

## Evaluasi Kekuatan Struktur Kolom Menggunakan Pendekatan Probabilitas Gaussian Pada Gedung Kuliah Terpadu Politeknik Negeri Bengkalis

*Evaluation of The Strength of Column Structure Using a Gaussian Probability Approach on Gedung Kuliah Terpadu Politeknik Negeri Bengkalis*

Mega Sukmawati<sup>1\*</sup>, Mahadi Kurniawan<sup>2</sup>, Vella Anggreana<sup>3</sup>, Sapitri<sup>4</sup>

<sup>1234</sup> Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Baru Jl. Kaharuddin Nasution No.113, Mapoyan, Pekanbaru, Indonesia

\* Penulis korespondensi : megasukmawati@student.uir.ac.id

Diterima: Dec 20, 2022; Direvisi: March 28, 2023; Disetujui: April 20, 2023

DOI: 10.25299/saintis.2023.vol23(01).25233

### Abstrak

Gedung Kuliah Terpadu (GKT) 1 Politeknik Negeri Bengkalis direncanakan 3 lantai dengan bentuk asimetris dan berfungsi sebagai gedung administrasi dan laboratorium, dengan kondisi wilayah Bengkalis yang berpotensi gempa sangat kecil. Berdasarkan hal tersebut, pada GKT 1 dilakukan evaluasi pada struktur kolom dengan asumsi bahwa di daerah Bengkalis terjadi peningkatan percepatan tanah puncak atau (*Peak Ground Acceleration*, PGA) menurut SNI 1726-2019. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui apakah keandalan struktur kolom yang direncanakan stabil dari pengaruh nilai tekuk dalam menahan beban aksial maksimum yang bekerja, akibat peningkatan percepatan tanah puncak atau (*Peak Ground Acceleration*, PGA). Metode yang digunakan adalah metode probabilitas distribusi normal (*Gaussian*), yang dapat menentukan keandalan struktur kolom dalam menahan beban kerja maksimum akibat peningkatan percepatan tanah puncak atau (*Peak Ground Acceleration*, PGA) yang dilakukan pada GKT 1. Dengan struktur kolom yang ditinjau yaitu C27, yang merupakan kolom kritis dengan beban aksial paling maksimum (Pmaks) yang diterima. Hasil evaluasi pada kolom kritis C27, beban aksial maksimum 109,044 ton menghasilkan nilai tekuk sebesar 95,0488 m<sup>-2</sup> dengan keandalan 99,8% berdasarkan kondisi eksisting dilapangan, sedangkan untuk beban aksial maksimum 155,040 ton setelah diasumsikan terjadinya percepatan tanah puncak (*Peak Ground Acceleration*, PGA) berdasarkan SNI 1726-2019 menghasilkan nilai tekuk 97,5715 m<sup>-2</sup> dengan keandalan sebesar 91,9 %.

**Kata Kunci:** Evaluasi Struktur, Keandalan, Tekuk, Distribusi Normal, Kolom Kritis

### Abstract

The Integrated Lecture Building (GKT) 1 of Bengkalis State Polytechnic is designed as a three-story building with an asymmetrical shape, functioning as an administrative and laboratory facility. Considering that Bengkalis is located in an area with very low earthquake potential, an evaluation was conducted on the column structure by assuming an increase in Peak Ground Acceleration (PGA) based on SNI 1726-2019. This study aims to determine whether the reliability of the designed column structure remains stable in resisting maximum axial loads when subjected to increased soil acceleration. The method applied in this research is the normal distribution probability (*Gaussian*) method, which is used to assess the reliability of the column structure in withstanding maximum loads resulting from the assumed increase in PGA. The structural analysis focuses on column C27, identified as the critical column due to receiving the highest axial load (Pmax). The evaluation results show that for column C27, the maximum axial load of 109.044 tons produces a bending value of 95.0488 m<sup>-2</sup> with a reliability of 99.8% under existing field conditions. However, when the maximum axial load increases to 155.040 tons—based on the assumed peak ground acceleration according to SNI 1726-2019—the bending value rises to 97.5715 m<sup>-2</sup>, and the reliability decreases to 91.9%. These findings indicate that an increase in PGA significantly affects the reliability of the column structure, although it remains within the safe category.

**Keywords:** Structure Evaluation, Reliability, Bending, Normal Distribution, Critical Column

## PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara dengan tingkat aktivitas seismik tertinggi di dunia karena secara geografis terletak pada wilayah pertemuan tiga lempeng tektonik besar, yaitu

lempeng Eurasia, Indo-Australia, dan Pasifik. Ketiga lempeng tersebut terus bergerak dan berinteraksi, baik melalui proses subduksi, kolisi, maupun sesar, yang menyebabkan terbentuknya zona-zona gempa aktif di hampir seluruh wilayah Nusantara [1].

Kondisi tektonik yang kompleks tersebut menjadikan Indonesia berada dalam kawasan Cincin Api Pasifik (Pacific Ring of Fire), sehingga frekuensi kejadian gempa bumi dengan skala rendah, sedang, hingga tinggi relatif tinggi dibandingkan negara lain di kawasan Asia Tenggara. Aktivitas gempa bumi ini tidak hanya berdampak pada aspek geologis, tetapi juga secara langsung memengaruhi stabilitas dan keamanan struktur bangunan yang berdiri di atasnya.

Ketahanan struktur bangunan terhadap gempa sangat bergantung pada kualitas desain, sistem struktur, serta kondisi tanah dasar tempat bangunan berdiri. Tanah dengan karakteristik lunak, jenuh air, atau memiliki daya dukung rendah cenderung memperbesar efek getaran akibat gempa melalui mekanisme amplifikasi gelombang seismik, yang dapat meningkatkan gaya inersia dan menghasilkan beban tambahan pada struktur. Kondisi tersebut berpotensi menyebabkan beban tiba-tiba yang melebihi kapasitas rencana struktur, terutama pada elemen-elemen vertikal seperti kolom yang berfungsi sebagai penopang utama [2]. Meskipun demikian, tidak semua wilayah di Indonesia memiliki tingkat risiko yang sama terhadap gempa. Berdasarkan peta zonasi gempa nasional, wilayah Kabupaten Bengkalis, Provinsi Riau, termasuk dalam zona 1 potensi gempa dengan kategori risiko gempa yang sangat rendah. Hal ini dikarenakan posisi geografis Bengkalis berada di bagian timur Pulau Sumatra yang relatif jauh dari jalur subduksi aktif, sehingga aktivitas tektoniknya cenderung lebih stabil. Namun demikian, karakteristik tanah di daerah ini tergolong lunak dan jenuh air, sehingga meskipun risikonya rendah, efek amplifikasi lokal tetap perlu diperhitungkan dalam perencanaan bangunan tahan gempa.

Dalam konteks tersebut, Gedung Kuliah Terpadu (GKT) di lingkungan Politeknik Negeri Bengkalis menjadi salah satu infrastruktur pendidikan yang dibangun pada tahun 2020 dengan mengacu pada SNI 2847-2002 untuk peraturan beton bertulang dan SNI 1726-2002 untuk ketahanan gempa. Kompleks GKT terdiri dari empat bangunan utama, yaitu GKT 1, GKT 2, GKT 3, dan GKT 4, yang berfungsi sebagai pusat kegiatan akademik dan administrasi kampus. Secara arsitektural, GKT 1 memiliki bentuk bangunan yang asimetris, terdiri dari tiga lantai, dan difungsikan sebagai gedung administrasi serta laboratorium teknik sipil. Sementara itu, GKT 2 hingga GKT 4 digunakan sebagai ruang perkuliahan dan kegiatan pembelajaran mahasiswa. Ditinjau dari bentuk dan fungsinya yang padat aktivitas, GKT 1 berpotensi

mengalami respons struktur yang lebih besar terhadap beban gempa, sehingga diperlukan evaluasi keandalan struktur kolom dengan mempertimbangkan peningkatan percepatan tanah puncak (Peak Ground Acceleration, PGA) sesuai SNI 1726-2019 sebagai pembaruan regulasi perencanaan gempa di Indonesia [3].

Evaluasi ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kemampuan struktur kolom dalam menahan beban aksial maksimum yang mungkin terjadi akibat peningkatan PGA. Hal ini menjadi sangat penting karena kolom berperan sebagai elemen utama pemikul beban vertikal dan lateral pada suatu bangunan. Kegagalan pada kolom dapat menyebabkan terjadinya mekanisme runtuh menyeluruh (global collapse) yang mengancam keselamatan pengguna bangunan [2]. Oleh karena itu, dalam perencanaan struktur bangunan, diperlukan penerapan kaidah ketahanan gempa yang sesuai dengan standar nasional, guna memastikan bahwa struktur memiliki tingkat keandalan yang memadai dan aman terhadap kemungkinan beban berlebih [4].

Dalam penelitian ini digunakan metode probabilitas distribusi normal (Gaussian) untuk menganalisis keandalan struktur kolom terhadap variasi nilai PGA. Metode ini mampu memodelkan sebaran statistik beban maksimum melalui pendekatan probabilistik berdasarkan parameter rata-rata ( $\mu$ ) dan standar deviasi ( $\sigma$ ). Kurva distribusi berbentuk lonceng (bell curve) yang dihasilkan menggambarkan kemungkinan terjadinya variasi beban pada struktur secara lebih realistis dibandingkan pendekatan deterministik konvensional [5]. Dengan demikian, analisis ini memberikan gambaran lebih mendalam mengenai tingkat keandalan struktur kolom GKT 1 terhadap perubahan kondisi beban akibat peningkatan percepatan tanah puncak. Penelitian ini secara spesifik bertujuan untuk mengevaluasi keandalan kolom struktur Gedung Kuliah Terpadu 1 Politeknik Negeri Bengkalis dengan menggunakan pendekatan probabilitas distribusi normal (Gaussian) sesuai dengan SNI 1726-2019 [6].

Penelitian ini juga dilatarbelakangi oleh beberapa kajian terdahulu yang menunjukkan adanya ruang untuk pengembangan penelitian lebih lanjut. Sebagai contoh, penelitian yang dilakukan oleh Hariyanto (2011) berfokus pada analisis keamanan struktur bangunan berdasarkan perpindahan, pembongkaran, dan gaya geser pada fondasi. Analisis tersebut dilakukan dengan menggunakan metode dinamik spektrum respon berbantuan perangkat lunak ETABS untuk

mengevaluasi respons struktur terhadap pembebanan dinamis [7]. Sementara itu, penelitian oleh Batas (2017) menekankan pentingnya penerapan metode probabilitas dalam menggambarkan penyebaran variabel acak pada analisis kelongsoran, dengan memperhatikan hubungan antara Probability of Failure (POF) dan Factor of Safety (FOS) untuk menentukan tingkat risiko kegagalan suatu sistem geoteknik [8].

Selanjutnya, Madian dkk tahun 2022 melakukan penelitian mengenai penentuan nilai probabilitas dan keandalan struktur kolom pendek pada bangunan tiga lantai di Pekanbaru, dengan mempertimbangkan kombinasi pembebanan statik dan dinamik. Penelitian tersebut menggunakan metode distribusi normal (Gaussian) untuk memperoleh nilai keandalan struktur dalam memikul beban maksimum yang bekerja pada kolom [9].

Berbeda dari penelitian-penelitian sebelumnya yang lebih berfokus pada analisis respons struktur akibat beban dinamis atau kajian probabilitas secara umum, penelitian ini secara khusus menitikberatkan pada analisis keandalan struktur kolom pada bangunan di wilayah dengan risiko gempa rendah yang diasumsikan mengalami peningkatan percepatan tanah puncak (PGA) sesuai SNI 1726-2019 [10]. Keunikan penelitian ini terletak pada penerapan pendekatan probabilitas distribusi normal (Gaussian) pada struktur kolom Gedung Kuliah Terpadu 1 Politeknik Negeri Bengkalis, yang hingga saat ini belum pernah dilakukan sebagai studi kasus spesifik di daerah dengan karakteristik tanah lunak dan potensi perubahan kondisi geoteknik akibat aktivitas geologi regional.

Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah yang signifikan dalam pengembangan metode evaluasi keandalan struktur berbasis probabilitas, khususnya pada bangunan gedung pendidikan di wilayah dengan tingkat aktivitas seismik rendah. Hasil penelitian ini tidak hanya bermanfaat untuk meningkatkan pemahaman terhadap perilaku kolom kritis (C27) terhadap variasi beban aksial setelah peningkatan PGA, tetapi juga dapat menjadi acuan teknis bagi perencana, akademisi, dan praktisi dalam menyusun strategi desain serta evaluasi struktur bangunan tahan gempa secara lebih efisien, rasional, dan sesuai standar nasional.

## METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan 5 (lima) tahapan penelitian agar mencapai tujuan yang diinginkan.

Tahapan penelitian yang dilakukan tersebut antara lain:

### 1. Tahapan Persiapan Penelitian

Tahap ini diawali dengan penentuan lokasi studi kasus, yaitu Gedung Kuliah Terpadu 1 Politeknik Negeri Bengkalis. Pemilihan lokasi ini dilakukan karena bangunan tersebut mewakili karakteristik tipikal struktur gedung bertingkat di wilayah Bengkalis, serta memiliki data struktur yang lengkap untuk dilakukan evaluasi. Pada tahap ini juga ditetapkan metode analisis yang digunakan, yaitu metode probabilitas distribusi normal (Gaussian) sebagai pendekatan untuk menghitung keandalan struktur. Data yang dikumpulkan mencakup data geometri, penulangan, mutu material, pembebanan, serta gambar kerja (*shop drawing*) [11].

### 2. Tahapan Evaluasi Data

Tahapan ini bertujuan untuk mengolah dan mengevaluasi data hasil pengumpulan berdasarkan kombinasi pembebanan struktur [12]. Proses evaluasi dilakukan dengan beberapa langkah berikut:

- Melakukan peningkatan nilai percepatan tanah puncak (PGA) sesuai SNI 1726-2019 melalui analisis response spectrum untuk gempa dengan periode ulang 500 tahun.
- Menentukan kombinasi pembebanan berdasarkan Pasal 4.2.2 SNI 1726-2019 dengan menyesuaikan pengaruh peningkatan nilai PGA.
- Mengidentifikasi kolom kritis (kolom risiko), yaitu kolom yang menerima beban aksial maksimum (P) hasil kombinasi pembebanan.
- Menetapkan variabel probabilitas berupa beban aksial kolom kritis yang akan digunakan sebagai dasar perhitungan distribusi normal (Gaussian) dalam penentuan keandalan struktur.

### 3. Tahapan Analisis Struktur

Analisis struktur dilakukan untuk mengetahui besarnya nilai tekuk kolom dan tingkat keandalan struktur akibat peningkatan nilai PGA. Analisis ini terdiri dari dua bagian utama, yaitu:

Analisis Tekuk Kolom:

Tekuk merupakan deformasi lateral yang terjadi pada elemen tekan akibat beban aksial berlebih. Dalam penelitian ini, nilai tekuk kolom dihitung berdasarkan beban aksial maksimum hasil evaluasi kombinasi pembebanan [13]. Tujuannya untuk mengetahui sejauh mana peningkatan PGA memengaruhi kestabilan kolom.

Analisis Keandalan Struktur:

Keandalan kolom dihitung menggunakan metode distribusi normal (Gaussian) [14] dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Menentukan nilai rata-rata ( $\mu$ ) dari seluruh data pembebanan kombinasi.
- b. Menghitung standar deviasi ( $\sigma$ ) untuk mengetahui tingkat penyebaran data terhadap nilai rata-rata.
- c. Menentukan fungsi kepadatan probabilitas (probability density function) guna menggambarkan distribusi beban dalam bentuk kurva lonceng (bell curve).
- d. Menghitung probabilitas reliabilitas struktur kolom dengan metode Gaussian, sehingga diperoleh tingkat keandalan aktual terhadap beban kerja.

4. Tahapan Hasil Analisis

Hasil dari analisis menunjukkan nilai tekuk struktur kolom serta tingkat keandalan kolom terhadap kombinasi pembebanan yang diakibatkan oleh peningkatan nilai percepatan tanah puncak (PGA). Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa kolom C27 masih memiliki nilai keandalan yang baik, meskipun mengalami sedikit penurunan akibat peningkatan PGA, dan tetap berada di atas batas minimum keandalan yang dipersyaratkan SNI 1726-2019 [15].

5. Tahapan Kesimpulan

Tahapan terakhir merupakan proses penarikan kesimpulan berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan. Kesimpulan difokuskan untuk menjawab rumusan masalah penelitian, yaitu mengenai tingkat keandalan struktur kolom terhadap peningkatan percepatan tanah puncak (PGA) serta seberapa besar pengaruh peningkatan tersebut terhadap kapasitas beban aksial dan nilai tekuk kolom.

Berikut uraian penjelasan setiap langkah tahapan perhitungan keandalan struktur kolom Gedung Kuliah Terpadu 1 Politeknik Negeri Bengkalis menggunakan metode probabilitas distribusi normal (Gaussian).

1. Tahapan awal yang dilakukan adalah mengumpulkan seluruh data sekunder dan primer yang dibutuhkan dalam analisis. Data tersebut meliputi dimensi elemen struktur (seperti panjang, lebar, dan tinggi kolom), data penulangan struktur (diameter, jarak, serta jenis baja tulangan yang digunakan), mutu material struktur (terutama nilai kuat tekan beton  $f_c$  dan kuat leleh baja  $f_y$ ), serta data pembebanan struktur yang terdiri atas beban mati, beban hidup, dan beban gempa. Seluruh data ini bersumber dari rancangan awal (preliminary design) dan dokumen teknis proyek seperti *shop drawing* dan laporan perhitungan struktur. Tahapan ini menjadi

dasar penting karena setiap parameter akan berpengaruh terhadap hasil analisis keandalan pada tahap berikutnya..

2. Analisis Struktur dengan Metode Elemen Hingga (Finite Element Method) Analisis struktur dilakukan menggunakan metode elemen hingga untuk mengetahui respons struktur terhadap berbagai kondisi pembebanan. Dalam proses ini, dilakukan beberapa langkah penting, yaitu:
  - a. Mengasumsikan peningkatan nilai percepatan tanah puncak (PGA) berdasarkan ketentuan SNI 1726:2019 guna memperoleh representasi kondisi gempa aktual di lokasi proyek.
  - b. Menentukan nilai beban aksial maksimum ( $P_{maks}$ ) yang bekerja pada setiap kolom, terutama pada kondisi kombinasi beban kritis.
  - c. Mengidentifikasi kolom dengan risiko tertinggi atau kolom kritis, yakni kolom yang mengalami beban maksimum dan deformasi terbesar, untuk selanjutnya dilakukan analisis keandalan secara probabilistik.
3. Nilai beban aksial maksimum yang diperoleh dari hasil analisis struktur selanjutnya digunakan untuk menentukan tingkat keamanan kolom terhadap kegagalan akibat beban tekan. Nilai ini diperoleh dari kombinasi beban yang paling kritis, yaitu kombinasi yang menghasilkan gaya aksial terbesar. Beban aksial maksimum tersebut akan menjadi variabel acak utama dalam perhitungan keandalan karena setiap variasi beban akan memengaruhi peluang terjadinya kegagalan struktur.
4. Menentukan Nilai Tekuk ( $\lambda_c$ ) Nilai tekuk dihitung menggunakan rumus:

$$\lambda_c = \frac{L_k}{\pi r} \sqrt{\frac{F_y}{E I_{kolom}}} \tag{1}$$

Nilai ini menggambarkan panjang tekuk kolom berdasarkan parameter struktur dan sifat materialnya.

5. Menentukan Parameter Statistik
  - a. Nilai rata-rata ( $\mu$ ): menggambarkan nilai tengah beban aksial dari seluruh kombinasi.

$$E (In x) = \sum_{i=1}^n x_i \tag{2}$$

- b. Nilai standar deviasi ( $\sigma$ ): menunjukkan seberapa besar penyimpangan data dari rata-rata.

$$Var (x) = E(X^2) - \mu x^2 = \int x^2 f_x (x) - \mu^2 \tag{3}$$

- c. Fungsi kepadatan probabilitas ( $f(x)$ ): menentukan peluang tiap nilai beban dengan rumus distribusi normal:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right] \quad (4)$$

- d. Plot ke dalam Grafik CDF (Cumulative Distribution Function) Nilai probabilitas kumulatif dihitung dan diplot untuk menentukan distribusi kemungkinan beban yang diterima kolom.

$$P(X \leq x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right] \quad (5)$$

- e. Cek Nilai Batas Risiko (Pf) Hasil probabilitas dibandingkan dengan batas risiko yang ditetapkan, yaitu  $P(x \leq a) = 10^{-2}$ . Jika melebihi batas tersebut, maka struktur dianggap tidak andal.
- f. Menghitung Keandalan (K) Jika hasil masih dalam batas aman, maka keandalan dihitung dengan:

$$K = 1 - Pf = 1 - P(x \leq a) \quad (6)$$

Nilai keandalan menunjukkan tingkat kemampuan kolom dalam menahan beban tanpa mengalami kegagalan.

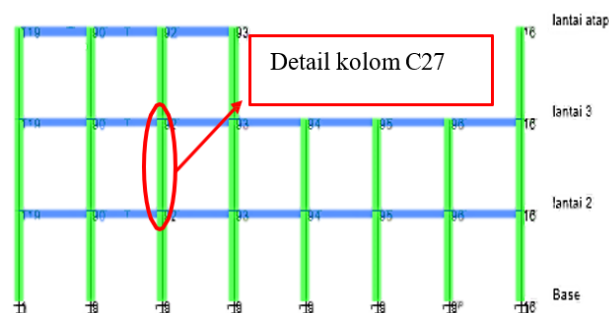
- g. Selesai Setelah seluruh tahapan di atas diselesaikan, diperoleh dua parameter penting yaitu probabilitas kegagalan dan tingkat keandalan. Kedua parameter ini menjadi indikator utama dalam menilai sejauh mana kolom pada struktur Gedung Kuliah Terpadu 1 Politeknik Negeri Bengkalis memenuhi kriteria keandalan berdasarkan pendekatan probabilistik. Hasil ini juga dapat menjadi dasar dalam rekomendasi perbaikan desain atau peningkatan faktor keamanan pada elemen kolom yang menunjukkan nilai keandalan rendah.

## HASIL DAN DISKUSI

### Hasil Evaluasi pada Struktur Gedung

Hasil evaluasi struktur kolom menunjukkan bahwa elemen kolom yang paling kritis berada pada kolom C27, yang teridentifikasi melalui hasil analisis struktur dengan memperhitungkan variasi percepatan tanah maksimum (*Peak Ground Acceleration* / PGA) berdasarkan ketentuan SNI 1726:2019. Kondisi kritis ini terjadi akibat peningkatan respons struktur terhadap percepatan tanah yang lebih tinggi, di mana kolom C27

mengalami peningkatan gaya aksial yang signifikan dibandingkan kolom lainnya. Berdasarkan hasil pemodelan struktur tiga dimensi menggunakan perangkat lunak analisis struktur, kolom C27 ditunjukkan dengan warna hijau pada hasil *stress contour*, yang mengindikasikan tingkat tegangan tinggi pada elemen tersebut. Warna ini muncul secara konsisten pada lantai dua, menunjukkan bahwa beban aksial terbesar diterima oleh kolom tersebut pada elevasi tersebut.



Gambar 1. Detail Kolom Kritis

Berdasarkan gambar di atas dapat dilihat bahwa, kolom C27 merupakan kolom yang paling kritis dan merupakan kolom menerus dari lantai 1 sampai ke lantai 3 dengan meneruskan beban seluruh bangunan yang diterimanya.

Dari hasil tersebut, terlihat bahwa nilai gaya aksial tertinggi terjadi pada kondisi gempa maksimum dengan kombinasi beban  $1,2D + 1,0L + 1,0E$ , sesuai ketentuan kombinasi pembebanan pada SNI 1727:2020. Nilai-nilai ini kemudian dijadikan dasar untuk menghitung nilai faktor kelangsingan kolom, probabilitas kegagalan dan tingkat keandalan (K) dalam tahap analisis selanjutnya.

Secara keseluruhan, hasil evaluasi ini memperlihatkan bahwa kolom C27 berperan sangat signifikan dalam menahan beban vertikal bangunan dan menjadi elemen penentu stabilitas struktur secara keseluruhan. Oleh karena itu, analisis lanjutan terhadap kolom ini dilakukan dengan pendekatan probabilistik untuk mengetahui sejauh mana ketahanan dan keandalannya terhadap variasi beban yang mungkin terjadi di lapangan. Pendekatan ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih realistis mengenai kinerja struktur terhadap ketidakpastian beban dan material, serta menjadi dasar pertimbangan dalam peningkatan faktor keamanan pada struktur sejenis di masa mendatang.

**Tabel 1.** Hasil Kombinasi Pembebanan Kolom Struktur C27 Berdasarkan SNI 1726-2019

Nama Kombinasi Pembebanan	Beban Aksial (P) (Max) (ton)
Komb (1)	122,984
Komb (2)	155,0396
Komb (3-1)	151,081
Komb (3-2)	151,081
Komb (3-3)	150,409
Komb (3-4)	150,409
Komb (4-1)	150,409
Komb (4-2)	151,081
Komb (4-3)	151,081
Komb (4-4)	150,409
Komb (5-1)	65,103
Komb (5-2)	65,103
Komb (5-3)	64,0246
Komb (5-4)	64,0246
Komb (6-1)	64,0246
Komb (6-2)	65,103
Komb (6-3)	65,103
Komb (6-4)	64,0246

Berdasarkan kondisi eksisting dilapangan, dalam menentukan besarnya nilai tekuk yang terjadi pada struktur kolom dengan beban maksimum yang dihasilkan sebesar 109,044 ton, untuk menentukan besarnya nilai tekuk yang terjadi pada kolom, maka sebelumnya harus menentukan terlebih dahulu nilai batas atau ijin dari panjang tekuk dalam perencanaan menurut SNI 1729-2002 adalah  $85,355 \text{ m}^{-2}$

**Tabel 2.** Hasil Kombinasi Pembebanan Struktur Kolom C27 Berdasarkan Kondisi Ekstining

Nama Kombinasi Pembebanan	Beban Aksial (P) (Max) (ton)
Komb (1)	69,3937
Komb (2)	109,044
Komb (3)	97,1480
Komb (4)	96,0959
Komb (5)	96,0959
Komb (6)	81,3377
Komb (7)	67,4720
Komb (8)	67,4720
Komb (9)	66,4920
Komb (10)	65,6778

Setelah dilakukan perhitungan sebelumnya berdasarkan kondisi eksisting dilapangan, maka dilakukan perhitungan baru untuk mengetahui besarnya tekuk yang terjadi pada struktur kolom C27 berdasarkan SNI 1726-2019, dimana keadaan struktur mengalami peningkatan percepatan tanah puncak (PGA). Beban aksial maksimum yang dihasilkan setelah kenaikan adalah 155,0396 ton, sehingga untuk menentukan besarnya panjang tekuk yang dihasilkan berdasarkan SNI 1726-2019 maka didapatkan hasil yaitu panjang tekuk ( $\lambda_c$ ) =  $97,5715 \text{ m}^{-2} > \lambda_{ijin} = 85,355 \text{ m}^{-2}$ . Sehingga, pada beban aksial yang dihasilkan oleh SNI 1726-2019 adalah 155,0396 ton, maka besarnya nilai tekuk yang terjadi pada kolom C27 saat menerima beban adalah  $97,5715 \text{ m}^{-2}$ .

**Menentukan Keandalan Pada Kolom Dengan Menggunakan Metode Probabilitas Distribusi Normal (Gaussian)**

Berdasarkan hasil kombinasi pembebanan yang diperoleh dari kondisi eksisting di lapangan, dilakukan analisis statistik untuk menentukan parameter probabilitas yang digunakan dalam evaluasi keandalan struktur. Tahapan pertama dalam analisis ini adalah menentukan nilai rata-rata (mean) dari seluruh data beban aksial yang dihasilkan dari kombinasi pembebanan pada kolom kritis C27. Nilai rata-rata dihitung dengan menjumlahkan seluruh data beban aksial (P) yang diperoleh dari hasil kombinasi, kemudian membaginya dengan jumlah total data yang tersedia.

Dari hasil perhitungan diperoleh nilai rata-rata beban aksial ( $\mu$ ) sebesar 81,6229 ton, yang menggambarkan nilai tengah dari seluruh beban aksial yang diterima kolom C27 dalam berbagai kombinasi pembebanan. Nilai rata-rata ini menjadi dasar penting dalam menentukan karakteristik distribusi beban yang diterima kolom, karena menggambarkan kecenderungan umum dari gaya tekan yang bekerja pada elemen struktur tersebut.

Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai standar deviasi ( $\sigma$ ), yang berfungsi untuk mengetahui seberapa besar penyimpangan nilai beban aksial terhadap nilai rata-ratanya. Nilai ini dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Nilai Standar Deviasi } (\sigma) = \text{Var } [x] = E [x^2] - \mu x^2 =$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} x^2 f_x(x) - \mu^2$$

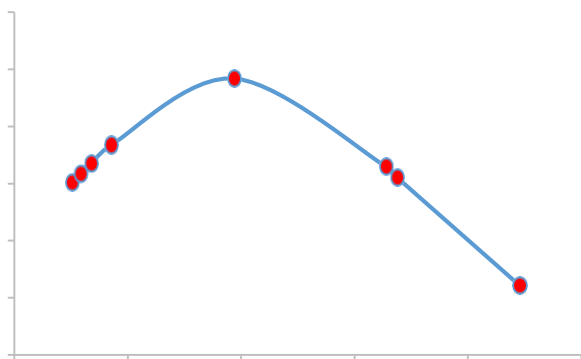
Didapatkan hasil:

$$= 271,687 \text{ ton} = \sqrt{271,687} = 16,4829 \text{ ton}$$

Nilai standar deviasi sebesar 16,4829 ton menunjukkan bahwa variasi beban aksial pada kolom C27 cukup besar terhadap nilai rata-ratanya,

yang berarti beban yang diterima oleh kolom ini memiliki sebaran yang relatif lebar akibat pengaruh kombinasi beban dinamis gempa serta beban vertikal dari struktur atas.

Dan untuk hasil keseluruhan nilai fungsi densitas probabilitasnya pada tiap beban aksial berdasarkan hasil gambar berikut:



**Gambar 1** Probability Density Function (PDF)

Grafik *Probability Density Function* (PDF) di atas menjelaskan bahwa hubungan antara fungsi densitas probabilitas ( $f_x$ ) dan nilai aksial kolom ( $x$ ), dimana garis biru yang melengkung pada grafik menunjukkan distribusi fungsi beban aksial yang dihasilkan ( $x$ ) ke dalam fungsi kepadatan probabilitas yang dihasilkan ( $f_x$ ).

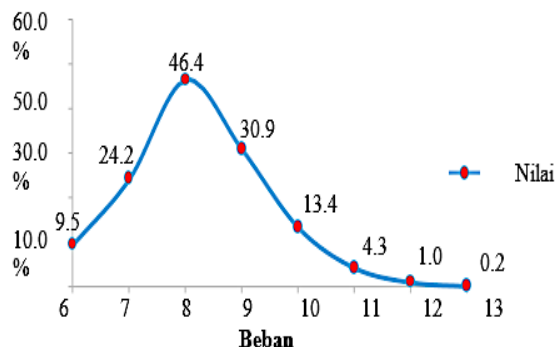
Pada perhitungan probabilitas menggunakan metode *Cumulative Distribution Function*, dimana nilai beban diambil dari nilai 60 ton sampai 130 ton dengan interval 10.

Untuk beban 60 ton,  $P$  (Failure) =  $P(x \leq 60)$   
 $x = 60$  ton,  $\mu_x = 81,6229$  ton,  $\sigma = 16,4829$  ton  
 Risiko =  $1 - (0,904902) = 0,0951 = 9,5\%$

Artinya, terdapat kemungkinan sebesar 9,5% bahwa kolom C27 akan menerima beban aksial dengan nilai  $\leq 60$  ton, yang dikategorikan sebagai risiko rendah terhadap kegagalan struktur. Nilai ini juga menunjukkan bahwa sebagian besar distribusi beban berada di atas nilai 60 ton, sehingga kolom C27 masih berada dalam kondisi yang relatif aman terhadap variasi beban vertikal pada kondisi eksisting.

Analisis probabilitas ini menjadi langkah awal dalam menentukan tingkat keandalan ( $K$ ) kolom C27, yang kemudian dihitung berdasarkan hubungan antara probabilitas kegagalan dan batas risiko yang ditetapkan dalam analisis probabilistik struktur. Dengan demikian, hasil ini memberikan gambaran awal tentang kemampuan kolom dalam mempertahankan kestabilan terhadap beban aksial maksimum yang bekerja akibat peningkatan percepatan tanah puncak (PGA).

Setelah dilakukan perhitungan probabilitas menggunakan metode *Cumulative Distribution Function* (CDF), langkah selanjutnya adalah memvisualisasikan hasil perhitungan tersebut ke dalam bentuk grafik sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.



**Gambar 2.** Cumulative Distribution Function

Gambar 3 di atas memberikan informasi banyaknya nilai suatu kejadian tertentu yang menunjukkan hubungan antara nilai probabilitas ( $P_f$ ) dengan beban aksial kolom ( $P$ ), dimana jika struktur kolom menerima beban lebih kecil dari 130 ton maka risiko kegagalan sangat rendah sebesar 0,2%. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa beban yang diterima selalu dalam keadaan aman karena berdasarkan SNI 1726-2002.

Untuk menentukan keandalan (*reliability*) struktur pada kolom C27, perhitungan dilakukan dengan menggunakan nilai  $P_f$  sebagai nilai probabilitas kegagalan yang telah diperoleh pada perhitungan sebelumnya. Nilai  $P_f$  tersebut kemudian digunakan dalam formula perhitungan keandalan pada masing-masing variasi pembebanan, yaitu pada beban 60 ton, 70 ton, 80 ton, 90 ton, 100 ton, 110 ton, 120 ton, dan 130 ton. Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan, diperoleh bahwa struktur kolom C27 memiliki nilai keandalan sebesar 90,5%, yang menunjukkan bahwa kolom masih berada dalam kondisi andal dalam menahan beban yang bekerja padanya. Nilai keandalan ini menggambarkan kemampuan struktur dalam menahan beban aksial yang diterima tanpa mengalami kegagalan, sehingga dapat dijadikan acuan dalam evaluasi kinerja struktur terhadap pengaruh pembebanan yang terjadi.

**Tabel 3.** Hasil dari nilai Keandalan (Reliability) Pada Struktur Kolom C27

Beban P (ton)	Keandalan (Reliability) (%)
$\leq 60$	90,5

Beban P (ton)	Keandalan ( <i>Reliability</i> ) (%)
≤ 70	75,8
≤ 80	53,6
≤ 90	69,1
≤ 100	86,7
≤ 110	95,7
≤ 120	99,0
≤ 130	99,8

Berdasarkan hasil keandalan yang dihasilkan pada struktur kolom C27 akibat beban yang diterima, maka dari hasil keandalan diketahui bahwa pada beban maksimum 130 ton memiliki nilai keandalan sebesar 99,8% maka struktur kolom tersebut sangat andal untuk menerima beban maksimum dan risiko keruntuhan sangat kecil karena, berdasarkan SNI 1726-2002 pada pasal 3.1.2.1 peluang dilampauinya beban dalam kurun waktu umur gedung 50 tahun adalah 10% dan gempa rencananya dengan (periode ulang 500 tahun).

Dalam menentukan nilai batas risiko pada struktur, maka dalam penelitian ini digunakan perencanaan struktur dengan menggunakan beban gempa berdasarkan SNI 1726-2002 yaitu  $10^{-2}$ . Setelah perhitungan didapatkan nilai batas resiko adalah 43,2177 ton. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa jika beban maksimum yang dihasilkan digunakan sebagai beban perencanaan yaitu  $\leq 130$  ton dengan keandalannya sebesar 99,8 % berdasarkan SNI 1726-2002. Setelah ini dilanjutkan perhitungan pada kondisi struktur setelah dilakukan peningkatan percepatan tanah puncak (PGA) berdasarkan SNI 1726-2019.

#### **Kondisi Setelah Dilakukan Peningkatan Percepatan Tanah Puncak (PGA)**

Berdasarkan hasil analisis kombinasi beban yang diperoleh setelah dilakukan peningkatan nilai percepatan tanah puncak (Peak Ground Acceleration / PGA), maka dilakukan proses evaluasi terhadap perubahan nilai beban aksial yang bekerja pada kolom C27. Proses ini dilakukan dengan membandingkan nilai beban eksisting dengan kondisi setelah peningkatan PGA, untuk melihat sejauh mana pengaruh kenaikan percepatan tanah puncak terhadap respons struktur, khususnya terhadap kolom yang menjadi elemen utama penahan beban vertikal.

Perhitungan nilai rata-rata beban aksial dilakukan dengan cara membagi total nilai data

beban aksial hasil kombinasi dengan jumlah data yang digunakan. Dalam penelitian ini, digunakan 18 kombinasi pembebanan sebagaimana tercantum pada Tabel 1, yang mewakili kondisi pembebanan aktual pada struktur gedung. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, diperoleh nilai rata-rata beban aksial ( $\mu$ ) sebesar 111,139 ton. Nilai ini menunjukkan adanya peningkatan beban aksial dibandingkan dengan kondisi awal sebelum peningkatan PGA, yang mengindikasikan bahwa peningkatan percepatan tanah puncak memberikan pengaruh nyata terhadap gaya internal yang diterima oleh elemen kolom struktur.

Selanjutnya, untuk mengetahui tingkat penyimpangan nilai beban aksial terhadap nilai rata-ratanya, dilakukan perhitungan nilai standar deviasi ( $\sigma$ ). Parameter ini merupakan salah satu komponen penting dalam analisis probabilitas, karena digunakan untuk mengukur tingkat dispersi atau variasi data beban terhadap nilai tengahnya. Standar deviasi yang besar menunjukkan adanya sebaran data beban yang lebih luas, sedangkan nilai yang kecil menunjukkan data yang cenderung homogen dan stabil.

Berdasarkan hasil perhitungan yang mengacu pada SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, diperoleh nilai standar deviasi ( $\sigma$ ) sebesar 43,37 ton. Nilai ini mengindikasikan bahwa terdapat variasi yang cukup signifikan pada distribusi beban aksial akibat pengaruh peningkatan PGA. Dengan kata lain, beban yang bekerja pada kolom C27 tidak bersifat seragam, melainkan mengalami fluktuasi yang mencerminkan respon struktur terhadap gaya dinamis tambahan yang timbul dari percepatan tanah yang lebih tinggi.

Setelah nilai deviasi diketahui, tahap selanjutnya adalah menghitung fungsi kepadatan probabilitas (Probability Density Function / PDF), yang dilambangkan dengan  $f(x)$ . Fungsi ini menggambarkan distribusi peluang dari setiap nilai beban aksial ( $x$ ) yang mungkin terjadi pada struktur. Analisis PDF berperan penting dalam memahami sebaran probabilitas beban terhadap nilai rata-ratanya dan digunakan untuk menentukan sejauh mana kemungkinan suatu nilai beban tertentu akan muncul.

Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah distribusi normal (Gaussian distribution), karena distribusi ini dianggap paling sesuai untuk menggambarkan fenomena alami seperti variasi beban struktural yang bersifat acak namun tetap mengikuti pola statistik tertentu. Melalui pendekatan distribusi normal ini, diperoleh

gambaran yang lebih realistis mengenai perilaku struktur terhadap perubahan beban akibat peningkatan percepatan tanah puncak.

Secara konseptual, fungsi PDF yang dihasilkan menggambarkan hubungan antara probabilitas ( $f(x)$ ) dengan nilai beban aksial ( $x$ ), di mana area di bawah kurva menunjukkan peluang terjadinya suatu nilai beban dalam rentang tertentu. Dengan demikian, hasil analisis ini menjadi dasar penting dalam menentukan tingkat keandalan (*reliability*) struktur kolom C27 setelah peningkatan PGA, serta memberikan pemahaman kuantitatif tentang seberapa besar kemungkinan struktur tetap aman dalam kondisi pembebanan yang lebih tinggi dari kondisi awal.

Temuan ini juga menjadi acuan untuk tahap analisis selanjutnya, yaitu perhitungan fungsi distribusi kumulatif (*Cumulative Distribution Function / CDF*) dan penentuan probabilitas kegagalan sebagai dasar dalam evaluasi keandalan keseluruhan struktur kolom terhadap variasi pembebanan akibat perubahan parameter seismik. Dengan demikian, hasil perhitungan pada tahap ini memberikan kontribusi penting terhadap pemodelan probabilistik struktur dan menjadi landasan untuk rekomendasi desain yang lebih aman terhadap pengaruh gempa di masa mendatang.

**Tabel 4.** Hasil Nilai Fungsi Kepadatan Probabilitas Pada Masing-Masing Beban Aksial Berdasarkan SNI 1726-2019

Beban Aksial (Pmaks) (ton)	Fungsi Kepadatan Probabilitas ( $f(x)$ )
64,0246	0,0051
65,1030	0,0052
122,9840	0,0089
150,4090	0,0061
151,0810	0,0060
155,040	0,0055

Berdasarkan tabel, beban aksial 64,0246 ton memiliki nilai fungsi kepadatan probabilitas sebesar 0,0051, sedangkan beban 65,1030 ton mempunyai probabilitas 0,0052. Nilai probabilitas tertinggi terdapat pada beban 122,9840 ton yaitu 0,0089, yang menunjukkan bahwa beban ini memiliki peluang terbesar terjadi pada kolom C27 dibandingkan dengan beban lainnya. Nilai  $f_x$  kemudian menurun kembali pada beban 150,4090 ton dan 151,0810 ton dengan masing-masing probabilitas 0,0061 dan 0,0060, hingga mencapai

0,0055 pada beban maksimum 155,040 ton. Hal ini menunjukkan bahwa pada beban mendekati kapasitas maksimum kolom, peluang kejadiannya mulai menurun karena kondisi struktur semakin kritis.

Untuk mengetahui tingkat keandalan struktur kolom secara keseluruhan terhadap variasi beban aksial, dilakukan perhitungan probabilitas kumulatif menggunakan metode *Cumulative Distribution Function (CDF)*. Perhitungan ini dilakukan pada rentang beban mulai dari 60 ton hingga 172 ton dengan interval 16 ton. Melalui metode ini, probabilitas kumulatif dapat menggambarkan peluang total bahwa struktur masih mampu menerima beban hingga nilai tertentu tanpa mengalami kegagalan. Analisis ini menjadi dasar dalam evaluasi keandalan kolom C27 terhadap peningkatan PGA sesuai SNI 1726-2019.

Lalu diadakan perhitungan probabilitas menggunakan metode *Cumulative Distribution Function* dimana nilai beban diambil dari nilai 60 ton sampai 172 ton dengan interval 16. Dan hasil dari nilai probabilitas dengan *Cumulative Distribution Function* pada beban lainnya dapat dilihat pada Tabel 5 berikut:

**Tabel 5.** Hasil Dari Probabilitas Dengan *Cumulative Distribution Function*

Beban P (ton)	Probabilitas (Pf) (%)
≤ 60	12,1
≤ 76	20,9
≤ 92	33,0
≤ 108	47,2
≤ 124	38,6
≤ 140	25,5
≤ 156	15,2
≤ 172	8,1

Tabel 5 menunjukkan hasil probabilitas kegagalan struktur kolom berdasarkan perhitungan *Cumulative Distribution Function (CDF)* yang menggambarkan peluang kegagalan ( $P_f$ ) pada setiap nilai beban aksial ( $P$ ). Nilai probabilitas kegagalan meningkat seiring bertambahnya beban hingga mencapai beban tertentu, kemudian menurun kembali mendekati kapasitas maksimum kolom. Pada beban ≤ 60 ton, probabilitas kegagalan tercatat sebesar 12,1%, meningkat menjadi 20,9% pada beban ≤ 76 ton, 33,0% pada beban ≤ 92 ton, dan mencapai 47,2% pada beban ≤ 108 ton. Setelah itu, nilai  $P_f$  kembali menurun menjadi 38,6% pada beban ≤ 124 ton, 25,5% pada beban ≤ 140 ton, 15,2% pada

beban  $\leq 156$  ton, dan mencapai nilai terendah yaitu 8,1% pada beban  $\leq 172$  ton.

Hubungan antara nilai probabilitas kegagalan (Pf) dengan beban aksial menunjukkan bahwa jika struktur kolom menerima beban kurang dari 172 ton, risiko kegagalannya hanya 8,1%. Hal ini menunjukkan bahwa kolom C27 masih dalam kondisi aman terhadap beban yang bekerja setelah peningkatan percepatan tanah puncak (PGA) sesuai SNI 1726-2019. Mengacu pada SNI 1726-2019 pasal 7.2.1.1, suatu struktur dinyatakan aman apabila probabilitas keruntuhan tidak melebihi 10% untuk struktur kategori risiko II akibat beban gempa maksimum (MCER). Dengan demikian, nilai Pf yang diperoleh masih memenuhi kriteria desain bangunan tahan gempa.

Hubungan antara nilai probabilitas (Pf) dengan beban aksial kolom (P), dimana jika struktur kolom menerima beban kurang dari 172 ton, risiko kegagalan adalah 8,1 %. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa beban yang diterima berdasarkan hasil SNI 1726-2019 setelah dilakukan peningkatan nilai PGAny masih dalam keadaan aman, karena berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.2.1.1 menunjukkan kriteria desain yang memenuhi probabilitas keruntuhan tidak lebih besar dari 10 % untuk struktur dengan kategori risiko II akibat MCER.

Untuk mengetahui keandalan struktur pada kolom C27, digunakan nilai Pfyaitu nilai probabilitas kegagalan yang telah ditentukan pada perhitungan sebelumnya. Nilai Pf tersebut kemudian dimasukkan ke dalam rumus keandalan untuk setiap variasi pembebanan secara bertahap, yaitu pada beban 60 ton, 76 ton, 92 ton, 108 ton, 124 ton, 140 ton, 156 ton, dan 172 ton. Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan metode probabilitas distribusi normal (Gaussian), diperoleh bahwa struktur kolom C27 memiliki nilai keandalan tertinggi sebesar 87,9%. Nilai ini menunjukkan kemampuan struktur dalam menahan beban yang bekerja setelah terjadi peningkatan percepatan tanah puncak (PGA) sesuai SNI 1726-2019. Hasil lengkap nilai keandalan untuk setiap variasi beban aksial dapat dilihat pada Tabel 7 sebagai dasar evaluasi tingkat kinerja dan keamanan struktur kolom C27. Untuk hasil dari nilai keandalan pada setiap beban dapat dilihat pada Tabel 6 berikut.

**Tabel 6.** Hasil dari nilai Keandalan (*Reliability*) Pada Struktur Kolom C27

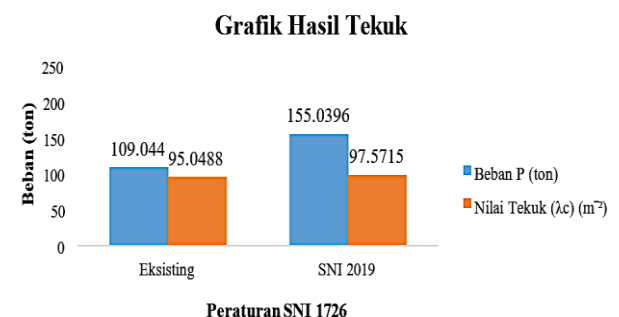
Beban P (ton)	Keandalan ( <i>Reliability</i> ) (%)
$\leq 60$	87,9
$\leq 76$	79,1

Beban P (ton)	Keandalan ( <i>Reliability</i> ) (%)
$\leq 92$	67,0
$\leq 108$	52,8
$\leq 124$	61,4
$\leq 140$	74,5
$\leq 156$	84,8
$\leq 172$	91,9

Berdasarkan tabel tersebut, keandalan struktur kolom C27 setelah peningkatan percepatan tanah puncak (PGA) sesuai SNI 1726-2019 mengalami penurunan. Pada beban maksimum 172 ton diperoleh nilai keandalan sebesar 91,9%, atau turun sekitar 20% dibandingkan kondisi eksisting. Namun demikian, sesuai SNI 1726-2019 pasal 3.11.1 dan 3.11.2, batas penurunan deformasi yang diizinkan adalah 40–80% dari beban ultimit. Dengan demikian, struktur kolom C27 masih dinyatakan andal karena penurunan keandalannya masih berada di luar batas kegagalan yang ditentukan standar.

**Pembahasan Hasil Akhir Dari Evaluasi**

Di Gedung Kuliah Terpadu 1 Politeknik Negeri Bengkalis dilakukan evaluasi untuk mengetahui nilai tekuk struktur kolom saat menerima beban tekan atau beban aksial (P) pada struktur kolom kritis C27, sehingga nilai maksimum beban aksial (P) diambil untuk menentukan nilai tekuk yang terjadi pada struktur kolom. Berdasarkan hasil akhir untuk menentukan besarnya tekuk yang ada pada kolom C27, maka dibuat Grafik perbandingan antara besarnya tekuk yang dihasilkan oleh beban aksial (P) berdasarkan kondisi eksisting dan setelah dilakukan peningkatan (PGA) berdasarkan SNI 1726-2019 sehingga dari grafik dapat dilihat berapa besar beban aksial (P) yang dihasilkan untuk menentukan nilai tekuk yang muncul pada struktur kolom C27.



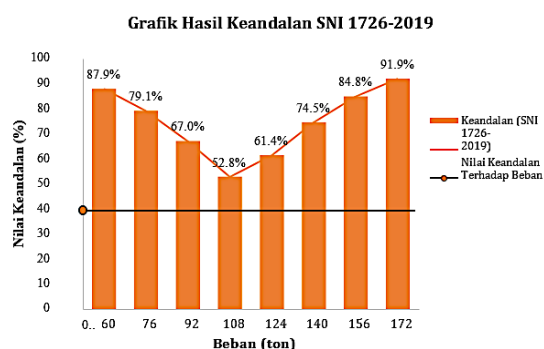
**Gambar 3.** Grafik Hasil Perbandingan Nilai (P) dan ( $\lambda_c$ )

Berdasarkan Gambar 4, dijelaskan bahwa pembebanan berdasarkan eksisting dilapangan, menghasilkan beban aksial (P) sebesar 109,044 ton

dengan nilai tekuk ( $\lambda c$ ) sebesar  $95,0488 \text{ m}^{-2}$ . Sedangkan untuk beban yang dihasilkan setelah dilakukan percepatan tanah puncaknya atau (PGA) berdasarkan SNI 1726-2019, menghasilkan beban aksial (P) sebesar 155,0396 ton dengan nilai tekuk ( $\lambda c$ ) sebesar  $97,5715 \text{ m}^{-2}$ . Dengan demikian, dari hasil antara besarnya beban yang dihasilkan pada kondisi eksisting dan kondisi setelah peningkatan percepatan tanah puncaknya atau (PGA), terdapat selisih peningkatan yang terjadi dari beban aksial (P) adalah 45,996 ton, dan nilai tekuknya ( $\lambda c$ ) sekitar  $2,5227 \text{ m}^{-2}$ , sehingga dari hasil yang didapat maka terjadinya peningkatan terhadap nilai tekuk yang akan mempengaruhi keandalan dari struktur kolom C27 apakah andal atau tidak dalam menerima beban akibat dari peningkatan nilai percepatan tanah puncaknya (PGA) pada wilayah Bengkalis.

Dengan mengetahui kekuatan struktur kolom untuk menentukan keandalan, setelah dilakukan percepatan tanah puncaknya atau (PGA) berdasarkan SNI 1726-2019, maka dilakukan evaluasinya dengan menggunakan metode distribusi normal (Gaussian), dimana metode tersebut memiliki fungsi kepadatan probabilitas dengan nilai rata-rata dan standar deviasi parameter distribusi yang digunakan dalam metode probabilitas.

Dalam hasil perhitungan didapatkan bahwa, dijelaskan nilai keandalan struktur kolom berdasarkan kondisi eksisting, jika beban yang diterima  $\leq 60$  ton nilai keandalannya 90,5%; untuk beban  $\leq 76$  ton nilai keandalannya 75,8%; untuk beban  $\leq 92$  ton nilai keandalannya 53,6%; untuk beban  $\leq 108$  ton nilai keandalannya 69,1%;  $\leq 124$  ton nilai keandalannya 86,7%;  $\leq 140$  ton nilai keandalannya 95,7%;  $\leq 156$  ton nilai keandalannya 99,0%;  $\leq 172$  ton nilai keandalannya 99,8%. Sedangkan untuk hasil keandalan struktur kolom C27 pada Gambar 5 untuk kondisi setelah dilakukan percepatan tanah puncaknya (PGA) berdasarkan SNI 1726-2019.



**Gambar 4.** Grafik Hasil Nilai Keandalan Berdasarkan Peningkatan

Pada Gambar 5. diatas dapat dijelaskan bahwa nilai keandalan struktur kolom setelah meningkatkan percepatan tanah puncaknya (PGA) berdasarkan SNI 1726-2019 jika beban yang diterima  $\leq 60$  ton nilai keandalannya 87,9% ; untuk beban  $\leq 76$  ton nilai keandalannya 79,1% ; untuk beban  $\leq 92$  ton nilai keandalannya 67,0% ; untuk beban  $\leq 108$  ton nilai keandalannya 52,8% ;  $\leq 124$  ton nilai keandalannya 61,4% ;  $\leq 140$  ton nilai keandalannya 74,5% ;  $\leq 156$  ton nilai keandalannya 84,8% ;  $\leq 172$  ton nilai keandalannya 91,9%. Sehingga dapat dilihat bahwa hasil keandalan berdasarkan kondisi eksisting dan setelah dilakukan peningkatan berdasarkan SNI 1726-2019 mengalami penurunan, yang dapat dilihat penurunan keandalannya pada beban 124 ton sampai 140 ton mengalami penurunan sekitar 20%. Berdasarkan hal tersebut, maka dilihat lagi standar yang digunakan sebagai acuan dalam penelitian menurut SNI 1726-2019 pasal 3.11.1 dan 3.11.2 menyatakan bahwa batas deformasi awal sampai ultimit penurunan saat terjadinya kegagalan sebesar 40% sampai 80% pembebanan ketika beban yang dapat dipikul turun dari kuat maksimum. Jadi, dapat disimpulkan bahwa struktur kolom C27 ini masih andal akibat dari peningkatan yang dilakukan karena penurunan yang terjadi masih dibawah batas kegagalan yang ditentukan berdasarkan SNI 1726-2019.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan, evaluasi, dan analisis yang dilakukan terhadap struktur kolom C27 Gedung Kuliah Terpadu 1 Politeknik Negeri Bengkalis menggunakan metode probabilitas distribusi normal (Gaussian), diperoleh bahwa kolom tersebut masih memiliki tingkat keandalan yang baik meskipun mengalami peningkatan percepatan tanah puncaknya (Peak Ground Acceleration, PGA) sesuai ketentuan SNI 1726-2019. Pada kondisi eksisting di lapangan, beban aksial (P) sebesar 109,044 ton menghasilkan nilai tekuk sebesar  $95,0488 \text{ m}^{-2}$ . Setelah dilakukan peningkatan PGA, beban aksial meningkat menjadi 155,0396 ton dengan nilai tekuk  $97,5715 \text{ m}^{-2}$ , sehingga terdapat peningkatan beban sebesar 45,996 ton dan kenaikan nilai tekuk sebesar  $2,5227 \text{ m}^{-2}$  yang berpengaruh terhadap keandalan struktur kolom. Nilai keandalan kolom C27 berdasarkan kondisi eksisting menunjukkan tingkat keandalan sebesar 90,5% pada beban  $\leq 60$  ton hingga 99,8% pada beban  $\leq 172$  ton. Setelah peningkatan PGA, nilai keandalan mengalami sedikit penurunan menjadi 87,9% pada beban  $\leq 60$  ton hingga 91,9% pada beban  $\leq 172$  ton.

Penurunan tersebut menunjukkan adanya pengaruh peningkatan PGA terhadap kemampuan kolom dalam menahan beban, namun nilai keandalan yang dihasilkan masih berada di atas ambang batas kegagalan yang ditetapkan oleh SNI 1726-2019 Pasal 3.11.1 dan 3.11.2, yaitu 40%–80% dari beban ultimit. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa meskipun terjadi penurunan nilai keandalan setelah peningkatan PGA, perubahan tersebut tidak signifikan dan tidak menurunkan kapasitas struktur secara keseluruhan. Kolom C27 tetap memiliki stabilitas dan kekuatan yang baik dalam menahan beban aksial, serta memenuhi kriteria keamanan dan kelayakan struktur terhadap pengaruh gempa di wilayah Bengkalis yang tergolong rendah. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa desain struktur Gedung Kuliah Terpadu 1 Politeknik Negeri Bengkalis telah memenuhi persyaratan ketahanan dan keandalan sesuai dengan standar nasional yang berlaku, sehingga bangunan dinyatakan andal dan aman digunakan.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Politeknik Negeri Bengkalis yang telah memberikan dukungan berupa data penelitian, serta kepada pihak Program Studi Teknik Sipil yang telah memberikan arahan selama proses penyusunan penelitian ini.

#### REFERENSI

- [1] A. Kurnia, S. H. Dewi, dan M. Kurniawan, "Pengaruh Posisi Dinding Geser Terhadap Kinerja Struktur Gedung Tidak Beraturan Dengan Metode Response Spectrum," *J. Saintis*, 2018.
- [2] K. Achmad, A. SMD, dan T. Tavio, "Metode Eksperimental Struktur Kolom Beton Bertulang Tahan Gempa Menggunakan CFRP Sebagai Eksternal Confinement," *J. Teknol. Terpadu*, vol. 1, 2013.
- [3] Badan Standar Nasional Indonesia, "Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung," (SNI-1726-2002), 2002.
- [4] A. Kristianto, I. Imran, dan M. Suarjana, "Pengembangan Sistem Pengikat Untuk Meningkatkan Efektifitas Kekangan Kolom Tahan Gempa," *J. Tek. Sipil*, 2019.
- [5] H.-S. A. Ang, H. W. Tang, dan B. Hariandja, *Konsep Probabilitas Dalam Perencanaan Dan Perancangan Rekayasa*. 1975.
- [6] Badan Standar Nasional Indonesia, "Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung," (SNI 2847-2002), 2002.
- [7] A. Hariyanto, "Analisis Kinerja Struktur Bangunan Bertingkat Tidak Beraturan Dengan Analisis Dinamik Metode Respons Spektrum," *J. Saintis*, 2011.
- [8] M. K. Batas, "Analisis Kestabilan Lereng Tambang Terbuka Batubara Dengan Metode Probabilitas Pada Highwall Dan Lowwall Pit Tania Panel 2, Pt. Kaltim Prima Coal, Kalimantan Timur," 2017.
- [9] M. Madian, M. Kurniawan, S. Sapitri, and F. Syarif, "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*," *Jurnal Saintis*, vol. 22, no. 2, pp. 51–58, Oct. 2022.
- [10] M. Kurniawan, "Optimasi Struktur Rangka Batang Menggunakan Metode Algoritma Genetika Dengan Kendala Tegangan Dan Probabilitas Kegagalan," *J. Saintis*, 2019.
- [11] W. Wangsadinata, "SNI-1726-2002 Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung. Pusat Penelitian Dan Pengembang Teknologi Permukiman," *J. Saintis*, 2020.
- [12] A. Setiawan, "Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI2847-2013," *Erlangga*, 2016.
- [13] K. Didin, R. Agus, T. Ofyar, dan S. Ade, "Penggunaan Distribusi Normal dalam Memodelkan Sebaran Biaya dan Transformasi Box-Muller pada Sampel Acak Model Rute dan Pembebanan Stokastik," *J. Transform.*, 2005.
- [14] A. Nasution, "Analisis Dan Desain Struktur Beton Bertulang," *Inst. Teknol. Bandung, Bandung*, 2009.
- [15] Departemen Pekerjaan Umum, "Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung," 1983.