



Penerapan Integral Lipat Dua untuk Menghitung Volume Tiang Beton Berbentuk Tabung sebagai Dasar Estimasi Kebutuhan Material pada Struktur Pondasi Gedung

Alvi Sahrin Nasution^{1*}, Dear Sevtia Br Karo Karo², Gracia Lovian Girsang³, Herdita Br. Ginting⁴, Klara Manila Laoli⁵, Windi Suryani⁶

¹⁻⁶Program Studi Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan, Indonesia

Email : alvisahrin@unimed.ac.id^{1*}, dearsevtia@gmail.com², graciagirsang17@gmail.com³, gintingherduta@gmail.com⁴, claralaoli2@gmail.com⁵, windsuryani2802@gmail.com⁶

*Penulis Korespondensi: alvisahrin@unimed.ac.id

Abstract. *This study examines the application of double integrals in calculating the volume of cylindrical concrete piles as a basis for estimating material requirements in building foundation structures. The volume calculation was carried out using a double-integral approach in polar coordinates for three pile segments with lengths of 4 m, 3.9 m, and 4 m, each having a diameter of 60 cm. The results were then validated using the standard geometric formula to ensure consistency and mathematical reliability. The obtained concrete volume was subsequently used to estimate material needs based on a 1:1.5:3 mix proportion consisting of cement, sand, and gravel. The findings indicate that double integrals can be effectively applied to generate accurate estimations of both volume and material requirements, supporting logistical planning in construction. This approach also highlights the strong connection between mathematical concepts—particularly multivariable calculus—and practical applications in civil engineering. Furthermore, the study emphasizes that double integrals may serve as a relevant alternative when structural modeling requires deeper analytical exploration or validation beyond conventional geometry. Therefore, the implementation of double integrals not only reinforces theoretical understanding but also enhances precision in evaluating structural components within building foundation planning.*

Keywords: *Building Foundation; Concrete Pile; Cylindrical Volume; Double Integral; Material Estimation.*

Abstrak. Penelitian ini membahas penerapan integral lipat dua dalam menghitung volume tiang beton berbentuk tabung sebagai dasar estimasi kebutuhan material pada struktur pondasi gedung. Perhitungan volume dilakukan menggunakan pendekatan integral lipat dua pada koordinat polar untuk tiga variasi panjang tiang, yaitu 4 m, 3,9 m, dan 4 m dengan diameter 60 cm. Hasil perhitungan kemudian divalidasi menggunakan rumus geometri standar sehingga diperoleh nilai yang konsisten dan dapat dipertanggungjawabkan secara matematis. Volume beton yang didapatkan selanjutnya dimanfaatkan untuk menghitung kebutuhan material berdasarkan proporsi campuran 1:1,5:3, yaitu semen, pasir, dan kerikil. Temuan penelitian menunjukkan bahwa integral lipat dua mampu memberikan estimasi volume dan kebutuhan material yang akurat, sehingga dapat digunakan sebagai dasar perencanaan logistik konstruksi. Pendekatan ini juga memberikan gambaran yang lebih analitis terhadap hubungan antara konsep matematika, khususnya kalkulus multivariabel, dan aplikasi nyata dalam teknik sipil. Selain itu, penelitian ini menegaskan bahwa metode integral lipat dua dapat menjadi alternatif yang relevan ketika dibutuhkan pemodelan struktur dengan karakteristik tertentu atau ketika diperlukan validasi yang lebih mendalam terhadap perhitungan geometri tradisional. Dengan demikian, penerapan integral lipat dua memberikan nilai tambah dalam analisis teknik dan perencanaan struktur pondasi.

Kata kunci: Estimasi Material; Integral Lipat Dua; Pondasi Gedung; Tiang Beton; Volume Tabung.

1. LATAR BELAKANG

Pondasi merupakan bagian paling dasar dari sebuah bangunan karena berfungsi menyalurkan beban dari struktur atas ke tanah di bawahnya. Dengan adanya pondasi, beban bangunan tidak langsung menekan tanah sehingga dapat mencegah terjadinya kegagalan seperti geser tanah maupun penurunan pondasi yang terlalu besar. Pada dasarnya populasi dibagi menjadi dua kelompok utama, yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam. Jenis pondasi

yang dipilih biasanya disesuaikan dengan jenis struktur bangunan, besar beban yang bekerja serta kondisi tanah di Lokasi Pembangunan.

Tiang pancang berfungsi untuk membawa beban dari kolom di atasnya kemudian menyalurkan ke pondasi dalam. Sementara itu pile cap atau tutup tiang memiliki peran penting sebagai pengikat beberapa tiang pondasi dan memastikan beban dari kolom dapat dibagi secara merata ke seluruh tiang. Dalam perhitungan teknis, pile cap berkaitan dengan gaya aksial dari kolom tekanan tanah, serta daya dukung pondasi dalam. Selain beban vertikal beban lateral akibat gempa juga bekerja pada pile cap. Kombinasi beban tersebut menyebabkan timbulnya momen letur, gaya geser, dan tegangan pada pile cap. Karena beban tersebut menyebabkan timbulnya momen letur, gaya geser dan Tengan pada pile cup. Karena itu pondasi harus memiliki kekuatan yang cukup untuk menahan semua gaya tersebut agar beton dan tulangan tetap bekerja sesuai rancangan (Abdurokhman & Susanto, 2024).

Dalam perencanaan geometri tiang pancang, volume struktur umumnya dihitung menggunakan rumus geometri standar. Namun, dalam konteks matematis, perhitungan volume tabung juga dapat diselesaikan melalui pendekatan integral lipat dua, khususnya pada koordinat kartesius atau polar. Integral lipat dua memungkinkan representasi bentuk penampang tabung secara lebih fleksibel, terutama jika diperlukan pemodelan geometri yang lebih detail atau analisis matematis yang melibatkan variasi distribusi densitas, bentuk, atau ketebalan (Saragih & Tamba, 2023).

Penerapan integral lipat dua memberikan perspektif matematis baru dalam menghitung volume tiang beton berbentuk tabung pada struktur pondasi gedung. Selain memperluas penggunaan kalkulus multivariabel dalam bidang teknik sipil, metode ini juga memperkuat pemahaman analitis mahasiswa dan peneliti mengenai hubungan antara matematika dan konstruksi. Penggunaan integral lipat dua menjadi penting terutama pada proses validasi, verifikasi model matematika, serta pendekatan alternatif ketika parameter geometri mengalami perubahan atau memerlukan pemodelan komputasional (Hidayat, 2018).

2. KAJIAN TEORITIS

Lipat Integral Dua (Double Integral)

Integral lipat dua merupakan salah satu bentuk integral dalam kalkulus multivariabel yang digunakan untuk menghitung volume, massa, dan luas permukaan dari suatu daerah dua dimensi ke ruang tiga dimensi. Menurut Stewart (2016), integral lipat dua didefinisikan sebagai integral dari suatu fungsi dua variabel pada suatu daerah tertutup R , ditulis sebagai

$$\iint_R f(x,y) \, dA$$

Jika fungsi $f(x,y)$ merepresentasikan tinggi dari suatu benda tiga dimensi di atas daerah R , maka integral lipat dua menghasilkan volume total dari benda tersebut pada benda berbentuk tabung, tinggi h bersifat konstan, sementara daerah R merupakan lingkaran beradius r . Dengan demikian, volume dapat dihitung melalui:

$$V = \iint_R h \, dA = h \cdot \text{Luas}(R)$$

Sebagaimana ditunjukkan oleh Saragih & Tamba (2023), integral lipat dua sangat efektif diterapkan untuk menghitung volume benda berpenampang lingkaran dengan menggunakan koordinat polar.

Koordinat Polar dalam Integral Lipat Dua

Pada daerah lingkaran, koordinat polar lebih efisien digunakan dibanding koordinat kartesius. Stewart (2016) dan Anton (2019) menyatakan bahwa transformasi ke koordinat polar diberikan oleh:

$$x = r \cos \theta, \quad y = r \sin \theta$$

dan elemen luas berubah menjadi:

$$dA = r \, dr \, d\theta$$

Sehingga volume tiang beton berbentuk tabung dapat dihitung melalui:

$$V = \int_0^{2\pi} \int_0^R h r \, dr \, d\theta$$

Dengan:

R : jari-jari tiang beton

H : tinggi (panjang) tiang beton

Pendekatan ini digunakan dalam penelitian karena memberikan penyederhanaan perhitungan sekaligus akurasi matematis.

Tiang Beton dalam Struktur Pondasi

Tiang beton pracetak berbentuk tabung (spun pile) digunakan secara luas sebagai pondasi dalam konstruksi gedung. Menurut Rompas (2017), tiang beton memiliki keunggulan berupa kapasitas dukung tinggi, ketahanan terhadap beban lateral, serta durabilitas yang baik terhadap kondisi tanah. Jurnal Sondir (2019) juga menekankan bahwa estimasi volume beton pada tiang pancang sangat menentukan kebutuhan material dan efisiensi konstruksi.

Volume Tabung secara Geometri

Secara konvensional, volume tabung dihitung dengan rumus:

$$V = \pi r^2 h$$

Metode ini cepat dan sederhana. Namun, penggunaan integral lipat dua memberikan pendekatan matematis yang tidak hanya memvalidasi rumus tersebut, tetapi juga dapat digunakan pada kasus non-ideal atau geometri yang tidak homogen (Hidayat, 2018).

Material requirement planning

Material requirement planning (MRP) atau Perencanaan Kebutuhan Material merupakan suatu pendekatan terstruktur untuk menghitung kuantitas dan waktu yang optimal dalam mengatur pasokan material, khususnya untuk komponen-komponen yang saling terkait. MRP meliputi pengendalian persediaan dan pengolahan data guna memastikan bahan baku tersedia tepat waktu, dalam jumlah yang akurat, dengan kualitas yang memadai, dan biaya yang kompetitif. Sebagai sebuah sistem informasi, MRP berperan dalam merencanakan pemesanan dan penjadwalan material dependen seperti bahan mentah dan suku cadang—guna mendukung proses produksi utama. MRP merupakan inovasi awal dalam manajemen persediaan yang memperlakukan bahan baku, komponen, dan produk akhir secara berbeda. Walaupun implementasinya relatif rumit, sistem ini memberikan berbagai manfaat, termasuk pengurangan biaya penyimpanan stok dan efisiensi biaya produksi secara menyeluruh.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif terapan (Applied Quantitative Research) dengan desain studi kasus analitis yang dimanapengambilan datanya menggunakan wawancara. Wawancara merupakan bentuk pengumpulan data yang paling sering digunakan dalam penelitian kualitatif. Perawat seringkali menganggap wawancara itu mudah karena dalam kesehariannya, perawat sering berkomunikasi dengan kliennya untuk mendapatkan informasi penting. Kenyataannya tak semudah itu. Banyak peneliti mengalami kesulitan mewawancarai orang, karena orang cenderung menjawab dengan singkat. Apalagi budaya pada masyarakat Indonesia yang cenderung tidak terbiasa mengungkapkan perasaan. Wawancara pada penelitian kualitatif memiliki sedikit perbedaan dibandingkan dengan wawancara lainnya seperti wawancara pada penerimaan pegawai baru, penerimaan mahasiswa baru, atau bahkan pada penelitian kuantitatif. Wawancara pada penelitian kualitatif merupakan pembicaraan yang mempunyai tujuan dan didahului beberapa pertanyaan informal.

Data yang digunakan adalah data sekunder dan data teknis standar. Data dimensi geometris tiang beton berongga (Diameter, panjang, dan tebal dinding) diambil sebagai data kasus. Data koefisien material (semen, pasir, krikil) untuk mutu beton yang relevan (misalnya, K-300 atau K-400) diperoleh dari standar teknis nasional atau literatur analisa harga satuan pekerjaan (AHSP).

Prosedur penelitian dibagi menjadi tiga tahapan. Tahap pertama adalah volume pemodelan matematis, dimana volume beton (V) per segmen tiang dihitung menggunakan persamaan integral lipat dua dalam koordinat polar. Volume material tiang berongga didefinisikan sebagai integral ganda dari fungsi ketinggian (L) atas daerah cincin yang dibatasi oleh jari-jari dalam (R_{dalam}) dan jari-jari luar (R_{luar}):

$$V = \int_0^{2\pi} \int_{R_{dalam}}^{R_{luar}} L \cdot r \, dr \, d\theta$$

Tahap kedua adalah validasi model, dimana hasil perhitungan integral divalidasi dengan membandingkan terhadap rumus volume geometri standar ($\pi(R_{luar}^2 - R_{dalam}^2)L$). Tahap akhir adalah aplikasi dan estimasi, yang melibatkan penetapan skenario proyek fiktif (termasuk asumsi jumlah tiang, N) untuk menghitung total volume beton (V_{total}). Analisis estimasi kebutuhan material kemudian dilakukan secara proporsional, yaitu mengalikan V_{total} dengan koefisien material standar per m^3 beton. Analisis data secara keseluruhan difokuskan pada pengujian konsistensi dan akurasi model matematis untuk menghasilkan data estimasi yang presisi sebagai dasar perencanaan logistik konstruksi.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penerapan Integral Lipat Dua pada Tiang beton berbentuk Tabung

Dalam matematika teknik, integral lipat dua merupakan alat yang powerful untuk menghitung volume benda padat tiga dimensi. Untuk sebuah tiang beton berbentuk tabung lurus dengan jari-jari R dan panjang L , volume dapat dimodelkan sebagai integral dari luas penampang melintangnya sepanjang sumbu panjang.

Untuk menghitung volume sebuah benda padat tiga dimensi, kita dapat "menjumlahkan" semua luas penampangnya yang sangat tipis (infinitesimal) sepanjang suatu sumbu. Dalam kasus tiang beton berbentuk tabung, kita menggunakan sistem koordinat silinder (r, θ, z) karena sesuai dengan bentuk geometri tabung.

Keterangan Variabel:

r : jarak dari pusat sumbu tabung (jari-jari)

θ : sudut putar mengelilingi sumbu tabung

z : jarak sepanjang sumbu tabung (panjang)

$$V = \int_0^L \int_0^{2\pi} \int_0^R r \, dr \, d\theta \, dz$$

Integral terhadap r (jari-jari):

$$\int_0^R r \, dr = \left[\frac{1}{2} r^2 \right]_0^R = \frac{1}{2} R^2$$

Integral terhadap θ (sudut):

$$\int_0^{2\pi} \frac{1}{2} R^2 \, d\theta = \frac{1}{2} R^2 \int_0^{2\pi} d\theta = \frac{1}{2} R^2 \cdot 2\pi = \pi R^2$$

Integral terhadap z (panjang):

$$\int_0^L \pi R^2 \, dz = \pi R^2 \int_0^L dz = \pi R^2 \cdot L$$

Akhirnya diperoleh rumus klasik volume tabung: $V = \pi R^2 L$.

Dengan demikian, penerapan integral lipat dua mengonfirmasi dan memberikan dasar matematis yang rigor untuk rumus volume tabung yang akan kita gunakan dalam perhitungan material.

Perhitungan Volume Beton untuk Tiap Diameter

Tabel 1. Perhitungan Volume Beton untuk Tiap Diameter.

Diameter (cm)	Panjang Per Segmen (m)
60	4
60	3,9
60	4

Berdasarkan data kita akan menganalisis tiga jenis tiang dengan

Diameter 60 cm \rightarrow Jari-jari (R_1) = 30 cm = 0.3 m

Diameter 60 cm \rightarrow Jari-jari (R_2) = 30 cm = 0.3 m

Diameter 60 cm \rightarrow Jari-jari (R_3) = 30 cm = 0.3 m

$$\text{Rumus yang digunakan: } V = \int_0^{2\pi} \int_{R_{dalam}}^{R_{luar}} L \cdot r \, dr \, d\theta$$

Data ini yang diperoleh dari jurnal (kusuma ,dkk 2024)

Perhitungan volume menggunakan integral lipat dua :

$$1. \int_0^{2\pi} \int_0^r \rho \, d\rho \, d\theta = \int_0^{2\pi} \left[\frac{1}{2} \rho^2 \right]_0^r d\theta = \int_0^{2\pi} \frac{1}{2} r^2 \, d\theta = \frac{1}{2} r^2 \cdot 2\pi = \pi r^2$$

Maka : $V = L \cdot \pi r^2$

Substitusi nilai $L=4$ meter dan $r=0,3$ meter

$$V = 4 \cdot \pi(0,3^2) = 4 \cdot \pi \cdot 0,09 = 0,36\pi$$

$$= 0,36\pi = 1,13097335529$$

$$V = 1,131 \text{ m}^3$$

$$2. \int_0^{2\pi} \int_0^r \rho d\rho d\theta = \int_0^{2\pi} \left[\frac{1}{2} \rho^2 \right]_0^r d\theta = \int_0^{2\pi} \frac{1}{2} r^2 d\theta = \frac{1}{2} r^2 \cdot 2\pi = \pi r^2$$

$$\text{Maka : } V = L \cdot \pi r^2$$

Substitusi nilai $L=3,9$ meter dan $r=0,3$ meter

$$V = 3,9 \cdot \pi(0,3^2) = 3,9 \cdot \pi \cdot 0,09 = 0,351\pi$$

$$= 0,351\pi = 1,102699021$$

$$V = 1,103 \text{ m}^3$$

$$3. \int_0^{2\pi} \int_0^r \rho d\rho d\theta = \int_0^{2\pi} \left[\frac{1}{2} \rho^2 \right]_0^r d\theta = \int_0^{2\pi} \frac{1}{2} r^2 d\theta = \frac{1}{2} r^2 \cdot 2\pi = \pi r^2$$

$$\text{Maka : } V = L \cdot \pi r^2$$

Substitusi nilai $L=4$ meter dan $r=0,3$ meter

$$V = 4 \cdot \pi(0,3^2) = 4 \cdot \pi \cdot 0,09 = 0,36\pi$$

$$= 0,36\pi = 1,13097335529$$

$$V = 1,131 \text{ m}^3$$

Maka Volume Yang Diperoleh :

Tabel 2. Volume Yang Diperoleh.

No	Diameter (m)	Tinggi/panjang (m)	Volume (m^3)
1.	0.06	4.00	1.131
2.	0.06	3.90	1.103
3.	0.06	4.00	1.131

Estimasi Kebutuhan Material:

Proporsi campuran 1:1,5:3 ditentukan dengan menggunakan semen, agregat halus, dan agregat kasar secara berturut-turut. Sebanyak 4 kg semen dicampurkan dengan 6 kg agregat halus dan 12 kg agregat kasar. Air ditambahkan ke dalam campuran semen berdasarkan berat untuk membentuk rasio air-semen sebesar 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7; dan 1,8. Seluruh bahan kemudian dicampur hingga membentuk pasta (salem ,dkk , 2015).

$$\text{Berat isi beton segar: } \approx 2400 \text{ kg/m}^3$$

Kebutuhan semen per m^3 beton :

$$\frac{2400 \text{ kg}}{1+1,81+2,61} = \frac{2400}{5,42} \approx 443 \text{ kg}$$

$$\text{kebutuhan pasir per } m^3 \text{ beton: } 443 \times 1,81 \approx 802 \text{ kg}$$

kebutuhan kerikil per m^3 beton: $443 \times 2.61 \approx 1156$ kg

kebutuhan air per m^3 beton: $443 \times 0.50 \approx 222$ liter

Contoh Perhitungan Material untuk Tiang Diameter 50 cm, Panjang 12 m:

Volume beton = $2.356 m^3$

Semen = $1.131 m^3 \times 443 \text{ kg}/m^3 = \mathbf{501,03 \text{ kg}}$. (atau ≈ 10 sak)

Pasir = $1.131 m^3 \times 802 \text{ kg}/m^3 = 907,06$ kg

Air = $1.131 m^3 \times 222 \text{ L}/m^3 = \mathbf{251,08 \text{ liter}}$.

Estimasi Kebutuhan Material per Segmen Tiang

Tabel 3. Estimasi Kebutuhan Material per Segmen Tiang.

Volume	Semen	Pasir	Air
1.131	501,03	907,06	251,08
1.103	488,63	884,61	244,87
1.131	501,03	907,61	251,08

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa penggunaan integral lipat dua sangat membantu dalam menghitung volume tiang beton yang berbentuk tabung pada struktur pondasi bangunan. Metode ini terbukti mampu menghasilkan perhitungan yang tepat dan sesuai dengan rumus geometri yang umum digunakan, sehingga dapat dijadikan pilihan lain dalam analisis matematis untuk mendukung proses perencanaan konstruksi. Volume yang diperoleh melalui teknik integral lipat dua tersebut dapat dimanfaatkan untuk memperkirakan kebutuhan bahan bangunan seperti semen, pasir, kerikil, dan air secara lebih akurat berdasarkan komposisi yang telah ditentukan. Dengan demikian, penelitian ini menunjukkan bahwa konsep matematika, khususnya dalam bidang kalkulus multivariabel, memiliki peranan yang signifikan bagi analisis teknis di teknik sipil serta dapat membantu meningkatkan ketepatan dan efisiensi dalam perhitungan serta estimasi material pada proyek pembangunan pondasi.

Saran

Penelitian ini menyarankan agar penerapan integral lipat dua dapat diperluas pada pondasi bangunan yang memiliki bentuk geometri kompleks atau pada tiang beton yang dirancang dengan rongga. Untuk penelitian berikutnya, penggunaan data lapangan yang nyata serta perbedaan mutu beton sangat dianjurkan agar hasil yang diperoleh lebih sesuai dan bermanfaat bagi kebutuhan konstruksi di dunia nyata. Selain itu, dukungan perangkat lunak komputasi perlu dimanfaatkan untuk mempercepat proses analisis, khususnya pada struktur dengan bentuk yang lebih rumit.

DAFTAR REFERENSI

- Abdurokhman, B., & Susanto, A. (2024). Analisis kestabilan struktur pondasi dalam pada tanah lunak. *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*, 12(1), 45–60.
- Abdurokhman, N., & Susanto, N. (2024). Perencanaan struktur pondasi gedung Rumah Sakit Mitra Plumbon Kanci Jawa Barat. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil STTC*, 2(2), 85–92.
- Adhar, L., Komarudin, & Nanda, M. P. (2023). Perubahan desain bangunan gedung empat lantai menggunakan konstruksi beton. *Jurnal Statika*, 9(2), 12–20.
- Aplikasi matematika dalam dunia teknik sipil*. (n.d.). Kupdf. (Uraian aplikasi integral pada perhitungan volume benda dalam teknik sipil).
- Darmayanti, H. M., Hernawati, T., & Harahap, B. (2022). Perencanaan kebutuhan bahan baku produk kue bawang abon menggunakan metode material requirement planning. *Buletin Utama Teknik*, 17(3), 286–290. <https://doi.org/10.30743/but.v17i3.5375>
- Farizwan, J., Hariyadi, H., & Hamdani, H. (2024). Studi efisiensi volume material dan estimasi biaya bangunan menggunakan BIM 5D dengan perangkat lunak Tekla Structures. *Spektrum Sipil*, 11(2), 109–118. <https://doi.org/10.29303/spektrum.v11i2.355>
- Febriani, H., Pratiwi, I., & Andalia, W. (2022). Analisis perencanaan persediaan bahan baku menggunakan metode material requirement planning (Studi kasus UMKM Keripik Usus Cabe Babe). *Jurnal Teknik Industri ITN Malang*, 1(1), 12–20. <https://doi.org/10.36040/industri.v12i1.3811>
- Hamirsa, M. H., & Rumita, R. (2022). Usulan perencanaan peramalan dan safety stock persediaan spare part busi Champion Type RA7YC-2 menggunakan metode time series. *Industrial Engineering Online Journal*, 11(1), 1–10.
- Kusuma, Z. R., & Susilorini, R. (2024). Analisis perhitungan kebutuhan tulangan dan volume beton pada perencanaan struktur kolom (Studi kasus Gedung Madrasah Ibtidaiyah Miftahul Ulum). *JUREKTIK*, 1(2).
- Pratama, D., & Sari, R. (2022). Optimasi perhitungan volume beton pada struktur pondasi. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 16(2), 112–125.
- Rachmawati, I. N. (2007). Pengumpulan data dalam penelitian kualitatif: Wawancara. *Jurnal Keperawatan Indonesia*, 11(1), 35–40. <https://doi.org/10.7454/jki.v11i1.184>
- Rompas, P. T., & Kurniawan, A. (2021). Analisis kuat dukung tiang pancang beton pada tanah lunak. *Jurnal Teknik Sipil*, 12(3), 67–78.
- Salema, M. A. A., & Pandey, R. K. (2015). Effect of cement–water ratio on compressive strength and density of concrete. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 4(2), 1–6.
- Saragih, J., & Tamba, I. (2023). Pemanfaatan integral lipat dua pada koordinat polar untuk analisis volume benda putar. *Journal of Applied Mathematics and Computation*, 5(2), 112–125.
- Sartika, M., Gunawan, I., & Hisyam, E. S. (2023). Analisis struktur gedung beton bertulang berdasarkan SNI 2847-2002 dan SNI 2847-2013 (Studi kasus Rumah Sakit Rona Pangkalpinang). *FROPIL: Forum Profesional Teknik Sipil*.
- SNI 03-2847-2002. (2002). *Tata cara perencanaan struktur beton untuk bangunan gedung*. Badan Standardisasi Nasional.

- Sondir, J. (2019). Estimasi kebutuhan material pada proyek pondasi tiang pancang. *Jurnal Ilmiah Konstruksi*, 17(3), 201–210.
- SONDIR. (2019). Perencanaan struktur bawah pondasi tiang pancang. *Jurnal SONDIR*, 2(1), 1–12.
- Tambunan, S., & Sinaga, H. (2021). Integral lipat dua dalam perhitungan volume struktur silinder. *Jurnal Matematika dan Terapan Teknik*, 8(1), 56–68.