
Analisis Kinerja Struktural pada Jembatan Gantung Menggunakan Metode Elemen Hingga Dinamik

Febrita Rahayu

Fakultas Teknik Sipil, Universitas Medan Area, Indonesia

Abstrak

Dalam industri konstruksi, pencarian bahan bangunan yang memiliki kekuatan dan ketahanan yang optimal menjadi perhatian utama. Salah satu inovasi terbaru adalah penggunaan beton serat, yang telah terbukti meningkatkan kualitas dan performa struktural bangunan. Dalam konteks ini, studi tentang penggunaan beton serat menjadi penting untuk memahami manfaatnya dalam meningkatkan keamanan dan ketahanan bangunan terhadap berbagai tekanan dan beban.

Seiring dengan perkembangan teknologi konstruksi, kebutuhan akan material bangunan yang lebih kuat dan tahan lama semakin meningkat. Beton serat, sebuah inovasi dalam pembuatan beton, menawarkan solusi yang menarik dalam memenuhi tuntutan ini. Dengan menambahkan serat-serat ke dalam campuran beton, struktur tersebut menjadi lebih tahan terhadap retakan, perubahan

Dalam industri konstruksi, kebutuhan akan bahan bangunan yang memiliki kekuatan, ketahanan, dan daya tahan yang optimal semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan permintaan akan infrastruktur yang lebih kuat dan tahan lama. Beton merupakan salah satu material konstruksi utama yang digunakan secara luas di berbagai proyek pembangunan, mulai dari gedung pencakar langit hingga jalan raya.

Kata Kunci: Sipil, Struktural, Kekuatan



PENDAHULUAN

Latar Belakang

Jembatan gantung telah menjadi elemen vital dalam infrastruktur transportasi modern, memberikan jalur yang penting bagi mobilitas manusia dan barang. Keamanan dan kinerja struktural jembatan gantung menjadi fokus utama dalam perancangan dan pemeliharannya. Dalam rangka meningkatkan pemahaman terhadap kinerja struktural jembatan gantung, penggunaan metode elemen hingga dinamik telah menjadi alat analisis yang efektif. Penelitian ini bertujuan untuk mendalami analisis kinerja struktural jembatan gantung menggunakan pendekatan metode elemen hingga dinamik, dengan fokus pada respons dinamik terhadap beban statis dan dinamis.

Jembatan gantung, dengan karakteristik strukturalnya yang unik, menghadapi berbagai tantangan dalam menjaga kinerja dan keamanannya. Beban lalu lintas yang berubah-ubah, dinamika angin, gempa bumi, dan faktor lingkungan lainnya dapat mempengaruhi respons struktural jembatan gantung. Oleh karena itu, analisis yang cermat terhadap kinerja struktural menjadi penting dalam mengidentifikasi potensi risiko dan merancang strategi mitigasi yang tepat.

Metode elemen hingga dinamik telah menjadi alat yang populer dalam analisis struktural kompleks seperti jembatan gantung. Dengan memodelkan struktur secara terperinci dan memperhitungkan faktor dinamis yang beragam, metode ini memungkinkan insinyur untuk memperoleh pemahaman yang lebih dalam tentang respons struktural terhadap berbagai kondisi beban. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menggali lebih lanjut potensi metode elemen hingga dinamik dalam analisis kinerja struktural pada jembatan gantung.

Dengan memahami secara lebih baik respons dinamik jembatan gantung terhadap beban statis dan dinamis, diharapkan dapat dikembangkan strategi perancangan yang lebih efektif untuk meningkatkan kinerja dan keamanan infrastruktur jembatan gantung di masa depan.

Jembatan gantung merupakan salah satu bentuk infrastruktur yang penting dalam mendukung konektivitas dan mobilitas di berbagai wilayah. Keunggulan utama jembatan gantung terletak pada kemampuannya untuk melintasi rongga air yang lebar, seperti sungai atau lembah, dengan memanfaatkan tali penggantung yang menjembatani antara dua poin pilar pendukung. Namun, struktur jembatan gantung juga memiliki tantangan tersendiri dalam menjaga kinerja strukturalnya.

Beberapa faktor dapat menyebabkan kerusakan atau kegagalan pada jembatan gantung. Beban lalu lintas yang terus-menerus, gaya angin yang bervariasi, dan potensi gempa bumi merupakan beberapa contoh beban dinamis yang harus diatasi oleh struktur tersebut. Selain itu, faktor-faktor lingkungan seperti korosi dan erosi juga dapat mempengaruhi integritas struktural jembatan gantung.

Untuk mengatasi tantangan ini, analisis kinerja struktural menjadi sangat penting. Analisis ini bertujuan untuk mengevaluasi respons struktural jembatan gantung terhadap berbagai kondisi beban dan lingkungan. Dengan memahami perilaku strukturalnya, insinyur dapat mengidentifikasi potensi risiko kerusakan atau kegagalan dan merancang solusi mitigasi yang tepat.

Salah satu pendekatan yang digunakan dalam analisis kinerja struktural adalah metode elemen hingga dinamik. Metode ini memungkinkan insinyur untuk memodelkan struktur secara terperinci dan memperhitungkan faktor dinamis seperti getaran dan respons dinamik terhadap beban. Dengan demikian, metode ini memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang kinerja struktural jembatan gantung dalam kondisi yang beragam.

Penelitian ini bertujuan untuk mendalami penggunaan metode elemen hingga dinamik dalam analisis kinerja struktural pada jembatan gantung. Dengan memperhatikan faktor-faktor

beban dan lingkungan yang beragam, penelitian ini akan mengidentifikasi pola respons struktural yang mungkin terjadi dan merancang strategi mitigasi yang efektif. Diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi yang berharga dalam upaya meningkatkan kinerja dan keamanan jembatan gantung di masa depan.

Metode Penelitian

Adapun rumusan masalah yang didapat berdasarkan latar belakang diatas sebagai berikut :

Bagaimana cara mengatasi Analisis Kinerja Struktural pada Jembatan Gantung Menggunakan Metode Elemen Hingga Dinamik

Bagaimana membuat perancangan Analisis Kinerja Struktural pada Jembatan Gantung Menggunakan Metode Elemen Hingga Dinamik

PEMBAHASAN

Analisis kinerja struktural pada jembatan gantung adalah proses evaluasi yang bertujuan untuk memahami respons struktural jembatan tersebut terhadap berbagai beban dan kondisi lingkungan. Metode yang digunakan dalam analisis ini adalah metode elemen hingga dinamik, sebuah pendekatan matematis dan komputasional yang memungkinkan simulasi perilaku dinamik struktur dengan tingkat keakuratan yang tinggi.

Konsep Dasar Metode Elemen Hingga Dinamik

Metode elemen hingga dinamik membagi struktur menjadi sejumlah elemen kecil yang terhubung satu sama lain dengan menggunakan hubungan matematis yang tepat. Setiap elemen mewakili bagian kecil dari struktur dan memiliki karakteristik tertentu seperti massa, kekakuan, dan redaman. Dengan memodelkan hubungan antara elemen-elemen ini, metode ini dapat memberikan gambaran yang akurat tentang respons dinamik struktur terhadap berbagai beban.

Langkah-Langkah Analisis

Proses analisis kinerja struktural dengan metode elemen hingga dinamik melibatkan beberapa langkah utama:

Pemodelan Geometri: Struktur jembatan gantung dimodelkan secara geometris dalam perangkat lunak pemodelan komputer. Setiap komponen struktur, termasuk kabel penggantung, jembatan, dan tiang penyangga, direpresentasikan sebagai elemen-elemen terpisah.

Alokasi Sifat Material: Sifat-sifat material yang relevan, seperti kekuatan, kekakuan, dan redaman, dialokasikan ke setiap elemen berdasarkan karakteristik material yang digunakan dalam konstruksi jembatan.

Pemberian Beban: Berbagai jenis beban yang mungkin memengaruhi jembatan gantung, seperti beban kendaraan, beban angin, atau beban gempa, diterapkan pada model. Beban ini dapat bersifat statis maupun dinamis.

Simulasi Dinamik: Dengan menggunakan prinsip-prinsip fisika dan matematika, simulasi dinamik dilakukan untuk menentukan respons struktural jembatan terhadap beban-beban yang diterapkan. Simulasi ini memperhitungkan efek-efek dinamik seperti getaran, deformasi, dan tegangan yang terjadi selama periode waktu tertentu.

Analisis Hasil: Hasil simulasi dianalisis untuk mengevaluasi kinerja struktural jembatan gantung. Faktor-faktor seperti tegangan maksimum, defleksi, dan frekuensi getaran dievaluasi untuk memahami tingkat keamanan dan kenyamanan jembatan.

Perancangan Solusi Mitigasi: Berdasarkan hasil analisis, solusi mitigasi mungkin diperlukan untuk mengatasi potensi risiko kerusakan atau kegagalan. Perancangan solusi ini mencakup penyesuaian desain struktur, penguatan material, atau peningkatan sistem pemeliharaan.

Manfaat dan Implikasi

Penerapan analisis kinerja struktural pada jembatan gantung menggunakan metode elemen hingga dinamik memiliki beberapa manfaat, antara lain:

Prediksi Respons Struktural: Metode ini memungkinkan untuk melakukan prediksi yang akurat terhadap respons struktural jembatan gantung dalam berbagai kondisi beban dan lingkungan.

Identifikasi Potensi Risiko: Dengan memahami kinerja struktural, potensi risiko kerusakan atau kegagalan dapat diidentifikasi lebih awal, sehingga langkah-langkah mitigasi dapat diambil sebelum terjadinya kejadian yang tidak diinginkan.

Peningkatan Keamanan dan Ketahanan: Analisis kinerja struktural ini memungkinkan untuk merancang solusi mitigasi yang tepat guna meningkatkan keamanan dan ketahanan jembatan gantung terhadap berbagai beban dan kondisi lingkungan.

Dengan demikian, penggunaan metode elemen hingga dinamik dalam analisis kinerja struktural pada jembatan gantung merupakan langkah yang penting dalam upaya memastikan keberhasilan konstruksi dan keamanan infrastruktur ini.

Untuk mengatasi analisis kinerja struktural pada jembatan gantung menggunakan metode elemen hingga dinamik, beberapa langkah yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

1. Pemilihan Software dan Perangkat Lunak

Pertama-tama, pilihlah perangkat lunak atau software yang khusus dirancang untuk melakukan analisis struktural menggunakan metode elemen hingga dinamik. Beberapa software yang populer dan sering digunakan di industri termasuk ANSYS, Abaqus, SAP2000, dan LS-DYNA. Pastikan untuk memilih perangkat lunak yang sesuai dengan kebutuhan analisis jembatan gantung.

2. Pemodelan Struktur Jembatan

Langkah selanjutnya adalah memodelkan struktur jembatan gantung secara akurat dalam perangkat lunak yang telah dipilih. Ini melibatkan pembuatan geometri yang tepat dari jembatan, termasuk semua komponen seperti tiang penyangga, kabel penggantung, dan dek jembatan. Pastikan bahwa model tersebut mencerminkan kondisi fisik yang sesungguhnya dari struktur yang akan dianalisis.

3. Penentuan Sifat Material

Setelah pemodelan geometri selesai, tentukan sifat-sifat material dari semua komponen struktur. Ini termasuk parameter seperti kekakuan, kekuatan, modulus elastisitas, dan redaman untuk masing-masing material yang digunakan dalam konstruksi jembatan. Informasi ini diperlukan untuk memberikan karakteristik yang akurat pada elemen-elemen struktur dalam analisis.

4. Pemberian Beban

Berikan berbagai jenis beban yang relevan pada model jembatan. Ini termasuk beban permanen seperti berat sendiri struktur, beban hidup seperti lalu lintas kendaraan, beban angin, dan beban gempa jika relevan. Pastikan untuk memperhitungkan semua kondisi beban yang mungkin memengaruhi kinerja struktural jembatan gantung.

5. Konfigurasi Analisis

Setelah model dan beban ditetapkan, konfigurasi analisis menggunakan metode elemen hingga dinamik. Tentukan parameter-parameter analisis seperti waktu simulasi, langkah waktu, dan kriteria konvergensi. Pastikan untuk memilih jenis analisis yang sesuai dengan skenario yang akan dievaluasi, apakah itu analisis statis, dinamik, atau analisis nonlinear.

6. Simulasi dan Evaluasi

Jalankan simulasi analisis dan periksa hasilnya. Evaluasi respons struktural jembatan terhadap berbagai beban yang diberikan. Perhatikan faktor-faktor seperti tegangan maksimum, deformasi, defleksi, frekuensi getaran, dan faktor-faktor lain yang relevan dengan kinerja struktural jembatan.

7. Interpretasi Hasil dan Penyesuaian Desain

Interpretasikan hasil analisis dan identifikasi area-area yang mungkin memerlukan penyesuaian desain atau tindakan mitigasi. Ini mungkin melibatkan modifikasi geometri, penambahan penguatan struktural, atau perubahan pada konfigurasi beban. Pastikan bahwa tindakan yang diambil bertujuan untuk meningkatkan keamanan, kekuatan, dan ketahanan jembatan gantung.

8. Verifikasi dan Validasi

Terakhir, verifikasi dan validasi hasil analisis dengan menggunakan data lapangan dan informasi rekayasa lainnya jika memungkinkan. Pastikan bahwa hasil analisis konsisten dengan perilaku sebenarnya dari jembatan gantung yang bersangkutan.

Dengan mengikuti langkah-langkah ini, Anda dapat mengatasi analisis kinerja struktural pada jembatan gantung menggunakan metode elemen hingga dinamik secara efektif dan memastikan keberhasilan dan keamanan konstruksi infrastruktur tersebut.

Untuk membuat perancangan analisis kinerja struktural pada jembatan gantung menggunakan metode elemen hingga dinamik, berikut adalah langkah-langkah yang dapat Anda ikuti:

1. Pemilihan Software

Pilih perangkat lunak yang tepat untuk melakukan analisis kinerja struktural dengan metode elemen hingga dinamik. Beberapa perangkat lunak yang umum digunakan termasuk ANSYS, Abaqus, SAP2000, dan LS-DYNA. Pastikan perangkat lunak yang Anda pilih mendukung analisis dinamik dan memiliki kemampuan untuk memodelkan struktur jembatan gantung secara akurat.

2. Pemodelan Geometri Jembatan

Mulailah dengan membuat model geometri jembatan gantung di dalam perangkat lunak yang Anda pilih. Pastikan untuk memperhatikan semua detail geometris dari jembatan, termasuk tiang penyangga, kabel penggantung, dek jembatan, dan komponen lainnya. Gunakan alat yang disediakan oleh perangkat lunak untuk membuat model yang akurat dan representatif dari struktur fisik.

3. Penentuan Material dan Sifat Mekanik

Selanjutnya, tentukan material yang akan digunakan untuk membangun jembatan gantung dan masukkan sifat mekaniknya ke dalam perangkat lunak. Ini termasuk parameter seperti kekakuan, kekuatan, modulus elastisitas, dan redaman untuk semua material yang terlibat dalam konstruksi jembatan. Pastikan untuk memilih material yang sesuai dengan kondisi lingkungan dan persyaratan desain.

4. Pemberian Beban

Berikan berbagai jenis beban yang relevan pada model jembatan gantung. Ini termasuk beban permanen seperti berat sendiri struktur, beban hidup seperti lalu lintas kendaraan, beban angin, dan beban gempa jika relevan. Pastikan untuk memperhitungkan semua kondisi beban yang mungkin memengaruhi kinerja struktural jembatan gantung.

5. Konfigurasi Analisis

Konfigurasi analisis dinamik pada perangkat lunak Anda. Tentukan parameter-parameter analisis seperti waktu simulasi, langkah waktu, dan kriteria konvergensi. Pastikan untuk memilih jenis analisis yang sesuai dengan skenario yang akan dievaluasi, apakah itu analisis statis, dinamik, atau analisis nonlinear.

6. Simulasi Analisis

Jalankan simulasi analisis menggunakan perangkat lunak yang dipilih. Amati respons struktural jembatan terhadap berbagai beban yang diberikan selama simulasi. Ini termasuk tegangan maksimum, deformasi, defleksi, dan respons dinamik lainnya yang relevan dengan kinerja struktural jembatan gantung.

7. Evaluasi Hasil

Evaluasi hasil analisis untuk mengidentifikasi area-area yang mungkin memerlukan perbaikan atau penyesuaian desain. Perhatikan faktor-faktor seperti tegangan yang berlebihan, deformasi yang tidak diinginkan, atau frekuensi getaran yang tinggi yang dapat memengaruhi kinerja jembatan gantung.

8. Optimasi Desain

Berdasarkan hasil analisis, lakukan optimasi pada desain jembatan gantung jika diperlukan. Ini mungkin melibatkan perubahan pada geometri, peningkatan kekuatan material, atau penyesuaian pada konfigurasi beban. Tujuannya adalah untuk memastikan bahwa desain jembatan gantung dapat memenuhi persyaratan keamanan dan kinerja yang ditetapkan.

9. Verifikasi dan Validasi

Terakhir, verifikasi dan validasi hasil analisis dengan menggunakan data lapangan dan informasi rekayasa lainnya jika memungkinkan. Pastikan bahwa hasil analisis konsisten dengan perilaku sebenarnya dari jembatan gantung yang bersangkutan.

Dengan mengikuti langkah-langkah di atas, Anda dapat membuat perancangan analisis kinerja struktural pada jembatan gantung menggunakan metode elemen hingga dinamik dengan efektif dan memastikan keberhasilan konstruksi infrastruktur tersebut.

Manfaat dari penulisan tentang cara membuat perancangan analisis kinerja struktural pada jembatan gantung menggunakan metode elemen hingga dinamik mencakup beberapa aspek penting yang dapat memengaruhi praktisi, peneliti, dan masyarakat umum. Berikut adalah beberapa manfaat yang mungkin terkait dengan topik tersebut:

1. Peningkatan Kualitas Desain

Dengan memahami bagaimana melakukan analisis kinerja struktural pada jembatan gantung menggunakan metode elemen hingga dinamik, para insinyur dan perancang dapat menghasilkan desain yang lebih optimal dan efisien. Ini dapat membantu meningkatkan kualitas infrastruktur yang dibangun, mengurangi kemungkinan kegagalan struktural, dan memastikan keamanan pengguna jembatan.

2. Pemahaman yang Lebih Baik tentang Dinamika Struktur

Penulisan ini dapat memberikan pemahaman yang lebih baik tentang perilaku dinamik jembatan gantung, termasuk bagaimana struktur merespons beban eksternal seperti angin, getaran lalu lintas, dan gempa bumi. Dengan memahami dinamika struktur ini, para insinyur dapat

mengidentifikasi potensi masalah atau titik lemah dalam desain dan mengambil langkah-langkah pencegahan yang sesuai.

3. Peningkatan Keamanan dan Ketahanan

Dengan menerapkan metode analisis yang canggih, seperti metode elemen hingga dinamik, para profesional dapat meningkatkan keamanan dan ketahanan jembatan gantung terhadap berbagai beban dan kondisi lingkungan. Hal ini dapat membantu mengurangi risiko kecelakaan atau kerusakan struktural yang dapat membahayakan pengguna jembatan dan mengganggu arus lalu lintas.

4. Efisiensi Konstruksi

Dengan memahami bagaimana melakukan analisis kinerja struktural dengan metode yang tepat, para kontraktor dan pengembang proyek dapat mengoptimalkan proses konstruksi jembatan gantung. Mereka dapat merencanakan penggunaan sumber daya secara lebih efisien, mengurangi biaya dan waktu konstruksi, dan meminimalkan gangguan terhadap lingkungan sekitar.

5. Inovasi dan Pengembangan Teknologi

Penulisan ini dapat merangsang inovasi dan pengembangan teknologi baru dalam analisis struktural dan desain jembatan gantung. Dengan membagikan pengetahuan dan pengalaman tentang metode yang efektif, peneliti dan praktisi dapat memacu perkembangan lebih lanjut dalam bidang ini, menghasilkan solusi yang lebih canggih dan berkelanjutan untuk infrastruktur transportasi.

6. Peningkatan Kesadaran Publik

Melalui penulisan ini, kesadaran publik tentang pentingnya analisis struktural dalam desain infrastruktur dapat ditingkatkan. Masyarakat dapat lebih memahami kompleksitas dan tantangan yang terlibat dalam membangun jembatan gantung yang aman dan andal, serta pentingnya melibatkan para ahli dalam proses perencanaan dan konstruksi.

7. Pengurangan Dampak Lingkungan

Dengan menggunakan metode analisis yang canggih, para insinyur dapat mengurangi dampak lingkungan dari proyek konstruksi jembatan gantung. Mereka dapat mengidentifikasi dan mengurangi pemborosan sumber daya alam, meminimalkan limbah konstruksi, dan merancang struktur yang lebih ramah lingkungan secara keseluruhan.

8. Kesempatan Penelitian dan Kolaborasi

Penulisan ini dapat membuka peluang untuk penelitian lebih lanjut dan kolaborasi antara institusi akademis, industri, dan pemerintah dalam mengembangkan metode analisis dan desain yang lebih maju untuk jembatan gantung. Ini dapat menghasilkan penemuan baru dan solusi yang inovatif untuk tantangan yang dihadapi dalam pembangunan infrastruktur transportasi.

9. Peningkatan Keterampilan Profesional

Dengan mempelajari cara melakukan analisis kinerja struktural dengan metode elemen hingga dinamik, para profesional dapat meningkatkan keterampilan dan pengetahuan mereka dalam bidang teknik sipil. Ini dapat membuka peluang karir baru dan memperluas jangkauan profesional mereka di industri konstruksi dan teknik.

10. Meningkatkan Daya Saing Global

Dengan mengadopsi praktik terbaik dalam analisis kinerja struktural, para praktisi dan perusahaan konstruksi dapat meningkatkan daya saing mereka di pasar global. Mereka dapat menawarkan layanan yang lebih canggih dan inovatif kepada klien mereka, memperluas jangkauan bisnis mereka, dan membangun reputasi yang kuat dalam industri.

Secara keseluruhan, penulisan ini dapat memberikan manfaat yang signifikan bagi berbagai pemangku kepentingan dalam industri konstruksi dan teknik sipil, serta masyarakat umum yang

menggunakan infrastruktur transportasi. Dengan pemahaman yang lebih baik tentang analisis kinerja struktural pada jembatan gantung, kita dapat membangun infrastruktur yang lebih aman, efisien, dan berkelanjutan untuk masa depan.

Kesimpulan

Dalam kesimpulan, penulisan tentang bagaimana membuat perancangan analisis kinerja struktural pada jembatan gantung menggunakan metode elemen hingga dinamik memberikan wawasan yang penting bagi para insinyur, perancang, dan pemangku kepentingan lainnya dalam industri konstruksi. Berikut adalah beberapa poin penting yang dapat disimpulkan dari penulisan tersebut:

Pentingnya Metode Analisis yang Tepat: *Penulisan ini menyoroti pentingnya menggunakan metode analisis yang tepat untuk memahami perilaku dinamik jembatan gantung. Metode elemen hingga dinamik terbukti efektif dalam menganalisis respons struktural terhadap beban eksternal seperti angin, getaran lalu lintas, dan gempa bumi.*

Optimalisasi Desain dan Kinerja: *Dengan memahami prinsip-prinsip analisis kinerja struktural, para profesional dapat mengoptimalkan desain jembatan gantung untuk meningkatkan kinerja dan keamanan. Ini melibatkan identifikasi potensi masalah atau titik lemah dalam desain dan mengambil langkah-langkah pencegahan yang sesuai.*

Peningkatan Kesadaran Risiko dan Keselamatan: *Melalui penulisan ini, kesadaran tentang risiko dan tantangan yang terlibat dalam membangun jembatan gantung yang aman dapat ditingkatkan. Ini dapat membantu para praktisi mengidentifikasi dan mengatasi potensi masalah struktural yang dapat membahayakan pengguna jembatan dan masyarakat umum.*

Inovasi dan Pengembangan Teknologi: *Penulisan ini merangsang inovasi dan pengembangan teknologi baru dalam analisis struktural. Dengan membagikan pengetahuan tentang metode yang efektif, peneliti dan praktisi dapat memacu perkembangan lebih lanjut dalam bidang ini, menghasilkan solusi yang lebih canggih dan berkelanjutan untuk infrastruktur transportasi.*

Kolaborasi dan Penelitian Lanjutan: *Penulisan ini juga membuka peluang untuk kolaborasi dan penelitian lanjutan antara institusi akademis, industri, dan pemerintah. Melalui kerja sama ini, kita dapat mengembangkan metode analisis yang lebih maju dan solusi yang inovatif untuk tantangan dalam pembangunan jembatan gantung.*

Dengan memahami dan menerapkan prinsip-prinsip analisis kinerja struktural dengan metode elemen hingga dinamik, kita dapat membangun jembatan gantung yang lebih aman, efisien, dan tahan lama untuk mendukung kebutuhan transportasi masyarakat secara global.

DAFTAR PUSTAKA

- Ramdan, D., & Mungkin, M. (2018). Modul Praktikum Dasar Teknik Pengaturan.
- Nurmaidah, N. (2022). PENAMBAHAN KAPUR PADA TANAH LEMPUNG UNTUK PERKERASAN JALAN RAYA. *JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING BUILDING AND TRANSPORTATION*, 6(2), 148-158.
- Muflih, A. (2015). Stadion Sepak Bola di Medan Tema Arsitektur High Tech.
- Maulana, S. (2016). Peningkatan Kenyamanan Termal Ruang Melalui Perbaikan Kinerja Ventilasi Satu Sisi pada Rumah Deret Tipe 45 di Medan.
- Delvika, Y. (2018). Analisa Pengendalian Kualitas Refined Bleached Deodorized Palm Oil Dengan Menggunakan Metode Taguchi Pada PT. XYZ. *Jurnal Sistem Teknik Industri*, 20(1), 48-53.
- Hasudungan, H. I. (2020). Evaluasi Perhitungan Bangunan Atas Jembatan Komposit (Doctoral dissertation, Universitas Medan Area).
- Eky Ermal, M. (2019). PROFIL KINERJA RETURN DAN RESIKO PADA SAHAM TIDAK BERETIKA: STUDI KASUS PERUSAHAAN ROKOK DI INDONESIA.
- LUMBANRAJA, W., & Harahap, G. Y. (2022). PROYEK PEMBANGUNAN IRIAN SUPERMARKET TEMBUNG-PERCUT SEI TUAN SUMATERA UTARA. *Laporan Kerja Praktek Mahasiswa Teknik*, 1(3).
- Harahap, G. Y. (2013). *Community Enhancement Through Participatory Planning: A Case of Tsunami-disaster Recovery of Banda Aceh City, Indonesia* (Doctoral dissertation, Universiti Sains Malaysia).
- Idris, M., Nasution, F. K., Harahap, U. N., Simanjuntak, R. K., & Pranoto, S. (2018, March). Manufacture of mold of polymeric composite water pipe reinforced charcoal. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 126, No. 1, p. 012052). IOP Publishing.
- Akbar, A. (2021). Collaborative spatial learning for improving public participation practice in Indonesia.
- Tarigan, S. O. P. (2017). Pengaruh Kesadaran Wajib Pajak, Pelayanan Fiskus, dan Sanksi Pajak Terhadap Kepatuhan Wajib Pajak Orang Pribadi yang Melakukan Kegiatan Usaha dan Pekerjaan Bebas pada KPP Pratama Medan Kota (Doctoral dissertation, Universitas Medan Area).
- Hidayat, A. (2023). ANALISIS EKONOMI PERTANIAN DALAM MENGUKUR KEBERLANJUTAN DAN PROFITABILITAS USAHA TANI.
- Ramdan, D., Umroh, B., Elapri, B. Y., & Munthe, I. S. (2022). Optimalisasi Perancangan Paket Plastic Ball Grid Array (PBGGA) Melalui Pengamatan Perilaku Fluid Structure Interaction (FSI) pada Proses Injections Molding. Universitas Medan Area.
- Harahap, U., & Syarif, Y. (2009). Sistem Kontrol Mesin Es Tube PT Central Windu Sejati.
- Larasati, D. A. (2020). Laporan Kerja Praktek Sistem Informasi Administrasi Pembayaran SPP Berbasis Web pada SMA Swasta Persatuan Amal Bakti (PAB) 8 Saentis.
- Munthe, S. (1997). Penempatan Pegawai Melalui Analisa Jabatan dengan Menggunakan The Point Rating Method pada PDAM Tirtanadi Medan.
- Larasati, D. A. (2022). Penerapan Metode KNN dan Ekstraksi Ciri GLCM Dalam Klasifikasi Citra Ikan Berformalin.
- Maulana, S. (2011). Penerapan Regionalisme Kritis pada Bangunan Fasilitas Wisata untuk Meningkatkan Nilai dan Image Kawasan Studi Kasus: Hotel Resort di Tongging, Sumatera Utara (Doctoral dissertation, Universitas Sumatera Utara).
- Mahadi, B., & Umroh, B. (2018). Perancangan Cetakan Sepatu Tiang Pancang dengan Sistem Pencabutan Pin pada PT. Wika Beton, Tbk. Universitas Medan Area.
- Maulana, S. (2011). Penerapan Regionalisme Kritis pada Bangunan Fasilitas Wisata untuk Meningkatkan Nilai dan Image Kawasan Studi Kasus: Hotel Resort di Tongging, Sumatera Utara (Doctoral dissertation, Universitas Sumatera Utara).
- Hidayat, A. (2023). DAMPAK PERUBAHAN IKLIM TERHADAP PERTANIAN DAN STRATEGI ADAPTASI YANG DITERAPKAN OLEH PETANI.
- Siregar, M. A. R. (2023). Peningkatan Produktivitas Tanaman Padi Melalui Penerapan Teknologi Pertanian Terkini.
- Siregar, F. A. (2023). PENGEMBANGAN USAHA AGROTURISME UNTUK DIVERSIFIKASI PENDAPATAN PETANI DI DAERAH PEDESAAN.
- Swandana, M., & Syarif, Y. (2003). Studi Perbandingan Rugi-Rugi Pada Motor Induksi Yang Di Catu Dengan Inverter Sumber Arus (Doctoral dissertation, Universitas Medan Area).
- Siregar, A. (2008). Perencanaan Bucket Conveyor Untuk Pabrik Pengolahan Kelapa Sawit Kapasitas 45 Ton TBS/Jam.
- Siregar, M. F. (2014). Simulasi Filter Pasif Single Tuned untuk Mereduksi Harmonisa pada Personal Computer (PC) (Doctoral dissertation, Universitas Sumatera Utara).

- Girsang, N. D. (2021). *Laporan Kerja Praktek Perancangan Sistem Informasi Absensi Karyawan dengan QR Code Berbasis Web pada PT Salim Ivomas Pratama Tbk*.
- Tarigan, R. S. (2016). *Manual Procedure Petunjuk Penggunaan Elearning*. uma. ac. id.
- Zalukhu, R. (2021). *Perancangan Hotel Resort di Kabupaten Nias Utara dengan Tema Arsitektur Kontekstual (Doctoral dissertation, Universitas Medan Area)*.
- Siregar, A. (2013). *Aplikasi Multi Komponen Material Sebagai Penyimpanan Panas Pada Sistem Pendingin Udara (AC) Ramah Lingkungan*.
- LAOLI, D. B. A. S., CANIAGO, E. K., & WIBOWO, H. T. (2016). *APLIKASI MARKETPLACE PENDAMPING WISATA DENGAN API MAPS BERBASIS MOBILE DAN WEB (Doctoral dissertation, Universitas Mikroskil)*.
- Delvika, Y., & Mustafa, K. (2019, May). *Evaluate the Implementation of Occupational Health and Safety (OHS) Management System Performance Measurement at PT. XYZ Medan to minimize Extreme Risks*. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 505, No. 1, p. 012028)*. IOP Publishing.
- Maizana, D., & Anisa, Y. (2021). *Ayo!! Biasakan Cuci Tangan Pakai Sabun (Doctoral dissertation, Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia)*.
- Pratama, R. (2021). *LKP Proyek Pembangunan Living Plaza Medan*. Universitas Medan Area.
- Siregar, M. A. (2020). *Laporan Kerja Praktek Perancangan Aplikasi Sarana dan Prasarana (Sarpras) Pada SMK Negeri 3 Medan*.
- Riana, P., Muhammad, F., Hadi, I. K., Mahyuzar, M., & Walid, H. *Planning of Brick Raw Material Supply Based on Available Land Volume in Brick Business*.
- Harahap, G. Y. (2004). *Decentralization and its Implications on the development of Housing in Medan*.
- GIRSANG, N. D. (2023). *PERANCANGAN SISTEM INFORMASI ABSENSI KARYAWAN DENGAN QR CODE BERBASIS WEB PADA PT. SALIM IVOMAS PRATAMA Tbk*. Circle Archive, 1(1).
- Satria, H. (2022). *Perancangan Graphical User Interface Menggunakan Software Visual Studio untuk Memonitoring PLTS On Grid Kapasitas 2.08 KWh*.
- Umroh, B. (2011). *Kinerja Pahat CBN pada Pemesinan Laju Tinggi, Keras dan Kering Bahan Aisi 4140 (Doctoral dissertation, Universitas Sumatera Utara)*.
- Nurmaidah, N. (2017). *Studi Analisis Perilaku Daya Dukung Pondasi Tiang Bor Dengan Menggunakan Uji Beban Statik Dan Model Tanah Mohr Coulomb Pada Proyek Paragon Square Tangerang, Banten*. *Educational Building: Jurnal Pendidikan Teknik Bangunan dan Sipil*, 3(1), 33-39.
- Tarigan, R. S., Azhar, S., & Wibowo, H. T. (2021). *Manual Procedure Petunjuk Penggunaan Aplikasi Registrasi Asrama Kampus*.
- Wibowo, H. T., Tarigan, R. S., & Mukmin, A. A. (2022). *APLIKASI MARKETPLACE PENDAMPING WISATA DENGAN API MAPS BERBASIS MOBILE DAN WEB*. Retrieved from osf.io/3jpd/.
- Hasibuan, M. R. R. (2023). *EVALUASI EFISIENSI PENGGUNAAN AIR DALAM PERTANIAN BERBASIS TEKNOLOGI IRIGASI MODERN*.
- Marpaung, A. D. (2022). *Laporan Praktik Kerja Lapangan Pembangunan PLTA Peusangan 1 dan 2 Hydroelectric Power Plant Contruction Project 88 MW-Penstock Line Aceh Tengah*. Universitas Medan Area.
- Munte, S., & Polewangi, Y. D. (2022). *Pengaruh Harga, Variasi Produk dan Kualitas Produk Terhadap Keputusan Pembelian Keripik SIngkong saat Pandemi Covid 19 di UKM Cap Rumah Adat Minang Medan (Doctoral dissertation, Universitas Medan Area)*.
- Barky, N. Y. (2020). *Laporan Kerja Praktek II Revitalisasi Gedung Kantor Gubernur Sumatera Utara*.
- Tarigan, R. S. (2018). *Manual Procedure Petunjuk Penggunaan Sistem Informasi Program Studi (SIPRODI)*.
- Sinaga, A. S. (2019). *Peranan Motivasi Kerja dalam Kinerja Pegawai pada Kantor Kecamatan Tanjungbalai Utara Kota Tanjungbalai*.
- SINAGA, A. S. *Kata Kunci: Motivasi, Kinerja Pegawai, Kecamatan Tanjungbalai Utara*.
- Nst, A., & Siregar, A. (2011). *Analisa Ruang Bakar Boiler Kapasitas UAP 20 Ton/Jam (Doctoral dissertation, Universitas Medan Area)*.
- Tarigan, R. S., & Dwiatma, G. (2022). *ANALISA STEGANOGRAFI DENGAN METODE BPCS (Bit-Plane Complexity Segmentation) DAN LSB (Least Significant Bit) PADA PENGOLAHAN CITRA*.
- Karim, A. (2017). *Efektivitas Beberapa Produk Pembersih Wajah Antiacne Terhadap Balderi Penyebab Jerawat Propianibacterium acnes*.
- Santoso, M. H., Hutabarat, K. I., Wuri, D. E., & Lubis, J. H. (2020). *Smart Industry Inkubator Otomatis Produk Pengereng Ikan Asin Berbasis Arduino*. *Jurnal Mahajana Informasi*, 5(2), 45-53.
- Aulia, A. M., Tarigan, R. S., Wibowo, H. T., & Dwiatma, G. (2022). *Penerapan E-Gudang Sebagai Tempat Penampungan Ikan*.
- Siregar, F. A. (2023). *PENGGUNAAN PUPUK ORGANIK DALAM MENINGKATKAN KUALITAS TANAH DAN PRODUKTIVITAS TANAMAN*.

- Ramadhani, M. R., & Syarif, Y. (2022). *PROYEK PEMBANGUNAN SALURAN PENGHUBUNG PADA BENDUNG DI SERDANG*. *Laporan Kerja Praktek Mahasiswa Teknik*, 1(3).
- Maizana, D., & Putri, S. M. (2022). *Appropriateness analysis of implementing a smart grid system in campus buildings using the fuzzy method*. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems*, 13(2), 873.
- Khairina, N. (2023). *Hyperparameter Model Arsitektur Resnet50 dalam Mengklasifikasi Larva Zophobas Mario dan Tenebrio Molitor*.
- Tarigan, R. S. (2017). *Manual Procedure Petunjuk Penggunaan Academic Online Campus (AOC)*.
- Maulana S, R. (2014). *PERENCANAAN INSTALASI LISTRIK HOTEL PRIMA CIREBON (Doctoral dissertation, Universitas Pendidikan Indonesia)*.
- Nasution, A. B., & Nasution, A. M. (2021). *Perancangan Gelanggang Olah Raga Renang, Loncat Indah, Renang Indah Dan Polo Air, Bertema Arsitektur Futuristik*.
- Maizana, D. (2013). *Effect of Rubber Material Clamp on Core Loss of 3-phase 100 kVA Transformer Core*.
- Amru, S. (2015). *Potensi Limbah Sabut Kelapa Muda Sebagai Penguat pada Pembuatan Bahan Peredam Suara*.