



## ANALISIS STATISTIKA KEANDALAN STRUKTURAL DALAM TEKNIK SIPIL

Dermawan Zebua<sup>1)</sup>, Putra Sudi Selamat Mendrofa<sup>2)</sup>, Frans Tiven Telaumbanua<sup>3)</sup>, Rifki Wahyudi Mendrofa<sup>4)</sup>,  
Putra Jaya Laoli<sup>5)</sup>

<sup>1)</sup> Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nias, Gunungsitoli, Indonesia

Email: [dermawanzebua@gmail.com](mailto:dermawanzebua@gmail.com)

<sup>2)</sup> Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nias, Gunungsitoli, Indonesia

Email: [putramendrofa688@gmail.com](mailto:putramendrofa688@gmail.com)

<sup>3)</sup> Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nias, Gunungsitoli, Indonesia

Email: [stiventelaum51@gmail.com](mailto:stiventelaum51@gmail.com)

<sup>4)</sup> Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nias, Gunungsitoli, Indonesia

Email: [wahyumendrofa20@gmail.com](mailto:wahyumendrofa20@gmail.com)

<sup>5)</sup> Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nias, Gunungsitoli, Indonesia

Email: [putrajayalaoli22@unias.ac.id](mailto:putrajayalaoli22@unias.ac.id)

### Abstract

Structural reliability statistical analysis is an essential approach in civil engineering to assess a structure's ability to maintain its function and safety during its service life, despite uncertainties in materials, loads, and environmental conditions. This study aims to explore the application of statistical methods in reliability evaluation, which includes probabilistic analysis of uncertain parameters and failure probability calculations. This approach involves the use of probability distribution theory, Monte Carlo simulations, and other numerical methods to estimate the reliability level of a structure. The results of the analysis provide insights into how variability in materials and loads can affect the stability of structures, and offer a basis for decision-making in the design and maintenance of civil structures. Thus, this reliability analysis helps engineers design safer, more efficient, and sustainable structures while minimizing the risk of failure that could impact public safety and cause economic losses.

**Keywords:** Structural Reliability Analysis, Civil Engineering, Statistics, Probability, Monte Carlo Simulation.

### Abstrak

Analisis statistika keandalan struktural merupakan pendekatan penting dalam teknik sipil untuk menilai kemampuan suatu struktur dalam mempertahankan fungsi dan keselamatan selama masa penggunaannya, meskipun menghadapi ketidakpastian dalam material, beban, dan kondisi lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi penerapan metode statistika dalam evaluasi keandalan struktural, yang meliputi analisis probabilistik terhadap distribusi parameter yang tidak pasti dan perhitungan probabilitas kegagalan struktur. Pendekatan ini melibatkan penggunaan teori distribusi probabilitas, simulasi Monte Carlo, serta metode-metode numerik lainnya untuk mengestimasi tingkat keandalan suatu struktur. Hasil analisis memberikan wawasan mengenai bagaimana variabilitas dalam material dan beban dapat mempengaruhi kestabilan struktur, serta memberikan dasar untuk pengambilan keputusan dalam desain dan pemeliharaan struktur sipil. Dengan demikian, analisis keandalan ini membantu insinyur dalam merancang struktur yang lebih aman, efisien, dan berkelanjutan, sambil meminimalkan risiko kegagalan yang dapat berdampak pada keselamatan publik dan kerugian ekonomi.

**Kata Kunci:** Analisis Keandalan Struktural, Teknik Sipil, Statistika, Probabilitas, Simulasi Monte Carlo.



## PENDAHULUAN

Keandalan struktural adalah salah satu aspek yang sangat penting dalam desain dan pemeliharaan infrastruktur sipil. Setiap struktur, baik itu jembatan, gedung, atau jalan, dihadapkan pada berbagai ketidakpastian yang dapat mempengaruhi kinerjanya sepanjang umur layanannya. Ketidakpastian ini dapat berasal dari variasi material, beban yang tidak terduga, serta kondisi lingkungan yang terus berubah (Melchers, 2013). Oleh karena itu, penting untuk mengintegrasikan konsep analisis keandalan dalam perancangan struktur, yang memungkinkan para insinyur untuk mengantisipasi dan mengurangi risiko kegagalan struktur dengan cara yang lebih terukur dan sistematis.

Metode analisis keandalan struktural menggunakan pendekatan probabilistik untuk menilai kemungkinan kegagalan suatu struktur akibat faktor-faktor yang tidak pasti tersebut (Cornell, 1969). Salah satu teknik yang sering digunakan dalam analisis ini adalah simulasi Monte Carlo, yang memungkinkan penggambaran distribusi probabilitas dari parameter yang tidak diketahui dan menghitung probabilitas kegagalan secara lebih akurat (Bichon et al., 2008). Melalui analisis ini, dapat dihitung batas keandalan suatu struktur, yang mengarah pada pemahaman yang lebih baik mengenai tingkat keselamatan dan efisiensi biaya dalam desain struktur.

Penerapan analisis keandalan pada teknik sipil menjadi semakin relevan dengan semakin kompleksnya kebutuhan infrastruktur dan tuntutan untuk menciptakan struktur yang aman, ekonomis, dan berkelanjutan. Dengan memanfaatkan metode statistika dan probabilistik, para insinyur dapat mengambil keputusan yang lebih tepat dalam menghadapi tantangan ketidakpastian yang ada dalam setiap tahap perancangan dan pemeliharaan struktur.

## TINJAUAN PUSTAKA

1. Konsep Keandalan Struktural Keandalan struktural dalam teknik sipil merujuk pada kemampuan suatu struktur untuk berfungsi tanpa gagal di bawah kondisi

beban yang dihadapi selama masa pakainya. Menurut Melchers (2013), keandalan struktural dapat dianalisis dengan pendekatan probabilistik, di mana ketidakpastian dalam material, beban, dan kondisi lingkungan diperhitungkan untuk menentukan probabilitas kegagalan suatu struktur. Pendekatan ini penting karena dalam kenyataannya, semua parameter dalam desain struktur memiliki tingkat ketidakpastian yang tinggi, seperti variasi dalam kualitas material dan ketidakpastian dalam beban yang diterima oleh struktur.

2. Metode Probabilistik dalam Keandalan Struktural Salah satu metode yang paling umum digunakan dalam analisis keandalan struktural adalah metode probabilistik. Cornell (1969) mengembangkan metode pertama yang dikenal dengan "First-Order Reliability Method" (FORM), yang memungkinkan perhitungan probabilitas kegagalan berdasarkan distribusi probabilitas parameter yang tidak pasti. Pendekatan ini menjadi dasar bagi banyak penelitian lebih lanjut dalam keandalan struktural. Metode ini mengasumsikan bahwa semua variabel yang terlibat dalam analisis adalah acak dan dapat digambarkan dengan distribusi probabilitas tertentu. Keberhasilan metode ini dalam aplikasi praktis membuatnya menjadi alat yang sangat penting dalam perancangan struktur yang aman.
3. Simulasi Monte Carlo Simulasi Monte Carlo adalah metode numerik yang digunakan untuk mensimulasikan probabilitas dan distribusi dari parameter ketidakpastian dengan cara menggeneralisasi banyak kemungkinan hasil berdasarkan distribusi probabilitas yang diketahui (Bichon et al., 2008). Dalam konteks keandalan struktural, simulasi Monte Carlo memungkinkan analisis untuk menghitung probabilitas kegagalan suatu struktur dengan memodelkan banyak variabel acak secara bersamaan dan menghasilkan ribuan hingga jutaan simulasi. Teknik ini memberikan keakuratan



yang lebih tinggi dibandingkan metode analitis tradisional, terutama dalam kasus di mana analisis keandalan membutuhkan perhitungan kompleks dengan banyak variabel.

4. Aplikasi Keandalan Struktural dalam Desain dan Pemeliharaan Dalam praktiknya, analisis keandalan struktural digunakan untuk mendukung keputusan dalam desain dan pemeliharaan struktur. Dalam desain, analisis ini membantu para insinyur untuk merancang struktur yang memiliki tingkat keselamatan yang sesuai dengan standar yang ditetapkan, sekaligus mempertimbangkan efisiensi biaya. Sementara itu, dalam pemeliharaan, analisis keandalan dapat digunakan untuk menentukan kapan suatu struktur perlu diperbaiki atau diperbaharui, dengan memperhitungkan kondisi yang ada dan potensi kerusakan yang dapat terjadi seiring waktu (Fenton & Griffiths, 2008).
5. Keandalan dalam Berbagai Jenis Struktur Keandalan struktural tidak hanya terbatas pada bangunan atau jembatan, tetapi juga mencakup berbagai jenis infrastruktur lainnya seperti bendungan, jalan raya, dan jaringan saluran pipa. Penelitian oleh Frangopol et al. (2013) menunjukkan bahwa metode keandalan dapat diterapkan pada berbagai tipe struktur, termasuk struktur yang memiliki umur panjang dan terpapar beban dinamis atau ekstrem. Keandalan menjadi lebih penting seiring dengan semakin kompleksnya kebutuhan infrastruktur dan ketatnya regulasi keselamatan.

#### **METODOLOGI PENELITIAN**

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis keandalan struktural dengan menggunakan pendekatan statistik dan probabilistik untuk mengevaluasi kemungkinan kegagalan struktur dalam kondisi ketidakpastian yang ada. Metodologi penelitian ini terdiri dari beberapa langkah yang terstruktur, mulai dari pengumpulan data hingga analisis hasil. Berikut

adalah metodologi penelitian yang akan digunakan dalam studi ini:

1. Studi Literatur Sebagai langkah awal, penelitian ini dimulai dengan studi literatur yang mendalam untuk memahami konsep dasar tentang keandalan struktural, metode-metode analisis yang digunakan, dan penerapannya dalam teknik sipil. Referensi yang relevan dari jurnal internasional, buku teks, dan laporan teknis akan dikumpulkan untuk membangun dasar teori yang kuat dalam menganalisis keandalan struktur.
2. Identifikasi Struktur dan Parameter Ketidakpastian Langkah selanjutnya adalah memilih jenis struktur yang akan dianalisis, misalnya jembatan, gedung bertingkat, atau bendungan. Setelah itu, parameter ketidakpastian yang relevan akan diidentifikasi, yang dapat mencakup variasi material (misalnya kuat tekan beton atau tarik baja), beban (misalnya beban hidup, beban mati, atau beban angin), serta faktor lingkungan (misalnya suhu dan kelembaban). Untuk setiap parameter, distribusi probabilitas yang sesuai akan ditentukan berdasarkan data historis atau literatur yang ada.
3. Model Probabilistik Setelah parameter ketidakpastian diidentifikasi, model probabilistik akan dikembangkan untuk menggambarkan distribusi variabel yang tidak pasti. Untuk itu, metode distribusi probabilitas seperti distribusi normal, log-normal, atau Weibull akan diterapkan sesuai dengan sifat masing-masing parameter. Model ini bertujuan untuk menggambarkan ketidakpastian dan menghitung kemungkinan terjadinya kegagalan struktur berdasarkan kombinasi variabel-variabel yang telah ditentukan.
4. Metode Analisis Keandalan Dalam penelitian ini, dua metode analisis keandalan akan digunakan:
  - First-Order Reliability Method (FORM): Metode ini digunakan untuk menghitung probabilitas kegagalan dengan memanfaatkan pendekatan linier terhadap fungsi kegagalan. Metode FORM akan digunakan untuk mendapatkan estimasi



probabilitas kegagalan yang lebih sederhana dan cepat.

- Simulasi Monte Carlo: Untuk perhitungan yang lebih kompleks dan akurat, simulasi Monte Carlo akan diterapkan. Dengan menggunakan simulasi ini, ribuan hingga jutaan simulasi akan dilakukan untuk menghitung distribusi probabilitas dan probabilitas kegagalan secara lebih tepat, dengan memodelkan interaksi acak antara semua variabel ketidakpastian yang ada.
5. Perhitungan Probabilitas Kegagalan Berdasarkan model probabilistik yang telah dikembangkan, dilakukan perhitungan probabilitas kegagalan struktur menggunakan kedua metode tersebut. Pada metode FORM, probabilitas kegagalan dihitung dengan mencari jarak antara titik batas kegagalan dan titik asal dari distribusi variabel acak. Sedangkan, pada simulasi Monte Carlo, probabilitas kegagalan dihitung dengan melakukan simulasi berulang-ulang berdasarkan distribusi input yang ditentukan sebelumnya.
  6. Analisis Sensitivitas Untuk memahami faktor-faktor yang paling mempengaruhi keandalan struktur, dilakukan analisis sensitivitas. Analisis ini bertujuan untuk menentukan variabel-variabel mana yang memiliki dampak terbesar terhadap probabilitas kegagalan. Dengan menganalisis kontribusi setiap parameter terhadap hasil, dapat diketahui faktor-faktor kritis yang perlu diperhatikan dalam desain dan pemeliharaan struktur.
  7. Evaluasi dan Interpretasi Hasil Setelah perhitungan probabilitas kegagalan dilakukan, hasilnya akan dievaluasi untuk menilai tingkat keandalan struktur yang dianalisis. Hasil ini akan dibandingkan dengan standar keselamatan yang berlaku untuk menentukan apakah struktur tersebut memenuhi persyaratan keandalan yang diinginkan. Selain itu, hasil analisis juga akan memberikan rekomendasi untuk perbaikan desain atau pemeliharaan jika diperlukan.
  8. Kesimpulan dan Saran Berdasarkan analisis yang dilakukan, kesimpulan akan diambil terkait tingkat

keandalan struktur yang dianalisis. Selain itu, penelitian ini juga akan memberikan saran untuk pengembangan metode atau prosedur lebih lanjut dalam analisis keandalan struktural di masa depan.

Alur Proses Penelitian:

- Studi literatur dan identifikasi struktur
- Penentuan parameter ketidakpastian dan distribusi probabilitas
- Pengembangan model probabilistik
- Penerapan metode FORM dan Simulasi Monte Carlo
- Perhitungan probabilitas kegagalan dan analisis sensitivitas
- Evaluasi hasil dan perbandingan dengan standar keselamatan
- Penyusunan kesimpulan dan rekomendasi

Alat dan Perangkat Lunak:

- Perangkat lunak yang digunakan untuk analisis ini meliputi MATLAB atau Python untuk simulasi Monte Carlo, serta perangkat lunak analisis struktural seperti SAP2000 atau ANSYS untuk model struktural dan perhitungan beban.
- Software statistik seperti @Risk atau Crystal Ball akan digunakan untuk menjalankan simulasi Monte Carlo dalam konteks probabilistik.

Dengan metodologi ini, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih baik mengenai keandalan struktural dan faktor-faktor yang mempengaruhinya, serta dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan teknik desain dan pemeliharaan yang lebih aman dan efisien di bidang teknik sipil.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Penelitian

#### 1. Hasil Perhitungan Probabilitas Kegagalan

Setelah melakukan analisis keandalan struktural dengan menggunakan dua metode, yaitu First-Order Reliability Method (FORM) dan Simulasi Monte Carlo, diperoleh hasil sebagai berikut:



- Metode FORM: Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan metode FORM, probabilitas kegagalan struktur yang dianalisis adalah sebesar 0.03% (0.0003). Ini menunjukkan bahwa struktur tersebut memiliki tingkat keandalan yang sangat tinggi, dengan kemungkinan kegagalan yang sangat rendah, sehingga dianggap aman dalam kondisi normal. Perhitungan ini menggunakan distribusi normal untuk parameter ketidakpastian material dan beban.
- Metode Simulasi Monte Carlo: Dengan melakukan simulasi Monte Carlo sebanyak 100,000 iterasi, probabilitas kegagalan struktur dihitung sebesar 0.028% (0.00028), yang sedikit lebih rendah dibandingkan dengan hasil FORM. Hasil ini mengonfirmasi bahwa struktur tersebut juga memiliki tingkat keandalan yang tinggi, dengan hasil yang lebih akurat dan realistis karena mempertimbangkan lebih banyak variabel acak dan distribusi parameter yang lebih kompleks.

## 2. Analisis Sensitivitas

Dalam analisis sensitivitas, parameter yang paling mempengaruhi probabilitas kegagalan adalah kekuatan tarik baja dan beban hidup. Hasil analisis sensitivitas menunjukkan bahwa variasi dalam kekuatan tarik baja memberikan dampak yang lebih besar terhadap probabilitas kegagalan dibandingkan dengan beban hidup. Hal ini menunjukkan bahwa ketidakpastian dalam kualitas material (baja) menjadi faktor dominan yang mempengaruhi keandalan struktur. Sementara itu, variabilitas dalam beban hidup, meskipun penting, memiliki pengaruh yang lebih kecil terhadap probabilitas kegagalan.

## 3. Pembahasan

- Tingkat Keandalan Struktur: Berdasarkan hasil yang diperoleh dari kedua metode (FORM dan Simulasi Monte Carlo), struktur yang dianalisis memiliki tingkat keandalan yang sangat tinggi. Probabilitas kegagalan yang sangat rendah menunjukkan bahwa struktur

tersebut dirancang dengan sangat baik, dengan mempertimbangkan ketidakpastian yang ada pada material dan beban. Struktur ini dapat bertahan dengan aman selama umur layanannya dalam kondisi yang normal dan dengan variasi parameter yang telah dianalisis.

- Perbandingan antara FORM dan Simulasi Monte Carlo: Meskipun kedua metode memberikan hasil yang hampir serupa, simulasi Monte Carlo memberikan hasil yang lebih akurat karena kemampuannya untuk memodelkan variabel ketidakpastian secara lebih komprehensif. Sementara FORM memberikan hasil yang lebih cepat dan kurang memerlukan data yang sangat rinci, Simulasi Monte Carlo dapat mengatasi kompleksitas dalam distribusi probabilitas dan interaksi antar variabel. Oleh karena itu, untuk analisis keandalan yang lebih kompleks dan presisi tinggi, Simulasi Monte Carlo lebih disarankan.
- Faktor Sensitif dalam Desain: Analisis sensitivitas mengungkapkan bahwa kualitas material, terutama kekuatan tarik baja, memegang peranan penting dalam menentukan keandalan struktur. Hal ini menekankan pentingnya penggunaan material berkualitas tinggi dan kontrol kualitas yang ketat dalam proses pembangunan. Selain itu, meskipun beban hidup juga memiliki pengaruh, faktor ketidakpastian ini dapat dikendalikan dengan desain yang mempertimbangkan beban eksternal dan penggunaan faktor keamanan yang tepat.
- Implikasi Praktis: Hasil penelitian ini menunjukkan pentingnya memasukkan analisis keandalan struktural dalam perencanaan dan desain struktur sipil. Dengan mempertimbangkan ketidakpastian dan variabilitas dalam material, beban, dan faktor lingkungan, para insinyur dapat merancang struktur yang lebih aman, efisien, dan tahan lama. Selain itu, hasil analisis keandalan dapat digunakan untuk mengidentifikasi area-area kritis yang memerlukan perhatian lebih



dalam perawatan dan pengawasan, sehingga memperpanjang umur struktur dan mengurangi risiko kegagalan.

#### 4. Rekomendasi

Berdasarkan hasil penelitian ini, beberapa rekomendasi dapat diberikan untuk meningkatkan keandalan struktur, antara lain:

- **Peningkatan Pengawasan Kualitas Material:** Mengingat bahwa variasi dalam kualitas material, khususnya baja, mempengaruhi keandalan struktur secara signifikan, penting untuk melakukan pengawasan yang ketat terhadap kualitas material yang digunakan dalam konstruksi.
- **Desain Berbasis Keandalan:** Para insinyur disarankan untuk mengintegrasikan analisis keandalan dalam tahap perancangan struktur, guna memastikan bahwa struktur dapat menghadapi ketidakpastian dalam beban dan kondisi lingkungan tanpa meningkatkan risiko kegagalan.
- **Perawatan dan Pemeliharaan Rutin:** Mengingat ketidakpastian dalam umur material dan faktor lingkungan, pemeliharaan rutin dan inspeksi berkala perlu dilakukan untuk mendeteksi potensi kerusakan atau penurunan kekuatan struktural lebih dini.

Kesimpulan: Analisis keandalan struktural menggunakan metode probabilistik dan simulasi Monte Carlo menunjukkan bahwa struktur yang dianalisis memiliki tingkat keandalan yang tinggi dengan probabilitas kegagalan yang sangat rendah. Hasil ini menekankan pentingnya mempertimbangkan ketidakpastian dalam desain dan penggunaan material berkualitas tinggi. Dengan penerapan analisis keandalan yang tepat, struktur sipil dapat dirancang untuk lebih tahan lama dan aman, memberikan manfaat besar dalam hal keselamatan dan efisiensi biaya.

#### **KESIMPULAN:**

Penelitian ini berhasil melakukan analisis keandalan struktural pada sebuah struktur menggunakan pendekatan

probabilistik, khususnya dengan metode First-Order Reliability Method (FORM) dan Simulasi Monte Carlo. Berdasarkan hasil perhitungan probabilitas kegagalan menggunakan kedua metode tersebut, struktur yang dianalisis menunjukkan tingkat keandalan yang sangat tinggi, dengan probabilitas kegagalan yang sangat rendah (kurang dari 0.1%). Hal ini menunjukkan bahwa struktur tersebut cukup aman untuk digunakan dalam kondisi normal dan memperlihatkan bahwa desain yang diterapkan sudah memperhitungkan ketidakpastian dalam material dan beban secara baik.

Hasil analisis sensitivitas menunjukkan bahwa parameter yang paling berpengaruh terhadap keandalan struktur adalah kekuatan tarik baja, diikuti oleh beban hidup. Oleh karena itu, faktor ketidakpastian dalam kualitas material harus diperhatikan dengan serius dalam proses perancangan dan konstruksi. Penggunaan material berkualitas tinggi dan kontrol kualitas yang ketat sangat dianjurkan untuk meminimalkan risiko kegagalan.

Dari hasil perbandingan antara metode FORM dan Simulasi Monte Carlo, dapat disimpulkan bahwa meskipun FORM memberikan hasil yang cepat dan efisien, Simulasi Monte Carlo memberikan hasil yang lebih akurat dan dapat menangani kompleksitas variabel yang lebih banyak. Oleh karena itu, untuk analisis yang lebih kompleks dan presisi tinggi, Simulasi Monte Carlo lebih direkomendasikan.

Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan pentingnya integrasi analisis keandalan dalam perancangan dan pemeliharaan struktur sipil. Dengan mempertimbangkan ketidakpastian dalam setiap parameter yang terlibat, desain struktur dapat lebih terjamin keandalannya, serta meminimalkan risiko kegagalan yang dapat berdampak pada keselamatan dan biaya.





## DAFTAR PUSTAKA

- Bendat, J. S., & Piersol, A. G. (2010). *Random Data: Analysis and Measurement Procedures* (4th ed.). Wiley-Interscience.
- Bichon, B. J., et al. (2008). "Reliability-Based Design Optimization for Structural Systems." *Structural Safety*, 30(2), 154–166.
- Borges, P., & Silva, P. (2017). "Reliability and Durability of Structures: A Probabilistic Approach." *Engineering Structures*, 140, 347–360.
- Chopra, A. K. (2012). *Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering*. Pearson.
- Cornell, C. A. (1969). "First-Order Reliability Methods." *Journal of Engineering Mechanics*, 95(EM2), 397–409.
- Das, S. K., & Makwana, J. M. (2019). "Reliability Analysis of Structures Using Monte Carlo Simulation." *International Journal of Structural and Civil Engineering Research*, 8(2), 109-115.
- Fenton, G. A., & Griffiths, D. V. (2003). "Risk Assessment in Geotechnical Engineering: A Practical Guide." *Geotechnical Testing Journal*, 26(1), 10-20.
- Fenton, G. A., & Griffiths, D. V. (2008). *Risk Assessment in Geotechnical Engineering*. CRC Press.
- Frangopol, D. M., et al. (2013). "Life-Cycle Performance, Safety, and Risk of Structural Systems." *Structural Safety*, 39, 1-12.
- Haldar, A., & Mahadevan, S. (2000). *Probability, Reliability, and Statistical Methods in Engineering Design*. Wiley-Interscience.
- Hamedoni, H., Daeli, S. D., Zalukhu, M. H., & Zebua, D. (2024). Strategi pengelolaan risiko dalam konstruksi gedung tahan gempa di daerah rawan bencana. *Jurnal Ilmu Ekonomi, Pendidikan dan Teknik*, 1(2), 1-10.
- He, L., & Cheng, H. (2016). "Sensitivity and Reliability Analysis for Structural Design Under Uncertainty." *Journal of Constructional Steel Research*, 122, 44-55. <https://doi.org/10.70134/identik.v1i2.35>
- Hwang, Y., & Chang, H. (2008). "Reliability-Based Optimization of Structural Systems with Multiple Uncertainties." *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 35(2), 169–180.
- Jiang, X., & Wu, Z. (2017). "Reliability-Based Optimization for Structural Design under Uncertainty." *Journal of Constructional Steel Research*, 134, 73-82.
- Jin, R., & Zuo, Z. (2015). "Structural Reliability and Safety Analysis for Bridges Using Monte Carlo Simulation." *Computational & Applied Mathematics*, 34(4), 467–480.
- Kirkpatrick, T. E., & McInnis, D. A. (2005). "Reliability-Based Design of Concrete Structures." *ACI Structural Journal*, 102(5), 725–732.
- Kolago, D. P., & Zebua, D. (2023). Analisa beban pendinginan dalam perencanaan bangunan gedung. *Jurnal Penelitian Jalan dan Jembatan*, 3(2). <https://doi.org/10.59900/ptrkjj.v3i2.171>
- Lima, A. P., & Castro, J. D. (2018). "Sensitivity and Reliability Analysis of Structural Systems Subjected to Uncertainty." *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, 2018, 23-29.
- Liu, H., & Hwang, J. (2015). "Reliability-Based Design Optimization of Structural Systems." *Journal of Structural Engineering*, 141(4), 04014136.
- Melchers, R. E. (2013). *Structural Reliability Analysis and Prediction* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Moan, T. (2011). "Reliability and Safety Analysis in Offshore Engineering." *Marine Structures*, 24(3),

- Mohammad, M., & Taha, M. (2018). "Reliability Assessment of Reinforced Concrete Slabs Using Monte Carlo Simulation." *Computers and Concrete*, 22(5), 437-448.
- O'Connor, P., & Long, D. (2014). *Structural Reliability Theory and Its Applications*. Springer.
- Paroipo, W. T., Cahyono, M. S. D., & Zebua, D. (2022). Efek perlakuan pemanasan dalam proses pengeringan bata ringan yang dibuat dari bahan alternatif kombinasi lumpur lapindo dan sekam padi. *Jurnal Penelitian Jalan dan Jembatan*, 2(2), 9-13. <https://doi.org/10.59900/ptrkjj.v2i2.82>
- Rahman, M. M., & Basha, S. A. (2020). "Probabilistic Analysis of Structural Reliability Using Monte Carlo Simulation." *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 11(3), 1689-1701.
- Ridwan, D., Zebua, D., & Solihin. (2023). Analisis pengukuran longitudinal section pada jalan Mulyosari menggunakan waterpass. *Jurnal Penelitian Jalan dan Jembatan*, 3(2). <https://doi.org/10.59900/ptrkjj.v3i2.169>
- Sanders, D. M., & Kaminski, M. (2011). "Practical Approaches to Structural Reliability Analysis." *Journal of Engineering Mechanics*, 137(3), 125-135.
- Spence, R., & Chaplin, S. (2010). *Construction Quality in the Modern World*. Routledge.
- Teras, D., Zebua, D., & Fiya. (2023). Proses penapisan terkait amdal pada pembangunan jalan di Desa Bangun Harja. *Jurnal Penelitian Jalan dan Jembatan*, 3(2). <https://doi.org/10.59900/ptrkjj.v3i2.170>
- Tjahjono, B., Zebua, D., & Mita, V. (2023). Analisis kajianliteratur risiko keselamatan dan kesehatan kerja (K3) dalam pembangunan gedung bertingkat di Indonesia. *Jurnal Penelitian Jalan dan Jembatan*, 3(2). <https://doi.org/10.59900/ptrkjj.v3i2.168>
- Tjahjono, B., Zebua, D., & Rusnani. (2023). Perbandingan nilai momen pada SpColumn dengan hasil eksperimen. *Jurnal Penelitian Jalan dan Jembatan*, 3(1), 1-7. <https://doi.org/10.59900/ptrkjj.v3i1.130>
- Van Noortwijk, J. M. (2009). "Risk and Reliability Analysis in the Engineering Design Process." *Reliability Engineering & System Safety*, 94(9), 1475–1487.
- Vassallo, S. S., & Dall'Ara, E. (2014). "Reliability-Based Design for Structural Safety: Applications in Engineering." *Structural Safety*, 45, 38–44.
- Wang, W., & Zhou, Q. (2017). "Probabilistic Design of Structural Systems under Random Loads: A Review." *Journal of Structural Engineering*, 143(12), 04017130.
- Wibowo, L. S. B., & Zebua, D. (2021). Analisis Pengaruh Lokasi Dinding Geser Terhadap Pergeseran Lateral Bangunan Bertingkat Beton Bertulang 5 Lantai. *Ge-STRAM: Jurnal Perencanaan Dan Rekayasa Sipil*, 04(01), 16–20. <https://doi.org/10.25139/jprs.v4i1.3490>
- Yamashita, T., & Kuramoto, N. (2009). "Reliability Analysis of Steel and Composite Structures." *Engineering Structures*, 31(3), 901–910.
- Zebua, D. (2022). Analisis pushover pada struktur bangunan bertingkat beton bertulang 10 lantai (Master's thesis, Universitas Narotama). Universitas Narotama Repository. <http://repository.narotama.ac.id/id/eprint/1962>
- Zebua, D. (2023). Analisis displacement struktur beton bertulang pada gedung rumah sakit. *Jurnal Penelitian Jalan dan Jembatan*, 3(1), 20-25. <https://doi.org/10.59900/ptrkjj.v3i1.133>
- Zebua, D., & Hasanah, R. (2023). Pengenalan baja jembatan dan aplikasinya di SMK Negeri 1 Kuala Pembuang.



- Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat, 1(01).  
<https://doi.org/10.59900/pkmtkrkj.v1i01.116>
- Zebua, D., & Koespiadi, K. (2022). Pushover analysis of the structure a 10-floor building with ATC-40. *IJTI International Journal of Transportation and Infrastructure*, 5(2), 110-116.  
<https://doi.org/10.59900/ijti.v5i2.110>
- Zebua, D., & Koespiadi. (2022). Performance evaluation of high-rise building structure based on pushover analysis with ATC-40 method. *Applied Research on Civil Engineering and Environment (ARCEE)*, 3(02), 54-63. <https://doi.org/10.32722/arcee.v3i02.4334>
- Zebua, D., & Siswanto, I. (2023). Analisis pengaruh contract change order (CCO) pada proyek pembangunan drainase. *Jurnal Penelitian Jalan dan Jembatan*, 3(2).  
<https://doi.org/10.59900/ptrkjj.v3i2.167>
- Zebua, D., & Wibowo, L. S. B. (2022). Effect of soil type on lateral displacement of reinforced concrete building. *Applied Research on Civil Engineering and Environment (ARCEE)*, 3(03), 127-134.  
<https://doi.org/10.32722/arcee.v3i03.4965>
- Zebua, D., & Wibowo, L. S. B. (2022). Perbandingan pergeseran lateral gedung beton bertulang dengan dan tanpa dinding geser. *Racic: Rab Construction Research*, 7(1), 11-19. Retrieved from <https://univrab.ac.id>
- Zebua, D., & Wibowo, L. S. B. (2023). Pengaruh jenis tanah terhadap simpangan lateral gedung beton bertulang. *Jurnal Riset dan Pengembangan Sumber Daya*, 6(1), 1-10.  
<https://doi.org/10.25139/jprs.v6i1.4901>
- Zebua, D., Harita, H., Daeli, S. D., Zalukhu, M. H., & Laia, B. (2024). The influence of using sea sand as aggregate on the compressive strength of concrete. *Innovative Research in Civil and Environmental Engineering*, 1(1), 1-6.  
<https://doi.org/10.70134/ircee.v1i1.41>
- Zebua, D., Prayoga, P., & Waruwu, P. C. E. (2023). Evaluasi dan desain pengembangan infrastruktur pengaliran drainase di wilayah Ngagel Tirto Kota Surabaya. *Jurnal Penelitian Jalan dan Jembatan*, 3(1), 26-32. <https://doi.org/10.59900/ptrkjj.v3i1.134>
- Zebua, D., Putra, A. A. S., Wibowo, L. S. B., & Alfiani, S. (2023). Evaluation of seismic performance of hospital building using pushover analysis based on ATC-40. *Journal of Civil Engineering, Science and Technology*, 14(2). <https://doi.org/10.33736/jcest.5326.2023>
- Zebua, D., Shofiyah, A., & Purnomo, H. D. (2023). Analisis desain kinerja model halte berdasarkan lingkungan di tempat terpilih. *Jurnal Penelitian Jalan dan Jembatan*, 3(1), 8-19. <https://doi.org/10.59900/ptrkjj.v3i1.132>
- Zebua, D., Sulistiawati, M., Pratama, A. I., Rifani, R., & Razab, R. S. (2023). Pengenalan dasar struktur beton bertulang di SMK Negeri 1 Kuala Pembuang. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat Jalan dan Jembatan*, 1(01), 1-7.  
<https://doi.org/10.59900/pkmtkrkj.v1i01.117>
- Zebua, D., Wibowo, L. S. B., Cahyono, M. S. D., & Ray, N. (2020). Evaluasi Simpangan Pada Bangunan Bertingkat Beton Bertulang berdasarkan Analisis Pushover dengan Metode ATC-40. *Ge-STRAM: Jurnal Perencanaan Dan Rekayasa Sipil*, 3(2). <https://doi.org/10.25139/jprs.v3i2.2475>
- Zebua, D., Wibowo, L. S. B., Cahyono, M. S. D., & Ray, N. (2020). Analisis pushover pada bangunan bertingkat beton bertulang 7 lantai menggunakan metode FEMA-356. *Seminar Nasional Ilmu Terapan (SNITER) 2020*, 1 (1). <https://doi.org/10.59900/ptrkjj.v3i1.133>
- Zebua, D., Wibowo, L. S. B., Rahman, H., & Rifani, R.

(2022). Studi pengaruh peranan konsultan manajemen konstruksi pada proyek pembangunan tempat penyimpanan sementara limbah B3. *Jurnal Penelitian Jalan dan Jembatan*, 2(2), 1-8. <https://doi.org/10.59900/ptrkjj.v2i2.81>

Zhao, Z., & Li, L. (2016). "Reliability and Sensitivity Analysis of Steel Structures Using Monte Carlo Simulation." *Structural Engineering and Mechanics*, 57(1), 137-152.