index through a probabilistic approach. The analysis results indicate that the continuous deflection distribution yields a CDF value of 99.98%, which is equivalent to a reliability index of approximately 4.0 and corresponds to a "good" performance level according to the table relating reliability index, probability of failure, and performance level. Therefore, future research is recommended to develop reliability analysis at the system level (interaction between columns, beams, and slabs), incorporate scenarios of progressive failure and structural redundancy, conduct additional static testing or in-situ measurements, and develop more comprehensive empirical-analytical models to assess the reliability of existing building structures.

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



Article Info

Article history:

Received February 02, 2026

Revised February 13, 2026

Accepted February 21, 2026

ABSTRACT

Penelitian ini mengkaji keandalan struktur sebuah gedung 3 (tiga) lantai di Tangerang berdasarkan hasil pengujian statik dan data karakteristik bahan, dengan fokus pada elemen beton bertulang berupa balok, kolom, dan pelat. Data mutu beton diperoleh dari kombinasi pengujian non destruktif (*Ultrasonic Pulse Velocity* dan *Hammer test*)

**Keywords:**

Keandalan Struktur, Pengujian Statik, Gedung di Tangerang

dan pengujian destruktif (*Concrete Core Drill*), yang kemudian dikalibrasi melalui persamaan regresi linier sehingga seluruh hasil NDT dapat dikonversi menjadi nilai kuat tekan ekuivalen. Nilai kuat tekan beton hasil *core drill* dianalisis distribusi probabilitasnya dan menunjukkan bahwa distribusi normal memberikan kesesuaian terbaik antara parameter teoritis dan data sampel (rata-rata 27,12 MPa dan koefisien variasi 16,12). Berdasarkan data karakteristik bahan tersebut, dilakukan pemodelan struktur gedung menggunakan ETABS v22.0.0 dengan beberapa skema: model desain perencanaan, model dengan 27 titik core drill, dan model saat ini yang merefleksikan mutu beton aktual dengan satu nilai f_c' untuk elemen yang tidak diuji. Analisis statik dilakukan dengan kombinasi beban mengacu pada SNI 1727:2020 untuk memperoleh respon berupa tegangan normal, tegangan geser, dan lendutan pada elemen-elemen struktur. Respon lendutan maksimum pada model saat ini kemudian diperlakukan sebagai variabel acak, dianalisis dengan distribusi kontinu, dan digunakan untuk menghitung probabilitas kegagalan serta indeks keandalan dengan pendekatan probabilistik. Hasil analisis menunjukkan bahwa distribusi kontinu lendutan menghasilkan nilai CDF sebesar 99,98% yang ekuivalen dengan indeks keandalan sekitar 4,0 dan tingkat unjuk kerja “baik” menurut tabel hubungan indeks keandalan–probabilitas kegagalan–tingkat unjuk kerja. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan analisis keandalan pada tingkat sistem (interaksi kolom–balok–pelat), memasukkan skenario kegagalan bertahap dan redundansi struktur, melakukan pengujian statik tambahan maupun pengukuran in-situ, serta menyusun model analitik empiris yang lebih komprehensif untuk menilai keandalan struktur gedung eksisting.

This is an open access article under the [CC BY-SA](#) license.

**Corresponding Author:**

Dian Puspita Sari
Universitas Mercu Buana
Email: dianpuspitsari@gmail.com

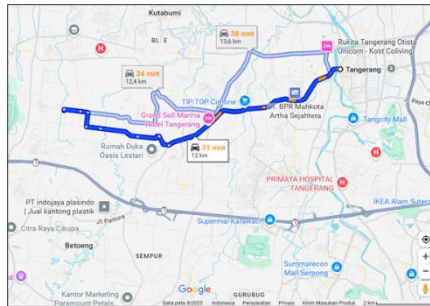
PENDAHULUAN

Negara Kesatuan Republik Indonesia akan berusia seratus tahun untuk menyongsong usia satu abad ini, Pemerintah mencanangkan Visi Indonesia Emas 2015 – 2045 yang menjadi fase pertama adalah Indonesia yang berdaulat, maju serta adil dan makmur. Infrastruktur memiliki peran krusial dalam mendorong pertumbuhan ekonomi dan peningkatan kualitas hidup masyarakat (Wahyunto et al., 2024).

Perawatan bangunan gedung adalah kegiatan memperbaiki dan/atau mengganti bagian bangunan gedung, komponen, bahan bangunan, dan/atau prasarana dan sarana agar bangunan gedung tetap laik fungsi (Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 16 Tahun 2021). Pengaturan bangunan gedung bertujuan untuk: (1) mewujudkan bangunan gedung yang fungsional dan sesuai dengan tata bangunan gedung yang serasi dan selaras dengan lingkungannya; (2) mewujudkan tertib penyelenggaraan bangunan gedung yang menjamin keandalan teknis bangunan gedung dari segi keselamatan, kesehatan, kenyamanan, dan kemudahan; (3) mewujudkan kepastian hukum dalam penyelenggaraan bangunan gedung (Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 28 Tahun 2002).

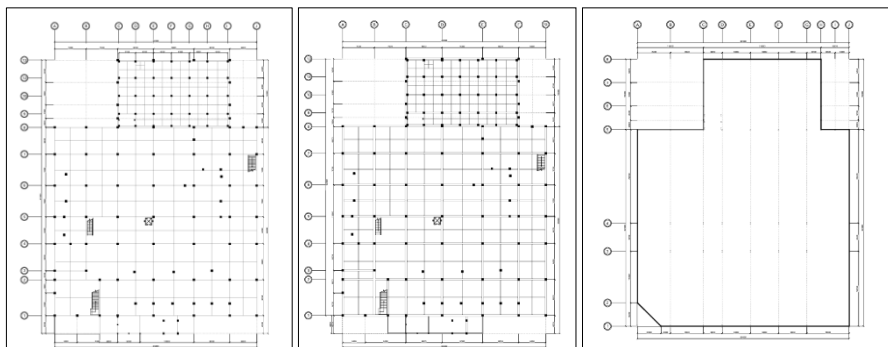
Keandalan bangunan gedung dilihat dari keselamatan struktur, keruntuhan struktur dan persyaratan bahan. Keruntuhan struktur untuk mencegah terjadinya keruntuhan struktur yang tidak diharapkan, pemeriksaan keandalan bangunan harus dilakukan secara berkala sesuai dengan pedoman/petunjuk teknis yang berlaku (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 29/PRT/M/2006).

Studi kasus yang akan diteliti adalah gedung yang berada di Tangerang yang terletak di Kawasan Industri Jatake Jalan Industri IV Blok AG No. 4, Bunder, Kecamatan Cikupa, Kota Tangerang, Banten 15135.



Gambar 1. Lokasi gedung di Tangerang Terhadap Kota Tangerang Provinsi Banten (Google Maps, 2025).

Berdasarkan Final Report Assessment & Testing Struktur Bangunan Paragon J1 (Plant 1) Tangerang Banten. Gedung ini telah beroperasi sejak 1985, telah berpengalaman lebih dari 32 tahun dengan struktur memiliki 3 lantai mempunyai dimensi panjang 45 meter, lebar 61 meter.



Gambar 2. Denah Struktur Lantai 1, 2 dan 3 (PT. Graha Survei Indonesia, 2023)

Berdasarkan Final Report Assessment & Testing Struktur Bangunan Paragon J1 (Plant 1), Gedung pabrik di Kota Tangerang tepatnya di Kawasan Industri Jatake dalam rangka pemeliharaan struktur bangunan area produksi berencana melakukan pemeriksaan struktur. Untuk memastikan kondisi struktur secara keseluruhan, maka perlu dilakukannya pengujian terhadap struktur bangunan tersebut.

METODE PENELITIAN

Terdapat beberapa tahapan pengujian yang akan dilakukan, yaitu tahapan persiapan penelitian, kemudian persiapan alat-alat pada benda uji. Penelitian melakukan sebuah

penelitian untuk menjawab pertanyaan penelitian, oleh karena itu pembahasan hasil penelitian dibagi sesuai permasalahan penelitian, yaitu:

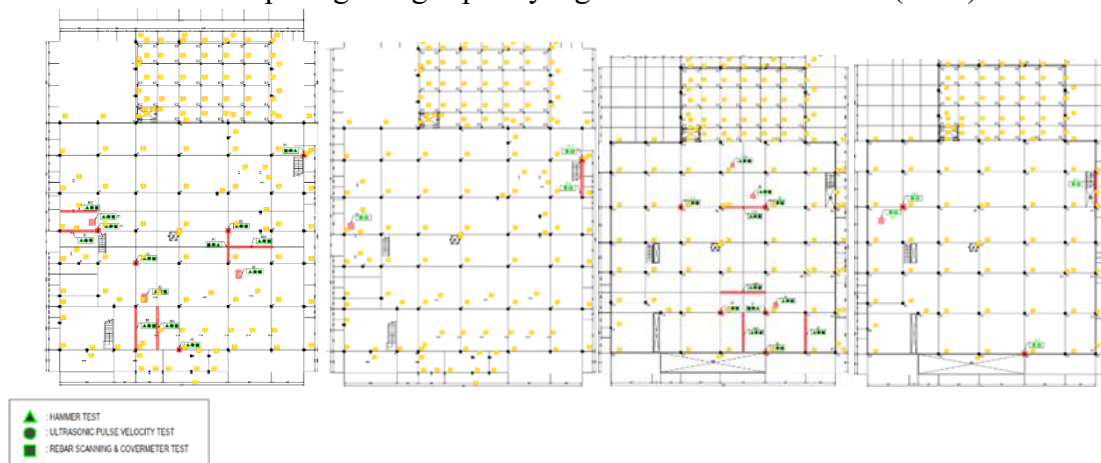
1. Bagaimana pengujian statik pada gedung ?
2. Bagaimana hasil pengujian statik pada gedung dan bagaimana dimasukan dalam numerik ?
3. Bagaimana menentukan keandalan struktur berdasarkan model numerik yang dikembangkan dari hasil pengujian statik ?

Untuk penelitian ini menggunakan jenis data sekunder, karena data penelitian utama menggunakan hasil pengukuran dan pengamatan langsung yang dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Data analisis yang dimaksud adalah data gambar As Bulit Drawing gedung dan hasil pengujian yang telah dilaksanakan yaitu hasil hammer test, hasil core drill test, dan hasil *Ultrasonic Pulse Velocity Test* (UPV Test).

Metode analisis yang digunakan untuk mengevaluasi dari struktur gedung eksisting yaitu dimodelkan pada tesis, yaitu:

1. Mengumpulkan data gambar dan pengujian statik;
2. Perilaku statik dari hasil pengujian statik;
3. Analisis struktur menggunakan ETABS berdasarkan gambar As Built Drawing;
4. Analisis struktur bangunan berdasarkan hasil pengujian statis
5. Analisis keandalan struktur gedung berdasarkan model numerik.

Pada tahap permodelan gedung kondisi saat ini, dilakukan pengelompokan titik pengujian NDT dan DT beton pada gedung seperti yang dilakukan oleh Wirani (2025).



Gambar 3. Pengelompokan Titik Pengujian NDT dan DT Beton Pengujian Beton Lantai 2 (atas) dan Pengujian Beton Lantai 3 (bawah) (Wirani, 2025)

Dari persamaan regresi linear yang didapatkan, digunakan untuk mengkonversikan harga pemeriksaan harga pemeriksaan UPV dan Hammer Test pada elemen struktur lainnya ke dalam nilai harga Core Drill, seperti pada table dibawah ini:

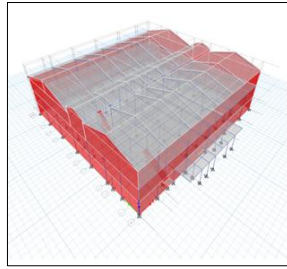


Tabel 1. Konversi Harga UPV dan Hammer Test pada elemen struktur lainnya ke dalam nilai harga Core Drill (Wirani, 2025)

7 TITIK DENGAN PEMERIKSAAN CORE DRILL						
No.	Tempat Pengujian UPV dan Hammer Test	Hasil UPV (m/s)	Hasil Core Drill (Mpa)	Hasil Hammer Test (Mpa)	Hasil Core Drill (Mpa)	Rata-rata nilai Core Drill
1	LT1 K5	Kolom	3398	24,24	30,5	24,24
2	LT2 K6	Kolom	3525	14,14	20	14,14
3	LT2 S1-1	Pelat	3320	33,15	31	33,15
4	LT2 S2-1	Pelat	3346	28,47	14,5	28,47
5	LT2 S3-1	Pelat	3552	32,45	19,5	32,45
6	LT3 S4-1	Pelat	3372	36,9	29,5	36,9
7	LT3 S5-1	Pelat	3319	34,69	19,5	34,69
20 TITIK PERKIRAAN NILAI CORE DRILL						
No.	Tempat pengujian UPV dan Hammer Test	Hasil UPV (m/s)	Nilai Core Drill (UPV-Core Drill) (Mpa)	Hasil Hammer Test (Mpa)	Nilai Core Drill (Hammer Test-Core Drill) (Mpa)	Rata-rata nilai Core Drill (Mpa)
			$Y = 0,0287x - 68,417$		$Y = -0,391x + 34,896$	
1	LT1 K1	Kolom	3240	24,57	17	28,25
2	LT1 K3	Kolom	3300	26,29	31,5	22,58
3	LT2 B2A	Balok Induk	3382	28,65	30	23,17
No.	Tempat pengujian UPV dan Hammer Test	Hasil UPV (m/s)	Nilai Core Drill (UPV-Core Drill) (Mpa)	Hasil Hammer Test (Mpa)	Nilai Core Drill (Hammer Test-Core Drill) (Mpa)	Rata-rata nilai Core Drill (Mpa)
4	LT2 B3	Balok Induk	3293	26,09	23	25,90
5	LT2 B5	Balok Induk	3513	32,41	29	23,56
6	LT2 B5	Balok Induk	3097	20,47	29,5	23,56
7	LT2 BA4	Balok Anak	3469	31,14	24	25,51
8	LT2 K10	Kolom	3346	27,61	27	24,34
9	LT2 K2	Kolom	3620	35,48	25	25,12
10	LT2 K7	Kolom	3328	27,10	16,5	28,44
11	LT2 K8	Kolom	3325	27,01	18	27,86
12	LT2 K9	Kolom	3317	26,78	14,5	29,23
13	LT3 B7	Balok Induk	3467	31,09	19,5	27,27
14	LT3 B10	Balok Induk	3289	25,98	30	23,17
15	LT1 B1-1	Balok Induk	3179	22,82	21	26,69
16	LT1 K4-1	Kolom	3281	25,75	17	28,25
17	LT3 BA8-1	Balok Anak	3393	28,96	15,5	28,84
18	LT3 BA9-1	Balok Anak	3286	25,89	34	21,60
No.	Tempat pengujian UPV dan Hammer Test	Hasil UPV (m/s)	Nilai Core Drill (UPV-Core Drill) (Mpa)	Hasil Hammer Test (Mpa)	Nilai Core Drill (Hammer Test-Core Drill) (Mpa)	Rata-rata nilai Core Drill (Mpa)
19	LT3 S6-1	Pelat	3386	28,76	26,5	24,53
20	LT3 Label 241	Pelat		30,17	23,10	23,10
RATA-RATA NILAI CORE DRILL 27 TITIK						27,12

Pada elemen struktur yang tidak termasuk kedalam 27 titik, maka beton terinput adalah nilai rata-rata core drill 27 titik yaitu 27,12 MPa.

Permodelan ini dilakukan dengan bantuan program ETABS. Masing-masing elemen struktur dimodelkan berdasarkan data gambar as built drawing dan atau investigasi struktur dengan material sesuai kondisi eksisting.



Gambar 4. Permodelan Struktur Bangunan Paragon Jatake J1, Area Produksi (Sumber: PT. Graha Survei Indonesia, 2021)

Material yang digunakan yaitu beton dengan mutu F_c 30 MPa, material baja tulangan beton menggunakan baja ulir dengan mutu F_y 400 Mpa, dan untuk material baja WF menggunakan baja dengan mutu BJ 50. Untuk penampang balok beton diantaranya Balok 40x60 dan 22x34. Sedangkan untuk penampang kolom yaitu kolom 35x35, 40x40, dan 50x50.

Analisis Distribusi

Beberapa variabel random yang sering digunakan didalam keandalan struktur, antara lain:

1. Distribusi Seragam (Uniform)

Distribusi seragam adalah distribusi probabilitas di mana semua nilai dalam rentang tertentu (misal antara a dan b) memiliki peluang yang sama untuk terjadi.

PDF ini konstan untuk semua x di rentang antara 14,14 MPa dan 36,90 MPa. Diluar rentang tersebut, nilai PDF adalah nol.

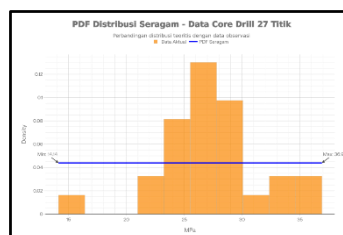
Cumulative Distribution Function (CDF) untuk distribusi seragam (uniform) adalah:

$$F(x) = \frac{x - a}{b - a}, \text{ untuk } a \leq x \leq b$$

$$F(25,25) = \frac{25,52 - 14,14}{36,90 - 14,14} = \frac{11,38}{22,76} = 0,50 \quad \dots\dots\dots (50\%)$$

Tabel 2. Nilai Probability Density Function (PDF) dan Cumulative Distribution Function (CDF) dari analisis distribusi seragam

No.	Nilai Core Drill (MPa)	PDF	CDF	Persentase
1	15	0,043937	0,03778	3,78%
2	20	0,043937	0,25748	25,75%
3	25,52	0,043937	0,47718	47,72%
4	25	0,043937	0,50000	50,00%
5	30	0,043937	0,69682	69,68%
6	35	0,043937	0,91652	91,65%



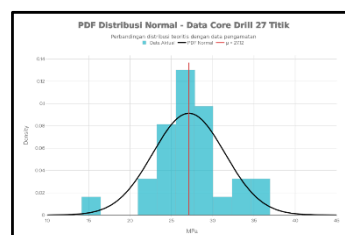
Gambar 5. Gambar grafik menampilkan histogram data core drill dengan distribusi seragam (uniform)

2. Distribusi Normal

Distribusi normal ini ditentukan oleh 2 parameter utama, yaitu mean (rata-rata) yang menandai pusat distribusi dan standar deviasi (SD) yang mengukur sebaran data disekitar mean.

Tabel 3. Nilai Probability Density Function (PDF) dan Cumulative Distribution Function (CDF) dari analisis distribusi normal

No.	Nilai Core Drill (MPa)	PDF	CDF	Persentase
1	14,14	0,001113	0,001495	0,15%
2	20,00	0,024234	0,051718	5,17%
3	25,00	0,081136	0,313928	31,39%
4	27,12	0,091252	0,500068	50,01%
5	30,00	0,073445	0,745028	74,50%
6	36,90	0,007472	0,987363	98,74%



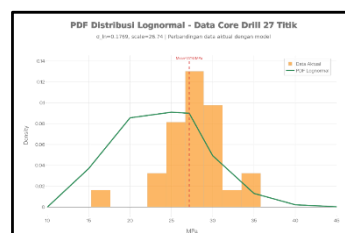
Gambar 6. Gambar grafik menampilkan histogram data core drill dengan Distribusi Normal

3. Distribusi Log Normal

Analisis distribusi Log Normal adalah metode statistik untuk mempelajari dan memahami data yang nilai aslinya tidak terdistribusi secara normal, namun jika data tersebut di-logaritman, maka hasil logaritmanya akan terdistribusi secara normal.

Tabel 4. Nilai Probability Density Function (PDF) dan Cumulative Distribution Function (CDF) dari analisis distribusi log normal

No.	Nilai Core Drill (MPa)	PDF	CDF	Persentase
1	14,14	0,000242	0,000158	0,02%
2	20,00	0,029261	0,050238	5,02%
3	25,00	0,083888	0,351549	35,15%
4	26,74 (median)	0,084337	0,499686	49,97%
5	27,16 (mean)	0,082717	0,534788	53,48%
6	30,00	0,060877	0,741994	74,20%
7	36,90	0,011670	0,965600	96,56%



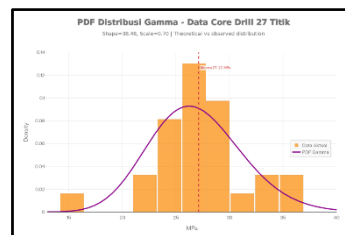
Gambar 7. Gambar grafik menampilkan histogram data core drill dengan Distribusi Log Normal

4. Distribusi Gamma

Distribusi Gamma memiliki dua parameter utama, yaitu parameter bentuk (α) yang menentukan bentuk kurva distribusi, dan parameter skala (β) yang mempengaruhi penyebaran data.

Tabel 5. Nilai Probability Density Function (PDF) dan Cumulative Distribution Function (CDF) dari Analisis Distribusi Gamma

No.	Nilai Core Drill (MPa)	PDF	CDF	Persentase
1	14,14	0,000228	0,000166	0,02%
2	20,00	0,024534	0,040695	4,07%
3	25,00	0,087255	0,328573	32,86%
4	27,12 (mean)	0,091052	0,521508	52,15%
5	30,00	0,067199	0,754982	75,50%
6	36,90	0,008812	0,980584	98,06%



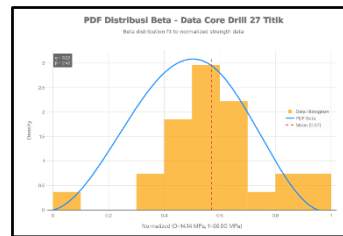
Gambar 8. Gambar grafik menampilkan histogram data core drill dengan Distribusi Gamma

5. Distribusi Beta

Analisis distribusi Beta adalah suatu metode statistik untuk memodelkan dan menganalisis variabel acak kontinu yang nilainya terbatas pada interval 0 sampai 1.

Tabel 6. Nilai Probability Density Function (PDF) dan Cumulative Distribution Function (CDF) dari analisis distribusi beta

No.	Nilai Core Drill (MPa)	PDF	CDF	Persentase
1	14,14	0,000000	0,000000	0,00%
2	18,45 (95% lower)	0,017226	0,024931	2,49%
3	20,00	0,030042	0,061303	6,13%
4	23,10	0,057712	0,197733	19,77%
5	27,12 (mean)	0,080383	0,483846	48,38%
6	30,00	0,076268	0,714358	71,44%
7	34,73 (95% upper)	0,026185	0,974918	97,49%
8	36,90	0,000000	1,000000	100,00%



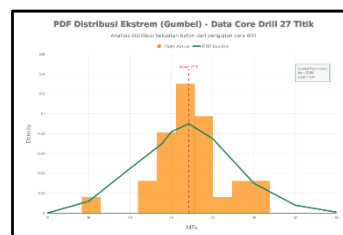
Gambar 9. Gambar grafik menampilkan histogram data core drill dengan Distribusi Beta

6. Distribusi Ekstrem

Analisis distribusi ekstrem adalah metode statistik yang digunakan untuk mempelajari dan memodelkan perilaku nilai-nilai ekstrem (sangat tinggi atau sangat rendah) dalam suatu kumpulan data.

Tabel 7. Nilai Probability Density Function (PDF) dan Cumulative Distribution Function (CDF) dari analisis distribusi ekstrem

No.	Nilai Core Drill (MPa)	PDF	CDF	Persentase
1	14,14	0,003448	0,003402	0,34%
2	16,56 (95% lower)	0,016419	0,024941	2,49%
3	20,00	0,048305	0,135521	13,55%
4	23,88 (mode)	0,065609	0,367699	36,77%
5	27,12 (mean)	0,057110	0,570416	57,04%
6	30,00	0,042813	0,714702	71,47%
7	36,90	0,015864	0,906538	90,65%
8	44,50 (95% upper)	0,004399	0,975017	97,50%



Gambar 10. Gambar grafik menampilkan histogram data core drill dengan Distribusi Ekstrem

Kesimpulan pilihan dari beberapa distribusi:

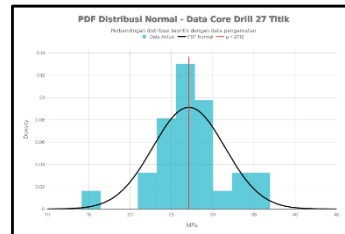
- Paling praktis untuk model gedung: Distribusi Normal (mudah, umum di literatur dan software).
- Pilihan terbaik adalah distribusi normal sebagai utama karena paling konsisten dengan data, paling mudah dipakai dalam desain gedung, dan sesuai praktik standar permodelan kuat tekan beton.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis distribusi normal adalah proses statistik yang digunakan untuk memeriksa dan memahami penyebaran data yang mengikuti pola distribusi normal, yang memiliki ciri khas kurva berbentuk lonceng (bell curve) dengan simetri di sekitar nilai rata-rata (mean).

Tabel 8. Nilai Probability Density Function (PDF) dan Cumulative Distribution Function (CDF) dari analisis distribusi normal

No.	Nilai Core Drill (MPa)	PDF	CDF	Persentase
1	14,14	0,001113	0,001495	0,15%
2	20,00	0,024234	0,051718	5,17%
3	25,00	0,081136	0,313928	31,39%
4	27,12	0,091252	0,500068	50,01%
5	30,00	0,073445	0,745028	74,50%
6	36,90	0,007472	0,987363	98,74%



Gambar 11. Gambar grafik menampilkan histogram data core drill dengan Distribusi Normal

Berikut ini rangkuman nilai besaran tegangan terbesar kolom, balok, dan pelat pada model perencanaan.

Tabel 9. Analisis Model Perencanaan, 27 titik dan nilai-rata-rata dengan Distribusi Normal

No	Besaran	Syarat Batas	Letak	Model Perencanaan	Model 27 titik	Model 27 titik dan nilai rata-rata
1	Tegangan Normal Kolom (MPa)	13,5 MPa	Kolom C39 lantai 1	-8,4170	-8,4630	-8,4606
2	Tegangan Geser Kolom (MPa)	3,325 MPa	Kolom C57 lantai 1	-0,3372	0,3384	-0,3339
3	Tegangan Normal balok (MPa)	13,5 MPa	Balok 452 lantai 3	-12,0328	-12,0007	-11,8820
4	Tegangan Geser balok (MPa)	4,546 MPa	Balok 452 lantai 3	-29,3500	-28,9777	-28,4623
5	Lendutan (mm)	Lendutan izin maksimum = 25 mm	Balok 452 lantai 3	9,3740	9,3610	9,6840
6	Tegangan Lantai sisi atas (MPa)	2,738 MPa	Lantai F501 lantai 3	13,6600	13,6400	13,9800
7	Tegangan Lantai sisi bawah pelat (MPa)	13,5 MPa	F146 lantai 3	-9,2900	-11,3000	-9,3800



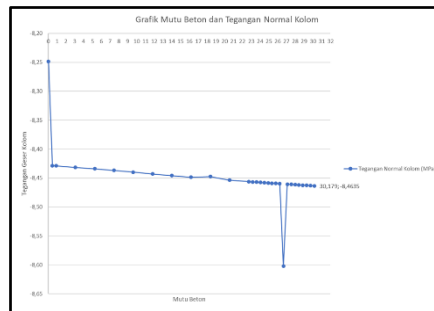
Tegangan Normal Kolom dan Tegangan Geser Kolom

Tegangan normal kolom adalah tegangan yang ada pada penampang kolom akibat gaya yang bekerja sejajar sumbu kolom, baik berupa tekan maupun tarik, dan besarnya sama dengan gaya aksial dibagi luas penampang kolom ($\sigma = N/A$).

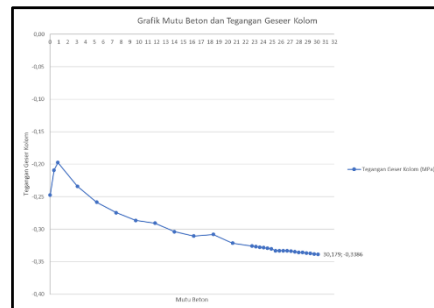
Tegangan geser kolom adalah besarnya tegangan dalam elemen kolom yang timbul akibat gaya geser yang bekerja sejajar terhadap penampang kolom, sehingga menyebabkan kecenderungan pergeseran relatif antara serat beton di dalam kolom.

Tabel 10. Hasil Tegangan Normal Kolom

No.	Tegangan/mutu beton (Mpa)	Tegangan Normal Kolom (MPa)	Tegangan Geser Kolom (MPa)
1	0,026	-8,2487	-0,2475
2	0,463	-8,4286	-0,2091
3	0,9	-8,4287	-0,1975
4	3,085	-8,4316	-0,2338
5	5,27	-8,4338	-0,2584
6	7,455	-8,4368	-0,2746
7	9,64	-8,4399	-0,2865
8	11,825	-8,4429	-0,2906
9	14,01	-8,4458	-0,3039
10	16,195	-8,4485	-0,3105
11	18,38	-8,4475	-0,3082
12	20,565	-8,4537	-0,3214
13	22,75	-8,4561	-0,3260
14	23,187	-8,4566	-0,3268
15	23,624	-8,4571	-0,3277
16	24,061	-8,4575	-0,3285
17	24,498	-8,4580	-0,3293
18	24,935	-8,4584	-0,3301
19	25,372	-8,4589	-0,3332
20	25,809	-8,4593	-0,3332
21	26,246	-8,4598	-0,3332
22	26,683	-8,6020	-0,3331
23	27,12	-8,4606	-0,3339
24	27,557	-8,4610	-0,3346
25	27,994	-8,4615	-0,3358
26	28,431	-8,4619	-0,3360
27	28,868	-8,4623	-0,3367
28	29,305	-8,4627	-0,3373
29	29,742	-8,4631	-0,3380
30	30,179	-8,4635	-0,3386
Nilai rata – rata		-8,4502	-0,3078



Gambar 12. Grafik Mutu Beton dan Tegangan Normal Kolom



Gambar 13. Grafik Mutu Beton dan Tegangan Geser Kolom

Grafik memperlihatkan hubungan antara mutu beton dan tegangan normal yang terjadi pada kolom. Sumbu horizontal berisi mutu beton (0,026 MPa hingga 30,179 MPa), sedangkan sumbu vertikal berisi tegangan normal kolom dalam MPa dengan nilai negatif yang menunjukkan tekan.

Hal ini mengindikasikan bahwa besarnya tegangan normal lebih dipengaruhi oleh kombinasi pembebanan dan kondisi gaya dalam kolom dibandingkan oleh variasi mutu beton yang digunakan dalam rentang pengujian.

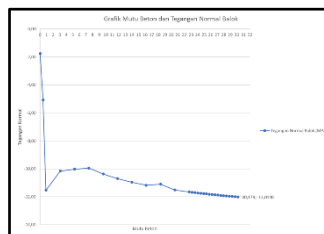
Tegangan Normal Balok dan Tegangan Geser Balok

Tegangan normal balok adalah tegangan yang bekerja tegak lurus terhadap bidang penampang balok akibat momen lentur atau gaya normal yang diterima balok, sehingga serat balok mengalami tarik atau tekan sepanjang arah memanjang balok.

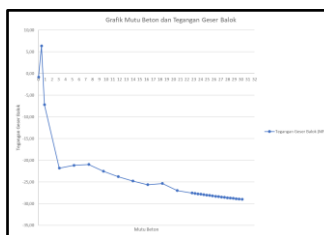
Tabel 11. Tegangan/Mutu Beton dan Hasil Tegangan Normal Balok

No.	Tegangan/mutu beton (Mpa)	Tegangan Normal Balok (MPa)	Tegangan Geser Balok (MPa)
1	0,026	-1,7508	-0,8367
2	0,463	-5,0849	6,3454
3	0,9	-11,5313	-7,1942
4	3,085	-10,1683	-21,8229
5	5,27	-10,0322	-21,1774
6	7,455	-9,9478	-20,9539
7	9,64	-10,3763	-22,5427
8	11,825	-10,7033	-23,7835
9	14,01	-10,9645	-24,7923
10	16,195	-11,1800	-25,6361
11	18,38	-11,1041	-25,3376

12	20,565	-11,5182	-26,9828
13	22,75	-11,6546	-27,5336
14	23,187	-11,6798	-27,6360
15	23,624	-11,7044	-27,7361
16	24,061	-11,7284	-27,8339
17	24,498	-11,7519	-27,9296
18	24,935	-11,7748	-28,0232
19	25,372	-11,7972	-28,1115
20	25,809	-11,8191	-28,2044
21	26,246	-11,8405	-28,2921
22	26,683	-11,8615	-28,3781
23	27,12	-11,8819	-28,4621
24	27,557	-11,9020	-28,5446
25	27,994	-11,9216	-28,6255
26	28,431	-11,9409	-28,7048
27	28,868	-11,9597	-28,7827
28	29,305	-11,9782	-28,8590
29	29,742	-11,9963	-28,9339
30	30,179	-12,0140	-29,0074
Nilai rata-rata		-10,9189	-24,1438



Gambar 14. Grafik Mutu Beton dan Tegangan Normal Balok



Gambar 15. Grafik Mutu Beton dan Tegangan Geser Balok

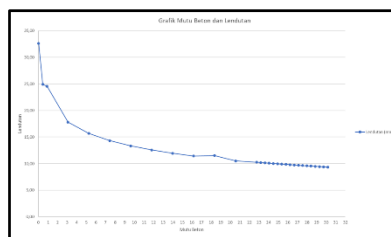
Data tabel menunjukkan hubungan antara mutu beton dan tegangan normal yang terjadi pada balok, yang seluruhnya berupa tegangan tekan dengan nilai bernada negatif.

Lendutan

Lendutan adalah perubahan bentuk atau perpindahan vertikal pada elemen struktur akibat pengaruh beban yang menyebabkan elemen tersebut melengkung dari posisi awalnya.

Tabel 12. Tegangan/Mutu Beton dan Hasil Lendutan

No.	Tegangan/mutu beton (Mpa)	Lendutan (mm)	No.	Tegangan/mutu beton (Mpa)	Lendutan (mm)
1	0,0260	32,6150	16	24,0610	10,0740
2	0,4630	24,9000	17	24,4980	10,0150
3	0,9000	24,5590	18	24,9350	9,9570
4	3,0850	17,7990	19	25,3720	9,9000
5	5,2700	15,6690	20	25,8090	9,8840
6	7,4550	14,3120	21	26,2460	9,7900
7	9,6400	13,3290	22	26,6830	9,7360
8	11,8250	12,5660	23	27,1200	9,6840
9	14,0100	11,9470	24	27,5570	9,6320
10	16,1950	11,4290	25	27,9940	9,5820
11	18,3800	11,5030	26	28,4310	9,5320
12	20,5650	10,5020	27	28,8680	9,4830
13	22,7500	10,2600	28	29,3050	9,4350
14	23,1870	10,1970	29	29,7420	9,3880
15	23,6240	10,1350	30	30,1790	9,3420

**Gambar 16.** Grafik Mutu Beton dan Lendutan

Secara fisik, grafik ini menggambarkan bahwa peningkatan mutu beton sangat efektif meningkatkan kekakuan (mengurangi lendutan), sedangkan pada mutu beton tinggi struktur sudah cukup kaku sehingga tambahan mutu hanya memberi pengaruh kecil terhadap lendutan. Secara umum, grafik ini menggambarkan bahwa efek peningkatan mutu beton terhadap pengurangan lendutan paling dominan pada fase awal (mutu rendah – menengah), sedangkan pada mutu tinggi pengaruhnya menjadi kecil karena balok telah berada pada kondisi deformasi yang lebih terkendali.

Distribusi Variabel Kontinu

Distribusi variabel kontinu adalah distribusi peluang yang terkait dengan variabel acak kontinu, yaitu variabel yang dapat mengambil tak hingga banyak nilai dalam suatu interval.

Ciri utama distribusi variabel kontinu:

- Peluang dinyatakan melalui fungsi kepadatan peluang PDF, bukan melalui daftar peluang di titik-titik tertentu;
- Peluang suatu nilai tepat $P(X = x)$ selalu bernilai nol; yang bermakna adalah peluang pada suatu interval;
- Fungsi distribusi kumulatif (CDF) $F(x) = P(X \leq x)$ diperoleh dengan mengintegrasikan pdf dari $-\infty$ sampai x .
- Luas total dibawah kurva pdf pada seluruh domain sama dengan 1, yang menyatakan total peluang.

**Tabel 13.** Nilai Rata-Rata, Standar Deviasi, PDF dan CDF

No	Tegangan/mutu beton (Mpa)	Lendutan (mm)	No	Tegangan/mutu beton (Mpa)	Lendutan (mm)
1	0,0260	32,6150	16	24,0610	10,0740
2	0,4630	24,9000	17	24,4980	10,0150
3	0,9000	24,5590	18	24,9350	9,9570
4	3,0850	17,7990	19	25,3720	9,9000
5	5,2700	15,6690	20	25,8090	9,8840
6	7,4550	14,3120	21	26,2460	9,7900
7	9,6400	13,3290	22	26,6830	9,7360
8	11,8250	12,5660	23	27,1200	9,6840
9	14,0100	11,9470	24	27,5570	9,6320
10	16,1950	11,4290	25	27,9940	9,5820
11	18,3800	11,5030	26	28,4310	9,5320
12	20,5650	10,5020	27	28,8680	9,4830
13	22,7500	10,2600	28	29,3050	9,4350
14	23,1870	10,1970	29	29,7420	9,3880
15	23,6240	10,1350	30	30,1790	9,3420
Nilai rata-rata (mm)					12,5719
Standar Deviasi					5,5300
PDF					0,0002
CDF					0,9998

Keandalan Struktur

Keandalan struktur adalah probabilitas bahwa suatu struktur mampu menjalankan fungsi yang direncanakan tanpa mengalami kegagalan selama periode waktu tertentu dan pada kondisi beban serta lingkungan yang ditetapkan.

Jika keandalan dikaitkan dengan indeks keandalan, maka:

$$CDF = 0,9998 \rightarrow \text{artinya}$$

$$P(X \leq x_{limit}) \approx 0,9998 = 99,98\%$$

$$(P_f) = 1 - R = 1 - 0,9998 = 0,0002$$

$$\text{Probabilitas Kegagalan } (P_f) = 0,02\%$$

Artinya kemungkinan nilai lendutan lebih kecil atau sama dengan batas x_{limit} .

$R = 0,9998 = 99,98\%$, Probabilitas tidak gagal (keandalan).

Tabel 14. Hubungan antara Indeks Keandalan, Probabilitas Kegagalan, Keandalan dan Tingkat Unjuk Kerja

Indeks Keandalan (β)	Probabilitas Kegagalan $P_f(\approx)$	Keandalan $R = 1 - P_f(\approx)$	Tingkat unjuk kerja yang diharapkan
1,0	$1,6 \times 10^{-1}(0,16)$	0,84	Berbahaya
1,5	$6,7 \times 10^{-2}(0,067)$	0,933	Tidak memuaskan
2,0	$2,3 \times 10^{-2}(0,023)$	0,977	Jelek
2,5	$6,2 \times 10^{-3}$	0,9938	Dibawah rerata
3,0	$1,35 \times 10^{-3}$	0,99865	Diatas rerata
4,0	$3,2 \times 10^{-5}$	0,99997	Baik
5,0	$2,9 \times 10^{-7}$	0,9999997	Sangat Baik



Jadi, Keandalan 99,98% setara dengan indeks keandalan (β) $\approx 4,0$ yang Dalam tabel keandalan tergolong sangat tinggi (probabilitas kegagalan di orde 10^{-4}). Jadi struktur tersebut memiliki tingkat keandalan yang sangat tinggi terhadap kriteria yang digunakan.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan analisis pengujian statik dijadikan model numerik yang telah dilakukan keandalan struktur, dapat disimpulkan bahwa:

1. Seperti yang sudah dijelaskan, Prosedur Pengujian Statik Pada Gedung sebagai berikut:
 - a. Pengujian statik pada gedung dilakukan uji lapangan (UPV, Hammer Test, dan Core Drill) serta analisis numerik menggunakan ETABS untuk menilai mutu aktual material dan perilaku struktur.
 - b. Hasil pengujian diintegrasikan ke dalam model struktur guna memperoleh respon statik dan lendutan yang kemudian divalidasi dengan pengujian lapangan.
 - c. Analisis probabilistik terhadap kuat tekan beton menunjukkan bahwa distribusi normal paling sesuai untuk merepresentasikan variasi material.
 - d. Dari perhitungan probabilitas kegagalan dan indeks keandalan β , struktur gedung dinyatakan aman secara deterministik sekaligus memiliki tingkat keandalan yang terukur secara statistik.
2. Seperti yang sudah dijelaskan pada Prosedur Pengubahan Pengujian Statik Pada Gedung Menjadi Model Numerik sebagai berikut:
 - a. Pengujian statik menunjukkan kuat tekan beton rata-rata 27,12 MPa, minimum 14,14 MPa, maksimum 36,90 MPa dengan simpangan baku 4,37 MPa dan CV 16,12%, yang masih dapat diterima untuk bangunan gedung.
 - b. Model ETABS yang menggunakan nilai-nilai ini mereproduksi respon gaya dalam dan lendutan secara rasional, sehingga dapat dipakai untuk menghitung probabilitas kegagalan dan indeks keandalan (β) serta menyimpulkan kapasitas eksisting masih memadai.
3. Seperti yang sudah dijelaskan pada Prosedur Menentukan Keandalan Struktur Berdasarkan Model Numerik Dikembangkan dari Hasil Pengujian Statik sebagai berikut:
 - a. Hasil analisis menunjukkan bahwa struktur memiliki tingkat keandalan sebesar 0,9998 (99,98%) dengan probabilitas keruntuhan sekitar 0,02% dan indeks keandalan 4,0, sehingga secara formal dapat dinyatakan masih andal, laik operasional, serta menunjukkan tingkat unjuk kerja “baik” terhadap kombinasi beban rencana yang ditinjau

Saran yang dapat menjadi masukan untuk penelitian selanjutnya yaitu:

1. Penelitian selanjutnya disarankan tidak hanya menggunakan distribusi normal, tetapi juga membandingkan dengan distribusi lain untuk melihat sensitivitas hasil keandalan terhadap asumsi distribusi variabel acak.
2. Pengembangan model numerik yang lebih detail
 - a. Model numerik dapat disempurnakan dengan memodelkan ketidakpastian pada lebih banyak parameter, seperti mutu beton, mutu baja tulangan, variasi dimensi



- penampang, serta variasi pembebanan yang lebih realistis (kombinasi beban gempa, beban siklik, atau beban jangka panjang).
- b. Disarankan pula untuk menggunakan elemen hingga dengan pemodelan nonlinier material dan geometri untuk menangkap perilaku mendekati kondisi runtuh secara lebih akurat.
 3. Penelitian selanjutnya disarankan melakukan lebih banyak pengujian statik, baik dilaboratorium maupun secara pengujian langsung, untuk mengkalibrasi dan memvalidasi model numerik. Selain itu, variasi jenis beban dan posisi penerapan beban uji ditingkatkan agar diperoleh basis data respon struktur yang lebih luas dan komprehensif.
 4. Penelitian selanjutnya mengkaji keandalan pada tingkat sistem, yaitu bagaimana kolom, balok, dan pelat bekerja secara bersamaan, bukan hanya menilai tiap elemen secara terpisah, sehingga risiko keruntuhan bangunan secara keseluruhan dapat dipahami dengan lebih baik. Analisis keandalan sistem ini dapat memasukkan skenario keruntuhan bertahap dan mempertimbangkan pengaruh cadangan kekuatan struktur.
 5. Perlu disusun model analitik yang bersifat empiris, yaitu model yang dirumuskan berdasarkan data dan hasil pengujian di lapangan atau laboratorium.
 6. Penentuan indeks keandalan target dan evaluasi risiko
 - a. Disarankan untuk mengkaitkan hasil keandalan 99,98% dan probabilitas keruntuhan 0,02% dengan indeks keandalan target dan kriteria risiko yang direkomendasikan dalam standar atau literatur, sehingga dapat diusulkan batas keandalan minimum untuk tipe struktur sejenis.
 - b. Kajian ekonomi – risiko (risk-cost-analysis) juga dapat dikembangkan untuk mengevaluasi kebutuhan perkuatan atau peningkatan desain berdasarkan nilai probabilitas keruntuhan yang diperoleh.
 7. Penelitian ke depan diharapkan mengaitkan hasil analisis keandalan dengan strategi inspeksi berkala, pemeliharaan, dan perkuatan, sehingga model numerik yang dikembangkan dapat dimanfaatkan sebagai dasar pengambilan keputusan manajemen aset struktur.
 8. Elemen struktur yang diuji di lapangan dimasukkan ke dalam model numerik dengan menggunakan nilai f_c' hasil pengujian, sedangkan elemen yang tidak diuji direpresentasikan dengan satu nilai f_c' yang diasumsikan seragam pada bagian struktur tersebut.
 9. Penelitian kedepannya perlu dilakukan analisis lebih lanjut terhadap stabilitas tanah dan kapasitas struktur bawah, khususnya pada area dengan mutu beton 14,14 MPa untuk memastikan keamanan dan kinerja struktur secara menyeluruh serta mengidentifikasi kebutuhan perkuatan apabila diperlukan.
 10. Penelitian ini, analisis keandalan tidak dilakukan terhadap parameter kekuatan yaitu tegangan normal dan tegangan geser pada elemen struktur, sehingga penilaian keandalan lebih difokuskan pada respon kekakuan (lendutan) dan mutu beton sebagai variabel utama. Sebaiknya penelitian dikembangkan dengan analisis keandalan terhadap parameter kekuatan.



UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian dalam tesis sebagian didanai oleh Universitas Mercu Buana melalui skema Hibah Internal kepada Ibu Dr. Ir. Resmi Bestari Muin, M.S. Tempat Penelitian disediakan oleh PT. Paragon Technology and Innovation melalui Ibu Retno Pangestiningtyas, S.T dan Ibu Virna Septiana Claudia Silitonga, S.T. Kepada pihak-pihak tersebut, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Apriani, W., 2016. Aplikasi Non Destructive Test Pada Investigasi Keandalan Struktur Beton (Studi Kasus: Kolom Basement – K4 Pada Bangunan Stadion Utama Riau). Pekanbaru.
- [2] Azwardi, A., & Sukanto, S. (Efektifitas Alokasi Dana Desa (ADD) dan Kemiskinan di Provinsi Sumatera Selatan. Jurnal Ekonomi Pembangunan, 12(1), 1-15. <https://doi.org/10.29259/jep.v12i1.4865>
- [3] Cheng, J., Cai, C. S., & Xiao, R. C. (2007). Probabilistic response analysis of cracked prestressed concrete beams. *Advances in structural Engineering*, 10(1), 1-10.
- [4] Faoji, A., & Sambowo, K. A. (2023). Perbandingan tumpuan jepit dan sendi pada struktur power house ditinjau dari segi efisiensi material dan (Studi kasus proyek PLTMG Seram Peaker). *Jurnal Infrastruktur*, 10(2), 45-58. <http://jurnal.univpancasila.ac.id/article/12345>
- [5] Graha Survei Indonesia. (2021). Loading test adalah pengujian beban pada suatu objek konstruksi. Diakses 31 Juli 2025, dari https://grahasurvei.com/en_US/loading-test-adalah-pengujian-beban-pada-suatu-objek-konstruksi/
- [6] Hatmoko, J., & Lisantono, A. 2021. Analisis Keandalan Struktur. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- [7] Indonesia. 2002. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 28 Tahun 2002 Tentang Bangunan Gedung. Lembaga Negara Republik Indonesia Tahun 2002 Nomor 134. Jakarta: Sekretariat Negara.
- [8] Karundeng, V. S., Wallah, S. E., & Pandaleke, R. (2015). Penerapan metode Schmidt Hammer Test dan Core Drilled Test untuk evaluasi kuat tekan beton pada ruang IGD RSGM UNSRAT guna alih fungsi bangunan. *Jurnal Sipil Statik*, 3(4), 221-227.
- [9] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2008. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 24/PRT/M/2008 Tahun 2008 tentang Pedoman Pemeliharaan dan Perawatan Bangunan Gedung. Jakarta.
- [10] Kementerian Pekerjaan Umum. 2010. Peraturan Menteri Nomor 54 Tahun 2010 tentang Pedoman Teknis Pemeriksaan Berkala Bangunan Gedung. Jakarta.
- [11] Kementerian PPN/Bappenas & BNPB. 2018. Rencana Induk Penanggulangan Bencana 2015 – 2045. Jakarta



- [12]Larasati, A. M., Pariatmono, Erlangga Rizqi F, Mawardi Amin, Resmi Bestari M, Dimas Aryo S, ... Emeralda Insani. N. S. P. J. D. S. P. (2022). Measurement of Geometric Variations of a Railway Truss Bridge (Case Study: BH77 Railway Bridge). *Majalah Ilmiah Pengkajian Industri*, 16(1). 1-12. <https://doi.org/10.29122/mipi.v16i1.5177>
- [13]Lee, T. H., & Mosalam, K. M. (2004). Probabilistic fiber element modeling of reinforced concrete structures. *Computers & Structures*, 82(17-19), 1451-1466.
- [14]Manalip, H., Kumaat, E. J., & Windah, R. S. (2022). *Statika*. Unsrat Press, Manado. ISBN 978-623-5790-38-1.
- [15]Maysaroh, R., & Arif, M. (2022). Analisis Peran Dana Alokasi Khusus (DAK) Fisik Dalam Meningkatkan Indeks Pembangunan Manusia (IPM) Dan Pertumbuhan Ekonomi Provinsi Sumatera Utara. *El-Mujtama: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 2(3), 322-335.
- [16]Medika Risnasari. (2011). Distribusi Diskrit Dan Kontinu [Presentasi]. Scribd. Diakses 4 Agustus 2025, dari <https://www.scribd.com/presentation/141582017/Distribusi-Diskrit-Dan-Kontinu>
- [17]Melchers, R. E. (2013). *Structural Reliability Analysis and Prediction* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- [18]Pemerintah Indonesia. 2006. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 29/PRT/M/2006 tentang Pedoman Persyaratan Teknis Bangunan.
- [19]Pemerintah Indonesia. 2021. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 16 Tahun 2021 tentang Peraturan Pelaksanaan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2002 tentang Bangunan Gedung. Jakarta.
- [20]Pemerintah Republik Indonesia. 2002. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 28 Tahun 2002 tentang Bangunan Gedung. Jakarta: Pemerintah Republik Indonesia.
- [21]Perbedaan.co.id. (n.d.). Perbedaan Variabel Diskrit dan Kontinu. Diakses 4 Agustus 2025, dari <https://www.perbedaan.co.id/perbedaan-variabel-diskrit-dan-kontinu/>
- [22]PT. Graha Survei Indonesia. 2021. Final Report Assessment & Testing Struktur Bangunan Paragon J1 (Plant 1). Tangerang.
- [23]Standar Nasional Indonesia. (2020). SNI 1727:2020 beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- [24]Surahman, A. (2013). *Analisis Statistika dan Probabilitas*. Bandung: Penerbit ITB.
- [25]Wahyunto, E., Heriyanto, H., & Hastuti, S. (2024). Study of the Use of Augmented Reality Technology in Improving the Learning Experience in the Classroom. *West Science Social and Humanities Studies*, 2(05), 700 – 705.
- [26]Wirani, P., 2025. Analisis Respon Vibrasi Pada Struktur Gedung Bertingkat (Studi Kasus: Gedung Di Tangerang) (Tesis Magister, Universitas Mercu Buana) *Urban Water Journal*, vol. 12, no. 7, pp. 525–542, Oct. 2015, doi: 10.1080/1573062X.2014.916314.(for reference from journal articles)