



APLIKASI TEKNIK STATISTIK DALAM EVALUASI KINERJA MATERIAL KONSTRUKSI DI BERBAGAI KONDISI LINGKUNGAN

Elvin Krisman Bate'e¹⁾, Excel Sahputra Laoli²⁾, Dermawan Zebua³⁾, Ignasia Hastuti Halawa⁴⁾, Pasrah Iman Anugerah Putra Ziliwu⁵⁾, Syukurman Jaya Halawa⁶⁾, Faerisman Lase⁷⁾

¹⁾ Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nias, Gunungsitoli, Indonesia
Email: elvinbatee980@gmail.com

²⁾ Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nias, Gunungsitoli, Indonesia
Email: excella240823@gmail.com

³⁾ Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nias, Gunungsitoli, Indonesia
Email: dermawanzebua@gmail.com

⁴⁾ Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nias, Gunungsitoli, Indonesia
Email: ignasiahastuti@gmail.com

⁵⁾ Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nias, Gunungsitoli, Indonesia
Email: pasrahziliwu24@gmail.com

⁶⁾ Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nias, Gunungsitoli, Indonesia
Email: syukurhalawa534@gmail.com

⁷⁾ Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nias, Gunungsitoli, Indonesia
Email: faerislase776@unias.ac.id

Abstract

This study aims to evaluate the performance of construction materials using statistical techniques under various environmental conditions. The performance of construction materials used in infrastructure development is significantly influenced by environmental factors such as humidity, temperature, and soil pH. In this study, performance data of construction materials from different locations with varying environmental conditions are analyzed using statistical methods such as regression analysis, hypothesis testing, and analysis of variance (ANOVA). The analysis results show that environmental conditions have a significant impact on the durability and quality of construction materials, which affects the selection of materials for construction projects at specific locations. By using statistical techniques, this evaluation provides more accurate recommendations for the optimal selection of construction materials.

Keywords: Statistical Techniques; Performance Evaluation; Construction Materials; Environmental Conditions.

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja material konstruksi dengan menggunakan teknik statistik dalam berbagai kondisi lingkungan. Kinerja material konstruksi yang digunakan dalam pembangunan infrastruktur sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti kelembaban, suhu, dan pH tanah. Dalam penelitian ini, data kinerja material konstruksi dari berbagai lokasi yang memiliki kondisi lingkungan yang berbeda dianalisis menggunakan metode statistik seperti analisis regresi, uji hipotesis, dan analisis varians (ANOVA). Hasil analisis menunjukkan bahwa kondisi lingkungan memiliki pengaruh signifikan terhadap daya tahan dan kualitas material konstruksi, yang berimplikasi pada pemilihan material yang tepat untuk proyek konstruksi di lokasi tertentu. Dengan menggunakan teknik statistik, evaluasi ini memberikan rekomendasi yang lebih akurat untuk pemilihan material konstruksi yang optimal.

Kata Kunci: Teknik Statistik; Evaluasi Kinerja; Material Konstruksi; Kondisi Lingkungan..



PENDAHULUAN

Dalam industri konstruksi, pemilihan material yang tepat sangat penting untuk menjamin keberlanjutan dan keamanan bangunan. Kinerja material konstruksi, seperti beton, baja, dan bahan komposit lainnya, sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti suhu, kelembaban, pH tanah, dan faktor lainnya yang ada di sekitar lokasi konstruksi. Pengetahuan tentang bagaimana lingkungan mempengaruhi sifat material konstruksi dapat membantu insinyur dan perencana dalam membuat keputusan yang lebih baik dalam pemilihan material yang sesuai untuk kondisi spesifik suatu lokasi.

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa material konstruksi cenderung mengalami degradasi yang lebih cepat ketika terpapar kondisi lingkungan yang ekstrem. Misalnya, penelitian yang dilakukan oleh Vassart et al. (2015) menunjukkan bahwa paparan terhadap kelembaban tinggi dapat menyebabkan korosi pada baja dan penurunan daya tahan beton. Selain itu, penelitian oleh Li et al. (2020) mengungkapkan bahwa variasi suhu dapat mempengaruhi kekuatan tarik dan daya tahan material komposit dalam jangka panjang. Oleh karena itu, sangat penting untuk melakukan evaluasi kinerja material konstruksi di berbagai kondisi lingkungan untuk memastikan keberlanjutan dan keamanan struktur.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengevaluasi kinerja material konstruksi adalah dengan menerapkan teknik statistik. Teknik statistik, seperti analisis regresi dan analisis varians (ANOVA), memungkinkan untuk menganalisis hubungan antara variabel lingkungan dan kinerja material konstruksi secara kuantitatif. Dengan menggunakan teknik ini, dapat diperoleh pemahaman yang lebih jelas mengenai faktor-faktor lingkungan yang berpengaruh serta tingkat ketahanan material dalam kondisi yang berbeda.

Pentingnya evaluasi kinerja material konstruksi melalui pendekatan statistik di berbagai kondisi lingkungan

mendorong penelitian ini untuk mengembangkan metodologi yang dapat digunakan dalam industri konstruksi guna meningkatkan efisiensi dan efektivitas pemilihan material.

TINJAUAN PUSTAKA

Evaluasi kinerja material konstruksi dalam berbagai kondisi lingkungan telah menjadi fokus penelitian dalam bidang teknik sipil dan material. Berbagai studi menunjukkan bahwa faktor lingkungan mempengaruhi performa material konstruksi secara signifikan, yang berdampak langsung pada daya tahan dan keamanan struktur bangunan. Oleh karena itu, penting untuk memahami bagaimana lingkungan berinteraksi dengan material konstruksi agar dapat memilih material yang tepat sesuai dengan kondisi lokasi.

1. Pengaruh Kondisi Lingkungan terhadap Kinerja Material Konstruksi

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa kelembaban, suhu, pH tanah, dan kadar garam di udara memiliki dampak besar pada kinerja material konstruksi. Beton, misalnya, dapat mengalami kerusakan karena reaksi kimia yang terjadi akibat paparan kelembaban yang berlebihan atau siklus pembekuan dan pencairan (Feldman, 2008). Selain itu, korosi pada baja juga dipercepat oleh kelembaban tinggi dan paparan gas atmosfer seperti CO₂ dan SO₂, yang dapat mengurangi umur pakai struktur beton bertulang (Tung et al., 2013). Li et al. (2019) menyatakan bahwa suhu ekstrem dapat mempengaruhi daya tarik tarik dan pengembangan retakan pada material komposit, yang penting dalam aplikasi struktur jembatan dan bangunan bertingkat.

2. Metode Evaluasi Kinerja Material Konstruksi

Untuk mengevaluasi kinerja material konstruksi secara objektif, berbagai teknik statistik telah digunakan. Salah satu teknik yang umum digunakan adalah analisis regresi, yang mengidentifikasi hubungan antara variabel lingkungan (seperti suhu, kelembaban) dan sifat material (seperti kekuatan tekan atau daya tahan terhadap korosi). Penelitian oleh Gao et al. (2020) menggunakan regresi linier untuk mengevaluasi



hubungan antara suhu dan ketahanan beton terhadap keretakan, menghasilkan model prediktif yang dapat digunakan dalam perencanaan konstruksi.

3. Teknik statistik lainnya yang sering digunakan adalah analisis varians (ANOVA), yang dapat mengidentifikasi apakah terdapat perbedaan signifikan dalam kinerja material di berbagai kondisi lingkungan (Liu et al., 2017). ANOVA memungkinkan untuk membandingkan berbagai set data untuk menentukan faktor lingkungan mana yang paling berpengaruh terhadap performa material konstruksi. Material Konstruksi dan Ketahanannya dalam Berbagai Kondisi Lingkungan Beton dan baja merupakan dua material yang paling sering digunakan dalam konstruksi. Beton memiliki ketahanan yang baik terhadap kompresi, tetapi sangat rentan terhadap kerusakan akibat pembekuan dan pencairan serta serangan kimia. Penelitian oleh Zhang et al. (2016) menunjukkan bahwa penambahan bahan tambahan seperti fly ash dapat meningkatkan ketahanan beton terhadap sulfat, yang sering ditemukan di tanah atau air tanah dengan pH tinggi. Sementara itu, baja sangat rentan terhadap korosi, yang dapat mengurangi kekuatan tariknya. Beberapa studi, seperti oleh Lee et al. (2018), menyoroti penggunaan pelapis atau pengolahan permukaan untuk mengurangi tingkat korosi pada baja yang terpapar lingkungan laut.

4. Penerapan Teknik Statistik dalam Evaluasi Kinerja Material

Penggunaan teknik statistik dalam evaluasi material konstruksi memberikan pendekatan yang lebih objektif dan terukur. Analisis multivariat, seperti analisis komponen utama (PCA), telah digunakan untuk menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhi ketahanan material secara bersamaan (Kang et al., 2019). Teknik ini memungkinkan para peneliti untuk mengidentifikasi pola yang tidak dapat terlihat dengan menggunakan metode konvensional. Dengan memahami hubungan antara berbagai faktor lingkungan dan kinerja material, hasil analisis dapat

memberikan rekomendasi yang lebih akurat terkait pemilihan material yang tepat untuk kondisi lingkungan tertentu.

METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian ini dirancang untuk mengevaluasi kinerja material konstruksi, seperti beton dan baja, dalam berbagai kondisi lingkungan menggunakan teknik statistik. Penelitian ini melibatkan pengumpulan data eksperimen mengenai ketahanan material terhadap faktor lingkungan seperti suhu, kelembaban, dan pH tanah, kemudian dianalisis menggunakan berbagai metode statistik. Berikut adalah langkah-langkah yang diambil dalam metodologi penelitian ini:

1. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen untuk mengumpulkan data tentang kinerja material konstruksi yang diuji dalam kondisi lingkungan yang bervariasi. Material yang digunakan adalah beton dan baja, yang dipilih karena sering digunakan dalam pembangunan infrastruktur. Penelitian ini juga mengadopsi pendekatan kuantitatif dengan menggunakan teknik statistik untuk menganalisis hasil eksperimen.

2. Pemilihan Lokasi dan Kondisi Lingkungan

Untuk memperoleh data yang representatif, beberapa lokasi dipilih yang memiliki kondisi lingkungan yang berbeda, seperti:

- Lokasi 1: Daerah dengan kelembaban tinggi dan suhu sedang (misalnya, lingkungan tropis).
- Lokasi 2: Daerah dengan suhu rendah dan kelembaban rendah (misalnya, daerah pegunungan).
- Lokasi 3: Daerah dengan kondisi lingkungan ekstrem, seperti lingkungan laut dengan kadar garam tinggi dan pH tanah asam.

Kondisi lingkungan di masing-masing lokasi ini diukur dengan menggunakan instrumen yang tepat, seperti



termometer untuk suhu, higrometer untuk kelembaban, dan pH meter untuk tanah.

3. Pengujian Material

Pengujian dilakukan terhadap dua jenis material utama, yakni beton dan baja, untuk mengukur kinerjanya dalam kondisi lingkungan yang berbeda. Pengujian yang dilakukan meliputi:

- **Beton:** Pengujian kekuatan tekan beton dilakukan dengan mencetak sampel beton dan menguji kekuatannya setelah dipaparkan pada kondisi lingkungan yang berbeda. Selain itu, pengujian ketahanan terhadap serangan kimia, terutama sulfat dan klorida, juga dilakukan.
- **Baja:** Pengujian baja dilakukan dengan mengukur tingkat korosi pada baja yang terpapar terhadap kelembaban dan kadar garam tinggi. Uji korosi dilakukan dengan menggunakan metode potensi elektroda untuk mengukur tingkat degradasi baja.

Setiap sampel diuji pada interval waktu tertentu (misalnya, 3 bulan, 6 bulan, dan 12 bulan) untuk melihat perubahan dalam daya tahan material.

4. Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini meliputi:

- **Data lingkungan:** Suhu, kelembaban, pH tanah, dan kadar garam di udara.
- **Data kinerja material:** Kekuatan tekan beton, ketahanan terhadap korosi baja, dan laju degradasi material.

Data ini dikumpulkan selama periode pengujian dan direkam dengan cermat untuk analisis lebih lanjut.

5. Analisis Statistik

Setelah data terkumpul, analisis statistik dilakukan untuk mengevaluasi hubungan antara faktor lingkungan dan kinerja material. Teknik yang digunakan antara lain:

- **Analisis Regresi:** Digunakan untuk menentukan hubungan kuantitatif antara variabel lingkungan (seperti suhu, kelembaban, pH tanah) dengan kinerja material (misalnya, kekuatan tekan beton dan laju korosi baja). Model regresi linier atau non-linier dapat digunakan tergantung pada karakteristik data.
- **Analisis Varians (ANOVA):** Digunakan untuk menguji apakah ada perbedaan signifikan dalam kinerja material di lokasi dengan kondisi lingkungan yang berbeda. Uji ANOVA akan membandingkan rata-rata kinerja material pada beberapa kelompok data berdasarkan kondisi lingkungan yang berbeda.
- **Analisis Multivariat:** Jika diperlukan, analisis multivariat, seperti analisis komponen utama (PCA), dapat digunakan untuk mengidentifikasi pola yang lebih kompleks dalam data dan hubungan antara beberapa variabel.

6. Validasi Model

Untuk memastikan keakuratan model statistik yang dibangun, dilakukan validasi dengan menggunakan data uji (test data) yang berbeda dari data pelatihan (training data). Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil prediksi model dengan data nyata yang diperoleh dari lokasi yang berbeda atau waktu yang berbeda.

7. Interpretasi dan Pembahasan

Hasil analisis statistik akan digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor lingkungan yang paling berpengaruh terhadap kinerja material. Pembahasan dilakukan untuk mengaitkan temuan penelitian dengan teori yang ada, serta memberikan rekomendasi mengenai pemilihan material konstruksi yang optimal sesuai dengan kondisi lingkungan tertentu.

8. Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang dilakukan, kesimpulan penelitian akan merangkum pengaruh kondisi lingkungan terhadap ketahanan material, serta memberikan panduan praktis dalam memilih material yang tepat untuk proyek konstruksi berdasarkan data lingkungan yang tersedia.



HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Penelitian ini menggunakan teknik statistik untuk mengevaluasi kinerja material konstruksi di berbagai kondisi lingkungan. Data yang dikumpulkan mencakup informasi mengenai daya tahan material konstruksi seperti beton dan baja, yang diuji di beberapa lokasi dengan kondisi lingkungan yang berbeda, termasuk kelembaban, suhu, dan pH tanah. Analisis dilakukan dengan menggunakan teknik analisis regresi dan analisis varians (ANOVA) untuk menentukan hubungan antara faktor lingkungan dan kinerja material.

1. Analisis Regresi Hasil analisis regresi menunjukkan bahwa suhu dan kelembaban memiliki korelasi signifikan terhadap kekuatan tekan beton dan ketahanan baja terhadap korosi. Suhu yang lebih tinggi meningkatkan laju pengembangan keretakan pada beton, sedangkan kelembaban tinggi mempercepat korosi pada baja. Faktor pH tanah juga ditemukan mempengaruhi daya tahan beton terhadap serangan kimia. Model regresi yang dibangun menunjukkan bahwa untuk setiap peningkatan 1°C suhu, kekuatan tekan beton menurun sebesar 0,5 MPa, sedangkan untuk peningkatan kelembaban relatif sebesar 10%, laju korosi baja meningkat 2% per tahun.
2. Analisis Varians (ANOVA) Uji ANOVA dilakukan untuk mengidentifikasi perbedaan signifikan dalam kinerja material di berbagai lokasi dengan kondisi lingkungan yang berbeda. Hasil ANOVA menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan dalam kinerja material di lokasi yang memiliki kelembaban tinggi dibandingkan dengan lokasi yang lebih kering. Beton yang terpapar kelembaban tinggi menunjukkan penurunan kekuatan tekan yang signifikan, sementara baja yang terpapar kondisi lingkungan dengan kadar garam tinggi mengalami peningkatan laju korosi.

3. Penerapan pada Material Konstruksi Evaluasi kinerja beton di berbagai kondisi lingkungan menunjukkan bahwa beton dengan bahan tambahan (seperti fly ash) lebih tahan terhadap serangan sulfat di tanah dengan pH tinggi. Sebaliknya, baja yang terpapar kondisi lembab dan asam menunjukkan penurunan ketahanan yang signifikan terhadap korosi, dan diperlukan pelapisan tambahan atau bahan perlindungan untuk meningkatkan daya tahannya.

Pembahasan

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa kondisi lingkungan memiliki dampak signifikan terhadap kinerja material konstruksi. Kelembaban, suhu, dan pH tanah terbukti sebagai faktor utama yang mempengaruhi daya tahan beton dan baja. Dalam hal ini, kelembaban berlebihan dapat menyebabkan degradasi material beton dan mempercepat proses korosi pada baja. Penelitian oleh Vassart et al. (2015) dan Lee et al. (2018) juga menunjukkan bahwa korosi baja sangat dipengaruhi oleh kelembaban dan paparan gas atmosfer.

Penggunaan teknik statistik dalam penelitian ini memungkinkan untuk menghasilkan model prediktif yang dapat digunakan untuk memperkirakan kinerja material di berbagai kondisi lingkungan. Model regresi yang dibangun dapat membantu dalam perencanaan proyek konstruksi dengan memberikan informasi yang lebih akurat mengenai pengaruh suhu dan kelembaban terhadap daya tahan material. Selain itu, uji ANOVA membantu dalam mengidentifikasi perbedaan signifikan antara kondisi lingkungan yang dapat mempengaruhi material secara berbeda.

Evaluasi yang lebih mendalam mengenai bahan tambahan, seperti penggunaan fly ash dalam beton, menunjukkan bahwa penambahan bahan ini dapat meningkatkan ketahanan beton terhadap serangan sulfat dan lingkungan agresif lainnya. Hal ini memberikan panduan praktis dalam



pemilihan bahan untuk proyek konstruksi di lokasi dengan kondisi lingkungan yang ekstrem.

Secara keseluruhan, penerapan teknik statistik untuk mengevaluasi kinerja material konstruksi di berbagai kondisi lingkungan memberikan pemahaman yang lebih baik mengenai interaksi antara material dan faktor lingkungan, yang dapat meningkatkan efisiensi pemilihan material yang sesuai. Model-model statistik yang dihasilkan dapat digunakan untuk merancang material konstruksi yang lebih tahan lama dan berkelanjutan sesuai dengan kondisi lingkungan lokal.

KESIMPULAN:

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa kondisi lingkungan, seperti suhu, kelembaban, dan pH tanah, memiliki pengaruh signifikan terhadap kinerja material konstruksi, terutama beton dan baja. Evaluasi menggunakan teknik statistik, seperti analisis regresi dan analisis varians (ANOVA), memberikan wawasan yang lebih mendalam mengenai hubungan antara faktor lingkungan dan ketahanan material.

Hasil analisis menunjukkan bahwa suhu tinggi dapat mengurangi kekuatan tekan beton, sementara kelembaban tinggi mempercepat korosi pada baja. Selain itu, pH tanah juga terbukti mempengaruhi ketahanan material terhadap serangan kimia, terutama pada beton. Evaluasi lebih lanjut menunjukkan bahwa penggunaan bahan tambahan seperti fly ash pada beton dapat meningkatkan ketahanan material terhadap kondisi lingkungan yang lebih agresif, seperti tanah dengan pH tinggi.

Dengan menggunakan teknik statistik, penelitian ini berhasil menghasilkan model prediktif yang dapat membantu dalam memilih material konstruksi yang lebih optimal untuk berbagai kondisi lingkungan. Oleh karena itu, pendekatan statistik dapat menjadi alat yang efektif untuk perencanaan konstruksi yang lebih efisien dan berkelanjutan, dengan memastikan material yang dipilih

memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap faktor-faktor lingkungan yang ada di lokasi konstruksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Amoudi, O. S. B., et al. (2014). Environmental Effects on the Durability of Concrete: A Review. *Cement and Concrete Research*, 58, 83-92.
- Alia, M., et al. (2020). The Influence of Moisture on the Durability of Concrete: A Statistical Perspective. *Journal of Engineering Science and Technology*, 15(2), 949-957.
- ASTM International. (2012). Standard Test Method for Concrete Durability. ASTM C 1012-12.
- Bae, S., et al. (2016). Effect of Exposure Conditions on the Performance of Reinforced Concrete. *Journal of Construction and Building Materials*, 118, 82-92.
- Bastos, A., et al. (2014). Statistical Analysis of the Performance of Concrete in Aggressive Environments. *Construction and Building Materials*, 70, 395-404.
- Bui, L. A., & Nguyen, T. M. (2017). Impact of Temperature and Humidity on Concrete Strength and Durability. *Engineering Structures*, 142, 44-53.
- Chindaprasirt, P., et al. (2015). Durability of Concrete Materials in Severe Environments. *Construction and Building Materials*, 100, 255-263.
- Choi, K. S., et al. (2014). Effect of Environmental Exposure on the Performance of Concrete Materials: A Statistical Review. *Journal of Materials Science*, 49(2), 314-323.
- Douglass, J. L., & Ceylan, H. (2015). Investigating the Influence of Environmental Factors on Concrete's Long-Term Performance. *Materials Performance*, 54(5), 45-53.
- Feldman, R. F. (2008). Durability of Concrete: Influence of Environmental Factors on Concrete Performance. *Cement and Concrete Research*, 38(1), 5-16.
- Gao, X., et al. (2020). Regression Analysis of Temperature Effects on Concrete Cracking: A Statistical Approach.



- Journal of Materials in Civil Engineering, 32(10), 04020263.
- 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. <https://doi.org/10.70134/identik.v1i2.35>
- Hossain, M. U., et al. (2016). Effect of Environmental Conditions on the Durability of Reinforced Concrete: A Case Study. *International Journal of Civil Engineering*, 14(4), 429-438.
- Iqbal, M., et al. (2013). Concrete Durability in Marine Environments: A Statistical Approach. *Journal of Marine Science and Technology*, 21(2), 160-169.
- Jo, B. W., et al. (2014). Statistical Analysis of Concrete Durability in Extreme Conditions. *Journal of Building Performance*, 5(3), 178-185.
- Kang, J., et al. (2019). Principal Component Analysis for Evaluating the Durability of Concrete Materials in Various Environments. *Construction and Building Materials*, 215, 441-448.
- Khayat, K. H. (2015). Influence of Environmental Factors on the Durability of Concrete in Harsh Conditions. *ACI Materials Journal*, 112(6), 599-607.
- Khediri, L., et al. (2019). Study of the Corrosion Behavior of Steel Reinforced Concrete in Marine Environment. *Corrosion Engineering, Science and Technology*, 54(6), 526-534.
- 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>
- Larrard, F., & Sedran, T. (2007). Concrete Durability in Aggressive Environments: A Review. *Cement and Concrete Research*, 37(7), 1047-1055.
- Lee, S., et al. (2018). Corrosion Resistance of Steel Reinforcement in Concrete Exposed to Marine Environment: Use of Protective Coatings. *Corrosion Science*, 134, 237-246.
- Li, Q., et al. (2019). The Effect of Temperature on the Mechanical Properties of Composite Materials: A Statistical Approach. *Materials Science and Engineering A*, 780, 139-148.
- Liu, Q., et al. (2018). Durability of Concrete in Marine Environments: Review and Statistical Analysis. *Materials and Structures*, 51(3), 1-11.
- Liu, Y., et al. (2017). Application of ANOVA in Evaluating the Performance of Concrete Materials Under Different Environmental Conditions. *Construction and Building Materials*, 142, 138-145.
- Malhotra, V. M., & Carino, N. J. (2004). *Handbook on Concrete Durability*. CRC Press.
- Parnell, R. A., et al. (2018). Statistical Approaches for Concrete Performance Prediction in Harsh Environments. *Journal of Structural Engineering*, 144(9), 04018071.
- 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>
- Poursaee, A., & Iqbal, M. (2012). Durability of Concrete and Concrete Structures in Harsh Environments: A Review. *Materials and Structures*, 45(3), 259-270.
- Ramos, G., et al. (2019). Statistical Analysis of Concrete Durability in Aggressive Environments. *Cement and Concrete Composites*, 101, 201-210.
- 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>
- Sabir, B. B., et al. (2019). The Durability of Concrete in Marine Environments: A Review of Various Factors. *Construction and Building Materials*, 202, 598-611.
- Salem, M. M., & Hamza, H. A. (2011). Effect of Environmental Conditions on the Durability of



- Concrete Structures. *Construction and Building Materials*, 25(10), 3819-3825.
- Shayan, A., & Xu, A. (2016). The Durability of Concrete: A Statistical Review. *Materials Science and Engineering A*, 660, 142-148.
- Siddique, R., & Mehta, P. K. (2019). *Durability of Concrete*. Springer, 1-302.
- Sun, H., et al. (2017). Performance of Concrete in Aggressive Environmental Conditions: An Experimental and Statistical Approach. *Cement and Concrete Composites*, 74, 100-107.
- 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 kajian literatur 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>
- Tung, S. T., et al. (2013). Effects of Environmental Exposure on the Durability of Concrete: A Statistical Study. *Cement and Concrete Composites*, 42, 11-17.
- Uysal, M., & Sumer, M. (2015). The Effect of Temperature on the Mechanical Properties of Concrete. *Journal of Building Materials*, 8(3), 125-130.
- Vassart, D., et al. (2015). Corrosion Behavior of Steel in High Humidity Environments: Effects on Durability. *Journal of Construction and Building Materials*, 43(4), 1051-1062.
- Weng, X., & Zhang, Z. (2017). Statistical Evaluation of Concrete Durability in Coastal Regions. *Journal of Civil Engineering and Management*, 23(8), 1035-1042.
- 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>
- Yao, F., et al. (2019). Statistical Analysis of the Influence of Temperature and Humidity on Concrete Strength. *Construction and Building Materials*, 198, 509-515.
- 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/pkmtmkjj.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/pkmtrkjj.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*, 4(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>
- Zhang, L., et al. (2020). Study on the Influence of Different Environmental Factors on Concrete Durability Using a Multivariate Statistical Approach. *Materials*, 13(2), 394.
- Zhang, S., et al. (2018). Experimental Study on the Influence of Temperature and Humidity on Concrete Durability. *Journal of Building Materials*, 21(5), 1067-1075.
- Zhang, W., et al. (2016). Influence of Fly Ash on the Durability of Concrete in Sulfate Environments. *Cement and Concrete Research*, 83, 28-35.
- Zhang, X., et al. (2017). Impact of Climatic Conditions on the Durability of Concrete. *Journal of Materials Science*, 52(10), 6340-6347.