

Analisis Pengaruh Jarak Excavator terhadap Stabilitas Dinding Penahan Tanah Menggunakan Pendekatan Beban Garis (Studi Kasus: Konstruksi Kanal di Batam)

Ryan Maulana*, Junaidi

Program Studi Teknik Perancangan Jalan dan Jembatan, Politeknik Negeri Bengkalis

ARTICLE INFO

Kata Kunci:

Beban garis; Dinding penahan tanah; Excavator; Stabilitas; Tekanan tanah lateral.

***Correspondence email:**

ryan31maulana0304@gmail.com

Submitted: 25 Juli 2026

Revised: 04 Agustus 2026

Accepted: 04 Agustus 2026

Published: 05 Agustus 2026

ABSTRAK

Penggunaan alat berat pada pelaksanaan konstruksi berpotensi menghasilkan beban tambahan yang dapat memengaruhi stabilitas dinding penahan tanah, terutama apabila beroperasi pada jarak yang dekat dengan struktur. Pada proyek pembangunan kompleks penginapan mewah di Kota Batam, konstruksi kanal pada STA 0+220–0+230 mengalami keruntuhan guling yang diduga dipengaruhi oleh beban operasional Excavator Hyundai R140LC-9S. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi jarak operasional excavator terhadap stabilitas dinding penahan tanah menggunakan pendekatan beban garis. Penelitian dilakukan dengan metode analitis melalui perhitungan manual tekanan tanah lateral, stabilitas terhadap guling, geser, dan kapasitas dukung tanah pada kondisi eksisting, kemudian dilanjutkan dengan perhitungan manual beban garis yang diperoleh dari penyederhanaan beban excavator serta analisis pengaruh variasi jarak operasional excavator terhadap perubahan faktor keamanan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kondisi eksisting diperoleh faktor keamanan terhadap guling, geser, dan kapasitas dukung tanah masing-masing sebesar 2,337, 1,676, dan 4,245. Pada jarak operasional 2 m, faktor keamanan menurun menjadi 1,831, 1,306, dan 1,907, sedangkan pada jarak 4 m meningkat menjadi 2,128, 1,514, dan 3,021, sehingga seluruh aspek stabilitas kembali memenuhi persyaratan SNI 8460:2017. Berdasarkan hasil tersebut, semakin dekat jarak operasional excavator terhadap dinding penahan tanah, semakin besar penurunan faktor keamanan yang terjadi. Dari variasi jarak yang dianalisis, jarak 4 m merupakan jarak terkecil yang memenuhi seluruh persyaratan faktor keamanan berdasarkan SNI 8460:2017.

ABSTRACT

Keywords:

Excavator; Line load; Lateral earth pressure; Retaining wall; Stability.

The operation of heavy equipment during construction activities generates additional loads that may affect the stability of retaining walls, particularly when the equipment operates close to the structure. In the construction project of a luxury accommodation complex in Batam City, the canal structure at STA 0+220–0+230 experienced an overturning failure, which was presumed to be influenced by the operational load of a Hyundai R140LC-9S excavator. This study aims to analyze the effect of excavator operating distance on retaining wall stability using a line load approach. The research employed an analytical method through manual calculations of lateral earth pressure, overturning stability, sliding stability, and bearing capacity under the existing condition, followed by manual line load calculations obtained by simplifying the excavator load and evaluating the effect of different excavator operating distances on the safety factors. The results indicate that the safety factors for overturning, sliding, and bearing capacity under the existing condition were 2.337, 1.676, and 4.245, respectively. When the excavator operated at a distance of 2 m, the safety factors decreased to 1.831, 1.306, and 1.907, respectively. At an operating distance of 4 m, the safety factors increased to 2.128, 1.514, and 3.021, respectively, satisfying the minimum requirements specified in SNI 8460:2017. Therefore, the closer the excavator operates to the retaining wall, the greater the reduction in stability. Among the operating distances evaluated in this study, 4 m was the shortest distance that satisfied all safety-factor requirements specified in SNI 8460:2017.

PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur yang terus meningkat mendorong penggunaan alat berat sebagai salah satu komponen utama dalam pelaksanaan proyek konstruksi. Wardani et al. (2022) menjelaskan bahwa penggunaan alat berat yang tepat mampu meningkatkan produktivitas pekerjaan serta mempercepat penyelesaian proyek, terutama pada pekerjaan tanah yang meliputi penggalian, pemuatan, dan pemindahan material. Selanjutnya, Octavia et al. (2021)

menyatakan bahwa excavator merupakan salah satu alat berat yang paling banyak digunakan karena memiliki fleksibilitas yang tinggi dalam mendukung berbagai pekerjaan konstruksi, seperti pembangunan jalan, gedung, bendungan, maupun saluran dan kanal. Selain itu, Efriansyah et al. (2022) mengemukakan bahwa pemilihan kombinasi alat berat yang sesuai berpengaruh terhadap efisiensi waktu dan biaya pelaksanaan proyek sehingga diperlukan perencanaan penggunaan alat yang optimal. Sejalan dengan hal tersebut, Alfandi et al. (2023) menjelaskan bahwa excavator menjadi salah satu alat berat yang hampir selalu digunakan pada proyek konstruksi karena mampu mendukung efektivitas pelaksanaan pekerjaan sekaligus meningkatkan pencapaian target proyek dari aspek waktu, biaya, dan mutu.

Dinding penahan tanah dirancang untuk menahan tekanan tanah lateral sehingga mampu menjaga kestabilan tanah pada kondisi perbedaan elevasi maupun lereng buatan. Widyastomo et al. (2020) menjelaskan bahwa selain menerima tekanan tanah aktif, stabilitas dinding penahan tanah juga dipengaruhi oleh beban tambahan (*surcharge load*) yang bekerja di atas permukaan tanah di belakang struktur sehingga meningkatkan tekanan tanah lateral yang diterima dinding. Selanjutnya, Hasibuan et al. (2021) menyatakan bahwa beban tambahan tersebut dapat berasal dari timbunan, bangunan, lalu lintas kendaraan, maupun aktivitas alat berat selama proses konstruksi. Muchtar et al. (2022) mengemukakan bahwa keberadaan beban tambahan perlu diperhitungkan dalam analisis stabilitas karena dapat memengaruhi faktor keamanan dinding penahan tanah terhadap geser, guling, dan daya dukung tanah. Sejalan dengan hal tersebut, Saleh et al. (2024) menunjukkan bahwa pengaruh beban tambahan yang tidak diperhitungkan secara tepat dapat menyebabkan penurunan stabilitas struktur dan meningkatkan risiko terjadinya kegagalan konstruksi.

Dalam pelaksanaan pekerjaan tanah, excavator merupakan salah satu alat berat yang menghasilkan beban tambahan (*construction surcharge*) pada permukaan tanah di sekitar area kerja. Menurut Saputri et al. (2026), beban yang bekerja di belakang dinding penahan tanah harus diperhitungkan dalam perencanaan karena dapat meningkatkan tekanan tanah lateral yang memengaruhi stabilitas struktur. Sejalan dengan itu, Choirulloh et al. (2026) menjelaskan bahwa perubahan distribusi tegangan akibat pembebanan akan memengaruhi respons tegangan pada dinding penahan tanah. Febrijanto et al. (2024) menyatakan bahwa evaluasi stabilitas dinding penahan tanah harus dilakukan terhadap potensi kegagalan guling (*overturning*), geser (*sliding*), dan kapasitas dukung tanah (*bearing capacity*), sehingga struktur yang direncanakan mampu menahan tekanan tanah secara aman sesuai persyaratan faktor keamanan. Selain itu, Lestari et al. (2025) menunjukkan bahwa evaluasi stabilitas dinding penahan tanah perlu mempertimbangkan kondisi pembebanan yang bekerja pada struktur agar faktor keamanan tetap memenuhi persyaratan. Oleh karena itu, pengaruh posisi atau jarak operasional excavator terhadap dinding penahan tanah menjadi aspek yang penting untuk dianalisis lebih lanjut, mengingat perubahan posisi beban berpotensi memengaruhi distribusi tekanan tanah lateral dan tingkat stabilitas struktur.

Permasalahan dalam penelitian ini dijumpai pada proyek pembangunan kompleks penginapan mewah di Kota Batam yang menggunakan konstruksi kanal sebagai struktur penahan tanah. Pada tahap pelaksanaan konstruksi, tepatnya pada segmen STA 0+220 sampai dengan STA 0+230, terjadi keruntuhan guling yang mengakibatkan terganggunya proses pekerjaan. Berdasarkan hasil observasi lapangan, keberadaan excavator Hyundai R140LC-9S yang beroperasi di sekitar tepi kanal diduga memberikan beban tambahan pada tanah di belakang struktur sehingga berpotensi meningkatkan tekanan tanah lateral. Meskipun objek penelitian merupakan konstruksi kanal, mekanisme kegagalan yang diamati memiliki karakteristik yang serupa dengan dinding penahan tanah, yaitu dipengaruhi oleh tekanan tanah lateral dan stabilitas struktur terhadap gaya guling. Oleh karena itu, dalam penelitian ini stabilitas kanal dianalisis menggunakan pendekatan dinding penahan tanah, sedangkan beban excavator disederhanakan menjadi beban garis (*line load*) untuk merepresentasikan pengaruh pembebanan alat berat terhadap tanah di belakang struktur. Pendekatan tersebut digunakan untuk mengevaluasi pengaruh variasi jarak operasional excavator terhadap stabilitas struktur kanal.

Berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu, Septiani et al. (2024) membahas perancangan dinding penahan tanah dengan meninjau stabilitas struktur dan daya dukung tanah sebagai dasar dalam memperoleh desain yang aman. Selanjutnya, Haryono et al. (2025) menganalisis faktor keamanan dinding penahan tanah terhadap guling, geser, dan daya dukung tanah sebagai dasar dalam mengevaluasi keamanan struktur. Selain itu, Febrijanto et al. (2024) menganalisis stabilitas dinding penahan tanah tipe kantilever, gravitasi, dan *sheet pile* sebagai alternatif perkuatan lereng, serta menunjukkan bahwa pemilihan tipe dinding penahan tanah yang tepat berpengaruh terhadap peningkatan stabilitas lereng dan keamanan konstruksi. Meskipun penelitian-penelitian tersebut telah memberikan kontribusi dalam pengembangan analisis stabilitas dinding penahan tanah, kajian yang secara khusus membahas pengaruh variasi jarak operasional excavator terhadap stabilitas dinding penahan tanah menggunakan pendekatan beban garis pada konstruksi kanal masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini menawarkan kebaruan melalui analisis pengaruh variasi jarak excavator terhadap stabilitas dinding penahan tanah dengan menyederhanakan beban excavator sebagai beban garis pada studi kasus konstruksi kanal di Batam. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu acuan dalam menentukan jarak operasional excavator yang lebih aman selama pelaksanaan konstruksi.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi jarak operasional excavator terhadap stabilitas dinding penahan tanah pada konstruksi kanal di Batam dengan menggunakan pendekatan beban garis. Analisis dilakukan untuk mengetahui perubahan tingkat stabilitas struktur akibat variasi jarak pembebanan excavator serta mengidentifikasi jarak operasional yang mampu memenuhi persyaratan faktor keamanan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam perencanaan dan pelaksanaan pekerjaan konstruksi, khususnya sebagai dasar pertimbangan dalam menentukan jarak operasional excavator yang lebih aman di sekitar dinding penahan tanah atau konstruksi sejenis sehingga risiko kegagalan struktur selama pelaksanaan konstruksi dapat diminimalkan.

METODE

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang meliputi data parameter tanah hasil penyelidikan tanah, serta data dimensi konstruksi kanal yang diperoleh dari dokumen perencanaan proyek pada lokasi studi kasus di Kota Batam. Data spesifikasi teknis Excavator Hyundai R140LC-9S yang diperoleh dari *Hyundai Construction Equipment India Pvt. Ltd. (2021)*. Objek penelitian difokuskan pada konstruksi kanal pada STA 0+220 sampai dengan STA 0+230 yang mengalami keruntuhan guling selama pelaksanaan konstruksi. Penelitian ini menggunakan metode analitis untuk mengevaluasi pengaruh variasi jarak operasional excavator terhadap stabilitas dinding penahan tanah dengan pendekatan beban garis. Analisis dilakukan melalui perhitungan tekanan tanah lateral akibat beban tambahan, kemudian dilanjutkan dengan analisis stabilitas dinding penahan tanah terhadap guling, geser, dan daya dukung tanah. Langkah-langkah penelitian dilakukan sebagai berikut:

1. Parameter Tanah

Parameter tanah yang digunakan dalam penelitian diperoleh dari data penyelidikan tanah yang diambil dari data proyek di lokasi studi kasus, yang kemudian digunakan sebagai dasar dalam analisis tekanan tanah lateral dan stabilitas dinding penahan tanah. Parameter tanah yang digunakan meliputi berat isi tanah (γ), kohesi tanah (c), dan sudut geser dalam (ϕ).

2. Perhitungan Tekanan Tanah Lateral

Perhitungan tekanan tanah lateral akibat beban tambahan menggunakan teori Rankine. Tekanan tanah aktif dihitung berdasarkan parameter tanah serta pengaruh beban garis yang bekerja di belakang dinding penahan tanah. Pada penelitian ini, perhitungan menggunakan persamaan tekanan tanah pada tanah kohesif.

$$P_a = 0,5 \gamma H^2 K_a - 2cH \sqrt{K_a} \dots\dots\dots (1)$$

$$P_p = 0,5 \gamma H^2 K_p + 2cH \sqrt{K_p} \dots\dots\dots (2)$$

dengan:

- P_a = tekanan tanah aktif total (kN, t)
- P_p = tekanan tanah pasif total (kN, t)
- H = tinggi dinding penahan tanah (m)
- γ = berat volume tanah (kN/m³, t/ m³)
- c = kohesi tanah (kPa atau kN/m²)
- K_a = koefisien tekanan aktif
- K_p = koefisien tekanan pasif

3. Geometri Dinding Penahan Tanah Eksisting

Geometri eksisting didapatkan dari data proyek untuk dimensi DPT dan pengukuran langsung di lapangan terkait bentuk dan elevasi dari tanah eksisting.

4. Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah

Hasil perhitungan tekanan tanah lateral selanjutnya digunakan untuk menganalisis stabilitas dinding penahan tanah dari stabilitas terhadap guling, stabilitas terhadap geser, dan stabilitas terhadap daya dukung, dimana faktor keamanan (KF) minimum merujuk kepada Badan Standardisasi Nasional (BSN, 2017) melalui SNI 8460:2017. Dalam analisis stabilitas terhadap geser, tekanan tanah pasif di depan dinding diperhitungkan sebagai komponen gaya penahan dengan asumsi bahwa tanah di depan dinding tetap tersedia dan tidak mengalami penggalian atau gangguan selama kondisi pembebanan yang dianalisis. Untuk menghindari hasil yang terlalu optimistis, kontribusi tekanan tanah pasif perlu menggunakan faktor reduksi sesuai kondisi lapangan dan sumber rujukan yang digunakan. Faktor keamanan terhadap geser dihitung berdasarkan perbandingan antara total gaya penahan dan total gaya horizontal yang mendorong dinding.

5. Berat Excavator Hyundai R140LC-9S

Berat Excavator Hyundai R140LC-9S diperoleh dari *Hyundai Construction Equipment India Pvt. Ltd. (2021)* yaitu sebesar 13,79 ton. Dalam penelitian ini, jarak excavator didefinisikan sebagai jarak horizontal dari sisi belakang dinding penahan tanah ke garis beban crawler yang paling dekat dengan dinding. Excavator dimodelkan dalam kondisi statis, berat alat diasumsikan terbagi merata pada kedua crawler, dan bucket diasumsikan tanpa muatan

tambahan. Pengaruh dinamis akibat pergerakan alat, putaran upper structure, getaran, dan aktivitas penggalian tidak diperhitungkan.

6. Variasi Jarak Excavator

Variasi jarak pembebanan excavator terhadap dinding penahan tanah ditentukan untuk mengevaluasi perubahan tekanan tanah lateral dan stabilitas struktur. Variasi jarak yang dianalisis terdiri atas 2 m, 2,5 m, 3 m, 3,5 m, dan 4 m.

7. Perhitungan Beban Garis

Beban operasional Excavator Hyundai R140LC-9S disederhanakan menjadi beban garis (*line load*) yang bekerja pada permukaan tanah di belakang dinding penahan tanah. Besarnya beban garis dihitung berdasarkan distribusi beban *crawler* excavator.

$$\sigma_h = \frac{4q}{\pi H} \frac{m^2 n}{(m^2 + n^2)^2} \text{ untuk } m > 0,4 \dots \dots \dots (3)$$

$$\sigma_h = \frac{q}{H} \frac{0,203n^2}{(0,16 + n^2)^2} \text{ untuk } m \leq 0,4 \dots \dots \dots (4)$$

dengan:

σ_h = tekanan tanah lateral akibat beban (kN/m², t/m²)

q = beban garis (kN/m, t/m)

H = tinggi dinding penahan tanah (m)

m = jarak horizontal beban titik terhadap dinding (m) dibagi tinggi DPT (m)

n = kedalaman titik tinjau dari permukaan tanah (m) dibagi tinggi DPT (m)

HASIL

Hasil pada penelitian ini disajikan berdasarkan tahapan analisis yang telah dilakukan. Analisis diawali dengan perhitungan tekanan tanah lateral pada kondisi eksisting sebagai dasar dalam mengevaluasi stabilitas dinding penahan tanah tanpa beban tambahan. Selanjutnya dilakukan perhitungan beban garis (*line load*) yang merepresentasikan beban operasional excavator, kemudian dianalisis pengaruh variasi jarak operasional excavator terhadap stabilitas dinding penahan tanah. Hasil analisis pada setiap variasi jarak dibandingkan untuk mengetahui perubahan nilai faktor keamanan serta menentukan jarak operasional excavator yang memenuhi persyaratan stabilitas struktur.

1. Data Tanah

Berikut adalah data tanah yang digunakan pada penelitian ini. Dalam penelitian ini, data berat isi tanah jenuh (γ_{sat}) tidak tersedia namun parameter tanah lain seperti angka pori dan berat jenis tersedia, maka peneliti menggunakan rumus pendekatan dari buku Hardiyatmo (2010):

$$\gamma_{sat} = (e + G_s) / (1 + e) \cdot \gamma_w \dots \dots \dots (5)$$

dengan:

γ_{sat} = berat volume tanah jenuh (kN/m³, t/m³)

e = angka pori

G_s = berat jenis

γ_w = berat volume air (kN/m³, t/m³)

Parameter tanah yang diperoleh adalah sebagai berikut:

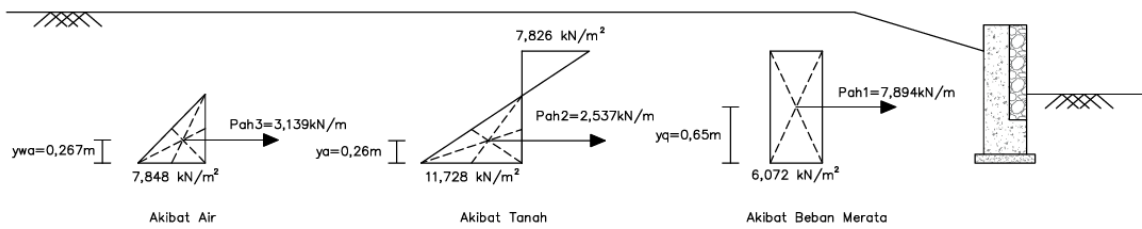
Tabel 1. Parameter Tanah

Deskripsi	Lapisan	γ moist (kN/m ³)	γ sat (kN/m ³)	C (kN/m ²)	ϕ (°)
Lean Clay with Sand	Tanah Timbun Ulang	18,786	18,975	4,395	6,640
Lean Clay with Sand	Tanah 1 (0-6 m)	18,786	18,975	5,494	8,300
Lean Clay with Sand	Tanah 2 (6-10 m)	18,855	19,118	12,164	10,700

Sumber: Data Olahan (2026)

Kanal pada lokasi penelitian merupakan kanal baru yang dibangun melalui proses penggalian tanah asli, sehingga sebelum pembangunan dinding penahan tanah tidak terdapat saluran alami maupun kanal eksisting. Setelah dinding penahan tanah selesai dibangun, tanah hasil galian digunakan kembali sebagai material timbun ulang (*backfill*) pada bagian belakang dinding serta area di depan dinding. Meskipun material timbunan berasal dari tanah asli, proses penggalian, pemindahan, dan penimbunan kembali menyebabkan tanah tidak lagi berada pada kondisi asli (*undisturbed*), melainkan menjadi tanah terganggu (*disturbed*). Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan reduksi parameter kuat geser tanah berupa kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) sebagai pendekatan konservatif untuk kemungkinan perubahan karakteristik kuat geser tanah akibat proses penimbunan kembali. Hardiyatmo (2010) menyatakan bahwa karakteristik kuat geser tanah dipengaruhi oleh kondisi tanah, kadar air, dan

Berdasarkan perhitungan di atas, diperoleh tekanan tanah aktif total sebesar 13,570 kN/m.



Gambar 3. Diagram Tekanan Tanah Aktif

Sumber: Data Olahan (2026)

5. Menghitung Tekanan Tanah Pasif

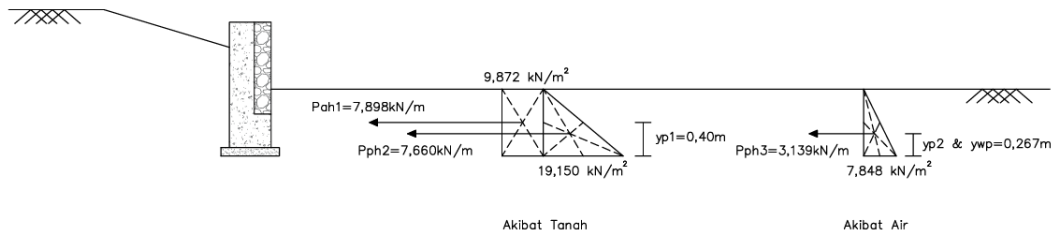
Perhitungan tekanan tanah pasif dilakukan untuk menentukan besarnya tekanan lateral yang bekerja di depan dinding penahan tanah sebagai gaya perlawanan terhadap pergerakan struktur. Perhitungan menggunakan parameter tanah pada penelitian ini, dan hasil perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Menghitung Tekanan Tanah Pasif

Beban Akibat	c (kN/m ²)	γ sat (kN/m ³)	γ air (kN/m ³)	Kp	σ'p (kN/m ²)	PpH (kN/m)
Tanah 1	4,395	18,975	9,81	1,337	9,872	7,898
Tanah 2	N/A	18,975	9,81	1,337	19,150	7,660
Air	N/A	N/A	9,81	1,337	7,848	3,139
Jumlah						18,697

Sumber: Data Olahan (2026)

Berdasarkan perhitungan di atas, diperoleh tekanan tanah pasif total sebesar 18,697 kN/m.

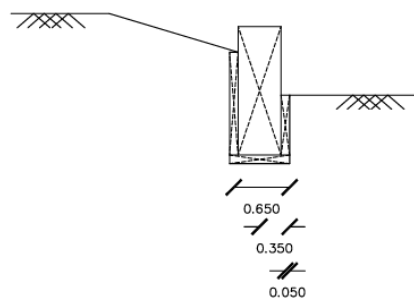


Gambar 4. Diagram Tekanan Tanah Pasif

Sumber: Data Olahan (2026)

6. Menghitung Momen Menahan dari Berat DPT

Perhitungan momen menahan dilakukan untuk menentukan kemampuan dinding penahan tanah dalam menahan kecenderungan keruntuhan guling. Momen menahan diperoleh dari kontribusi berat sendiri dinding penahan tanah, berat tanah, dan beban merata akibat tanah yang bekerja pada struktur. Hasil perhitungan momen menahan dapat dilihat pada Tabel 4.



Gambar 5. Jarak Momen yang Menahan

Sumber: Data Olahan (2026)

Tabel 4. Menghitung Momen yang Menahan

Berat Yang Menahan Momen Lateral	Berat (kN)	X (m)	M (kN.m)
DPT	22,536	0,35	7,887
Tanah 1	2,277	0,65	1,480
Tanah 2	1,328	0,05	0,066
Beban Merata	0,019	0,65	0,012
		ΣMR	9,446

Sumber: Data Olahan (2026)

Berdasarkan Tabel 4, total momen menahan yang diperoleh sebesar 9,446 kN.m. Nilai tersebut merupakan hasil penjumlahan momen yang dihasilkan oleh berat sendiri dinding penahan tanah, berat tanah di atas pondasi, serta beban merata akibat tanah. Kontribusi terbesar terhadap momen menahan berasal dari berat sendiri dinding penahan tanah sebesar 7,887 kN.m. Besarnya momen menahan ini menunjukkan bahwa berat sendiri struktur merupakan komponen utama yang berperan dalam meningkatkan ketahanan dinding penahan tanah terhadap kecenderungan keruntuhan guling.

7. Menghitung Stabilitas Guling

Analisis stabilitas terhadap guling dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan dinding penahan tanah dalam menahan kecenderungan keruntuhan akibat tekanan tanah lateral. Pada penelitian ini, gaya tekanan tanah aktif horizontal (PaH) dikalikan dengan panjang momen per 1 meter dan jarak titik berat gaya terhadap titik putar sehingga diperoleh momen pengguling (*overturning moment*). Sebaliknya, gaya tekanan tanah pasif horizontal (PpH) dikalikan dengan panjang momen per 1 meter dan jarak titik beratnya sehingga menghasilkan momen penahan yang membantu meningkatkan stabilitas struktur. Selain momen akibat tekanan tanah pasif, momen penahan juga diperoleh dari kontribusi berat sendiri dinding penahan tanah, berat tanah, dan beban merata akibat tanah. Selanjutnya, faktor keamanan terhadap guling dihitung berdasarkan perbandingan antara total momen penahan dan total momen pengguling. Hasil perhitungan stabilitas terhadap guling dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Menghitung FK Guling

ΣMgl (kN.m)	$\Sigma Mthn$ (kN.m)	ΣMR (kN.m)	FK Guling
6,627	6,039	9,446	2,337

Sumber: Data Olahan (2026)

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai faktor keamanan terhadap guling sebesar 2,337. Nilai tersebut menunjukkan bahwa dinding penahan tanah berada dalam kondisi stabil terhadap potensi keruntuhan guling, karena telah memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam SNI 8460:2017 yaitu sebesar 2,0. Dengan demikian, pada kondisi eksisting tanpa beban tambahan, dinding penahan tanah masih memiliki kemampuan yang memadai untuk menahan momen pengguling yang bekerja pada struktur.

8. Menghitung Stabilitas Geser

Perhitungan stabilitas terhadap geser dilakukan untuk mengetahui kemampuan dinding penahan tanah dalam menahan gaya horizontal yang bekerja pada struktur. Gaya pendorong berasal dari tekanan tanah aktif horizontal (PaH), sedangkan gaya penahan dihitung dari gaya gesek yang dihasilkan oleh beban vertikal pada pondasi serta tekanan tanah pasif horizontal (PpH). Berdasarkan komponen gaya tersebut, diperoleh nilai faktor keamanan terhadap geser melalui perbandingan antara total gaya penahan dan total gaya pendorong. Hasil perhitungan stabilitas terhadap geser disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Menghitung FK Geser

ΣPaH (kN/m)	ΣPpH (kN/m)	ϕ (°)	c (kN/m ²)	B (m)	ΣRh (kN/m)	FK Geser
13,570	18,697	6,640	4,395	0,700	4,052	1,676

Sumber: Data Olahan (2026)

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai faktor keamanan terhadap geser sebesar 1,676. Nilai tersebut menunjukkan bahwa dinding penahan tanah berada dalam kondisi aman terhadap potensi keruntuhan geser karena telah memenuhi persyaratan SNI 8460:2017 yaitu sebesar 1,5. Hasil ini menunjukkan bahwa pada kondisi eksisting tanpa beban tambahan, dinding penahan tanah masih memiliki kemampuan yang memadai untuk menahan pergeseran horizontal.

9. Menghitung Kapasitas Dukung

Analisis kapasitas dukung tanah dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan tanah dasar dalam menahan beban yang diteruskan oleh dinding penahan tanah tanpa mengalami keruntuhan daya dukung. Perhitungan kapasitas dukung mempertimbangkan parameter tanah, dimensi pondasi, serta beban yang bekerja pada struktur. Selanjutnya, kapasitas dukung ultimit dibandingkan dengan tekanan yang terjadi pada dasar pondasi untuk memperoleh nilai faktor keamanan terhadap daya dukung tanah. Hasil perhitungan kapasitas dukung tanah dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Menghitung FK Kapasitas Dukung

B (m)	e (m)	B' (m)	ϕ (°)	c (kN/m ²)	p _o (kN/m ²)	q _{max} (kN/m ²)	q _{ult} (kN/m ²)	FK
0,700	0,011	0,677	6,640	4,395	15,180	20,161	85,588	4,245

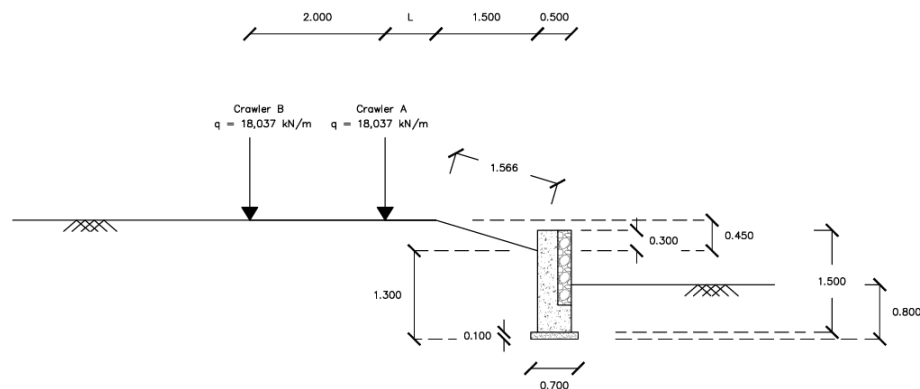
Sumber: Data Olahan (2026)

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai faktor keamanan terhadap kapasitas dukung tanah sebesar 4,245. Nilai tersebut menunjukkan bahwa tanah dasar memiliki kemampuan yang memadai dalam menahan beban yang diteruskan oleh dinding penahan tanah, karena telah memenuhi persyaratan SNI 8460:2017 yaitu sebesar 3,0. Dengan demikian, pada kondisi eksisting tanpa beban tambahan, tekanan yang bekerja pada dasar pondasi masih berada di bawah kapasitas dukung izin tanah, sehingga risiko terjadinya keruntuhan akibat kegagalan daya dukung dapat dinyatakan aman.

10. Menghitung Berat Excavator Hyundai R140LC-9S

Perhitungan beban excavator dilakukan untuk menentukan besarnya beban tambahan yang bekerja di belakang dinding penahan tanah. Pada penelitian ini digunakan Excavator Hyundai R140LC-9S, dengan data spesifikasi yang diperoleh dari *Hyundai Construction Equipment India Pvt. Ltd. (2021)* yaitu sebesar 13,79 ton atau sama dengan 135,28 kN dengan panjang *crawler* adalah 3,75 m. Berat excavator kemudian didistribusikan kepada dua *crawler* yang diasumsikan menerima beban secara merata. Selanjutnya, beban pada masing-masing *crawler* disederhanakan menjadi beban garis (*line load*) sehingga dapat digunakan dalam analisis pengaruh beban tambahan terhadap stabilitas dinding penahan tanah.

$$\begin{aligned}
 q &= P_{exc} / LC / 2 \\
 &= 135,28 / 3,75 / 2 \\
 &= 18,037 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$



Gambar 6. Pemodelan Beban Garis

Sumber: Data Olahan (2026)

11. Menghitung Beban Garis pada Variasi Jarak Excavator

Perhitungan beban garis (*line load*) dilakukan untuk mengetahui besarnya tambahan tekanan tanah lateral akibat beban operasional excavator pada setiap variasi jarak terhadap dinding penahan tanah. Beban yang telah didistribusikan ke masing-masing *crawler* kemudian disederhanakan menjadi beban garis dan dianalisis pada variasi jarak yang telah ditentukan. Selanjutnya, tegangan lateral akibat beban garis dihitung pada interval kedalaman 0,1 m sepanjang tinggi dinding penahan tanah sehingga diperoleh distribusi tekanan lateral akibat beban garis. Luas diagram distribusi tekanan tersebut dihitung untuk memperoleh resultan tekanan tanah lateral akibat beban garis, sedangkan titik berat diagram digunakan untuk menentukan letak resultan gaya yang selanjutnya digunakan dalam analisis momen pengguling. Tegangan lateral akibat beban garis ini akan meningkatkan tekanan tanah aktif horizontal (PaH) yang akan memengaruhi stabilitas dari DPT.

Tabel 8. Menghitung FK Guling pada Jarak Excavator 2 m

ΣM_{gl} (kN.m)	ΣM_{thn} (kN.m)	ΣMR (kN.m)	FK Guling
8,458	6,039	9,446	1,831

Sumber: Data Olahan (2026)

Tabel 9. Menghitung FK Geser pada Jarak Excavator 2 m

ΣP_{ah} (kN/m)	ΣP_{pH} (kN/m)	ϕ (°)	c (kN/m ²)	B (m)	ΣR_h (kN/m)	FK Geser
17,422	18,697	6,640	4,395	0,700	4,052	1,306

Sumber: Data Olahan (2026)

Tabel 10. Menghitung FK Kapasitas Dukung pada Jarak Excavator 2 m

B (m)	e (m)	B' (m)	ϕ (°)	c (kN/m ²)	p_o (kN/m ²)	q_{max} (kN/m ²)	q_{ult} (kN/m ²)	FK
0,700	0,081	0,537	6,640	4,395	15,180	39,467	75,237	1,907

Sumber: Data Olahan (2026)

Berdasarkan Tabel 8, diperoleh faktor keamanan terhadap guling sebesar 1,831. Nilai tersebut lebih kecil dari faktor keamanan minimum yang dipersyaratkan dalam SNI 8460:2017, yaitu sebesar 2,0, sehingga dinding penahan tanah dinyatakan tidak aman terhadap keruntuhan guling. Selanjutnya, berdasarkan Tabel 9, diperoleh faktor keamanan terhadap geser sebesar 1,306. Nilai tersebut juga belum memenuhi persyaratan minimum SNI 8460:2017, yaitu sebesar 1,5, sehingga dinding penahan tanah dinyatakan tidak aman terhadap keruntuhan geser. Sementara itu, berdasarkan Tabel 10, diperoleh faktor keamanan terhadap kapasitas dukung tanah sebesar 1,907. Nilai tersebut lebih kecil dari faktor keamanan minimum yang dipersyaratkan dalam SNI 8460:2017, yaitu sebesar 3,0, sehingga dinding penahan tanah masih dinyatakan tidak aman terhadap kegagalan kapasitas dukung tanah. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan beban garis akibat excavator pada jarak 2 m meningkatkan tekanan tanah lateral yang berdampak pada bertambahnya momen pengguling dan gaya geser, sehingga menurunkan stabilitas dinding penahan tanah. Meskipun demikian, kapasitas dukung tanah masih mampu menahan beban yang bekerja sehingga tetap memenuhi persyaratan keamanan.

Tabel 11. Menghitung FK Guling pada Jarak Excavator 4 m

ΣM_{gl} (kN.m)	ΣM_{thn} (kN.m)	ΣMR (kN.m)	FK Guling
7,278	6,039	9,446	2,128

Sumber: Data Olahan (2026)

Tabel 12. Menghitung FK Geser pada Jarak Excavator 4 m

ΣP_{ah} (kN/m)	ΣP_{pH} (kN/m)	ϕ (°)	c (kN/m ²)	B (m)	ΣR_h (kN/m)	FK Geser
15,028	18,697	6,640	4,395	0,700	4,052	1,514

Sumber: Data Olahan (2026)

Tabel 13. Menghitung FK Kapasitas Dukung pada Jarak Excavator 4 m

B (m)	e (m)	B' (m)	ϕ (°)	c (kN/m ²)	p_o (kN/m ²)	q_{max} (kN/m ²)	q_{ult} (kN/m ²)	FK
0,700	0,036	0,627	6,640	4,395	15,180	27,024	81,631	3,021

Sumber: Data Olahan (2026)

Berdasarkan Tabel 11, diperoleh faktor keamanan terhadap guling sebesar 2,128. Nilai tersebut telah memenuhi persyaratan minimum SNI 8460:2017, yaitu sebesar 2,0, sehingga dinding penahan tanah dinyatakan aman terhadap keruntuhan guling. Selanjutnya, berdasarkan Tabel 12, diperoleh faktor keamanan terhadap geser sebesar 1,514. Nilai tersebut juga telah memenuhi persyaratan minimum SNI 8460:2017, yaitu sebesar 1,5, sehingga dinding penahan tanah dinyatakan aman terhadap keruntuhan geser. Sementara itu, berdasarkan Tabel 13, diperoleh faktor keamanan terhadap kapasitas dukung tanah sebesar 3,021. Nilai tersebut lebih besar dari faktor keamanan minimum yang dipersyaratkan dalam SNI 8460:2017, yaitu sebesar 3,0, sehingga dinding penahan tanah masih dinyatakan aman terhadap kegagalan kapasitas dukung tanah. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pada jarak

operasional excavator 4 m, penambahan beban garis tidak lagi menyebabkan penurunan faktor keamanan hingga di bawah batas yang dipersyaratkan, sehingga seluruh aspek stabilitas dinding penahan tanah telah memenuhi kriteria keamanan.

Tabel 14. Rekapitulasi Faktor Keamanan dari Variasi Jarak Excavator

Stabilitas	Faktor Keamanan				
	Jarak Excavator Hyundai R140LC-9S				
	2 m	2,5 m	3 m	3,5 m	4 m
Guling	1,831	1,944	2,025	2,084	2,128
Geser	1,306	1,382	1,438	1,481	1,514
Kapasitas Dukung	1,907	2,269	2,571	2,818	3,021

Sumber: Data Olahan (2026)

Berdasarkan Tabel 14, terlihat bahwa semakin besar jarak operasional excavator terhadap dinding penahan tanah, maka nilai faktor keamanan cenderung meningkat pada seluruh aspek stabilitas. Faktor keamanan terhadap guling meningkat dari 1,831 pada jarak 2 m menjadi 2,128 pada jarak 4 m, sedangkan faktor keamanan terhadap geser meningkat dari 1,306 menjadi 1,514. Peningkatan juga terjadi pada faktor keamanan terhadap kapasitas dukung tanah, yaitu dari 1,907 menjadi 3,021. Hasil tersebut menunjukkan bahwa bertambahnya jarak excavator mengurangi pengaruh beban garis terhadap tekanan tanah lateral, sehingga momen pengguling dan gaya horizontal yang bekerja pada dinding penahan tanah semakin kecil. Berdasarkan SNI 8460:2017, kondisi pada jarak 2 m dan 2,5 m belum memenuhi persyaratan stabilitas terhadap guling, geser, dan kapasitas dukung, sedangkan pada jarak 3 m faktor keamanan terhadap guling telah memenuhi persyaratan, namun faktor keamanan terhadap geser dan kapasitas dukung masih belum memenuhi persyaratan. Oleh karena itu, dari variasi jarak yang dianalisis, jarak 4 m merupakan jarak terkecil yang memenuhi seluruh persyaratan stabilitas dinding penahan tanah.

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa jarak operasional excavator memberikan pengaruh yang jelas terhadap stabilitas dinding penahan tanah. Penambahan beban garis akibat excavator meningkatkan tekanan tanah lateral di belakang dinding penahan tanah sehingga menyebabkan bertambahnya momen pengguling dan gaya horizontal yang bekerja pada struktur. Kondisi tersebut mengakibatkan terjadinya penurunan nilai faktor keamanan terhadap guling, geser, dan kapasitas dukung tanah dibandingkan dengan kondisi tanpa beban tambahan. Semakin dekat posisi excavator terhadap dinding penahan tanah, semakin besar pengaruh beban garis yang diterima struktur sehingga stabilitas dinding penahan tanah semakin menurun.

Pada variasi jarak 2 m dan 2,5 m, faktor keamanan terhadap guling, geser, dan kapasitas dukung belum memenuhi persyaratan SNI 8460:2017. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan beban excavator memengaruhi stabilitas terhadap keruntuhan guling, geser, dan kapasitas dukung. Seiring bertambahnya jarak operasional excavator, pengaruh beban garis terhadap tekanan tanah lateral semakin berkurang sehingga nilai faktor keamanan meningkat secara bertahap. Pada jarak 4 m, seluruh faktor keamanan telah memenuhi persyaratan SNI 8460:2017, yaitu faktor keamanan terhadap guling sebesar 2,128, geser sebesar 1,514, dan kapasitas dukung sebesar 3,021, sehingga jarak tersebut dapat direkomendasikan sebagai jarak operasional excavator yang aman pada kondisi geometri dan parameter tanah yang dianalisis.

Temuan penelitian ini sejalan dengan konsep distribusi tegangan akibat beban permukaan, yaitu bahwa pengaruh beban akan semakin berkurang seiring bertambahnya jarak dari titik pembebanan terhadap struktur penahan tanah. Dengan demikian, penyederhanaan beban operasional excavator menjadi beban garis mampu menggambarkan pengaruh variasi jarak terhadap perubahan tekanan tanah lateral dan stabilitas dinding penahan tanah secara analitis. Pendekatan ini dapat menjadi alternatif yang sederhana dalam mengevaluasi pengaruh operasional alat berat pada tahap konstruksi, terutama ketika diperlukan analisis awal tanpa menggunakan pemodelan numerik yang lebih kompleks.

Hasil penelitian ini terbatas pada geometri dinding, parameter tanah, kondisi muka air, dan asumsi pembebanan yang digunakan dalam studi kasus. Beban excavator disederhanakan sebagai beban garis statis dengan distribusi beban merata pada kedua crawler serta tanpa mempertimbangkan muatan bucket dan pengaruh dinamis alat. Selain itu, variasi jarak dianalisis pada interval 0,5 m sehingga batas aman yang lebih tepat di antara jarak 3,5 dan 4 m belum ditentukan.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa dinding penahan tanah pada kondisi eksisting tanpa beban tambahan memiliki faktor keamanan terhadap guling, geser, dan kapasitas dukung tanah masing-masing sebesar

2,337, 1,676, dan 4,245, sehingga seluruh aspek stabilitas telah memenuhi persyaratan SNI 8460:2017. Penambahan beban operasional excavator yang disederhanakan menjadi beban garis menyebabkan peningkatan tekanan tanah lateral sehingga menurunkan nilai faktor keamanan dinding penahan tanah. Pada jarak operasional 2 m, faktor keamanan terhadap guling, geser, dan kapasitas dukung tanah berturut-turut menjadi 1,831, 1,306, dan 1,907, di mana faktor keamanan terhadap guling, geser, dan kapasitas dukung tidak lagi memenuhi persyaratan SNI 8460:2017. Seiring bertambahnya jarak operasional excavator, nilai faktor keamanan meningkat secara bertahap. Pada jarak 4 m, diperoleh faktor keamanan terhadap guling sebesar 2,128, terhadap geser sebesar 1,514, dan terhadap kapasitas dukung tanah sebesar 3,021, sehingga seluruh aspek stabilitas kembali memenuhi persyaratan SNI 8460:2017. Oleh karena itu, berdasarkan kondisi geometri dinding penahan tanah, parameter tanah, dan pembebanan pada studi kasus konstruksi kanal di Batam, jarak 4 m merupakan jarak terkecil dari variasi yang dianalisis yang memenuhi seluruh persyaratan faktor keamanan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfandi, B., Abadiyah, S., & Zulfa, A. I. (2023). Analisa produktivitas dan efisiensi alat berat untuk normalisasi Saluran Cisandane Barat Laut Kb. Tangerang. *Structure Jurnal Sipil*, 5(1), 30–39. <https://doi.org/10.31000/civil.v5i1.8264>
- Badan Standardisasi Nasional. (2017). SNI 8460:2017: *Persyaratan perancangan geoteknik*.
- Choirulloh, D., Herison, A., Syah, A., Romdania, Y., Patakom, K., & Setyanugraha, T. (2026). Analisis respons tegangan dinding penahan tanah akibat beban lateral dan hidrostatik. *Rekayasa: Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Lampung*, 30(1), 18–24. <https://doi.org/10.23960/rekrjits.v30i1.150>
- Efriansyah, M., Prihutomo, N. B., & Pramono, E. (2022). Analisis produktivitas excavator dan dumptruck pada pekerjaan galian tanah pada Proyek Jalan Tol Jakarta – Cikampek II Selatan. *MoDuluS: Media Komunikasi Dunia Ilmu Sipil*, 4(1), 9–15. <https://doi.org/10.32585/modulus.v4i1.1823>
- Febrijanto, R., Zhafirah, A., & Rohadatul Aisy A, A. (2024). Analisis stabilitas dinding penahan tanah tipe kantilever, gravitasi, dan sheet pile. *Jurnal Konstruksi*, 22(2), 15–22. <https://doi.org/10.33364/konstruksi/v.22-2.1631>
- Hardiyatmo, H. C. (2010). *Analisis dan perancangan fondasi I*. Gadjah Mada University Press.
- Haryono, M. I. Y. I., Solin, D. P., & Farichah, H. (2025). Perbandingan stabilitas dinding penahan tanah tipe bronjong dengan tipe kantilever di Kabupaten Probolinggo. *Jurnal Talenta Sipil*, 8(2), 914–923. <https://doi.org/10.33087/talentsipil.v8i2.1011>
- Hasibuan, E. A., Tanjung, D., & Pasaribu, B. (2021). Analisa dinding penahan tanah akibat beban dinamis di Desa Nabundong Kabupaten Padang Lawas Utara Kecamatan Hulu Sihapas. *Buletin Utama Teknik*, 17(1), 65–73. <https://jurnal.uisu.ac.id/index.php/but/article/view/4317>
- Hyundai Construction Equipment India Pvt. Ltd. (2021, March). *R140LC-9 SMART: Specifications brochure*.
- Lestari, D. D., Salim, M. A., & Azizi, A. (2025). Analisis perkuatan dinding penahan tanah kantilever dalam pengendalian longsor di Sungai Pelus Purwokerto. *CIVeng: Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 6(1), 1–6. <https://doi.org/10.30595/civeng.v6i1.23479>
- Muchtar, A., Tanjung, D., & Pasaribu, B. (2022). Analisa faktor keamanan pada Pembangunan Retaining Wall Jembatan KA-BH 39 Lintas Tebing Tinggi – Pematang Siantar. *Jurnal Teknik Sipil*, 1(2), 118–121. <https://doi.org/10.30743/jtsip.v1i2.6691>
- Octavia, D. M., Mardhiyah, R., & Utami, C. (2021). Analisis kombinasi excavator dan dump truck pada pekerjaan galian tanah (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Kampus III UIN Imam Bonjol Padang). *Jurnal Teknik Sipil ITP*, 8(2), 66–74. <https://doi.org/10.21063/jts.2021.v802.04>
- Saleh, A., Saputra, N. A., & Faradila, A. (2024). Evaluasi kinerja dinding penahan tanah (retaining wall) pada Proyek Pembangunan Drainase Mendawai. *Media Ilmiah Teknik Sipil*, 12(3), 237–241. <https://doi.org/10.33084/mits.v12i3.7375>
- Saputri K, S. S. O., Yusuf, A. R., & Yuniarto, E. (2026). Alternatif perancangan dinding penahan tanah tipe kantilever untuk perbaikan longsoran lereng Jalan Ruas Jalan Nasional Ampera – Surumana Sulawesi Tengah. *Jurnal Penelitian Teknik Sipil Konsolidasi*, 4(1), 195–204. <https://doi.org/10.56326/jptsk.v4i1.5041>
- Septiani, V., Sukahir, Suryan, V., & Andeni, A. N. (2024). Analisa perancangan dinding penahan tanah terhadap stabilitas dan daya dukung tanah bandara. *Ranah Research: Journal of Multidisciplinary Research and Development*, 6(4), 1345–1354. <https://doi.org/10.38035/rj.v6i4.912>
- Wardani, P. I. K., Ratih, S. Y., & Primantari, L. (2022). Analisis produktivitas alat berat excavator dan dump truck (Studi Kasus Proyek Pembangunan Gedung Indoor Manahan Kota Surakarta). *MoDuluS: Media Komunikasi Dunia Ilmu Sipil*, 4(2), 46–51. <https://doi.org/10.32585/modulus.v4i2.2472>
- Widyastomo, H., Iswan, & Jafri, M. (2020). Evaluasi desain dan analisis dinding penahan tanah (retaining wall) pada Pembangunan Underpass Di Jalan Zainal Abidin Pagar Alam. *Jurnal Rekayasa Sipil Dan Desain*, 8(2), 269–278. <https://doi.org/10.23960/jrsdd.v8i2.1309>