

## Analisis Struktur Kolom Pendek Dengan Pendekatan Probabilitas Menggunakan Kombinasi Pembebanan Statik dan Dinamik

### *Short Column Structure Analysis with Probability Approach Using Combination Loading Static and Dynamic*

Madian<sup>1,\*</sup>, Mahadi Kurniawan<sup>2</sup>, Sapitri<sup>3</sup>, Firman Syarif<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Teknik Sipil, Universitas Islam Riau, Jalan Kaharuddin Nasution N. 113 P, Pekanbaru Riau, Indonesia

\* Penulis korespondensi : madianfarhan2@gmail.com

Tel.: +62-82283721370

Diterima: Mei 12, 2022; Direvisi: Jul 21, 2022; Disetujui: Agu 18, 2022.

DOI: 10.25299/saintis.2022.vol22(02).9392

#### Abstrak

Salah satu gedung perkuliahan dan auditorium 3 lantai di Pekanbaru mempunyai struktur bangunan yang cukup unik, dimana kolom dasar atau *basemen* memiliki tinggi yang lebih pendek dari di atasnya. Kolom ini disebut dengan kolom pendek, dimana dengan struktur seperti itu dapat menimbulkan resiko kegagalan struktur pada kolom pendek tersebut. Dengan struktur kolom pendek tersebut besar kemungkinan menimbulkan resiko terjadi guling pada struktur kolom. Sehingga, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya probabilitas kegagalan serta keandalan struktur kolom pendek tersebut. Pada penelitian ini probabilitas kegagalan bangunan dihitung menggunakan metode distribusi normal (*Gaussian*). Perhitungan distribusi normal menggunakan gaya aksial kolom pendek sebagai variabel untuk menghitung probabilitas. Gaya aksial ini didapatkan dari kombinasi pembebanan sesuai dengan SNI 1926-2019 dan dihitung dengan bantuan *software* ETABS 2016. Hasil dari probabilitas dihitung berdasarkan variasi beban dari 20 ton sampai 220 ton dengan interval 40. Hasil perhitungan distribusi normal didapatkan nilai probabilitas masing-masing variasi beban ialah 20 ton sebesar 13.6%, beban 60 ton sebesar 27.4%, beban 100 ton sebesar 50%, beban 140 ton sebesar 69.1%, beban 180 ton sebesar 86.4%, dan beban 220 ton sebesar 95.5%. Adapun nilai keandalan masing-masing variasi beban ialah 20 ton 86.4%, beban 60 ton 72.6%, beban 100 ton 50%, beban 140 ton 30.9%, beban 180 ton 30.9%, beban 220 ton 4.5%. Berdasarkan batas risiko gempa  $10^{-2}$  didapatkan hasil sebesar  $\leq 65.72$  ton, beban yang digunakan sebagai perencanaan ialah beban  $\leq 60$  ton dengan probabilitas keruntuhan sebesar 27,4% dan keandalan 72,6%.

**Kata Kunci:** Kolom Pendek, Probabilitas, Distribusi Normal, dan Keandalan Struktur.

#### Abstract

One of the lecture buildings and a 3-story auditorium in Pekanbaru has a quite unique building structure, where the base column or basement has a shorter height than above. This column is called a short column, where with such a structure there can be a risk of structural failure in the short column. With such a short column structure, it is likely that there will be a risk of overturning in the column structure. Thus, this study aims to determine the probability of failure and the reliability of the short column structure. In this study the probability of building failure is calculated using the normal distribution method (*Gaussian*). The calculation of the normal distribution uses the short column axial force as a variable to calculate the probability. This axial force is obtained from a combination of loading in accordance with SNI 1926-2019 and calculated with the help of the ETABS 2016 software. The results of the probability are calculated based on load variations from 20 tons to 220 tons with intervals of 40. The results of the normal distribution calculation show that the probability value of each load variation is 20 tons by 13.6%, 60 tons at 27.4%, 100 tons at 50%, 140 tons at 69.1%, 180 tons at 86.4%, and 220 tons at load. tons of 95.5%. The reliability values for each load variation are 20 tons 86.4%, 60 tons 72.6% load, 50 tons load 50 percent, 140 tons load 30.9%, 180 tons load 30.9%, load 220 tons 4.5%. Based on the  $10^{-2}$  earthquake risk limit, the result is 65.72 tons, the load used as a design is a load of 60 tons with a probability of collapse of 27.4% and reliability of 72.6%.

**Keywords:** Short Column, Probability, Normal Distribution, and Structural Reliability.

## PENDAHULUAN

Salah satu gedung 3 lantai di kota Pekanbaru yang berfungsi sebagai gedung perkuliahan dan auditorium mempunyai struktur yang berbeda dari struktur pada umumnya. Dimana, pada kolom lantai dasar atau *basement* memiliki tinggi kolom yang lebih pendek dari kolom di atasnya. Adapun, untuk desain kolom pada umumnya ialah tinggi kolom harus sama atau lebih tinggi dari kolom di atasnya.

Desain tersebut bertujuan untuk menghindari terjadinya guling pada kolom struktur. Kolom yang lebih pendek dari kolom di atasnya ini disebut dengan kolom pendek. Kolom merupakan bagian dari rangka bangunan, yang menempati posisi terpenting dalam struktur bangunan. Keruntuhan kolom dapat menyebabkan runtuhnya komponen lain yang terkait, atau runtuhnya seluruh struktur bangunan[1]. Struktur kolom pada lantai dasar atau *basement* tersebut memiliki dimensi yaitu

tinggi 3.30 m, lantai 1 tinggi 4.35 m, lantai 2 tinggi 3.60 m, dan lantai 3 tinggi 3.60 m. Dengan dimensi tersebut maka gedung akan menimbulkan resiko terjadinya guling pada struktur kolom pendek karena struktur kolom tersebut lebih pendek dari kolom di atasnya.

Maka gedung tersebut perlu ditinjau dengan menggunakan SNI 1726-2019 untuk menghitung probabilitas dan keandalan pada struktur kolom pendek tersebut apakah gedung tersebut aman atau perlu perkuatan. Probabilitas adalah ilmu dasar inferensi statistik melalui eksperimen dan analisis data. Teori probabilitas sangat relevan dengan rekayasa saat ini dengan menerapkannya pada isu-isu seperti menilai keandalan sistem, menafsirkan akurasi pengukuran, dan menjaga kualitas yang tepat [2][3]. Perhitungan struktur kolom pendek dibantu dengan menggunakan program Etabs 2016 dengan asumsi pembebanan pada input Etabs menggunakan kombinasi pembebanan sesuai dengan peraturan SNI 1726-2019. Untuk perhitungan probabilitas menggunakan metode distribusi normal (*Gaussian*) berdasarkan dari salah satu kolom pendek yang menerima beban maksimum atau kritis sebagai tinjauan dalam perhitungan. Dengan mengetahui besarnya probabilitas kegagalan struktur kolom pendek maka bisa diketahui keandalan dari struktur kolom pendek.

Masalah keandalan bangunan gedung diatur dalam Undang-Undang Bangunan Gedung No. 28 Republik Indonesia Tahun 2002. Pasal 18 menjelaskan bahwa persyaratan struktur bangunan gedung yang stabil dan kuat menahan beban adalah kemampuan struktur gedung yang stabil dan kuat untuk menahan beban hidup dan permanen untuk area/zona tertentu di bawah kondisi beban maksimum. Kemampuan untuk menahan tekanan dari perilaku alami. Keandalan merupakan alat penilaian dengan hasil yang stabil dan konsisten. Definisi keandalan menurut ISO 8402 yaitu kemampuan suatu gedung untuk melakukan fungsi yang diperlukan, di bawah kondisi lingkungan dan operasional yang diberikan dan untuk jangka waktu tertentu [4].

Untuk memperoleh keakuratan dari standar dan peraturan bangunan gedung yang sifatnya lebih luas, jika ditinjau dari pembebanan statik maka gedung ini cukup stabil dan kokoh. Namun jika ditinjau dari pembebanan dinamik dimana beban statik adalah beban hidup dan beban mati sedangkan beban dinamik adalah beban angin dan beban gempa. Maka penelitian ini dilakukan dengan menganalisis struktur kolom pendek tersebut dengan pendekatan probabilitas menggunakan pembebanan statik dan dinamik.

**METODOLOGI**

Pada penelitian ini, struktur akan dimodelkan sebagai bangunan auditorium 3 lantai yang terletak di wilayah Pekanbaru. Bangunan ini direncanakan

dengan lantai dasar sebagai *basement*, lantai 1 sebagai ruang perkuliahan serta lantai 2 dan 3 sebagai ruang auditorium. Bangunan ini memiliki ketinggian 14,85 m. Berikut deskripsi umum yang berkaitan dengan struktur bangunan dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Deskripsi Umum Struktur

Kriteria	Studi kasus
Fungsi gedung	Auditorium dan Gedung Perkuliahan
Lokasi	Pekanbaru
Sistem Struktur	Sistem Ganda
Jumlah Lantai	3
Jenis Rangka	Beton Bertulang
Tinggi Tingkat Lantai Dasar	3,3 m
Tinggi Tingkat Lantai 1	4,35 m
Tinggi Tingkat Lantai 2 dan 3	3,6 m
Tinggi Total Bangunan	14,85 m

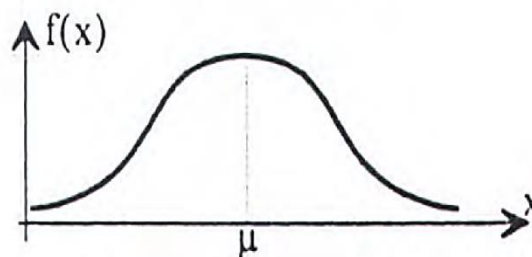
**Distribusi Normal (*Gaussian*)**

Distribusi normal pertama kali dipelajari pada abad ke-18, ketika model kesalahan pengukuran yang diamati mengikuti distribusi berbentuk lonceng simetri [5]. Ini pertama kali disajikan secara matematis oleh DeMoivre pada tahun 1733, yang menurunkannya sebagai bentuk terbaas dari distribusi binomial. Distribusi diperkenalkan oleh Laplace pada tahun 1775. Meskipun kesalahan historis dicatat, kesalahan itu ditunjukkan pada Gauss, pertama kali diterbitkan pada tahun 1809, dan istilah distribusi Gaussian sering digunakan. Pada abad ke-18 dan ke-19, upaya dilakukan untuk menjadikan distribusi ini sebagai dasar hukum probabilitas untuk semua bentuk kontinu, dan istilah “Normal” dapat digunakan[6].

Distribusi normal, dalam arti tertentu, adalah dasar dari statistik [7][8]. Persamaan disttibusi ditulis sebagai berikut :

$$f_x(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{x-\mu}{\sigma} \right)^2 \right] \tag{1}$$

Dimana  $\mu$  adalah *mean* dan  $\sigma$  adalah varian. Distribusi ini diilustrasikan secara grafik pada gambar 1.



**Gambar 1.** Distribusi Normal

Distribusi normal digunakan secara luas bahwa notasi yang disingkat  $X \sim N(\mu, \sigma^2)$  sering digunakan untuk menunjukkan bahwa variable random  $X$  adalah berdistribusi normal dengan rata-rata  $\mu$  dan varian  $\sigma^2$ .

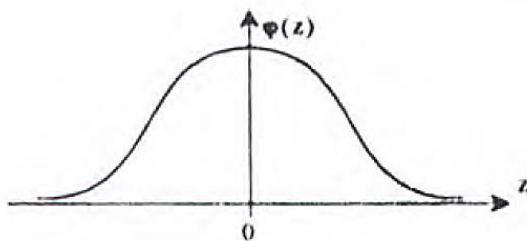
1.  $\int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = 1$
2.  $f(x) \geq 0$  untuk seluruh  $x$ . (no. 1 dan 2 dibutuhkan untuk seluruh fungsi densitas)
3.  $\lim_{x \rightarrow \infty} f(x) = 0$  dan  $\lim_{x \rightarrow -\infty} f(x) = 0$
4.  $f[(x + \mu)] = f[-(x - \mu)]$ , densitas tersebut adalah simetris disekitar  $\mu$ . Karena ekor dari distribusi normal adalah simetris maka lebar ekor sebelah kiri sama dengan sebelah kanannya.
5. Nilai maksimum  $f$  terjadi pada  $x = \mu$ .
6. Titik perubahan dari  $f$  adalah pada  $x = \mu \pm \sigma$ .

Disamping sifat-sifat diatas, alasan penting untuk penggunaan yang luas adalah bahwa, terlepas dari bentuk distribusi, hasil kongruen dari distribusi probabilitas dapat didekati sebagai distribusi normal ketika beberapa distribusi mengganggu satu sama lain.

$$F(x) = P(X \leq x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left[\frac{x-\mu}{\sigma}\right]^2\right) du \quad (2)$$

Hal ini tidak mungkin untuk menghitung integral tanpa menggunakan metode-metode secara numerik, dan seringkali penilain ini dilakukan dengan menyelesaikan masing-masing pasangan  $(\mu, \sigma^2)$ . Meskipun hanya dengan sebuah transformasi sederhana dari variable  $z = (x-\mu)/\sigma$ , menyebabkan penilaian bebas dari  $\mu$  dan  $\sigma$ , yaitu :

$$\begin{aligned} f(x) P(X \leq x) &= P(Z \leq \frac{x-\mu}{\sigma}) = \int_{-\infty}^{\frac{x-\mu}{\sigma}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2} dz \\ &= \int_{-\infty}^{(x-\mu)/\sigma} \varphi(z) dz = \Phi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right) \end{aligned} \quad (3)$$



**Gambar 2** Distribusi Normal Standar

$$\varphi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}z^2\right) \quad -\infty < z < \infty \quad (4)$$

Mempunyai rata-rata 0 dan varian 1, yaitu  $z \sim N(0,1)$ . Persamaan (4) merupakan fungsi distribusi standar normal seperti pada gambar 2. Fungsi distribusi kumulatifnya :

$$\Phi(z) = \int_{-\infty}^z \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}u^2\right) du \quad (5)$$

**Keandalan dan Risiko Keruntuhan Struktur**

Sebuah bangunan dirancang melalui perhitungan yang cermat tentang beban-beban yang akan dipikulnya dan dijamin kuat memikul beban rencananya itu. Pernyataan dijamin dalam hal ini bukanlah suatu pernyataan yang mutlak, karena sepanjang sejarah tak pernah ada jaminan yang mutlak seratus persen. Selalu ada risiko walaupun sangat kecil bahwa bangunan akan runtuh. Risiko bangunan akan runtuh disebut peluang runtuh, sedangkan jaminan bangunan tidak runtuh disebut peluang aman atau keandalan (*Reliability*) [9]. Jika  $P_f$  = risiko atau peluang runtuh dan  $K$  = keandalan atau peluang aman, maka :

$$K = 1 - P_f \quad (6)$$

**Kombinasi Pembebanan**

Kombinasi pembebanan untuk metode ultimit struktur harus dirancang sedemikian rupa sehingga kuat rencananya melebihi beban terfaktor sesuai dengan SNI 1726-2019 pasal 4.2.2, yaitu sebagai berikut:

1. 1,4 DL
2. 1,2 DL + 1,6 LL + 0,5 ( $L_r$  atau R)
3. 1,2 DL + 1,6 ( $L_r$  atau R) + 0,5 ( $L_r$  atau 0,5 W)
4. 1,2 DL + 1,0 W + LL + 0,5 ( $L_r$  atau R)
5. 1,2 DL + 1,0 E + LL
6. 0,9 DL + 1,0 W
7. 0,9 DL + 1,0 E

Untuk penggunaan kombinasi beban 5 dan 7 yang terdapat pengaruh gempa. Menurut SNI 1736-2019 Pasal 7.4.2, terdapat faktor dan kombinasi beban untuk beban mati nominal, beban hidup nominal, dan beban gempa nominal yaitu sebagai berikut:

1.  $(1,2 + 0,2 S_{DS}) DL + 1,0 LL \pm 0,3 \rho EX \pm 1,0 \rho EY$
2.  $(1,2 + 0,2 S_{DS}) DL + 1,0 LL \pm 1,0 \rho EX \pm 0,3 \rho EY$
3.  $(0,9 - 0,2 S_{DS}) DL \pm 0,3 \rho EX \pm 1,0 \rho EY$
4.  $(0,9 - 0,2 S_{DS}) DL \pm 1,0 \rho EX \pm 0,3 \rho EY$

Dengan nilai  $S_{DS} = 0,384$  dan nilai fakrot redundansi ( $\rho$ ) sebesar 1,3 maka diperoleh kombinasi pembebanan yang diterapkan pada struktur seperti pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Kombinasi Pembebanan Struktur

Kombinasi	Koefisien					
	DL	SIDL	LL	Lr	Spec Ex	Spec EY
Comb 1.1	1,4	1,4	-	-	-	-
Comb 2.1	1,2	1,2	1,6	-	-	-
Comb 2.1	1,2	1,2	1,6	0,5	-	-
Comb 3.1	1,2	1,2	1	-	-	-
Comb 3.2	1,2	1,2	1	1,6	-	-
Comb 5.1	1,311	1,311	1	-	0,39	1,31
Comb 5.2	1,311	1,311	1	-	0,39	-1,31
Comb 5.3	1,311	1,311	1	-	-0,39	1,31
Comb 5.4	1,311	1,311	1	-	-0,39	-1,31
Comb 5.5	1,311	1,311	1	-	1,3	0,39
Comb 5.6	1,311	1,311	1	-	-1,3	0,39
Comb 5.7	1,311	1,311	1	-	1,3	-0,39
Comb 5.8	1,311	1,311	1	-	-1,3	-0,39
Comb 7.1	0,789	0,789	-	-	0,39	1,3
Comb 7.2	0,789	0,789	-	-	0,39	-1,3
Comb 7.3	0,789	0,789	-	-	-0,39	1,3
Comb 7.4	0,789	0,789	-	-	-0,39	-1,3
Comb 7.5	0,789	0,789	-	-	1,3	0,39
Comb 7.6	0,789	0,789	-	-	-1,3	0,39
Comb 7.7	0,789	0,789	-	-	1,3	-0,39
Comb 7.8	0,789	0,789	-	-	-1,3	-0,39

**Analisa Data**

Analisa data yang digunakan adalah analisis dengan pendekatan probabilitas menggunakan kombinasi pembebanan statik dan dinamik. Setelah seluruh data yang dibutuhkan terkumpul, data akan dianalisa sebagai berikut:

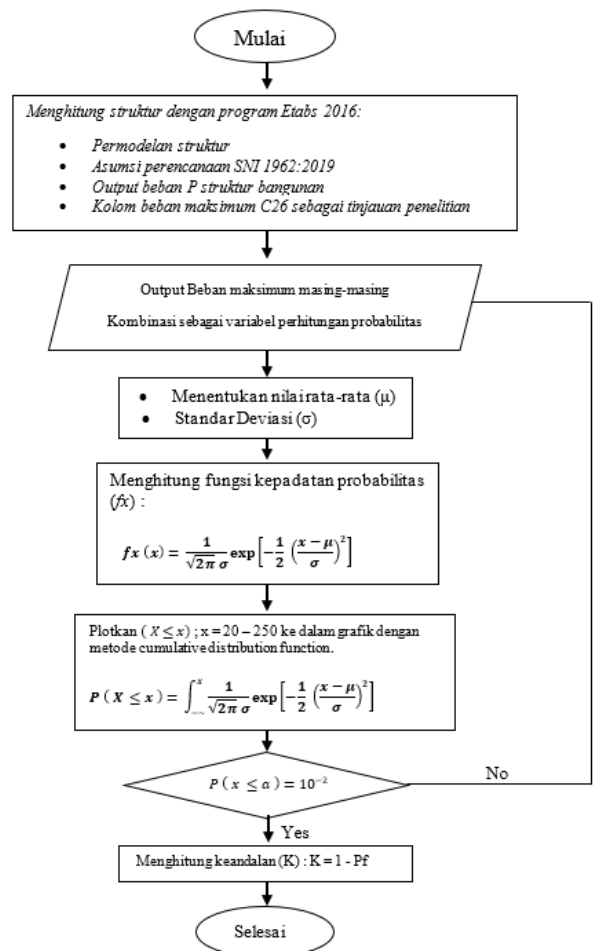
1. Menghitung Kombinasi Pembebanan  
Berdasarkan SNI 1726-2019 kombinasi pembebanan bisa kita lihat pada pasal 4.2.2, kombinasi disesuaikan dengan pengaruh gempa berdasarkan dengan asumsi perencanaan.
2. Menentukan Kolom Risiko  
Seluruh kolom pada lantai dasar akan menerima seluruh kombinasi pembebanan sehingga didapat kolom mana yang akan memikul beban yang paling besar, kolom ini disebut dengan kolom risiko yang artinya kolom tersebut berpeluang paling besar akan mengalami keruntuhan.
3. Menentukan Variabel Probabilitas  
Setelah menentukan kolom risiko pada struktur kolom, hasil *output* seluruh pembebanan pada kolom tersebut diambil sebagai variabel perhitungan probabilitas dengan menggunakan metode distribusi normal.

**Analisa Struktur**

Uraian prosedur analisis struktur kolom pendek dihitung dengan metode distribusi normal (*Gaussian*). Adapun langkah-langkah perhitungan probabilitas struktur kolom pendek sebagai berikut:

1. Menentukan Nilai Rata-Rata ( $\mu$ )  
Nilai rata-rata adalah sebuah nilai pada suatu bilangan yang mewakili sekumpulan data. Dari

- nilai beban masing-masing kombinasi diambil rata-rata sebagai acuan beban yang dihitung.
2. Menentukan Nilai Standar Deviasi ( $\sigma$ )  
Standar deviasi ( $\sigma$ ) adalah nilai statistika yang digunakan untuk menentukan bagaimana persebaran data dalam suatu sampel dan melihat seberapa dekat data-data tersebut dengan *mean* atau rata-rata dari sampel tersebut.
3. Menghitung Probabilitas Metode Distribusi Normal (*Gaussian*)  
Salah satu bentuk distribusi peluang dengan menggunakan pendekatan kurva normal. Distribusi ini juga dijuluki kurva lonceng (*bell curve*) karena grafik fungsi kepekaan probabilitasnya mirip dengan lonceng.
4. Menghitung Fungsi Kepadatan Probabilitas  
Cara ini menunjukkan distribusi data agar kesimpulan yang diambil dapat menunjukkan kondisi sesungguhnya



**Gambar 3.** Uraian Hasil Analisis Metode Distribusi Normal

**HASIL DAN DISKUSI**

Penelitian ini berfokus pada perhitungan kolom struktur dengan pembebanan statik dan dinamik salah satu gedung Auditorium di Pekanbaru. Kolom struktur yang dianalisis dalam

penelitian ini sebanyak 32 kolom dengan simbol dari C1 sampai C32. Dengan kombinasi pembebanan sebanyak 21 kombinasi berdasarkan SNI 1726-2019. Hasil *output* pembebanan kolom paling kritis ada pada kolom C26 sehingga kolom yang ditinjau untuk perhitungan probabilitas adalah pada kolom C26.

**Tabel 3.** Hasil Kombinsai Pembebanan Pada Kolom

Nama Kombinasi Pembebanan	Kombinasi Pembebanan SNI 1726-2019	Beban Aksial (P) (Max) (ton)
1.1	1,4 D + 1,4 SIDL	171,04348
2.1	1,2D + 1,2 L + 1,6 SIDL	221,66228
2.2	1.2 D + 1.2 L + 1.6 SIDL + 0.5 Lroof	221,66228
3.1	1.2 D + 1 L + 1.2 SIDL	193,51719
3.2	1.2 D + 1 L + 1.2 SIDL + 1.6 Lroof	193,51719
5.1	1.311 D + 1 L + 1.311 SIDL + 0.39 Spec Ex + 1.31 Spec Ey	23,44724
5.2	1.311 D + 1 L + 1.311 SIDL + 0.39 Spec Ex - 1.31 Spec Ey	23,44724
5.3	1.311 D + 1 L + 1.311 SIDL - 0.39 Spec Ex + 1.31 Spec Ey	23,44724
5.4	1.311 D + 1 L + 1.311 SIDL - 0.39 Spec Ex - 1.31 Spec Ey	23,44724
5.5	1.311 D + 1 L + 1.311 SIDL + 1.3 Spec Ex + 0.39 Spec Ey	140,91338
5.6	1.311 D + 1 L + 1.311 SIDL - 1.3 Spec Ex + 0.39 Spec Ey	140,91338
5.7	1.311 D + 1 L + 1.311 SIDL + 1.3 Spec Ex - 0.39 Spec Ey	140,91338
5.8	1.311 D + 1 L + 1.311 SIDL - 1.3 Spec Ex - 0.39 Spec Ey	140,91338
7.1	0.789 D + 0.789 SIDL + 0.39 Spec Ex + 1.3 Spec Ey	85,86318
7.2	0.789 D + 0.789 SIDL + 0.39 Spec Ex - 1.3 Spec Ey	85,86318
7.3	0.789 D + 0.789 SIDL - 0.39 Spec Ex + 1.3 Spec Ey	85,86318
7.4	0.789 D + 0.789 SIDL - 0.39 Spec Ex - 1.3 Spec Ey	85,86318
7.5	0.789 D + 0.789 SIDL + 1.3 Spec Ex + 0.39 Spec Ey	30,2301

Nama Kombinasi Pembebanan	Kombinasi Pembebanan SNI 1726-2019	Beban Aksial (P) (Max) (ton)
7.6	0.789 D + 0.789 SIDL - 1.3 Spec Ex + 0.39 Spec Ey	30,2301
7.7	0.789 D + 0.789 SIDL + 1.3 Spec Ex - 0.39 Spec Ey	30,2301
7.8	0.789 D + 0.789 SIDL - 1.3 Spec Ex - 0.39 Spec Ey	30,2301

**Menentukan Nilai Rata-Rata**

Nilai rata-rata adalah sebuah nilai pada suatu bilangan yang mewakili sekumpulan data. Nilai rata-rata bisa di hitung dengan cara yaitu jumlah nilai data dibagi dengan banyak data. Dari 21 kombinasi pembebanan pada kolom C26 di dapat nilai rata-rata sebesar 101,11 ton. untuk detail perhitungannya terdapat pada lampiran A9.

$$\bar{X} \text{ data} = \frac{\sum_{i=1}^{21} xi}{21}$$

$$\bar{X} \text{ data} = \frac{171 + 221.6 + 221.6 + 193.5 + 193.5 + 23.4 + 23.4 + 23.4 + 23.4 + 140.9 + 140.9 + 140.9 + 140.9 + 85.9 + 85.9 + 85.9 + 85.9 + 30.2 + 30.2 + 30.2 + 30.2}{21}$$

$$\bar{X} \text{ data} = \frac{2123.2}{21}$$

$$\bar{X} \text{ data} \approx \mu = 101.11 \text{ ton}$$

**Menentukan Nilai Standar Deviasi**

Standar deviasi ( $\sigma$ ) adalah nilai statistika yang digunakan untuk menentukan bagaimana pesebaran data dalam suatu sampel dan melihat seberapa dekat data-data tersebut dengan *mean* atau rata-rata dari sampel tersebut. Dari hasil perhitungan yaitu dengan rumus akar dari varian data maka di dapat standar deviasi sebesar 71,6. untuk lebih lengkapnya perhitungan terdapat pada lampiran A9.

$$var \text{ data} = \left( \frac{1}{n-1} \right) \sum_{i=1}^{25} (xi - \bar{X} \text{ data})^2$$

$$= \left( \frac{1}{21-1} \right) \left( (171 - 101.11)^2 + (221.6 - 101.11)^2 + (221.6 - 101.11)^2 + (193.5 - 101.11)^2 + (193.5 - 101.11)^2 + (23.4 - 101.11)^2 + (23.4 - 101.11)^2 + (23.4 - 101.11)^2 + (23.4 - 101.11)^2 + (140.9 - 101.11)^2 + (140.9 - 101.11)^2 + (140.9 - 101.11)^2 + (140.9 - 101.11)^2 + (85.9 - 101.11)^2 + (85.9 - 101.11)^2 + (85.9 - 101.11)^2 + (85.9 - 101.11)^2 + (30.2 - 101.11)^2 + (30.2 - 101.11)^2 + (30.2 - 101.11)^2 + (30.2 - 101.11)^2 \right)$$

$$= \left( \frac{1}{20} \right) (102523.53)$$

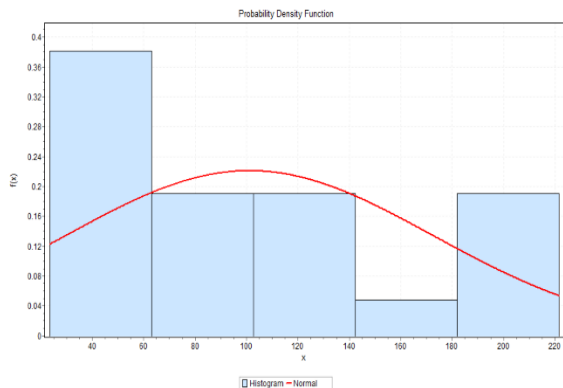
$$var \text{ data} = 5216.18$$

$$\sigma \text{ data} = \sqrt{var \text{ data}} = \sqrt{5216.18} = 71.6$$

$$\sigma \text{ data} = \sigma = 71.6$$

**Menghitung Fungsi Kepadatan Probabilitas (fx)**

Fungsi kepadatan probabilitas atau *probability density function (PDF)* menyatakan nilai probabilitas dari setiap kejadian X dan dituliskan dengan  $f(x)$ . Beban diurutkan dari yang terkecil sampai yang terbesar yaitu 23.4, 30.2, 85.9, 140.9, 171, 193.5, 221.7 ton. Adapun fungsi kepadatan probabilitas dari masing-masing beban adalah 0.0031, 0.0034, 0.0054, 0.0048, 0.0035, 0.0024, 0.0014. Untuk perhitungan lebih lengkapnya terdapat pada lampiran A10. Grafik dari *Probability Density Function (PDF)*



**Gambar 4.** *Probability Density Function (PDF)*

Pada grafik histogram data diatas adalah hubungan antara fungsi kepadatan probabilitas ( $f(x)$ ) dengan x data. Dimana garis merah menunjukkan sebaran data x terhadap  $f(x)$ .

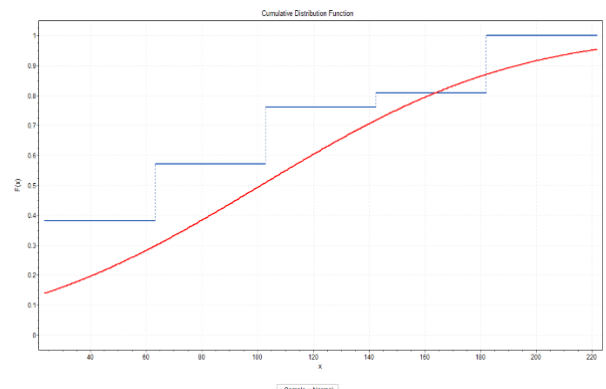
**Perhitungan Probabilitas Dengan Cumulative Distribution Function**

Probabilitas dihitung dengan metode *Cumulative distribution Function* dimana nilai pembebanan di ambil dari nilai 20 – 250 dengan interval 40. Sehingga probabilitas kegagalan struktur di hitung mulai dari 20, 60, 100, 140, 180, 220. Berikut hasil probabilitas dari masing-masing beban:

- $P = (x \leq 20) = 13.6 \%$
- $P = (x \leq 60) = 27.4 \%$
- $P = (x \leq 100) = 50.0 \%$
- $P = (x \leq 140) = 69.1 \%$
- $P = (x \leq 180) = 86.4 \%$
- $P = (x \leq 220) = 95.5 \%$

Dari hasil diatas dapat diambil kesimpulan bahwasanya semakin besar beban maka semakin besar pulak probabilitas kegagalan struktur kolom C26 mengalami kegagalan. Dan untuk perencanaan struktur dengan beban gempa yaitu  $10^{-2}$  beban yang direncanakan ialah sebesar  $\leq 65.72$  ton. Sehingga bebang yang di gunakan sebagai perancangan desain adalah  $P = (x \leq 60) = 27.4\%$  dengan interprestari 27.4% struktur akan mengalami kegagalan jika direncanakan dengan beban tersebut. Untuk

perhitungan lebih detail terdapat pada lampiran A12. Grafik dari *Comulative distribution Function*.



**Gambar 5.** *Comulative Distribution Function*

Fungsi kepadatan komulatif atau (*Comulative Density Function*) adalah fungsi yang menjumlahkan nilai kemungkinan sampai suatu kejadian tertentu. Dari grafik diatas menunjukkan hubungan  $f(x)$  dengan beban P, di dapat kesimpulan bahwa semakin besar beban maka semakin besar pula keandalan struktur kolom pendek C26.

**Perhitungan Keandalan Masing-Masing Kombinasi Pembebanan**

Keandalan (*reability*) struktur pada kolom C26 dapat dihitung menggunakan rumus  $K = 1 - P_f$  dimana nilai  $P_f$  adalah nilai probabilitas yang telah di hitung pada pembahasan sebelumnya. Maka jika dimasukkan ke dalam rumus dengan masing-masing beban sebesar 20, 60, 100, 140, 180, 220, maka nilai keandalan yang didapat setelah melakukan perhitungan adalah 86.4 %, 72.6 %, 50%, 30.9%, 13.6%, 4.5 %.

**Menentukan Nilai Batas Resiko**

Menentukan struktur dengan beban gempa  $P (x \leq a) = 10^{-2}$

$$P(x \leq a) = 0,01$$

$$\int_{-\infty}^c \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2} \cdot \frac{(y-\mu)^2}{\sigma^2}\right) dy = 0,01$$

$$\frac{a-\mu}{\sigma} = \Phi^{-1}(0,01)$$

$$\frac{a-\mu}{\sigma} = -\Phi^{-1}(0,99)$$

$$\frac{a-101.11}{71.6} = -2,33$$

$$a = 101.11 - (2,33 \times 71.6)$$

$$a = 65,72 \text{ ton}$$

Dari perhitungan diatas di dapat bahwa nilai  $a = 65,72$  ton artinya jika gedung di beri beban sebersar 65,72 ton sebanyak 100 kali maka struktur hanya akan mengalami keruntuhan sebanyak 1 kali. Maka kesimpulannya, beban yang dapat di pakai

sebagai beban perencanaan  $\leq 60$  ton dengan probabilitas keruntuhan sebesar 27,42% serta keandalan sebesar 72,57%.

## KESIMPULAN

Pada kondisi pembebanan statik dan dinamik sebanyak 21 kombinasi pembebanan, kolom pendek C26 akan mengalami keruntuhan pada beban aksial maksimum, sehingga jika ingin memakai beban maksimum maka perlu perkuatan pada struktur kolom pendek. Nilai probabilitas dari beban terkecil 20 ton sebesar 13,6% dan terbesar 220 ton sebesar 95,5%. berdasarkan perhitungan beban gempa  $10^{-2}$  beban yang dapat di terima oleh gedung adalah  $a = 65,72$  ton, maka pada perencanaan beban yang di pakai ialah  $\leq 60$  dimana probabilitas keruntuhan strukturnya sebesar 27,42% dan keandalan struktur kolom sebesar 72,57%. Keandalan (*Reliability*) pada strukutur kolom C26 sangat erat hubungannya dengan probabilitas keruntuhan bangunan, dimana keandalan struktur kolom tergantung berapa besarnya probabilitas yang terjadi pada struktur, semakin besar probabilitas keruntuhannya maka keandalan struktur tersebut semakin kecil. Begitupun sebaliknya, semakin kecil probabilitas keruntuhan struktur semakin besar keandalan pada struktur kolom tersebut. Adapun nilai keandalan dari beban terkecil 20 ton ialah 86,4% dan beban terbesar 220 ton sebesar 4,46%.

## REFERENSI

- [1] Amatulhay Pribadi. (2018). *Evaluasi Pembebanan Jembatan Box Girder Beton Prategang dengan Pendekatan Probabilitas Menggunakan Hasil Pengukuran Beban Kendaraan Bergerak*. 4(2).
- [2] Ang, A. H-S., Tang, W. H., *Probability Concepts in Engineering Planning and Design, Volume II : Decision, Risk and Reliability*, John Wiley and Sons, New York, 1994
- [3] Badan Standarisasi Nasional. 2002. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung*. SNI 03-1726-2012.
- [4] Dan, K., & Pondasi, P. (2015). Jurnal rekayasa infrastruktur issn: 2460-335x keandalan komponen struktur kolom gedung dengan kerusakan dan penurunan pondasi.
- [5] Dymiotis, C. 2001. *Reliability Based Code Calibration for Earthquake-Resistent Design. Edinburgh. JCSS Workshop on Reliability Based Code Calibration*.

- [6] A. S. Pratikno, A. A. Prastiwi, and S. Ramahwati, "Sebaran Peluang Acak Kontinu, Distribusi Normal, Distribusi Normal Baku, Distribusi T, Distribusi Chi Square, dan Distribusi F," *Osf Prepr.*, vol. 27, no. 3, pp. 1–5, 2020.
- [7] "Tabel distribusi Z," pp. 5000–5000, 2003.
- [8] H. S. Husain, "Distribusi Normal Multivariat," *J. Mat. Stat. dan Komputasi*, vol. 14, no. 2, p. 143, 2018, doi: 10.20956/jmsk.v14i2.3553.
- [9] D. A. Hidayat, B. Kurniawan, F. K. Masyarakat, and U. Diponegoro, "Evaluasi Keandalan Sistem Proteksi Kebakaran Ditinjau," vol. 5, pp. 39–45, 2017.

## NOMENKLATUR

Makna simbol yang digunakan dalam persamaan dan simbol lain yang disajikan dalam artikel Anda harus disajikan dalam bagian ini.

$A_g$	Luas penampang
$DL$	Beban mati, termasuk beban mati tambahan
$EX$	Beban gempa arah X
$EY$	Beban gempa arah Y
$F_D$	Gaya Pegas
$F_I$	Gaya Inersia
$I$	Momen inersia
$K$	Keandalan
$LL$	Beban hidup
$L_r$	Beban hidup atap
$M_1$	Momen yang kecil pada ujung kolom
$M_2$	Momen yang besar pada ujung kolom
$P_f$	Probabilitas Of Failure
$R$	Beban hujan
$S_{DS}$	Percepatan spektral desain pada periode pendek
$W$	Beban angin
$f_x$	Fungsi Kepadatan Probabilitas
$k$	Faktor panjang efektif kolom
$r$	Radius girasi atau jari-jari inersia penampang kolom,
$x$	Banyaknya Data
$\sigma$	Standar Deviasi

This page intentionally blank