

Optimalisasi Desain Pondasi Gedung *Eco-Building* LPPM-BPMI Univet Bantara Sukoharjo melalui Investigasi Tanah

Iwan Ristanto¹, Sodikin², Hendramawat Aski Safarizki³, Annisa Azhar Firdausi^{4*}, Satria Agung Wibawa⁵, Faisal Burhanudin⁶, Binan Restu Ajie⁷

¹⁻⁷Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Veteran Bangun Nusantara Sukoharjo, Indonesia

*Penulis korespondensi, email: annisaazharf@gmail.com

Abstrak—Pembangunan infrastruktur berkelanjutan memerlukan perencanaan pondasi yang adaptif, efisien, dan mendukung konsep *eco-building*. Penelitian ini bertujuan mengoptimalkan desain pondasi Gedung Terpadu LPPM-BPMI Univet Bantara Sukoharjo melalui investigasi tanah yang detail. Metode yang digunakan adalah *Dynamic Cone Penetration Test* (DCPT) pada empat titik hingga kedalaman lebih dari 10 meter, dengan evaluasi fokus pada lapisan efektif sekitar tiga meter. Hasil pengujian menunjukkan nilai tahanan konus (q_c) bervariasi antara 50–55 kg/cm² dengan rata-rata tegangan ijin tanah (q_a) konservatif sebesar 1700 kN/m². Analisis struktur menggunakan data joint reaction membuktikan bahwa pondasi tapak dengan dimensi minimum 1,4 × 1,4 meter masih layak, namun simulasi merekomendasikan alternatif ukuran 1,8 × 1,8 meter ($F_s=5$) hingga 2,0 × 2,0 meter ($F_s=6$) untuk peningkatan stabilitas dan efisiensi. Hasil ini menegaskan pentingnya integrasi data geoteknik dengan perhitungan struktural untuk mendukung bangunan hemat energi dan ramah lingkungan. Disarankan agar investigasi tanah yang lebih detail diterapkan pada proyek serupa agar desain pondasi semakin adaptif terhadap kondisi lokal, sejalan dengan standar SNI 8460:2017 dan kebijakan bangunan hijau.

Kata kunci: *eco-building*, pondasi, investigasi, tanah, DCPT

This article is licensed under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

1. Pendahuluan

Pembangunan infrastruktur berkelanjutan merupakan tantangan global yang membutuhkan perencanaan yang inklusif untuk semua pihak (*planning for all*). Dalam bidang rekayasa sipil, analisis dan desain pondasi yang baik menjadi dasar utama bagi kekuatan dan kestabilan struktur [1]. Pemikiran tentang pembangunan berkelanjutan telah diakui secara luas sejak laporan *Our Common Future* yang menekankan pentingnya pemenuhan kebutuhan generasi saat ini tanpa mengorbankan generasi mendatang [2]. Prinsip-prinsip perencanaan pondasi yang mengacu pada kondisi geoteknik lokal juga banyak dijelaskan dalam literatur [3]–[5].

Dalam lingkup lokal, penerapan bangunan hemat energi semakin relevan dengan adanya penelitian dan kebijakan nasional, seperti *Permen PUPR* tentang bangunan gedung hijau dan peraturan pemerintah mengenai konservasi energi [6]–[8]. Perguruan tinggi sebagai pusat pengembangan pengetahuan memiliki tanggung jawab dalam menerapkan prinsip *green building* dan *eco-campus* [9].

Dalam perancangan pondasi, investigasi tanah menggunakan *Dynamic Cone Penetration Test* (DCPT) menjadi salah satu metode penting untuk mengetahui kapasitas daya dukung tanah [10]. Hal ini sejalan

dengan standar nasional seperti SNI 8460:2017 [11] dan berbagai pedoman internasional [12], [13]. Konsep bangunan hijau yang mendukung pembangunan berkelanjutan juga menekankan pada pengendalian konsumsi energi dan penggunaan material secara efisien [14], [15].

Konsep *eco-building* telah diterapkan pada berbagai bangunan, termasuk pusat perbelanjaan [15], konstruksi hijau [16], desain interior kampus [17], maupun gedung interdisciplinary dengan penerapan teknologi BIM [18]. Selain itu, optimalisasi perencanaan pondasi menjadi fokus berbagai penelitian di bidang teknik sipil, baik pada bangunan pendidikan tinggi [19], pondasi sumuran [20], maupun pondasi bored pile dengan metode optimasi metaheuristik [21].

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan desain pondasi Gedung Terpadu LPPM-BPMI Univet Bantara Sukoharjo melalui investigasi tanah dan penerapan konsep *eco-building*. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap penerapan perencanaan pondasi yang adaptif, efisien, dan mendukung keberlanjutan.

2. Metode

Penelitian ini dilaksanakan di area Kampus Universitas Veteran Bangun Nusantara, Sukoharjo. Untuk mengetahui kondisi daya dukung tanah pada lokasi pembangunan Gedung Terpadu LPPM-BPMI, dilakukan investigasi tanah pada empat titik menggunakan metode *Dynamic Cone Penetration Test* (DCPT) hingga kedalaman lebih dari 10 meter. Fokus evaluasi hasil uji difokuskan pada kedalaman sekitar tiga meter, yang diperkirakan sebagai zona efektif untuk penempatan pondasi tapak. Lokasi titik pengambilan data uji sondir dapat dilihat pada Gambar 1. Data yang diperoleh dari pengujian ini mencatat nilai tahanan konus (*cone resistance*, q_c) pada setiap interval kedalaman 0,2 meter. Nilai q_c kemudian dikonversi menjadi tegangan ijin tanah (q_a) dengan menggunakan persamaan empiris, di mana perhitungan ini mempertimbangkan faktor keamanan (*factor of safety*) sebesar tiga sebagai standar umum untuk perencanaan pondasi bangunan publik. Beban maksimum struktur atas diperoleh dari hasil analisis pembebanan struktur (*joint reaction*) yang kemudian digunakan untuk menentukan luas pondasi tapak yang sesuai. Penentuan dimensi pondasi dilakukan dengan menghitung rasio antara beban maksimum dan tegangan ijin tanah, sehingga diperoleh luas pondasi yang selanjutnya dikonversi menjadi ukuran sisi pondasi tapak. Hasil perhitungan ini selanjutnya divalidasi melalui simulasi nilai faktor keamanan untuk memastikan bahwa rancangan pondasi memenuhi syarat stabilitas dan efisiensi material, sejalan dengan konsep *eco-building* yang diterapkan pada pembangunan gedung ini.



Gambar 1. Lokasi dan investigasi uji tanah metode sondir atau DCPT

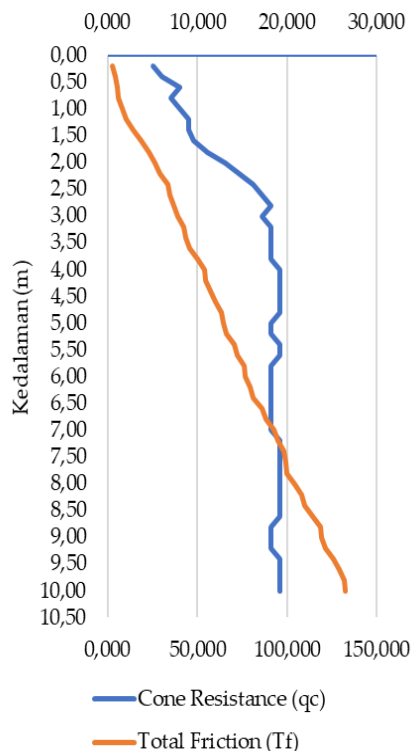
3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian *Dynamic Cone Penetration Test* (DCPT) pada empat titik menunjukkan variasi nilai tahanan konus (*cone resistance*, q_c) yang diukur setiap interval 0,2 meter hingga kedalaman 10 meter. Rangkuman nilai q_c dan tegangan ijin tanah (q_a) dari keempat titik pengujian ditampilkan pada Tabel 1. Berdasarkan Tabel 1, nilai q_c tertinggi diperoleh pada Titik 1 sebesar 55 kg/cm², sedangkan Titik 2 dan Titik 3 masing-masing menunjukkan nilai q_c 52 kg/cm² dan 50 kg/cm². Nilai q_c ini kemudian dikonversi ke satuan kN/m² dan menghasilkan q_a rata-rata sebesar 1744 kN/m². Untuk perhitungan yang lebih konservatif, nilai q_a ini dibulatkan menjadi 1700 kN/m².

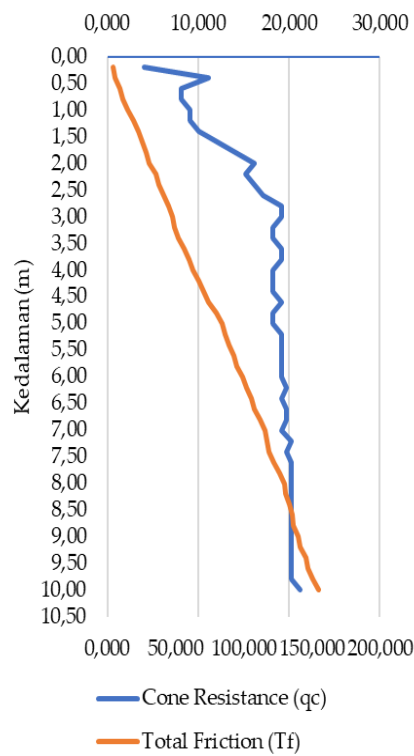
Tabel 1. Nilai q_c dan q_a dari 4 Titik DCPT

Lokasi	q_c (kg/cm ²)	q_c (kN/m ²)	q_a (kN/m ²)
Titik 1	55	5500	1833
Titik 2	52	5200	1733
Titik 3	50	5000	1667
		Rata-rata	1744

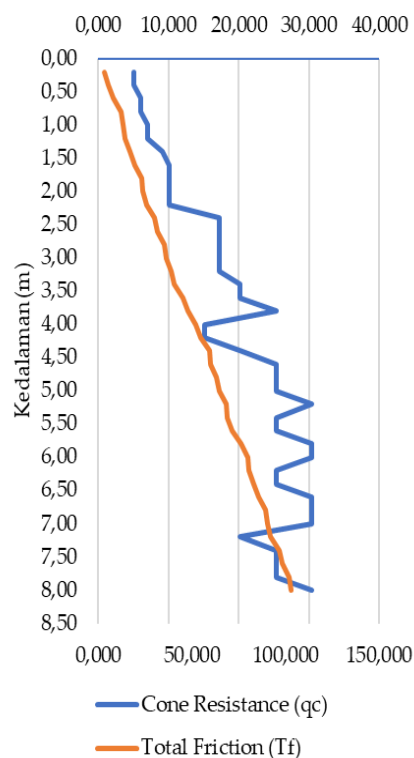
Untuk memahami distribusi q_c dan rasio gesekan (R_f) pada setiap titik pengujian, dilakukan analisis perbandingan nilai q_c terhadap kedalaman tanah. Hasil plotting grafik perbandingan ini dapat dilihat pada Gambar 2 hingga Gambar 4. Berdasarkan hasil interpretasi grafik, lapisan tanah atas pada kedalaman 0 hingga 1,5 meter umumnya berupa lempung atau tanah lunak dengan nilai q_c yang rendah sehingga tidak direkomendasikan untuk pondasi dangkal. Pada lapisan menengah antara 1,5 hingga 3,5 meter, nilai q_c menunjukkan peningkatan signifikan mencapai 50–60 kg/cm², sehingga cocok digunakan sebagai zona efektif untuk penempatan pondasi tapak. Sementara itu, lapisan di bawah 4 meter memperlihatkan beberapa titik dengan nilai q_c yang relatif stabil dan tinggi sehingga memungkinkan untuk dipertimbangkan sebagai alternatif penggunaan pondasi tiang mini (*minipile*) apabila dibutuhkan.



Gambar 2. Grafik Perbandingan Nilai q_c dan R_f Terhadap Kedalaman Titik 1



Gambar 3. Grafik Perbandingan Nilai qc dan Rf Terhadap Kedalaman Titik 2



Gambar 4. Grafik Perbandingan Nilai qc dan Rf Terhadap Kedalaman Titik 3

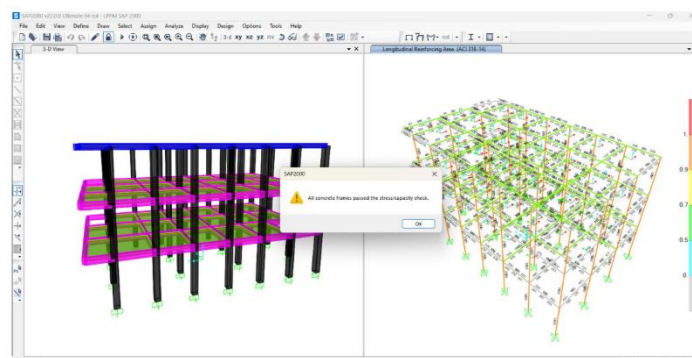
Analisis pembebanan struktur gedung dilakukan menggunakan perangkat lunak SAP versi 22.0. Data hasil analisis pembebanan kolom pondasi dirangkum pada Tabel 2. Nilai joint reaction terbesar tercatat pada joint nomor 66 dengan beban vertikal maksimum sebesar 1067,933 kN. Visualisasi distribusi pembebanan pada struktur dapat dilihat pada Gambar 5. Berdasarkan data ini, dilakukan perhitungan

batas kritis dimensi pondasi dengan mengonversi nilai q_c menjadi q_a menggunakan metode empiris Schmertmann, serta mempertimbangkan faktor keamanan (*factor of safety*) sebesar 3. Perhitungan menunjukkan bahwa nilai q_a yang semula 1700 kN/m^2 dikoreksi menjadi 567 kN/m^2 untuk perhitungan batas aman.

Tabel 2. Data *Joint Reaction* terhadap pembebanan kolom pondasi

Joint	OutputCase	CaseType	StepType	F3 kN	M1 kN-m	M2 kN-m
31	ENVELOPE	Combination	Max	739,919	98,351	131,931
66	ENVELOPE	Combination	Max	1067,933	85,459	268,556
101	ENVELOPE	Combination	Max	951,941	81,651	139,254
136	ENVELOPE	Combination	Max	699,182	99,661	126,887
26	ENVELOPE	Combination	Max	490,532	99,694	115,343
131	ENVELOPE	Combination	Max	506,977	107,332	116,130
21	ENVELOPE	Combination	Max	508,905	104,745	105,488
56	ENVELOPE	Combination	Max	875,468	96,019	113,887
91	ENVELOPE	Combination	Max	878,251	97,593	114,786
126	ENVELOPE	Combination	Max	510,18	111,058	106,227
16	ENVELOPE	Combination	Max	503,636	105,991	97,509
121	ENVELOPE	Combination	Max	507,822	111,87	99,024
11	ENVELOPE	Combination	Max	499,863	105,148	88,106
46	ENVELOPE	Combination	Max	893,907	97,619	93,599
81	ENVELOPE	Combination	Max	875,717	96,984	93,495
116	ENVELOPE	Combination	Max	523,753	111,201	92,737
6	ENVELOPE	Combination	Max	527,109	105,081	82,944
111	ENVELOPE	Combination	Max	479,006	108,628	77,947
1	ENVELOPE	Combination	Max	435,982	103,894	75,367
36	ENVELOPE	Combination	Max	624,702	86,93	74,972
71	ENVELOPE	Combination	Min	635,504	87,521	76,677
106	ENVELOPE	Combination	Max	418,961	105,769	78,881

Dengan nilai q_a tersebut, luas pondasi tapak yang diperlukan dihitung dengan membagi beban maksimum dengan tegangan ijin tanah. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa batas minimum dimensi pondasi footplate atau tapak yang digunakan adalah 1,4 meter $\times$ 1,4 meter. Hasil simulasi detail dimensi pondasi terhadap berbagai nilai faktor keamanan ditunjukkan pada Tabel 3. Dari simulasi ini diperoleh bahwa penggunaan pondasi tapak dengan dimensi 1,8 meter $\times$ 1,8 meter memberikan faktor keamanan (F_s) sebesar 5, sedangkan pondasi dengan dimensi 2,0 meter $\times$ 2,0 meter memberikan faktor keamanan (F_s) sebesar 6. Kedua alternatif desain pondasi ini dinilai memenuhi persyaratan stabilitas struktur dan mendukung prinsip efisiensi material sesuai konsep *eco-building*.

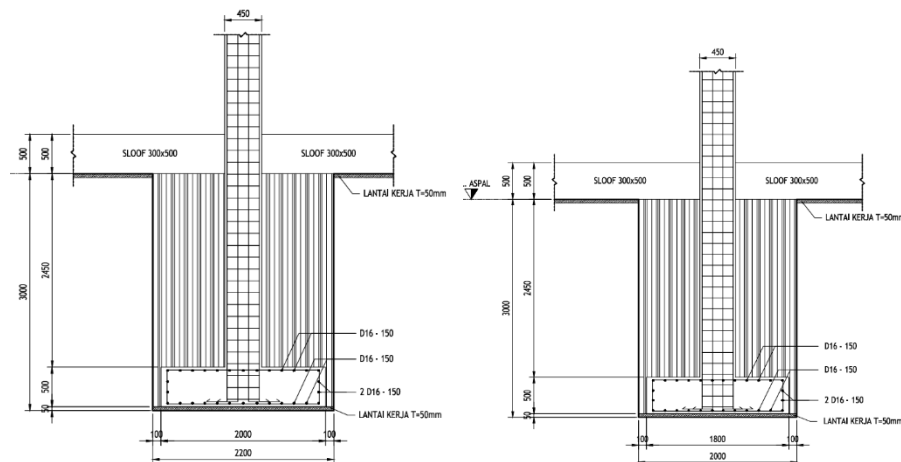


Gambar 5. Projection analisis struktur gedung

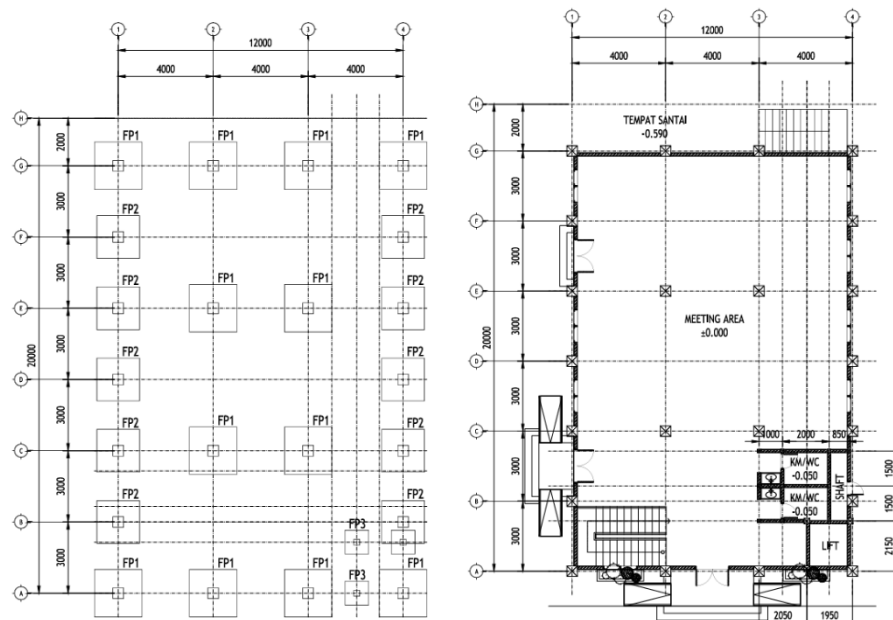
Tabel 3. Simulasi nilai optimum dimensi pondasi *footplate* / tapak terhadap batas keamanan *factor of safety* (Fs)

<i>Factor of safety</i> (Fs)	Daya Dukung Tanah q_a (kN/m ²)	Daya Dukung Tanah q_a (Ton/m ²)	Luas (A) (m ²)	Dimensi <i>Footplate</i> (m)	Keterangan
1	1.700	170	0,65	0,8 m x 0,8 m	Tidak
2	850	85	1,29	1,1 m x 1,1 m	Tidak
3	567	57	1,94	1,4 m x 1,4 m	Minimum
4	425	43	2,59	1,6 m x 1,6 m	Aman
5	340	34	3,24	1,8 m x 1,8 m	Aman
6	283	28	3,88	2,0 m x 2,0 m	Aman

Rancangan detail pondasi *footplate* dengan dimensi tersebut digambarkan pada Gambar 6, sedangkan denah pondasi Gedung Terpadu LPPM-BPMI Universitas Veteran Bangun Nusantara Sukoharjo dapat dilihat pada Gambar 7. Hasil ini memperkuat pentingnya integrasi data investigasi tanah dengan perhitungan struktural yang cermat untuk menghasilkan desain pondasi yang aman, efisien, dan mendukung tujuan pembangunan gedung berwawasan lingkungan.



Gambar 6. Detail pondasi *footplate* / tapak 2,0 m x 2,0 m (kiri) dan 1,8m x1,8m (kanan)



Gambar 7. Denah pondasi Gedung LPPM-BPMI

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil investigasi tanah menggunakan metode *Dynamic Cone Penetration Test* (DCPT) pada empat titik pengujian di area Kampus Universitas Veteran Bangun Nusantara, Sukoharjo, diperoleh nilai rata-rata tegangan ijin tanah (q_a) konservatif sebesar 1700 kN/m² pada kedalaman efektif tiga meter. Analisis struktur pembebanan menunjukkan bahwa pondasi tapak dengan dimensi minimum 1,4 meter × 1,4 meter masih memenuhi syarat daya dukung, namun perhitungan simulasi batas kritis merekomendasikan penggunaan dua alternatif dimensi pondasi, yaitu 1,8 meter × 1,8 meter dengan faktor keamanan sebesar lima, serta 2,0 meter × 2,0 meter dengan faktor keamanan sebesar enam. Hasil ini menunjukkan bahwa pondasi yang direncanakan mampu menahan beban struktur atas secara stabil sesuai dengan standar SNI 8460:2017. Selain itu, integrasi data geoteknik dengan pendekatan perhitungan struktural mendukung penerapan konsep *eco-building* pada Gedung Terpadu LPPM-BPMI dengan tetap mempertimbangkan efisiensi material dan dampak lingkungan. Dengan demikian, penelitian ini menegaskan pentingnya investigasi tanah yang komprehensif sebagai dasar perencanaan pondasi adaptif, serta kontribusinya terhadap upaya pengembangan bangunan kampus yang berkelanjutan.

Daftar Pustaka

- [1] UNEP, *Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication*. United Nations Environment Programme, 2011.
- [2] United Nations, *Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. United Nations, 2015.
- [3] M. Rashid, K. Spreckelmeyer, and N. J. Angrisano, "Green buildings, environmental awareness, and eco-campus initiatives in higher education," *Int. J. Sustain. High. Educ.*, vol. 8, no. 1, pp. 16–33, 2007.
- [4] R. A. L. Widyawati, "Green Building dalam Pembangunan Berkelanjutan," *J. KaLIBRASI*, 2019.
- [5] J. Thoengsal, *Konsep Konstruksi Hijau (Green Construction)*. Insight Mediatama, 2024.
- [6] F. Aslaksen et al., *Planning for All*. Gladnet.
- [7] J. E. Bowles, *Foundation Analysis and Design*, 5th ed. New York: McGraw-Hill, 1996.
- [8] D. P. Coduto, *Foundation Design: Principles and Practices*. Prentice Hall, 2001.
- [9] B. M. Das, *Principles of Foundation Engineering*, 7th ed. Cengage Learning, 2010.
- [10] J. H. Schmertmann, *Guidelines for Cone Penetration Test*. USDOT, 1978.
- [11] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 8460:2017 Tata Cara Perencanaan Pondasi Untuk Rumah dan Gedung*, 2017.
- [12] Kementerian PUPR, *Permen PUPR No. 28/PRT/M/2015 tentang Bangunan Gedung Hijau*, 2015.
- [13] Pemerintah Indonesia, *PP No. 70 Tahun 2009 tentang Konservasi Energi*, LN Nomor 5083, 2009.
- [14] M. V. C. Kisbandy, "Optimalisasi Biaya Pekerjaan Pondasi dan Metode Pelaksanaan Pondasi Sumuran pada Pembangunan Gedung Kesehatan Rumah Sakit Jiwa Prof. Dr. VL Ratumbuang Manado," Doctoral dissertation, Politeknik Negeri Manado, 2016.
- [15] L. Chandra, D. Prayogo, and Y. T. Susanto, "Optimasi Biaya Pondasi Bored Pile dengan Metode Metaheuristik," *Dimensi Utama Tek. Sipil*, vol. 8, no. 1, pp. 78–95, 2021.
- [16] Kasmianti, "Pendekatan Bangunan Hemat Energi," Skripsi, Universitas Medan Area, 2023.
- [17] I. Idayu, "Landasan Teori dan Program Mall dengan *Eco-Building* System di Semarang," Doctoral dissertation, Prodi Arsitektur UNIKA Soegijapranata, 2013.
- [18] H. Meiranisa, "Desain Interior Gedung Kampus Departemen Teknik Elektro ITS dengan Konsep Modern Smart-Eco Interior," Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2019.
- [19] C. A. Larasati, D. A. Dzaky, A. Nurdiana, and B. Setiabudi, "Optimalisasi Desain Struktur Gedung Interdisciplinary Engineering (IDE) – Fakultas Teknik Universitas Indonesia dengan Memanfaatkan BIM (Building Information Modelling)," *J. Sipil dan Arsitektur*, vol. 2, no. 3, pp. 22–33, 2024.
- [20] H. A. Muchti, D. I. Mazni, H. Herman, and W. Boy, "Optimalisasi Perencanaan Pondasi Rakit pada Bangunan Pendidikan Tinggi," *J. Bangunan, Konstruksi & Desain*, vol. 2, no. 4, pp. 262–272, 2024.