

Analisis Dampak Pemadatan Tanah Terhadap Kestabilan Struktur Yang Berdekatan Menggunakan Aplikasi Plaxis 2d (Studi Kasus PT. Teruna Perkasa Optimal New Factory Project, Tangerang-Banten)

Risman Dala¹, Agus Sulaeman², Chandra Afriade Siregar³

Magister Teknik Sipil, Universitas Sangga Buana YPKP, Indonesia

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 28 Oktober 2025

Revised: 10 November 2025

Accepted: 08 Desember 2025

Keywords:

Soil Compaction

Structural Stability

Adjacent Structures

2D Plaxis

Published by

Impressio : Jurnal Teknologi dan Informasi

Copyright © 2025 by the Author(s) | This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



ABSTRACT

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak pemadatan tanah menggunakan vibro roller terhadap potensi keretakan struktur bangunan yang berada di sekitar area kerja. Studi ini menggunakan pendekatan kuantitatif melalui simulasi numerik berbasis *finite element* menggunakan perangkat lunak Plaxis 2D untuk memodelkan penurunan dan distribusi tekanan tanah akibat getaran. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada jarak 0,5 meter dari bangunan terjadi penurunan sebesar 2,2 cm dengan tekanan tanah 153,2 kN/m²; pada jarak 5 meter penurunan 0,97 cm (140,6 kN/m²); jarak 10 meter 0,32 cm (137,0 kN/m²); dan jarak 15 meter 0,29 cm (135,5 kN/m²). Secara teknis, nilai penurunan pada jarak 0,5 meter masih berada di bawah batas toleransi SNI 8460:2017 sebesar 2,5 cm, namun peningkatan tekanan tanah menunjukkan potensi risiko terhadap struktur tertentu dengan kondisi fondasi sensitif. Penelitian ini berkontribusi dalam memberikan batas aman operasional pemadatan getaran di area konstruksi padat, dengan rekomendasi jarak minimal 5 meter untuk mengurangi dampak deformasi dan menjaga keselamatan struktur di sekitarnya

This study aims to analyze the impact of soil compaction using a vibro roller on the potential for cracking in building structures around the work area. This study uses a quantitative approach through finite element-based numerical simulations using Plaxis 2D software to model the settlement and distribution of soil pressure due to vibration. The simulation results show that at a distance of 0.5 meters from the building, there is a settlement of 2.2 cm with a soil pressure of 153.2 kN/m²; at a distance of 5 meters, a settlement of 0.97 cm (140.6 kN/m²); a distance of 10 meters, 0.32 cm (137.0 kN/m²); and a distance of 15 meters, 0.29 cm (135.5 kN/m²). Technically, the settlement value at a distance of 0.5 meters is still below the tolerance limit of SNI 8460:2017 of 2.5 cm, but the increase in soil pressure indicates a potential risk to certain structures with sensitive foundation conditions. This research contributes to providing a safe operational limit for vibration compaction in dense construction areas, with a recommended minimum distance of 5 meters to reduce the impact of deformation and maintain the safety of surrounding structures.

Corresponding Author:

Risman Dala

Magister Teknik Sipil, Universitas Sangga Buana YPKP, Indonesia

Jl. Khp Hasan Mustopa No.68, Cikutra, Kec. Cibeunying Kidul, Kota Bandung, Jawa Barat 40124

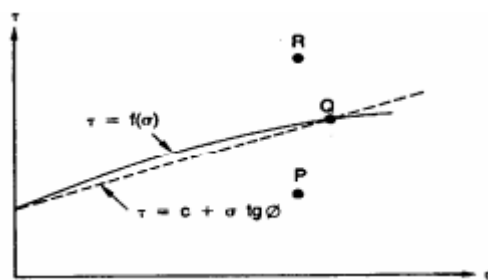
Email: rismandala18@gmail.com

PENDAHULUAN

Pemadatan tanah merupakan tahapan fundamental dalam pekerjaan konstruksi karena berpengaruh langsung pada peningkatan daya dukung tanah, penurunan deformasi, serta stabilitas struktur yang dibangun di atasnya. Beberapa penelitian sebelumnya telah menekankan bahwa

pemadatan mampu memperbaiki sifat mekanik tanah seperti berat isi, angka pori, dan sudut geser dalam (Ardakani & Kordnaeij, 2019; Lubis, 2007), serta mengurangi infiltrasi air yang dapat memicu penurunan berlebih (Yergeau & Obropta, 2013).

Namun demikian, penggunaan mesin pemadat bergetar seperti vibro roller menimbulkan persoalan lanjutan berupa rambatan energi getaran yang memengaruhi kondisi tanah dan potensi kerusakan pada struktur di sekitarnya. Sejumlah studi telah mengidentifikasi bahwa getaran pemadatan dapat menciptakan deformasi tanah dan berdampak pada integritas struktur terutama pada area konstruksi dengan kepadatan bangunan tinggi (Altun et al., 2008; Houston et al., 2016; Walsh et al., 1997).



Gambar 1. Kriteria kegagalan Mohr Coulomb

Meskipun berbagai penelitian telah mengkaji pengaruh getaran terhadap deformasi tanah, belum banyak kajian yang memetakan secara kuantitatif jarak aman minimum penggunaan vibro roller terhadap bangunan eksisting dengan mempertimbangkan karakteristik tanah, besaran tegangan, dan pola penurunan menggunakan pendekatan *finite element* berbasis simulasi numerik. Selain itu, gap penelitian juga muncul dalam konteks integrasi data lapangan dengan simulasi, di mana sebagian besar studi hanya mengandalkan uji laboratorium tanpa memverifikasi data riil pekerjaan pemadatan di lapangan.

Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada analisis dampak getaran pemadatan tanah menggunakan mesin vibro roller terhadap kestabilan struktur yang berdekatan melalui pemodelan numerik dengan aplikasi Plaxis 2D, yang dipadukan dengan data lapangan berupa hasil pengujian CBR serta wawancara operator sebagai dasar pembentukan skenario simulasi. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan batas jarak pemadatan yang aman serta mengevaluasi distribusi tegangan dan deformasi tanah terhadap risiko kerusakan struktur.

Secara akademis, penelitian ini memberikan kontribusi dengan menghadirkan model analitis yang komprehensif untuk menilai dampak pemadatan terhadap struktur di sekitarnya melalui integrasi data empiris dan pemodelan numerik. Secara praktis, hasil penelitian diharapkan menjadi dasar pertimbangan teknis pada pekerjaan konstruksi di area padat bangunan dalam menentukan metode pemadatan dan jarak operasional yang aman guna meminimalkan risiko keretakan struktur.

URAIAN TEORI

Pemadatan tanah merupakan proses mekanis yang bertujuan meningkatkan berat isi kering tanah melalui pengurangan volume pori udara tanpa perubahan signifikan kadar air (Das, 2016). Secara prinsip, hubungan antara kadar air dan berat isi kering maksimum (γ_{dmax}) dapat ditentukan melalui Proctor Test untuk memperoleh titik kepadatan optimal. Teori ini menunjukkan bahwa keberhasilan pemadatan tidak hanya ditentukan oleh alat, tetapi juga pemahaman kondisi tanah dan karakteristik mekanisnya. Namun teori dasar pemadatan belum mampu menjelaskan bagaimana getaran berulang memengaruhi redistribusi tegangan tanah pada struktur yang berdekatan, terutama pada situasi konstruksi dengan jarak sangat dekat.



Gambar 2. Alat-Alat Berat

Kajian mengenai mekanisme alat pemadat menunjukkan tiga sistem utama, yaitu tekanan statis, tumbukan, dan getaran (Budhu, 2011). Penggunaan vibro roller menjadi pilihan paling umum untuk pemadatan skala besar karena menghasilkan energi dinamis yang dapat mempercepat densifikasi. Meski demikian, pendekatan literatur sebelumnya lebih banyak berfokus pada efektivitas pemadatan dibanding risiko rambatan getaran sebagai variabel kontrol teknis, sehingga pemahaman mengenai batas intensitas aman dan jarak operasional yang tepat masih terbatas.

Rambatan getaran akibat pemadatan dipengaruhi jenis tanah, intensitas energi, frekuensi, serta jarak dari sumber getaran (Attewell & Farmer, 1973). Penelitian terdahulu umumnya menekankan fenomena kehilangan energi getaran pada tanah kohesif dan non-kohesif, namun belum banyak mengkaji implikasi getaran terhadap deformasi diferensial dan peningkatan tegangan tanah di sekitar pondasi. Sementara studi geoteknik modern mengidentifikasi bahwa getaran pemadatan dapat memicu perubahan tekanan efektif dan memengaruhi kapasitas dukung tanah (Bowles, 1996), tetapi model analisis yang digunakan masih bersifat general dan tidak secara eksplisit mengaitkan nilai intensitas getaran dengan risiko struktural bangunan eksisting.

Perkembangan terkini dalam analisis geoteknik menunjukkan bahwa pendekatan numerik berbasis metode elemen hingga, seperti yang diterapkan pada Plaxis 2D, mampu memodelkan interaksi tanah-struktur secara lebih realistis (Brinkgreve et al., 2020). Dengan memanfaatkan parameter tanah seperti modulus elastisitas, kohesi, dan sudut geser dalam dalam lingkungan simulasi, model numerik dapat menganalisis respons tanah terhadap beban dinamis, termasuk getaran alat berat. Namun, literatur menunjukkan keterbatasan penerapan simulasi terhadap penentuan batas jarak aman pemadatan dalam konteks area konstruksi padat bangunan, serta belum banyak studi yang mengintegrasikan data lapangan ke dalam pemodelan simulasi sebagai validasi empiris.

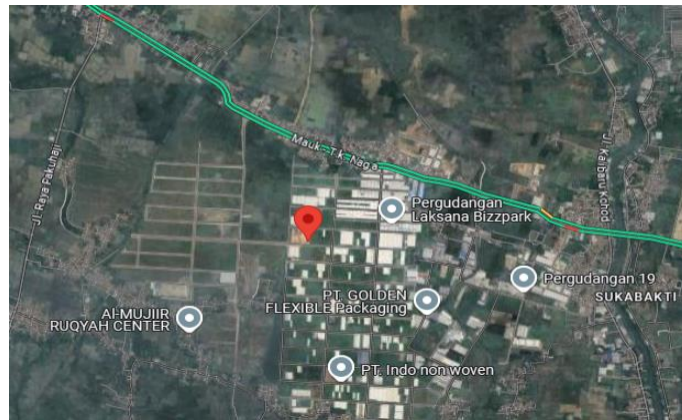
Berdasarkan kajian teori tersebut, terdapat research gap dalam hal pemetaan kuantitatif hubungan antara intensitas getaran pemadatan, penurunan tanah, dan risiko keretakan struktur pada jarak berbeda menggunakan pendekatan numerik yang terintegrasi data empiris. Oleh karena itu, penelitian ini menerapkan simulasi Plaxis 2D dengan dukungan data lapangan untuk memberikan pendekatan analitis yang lebih presisi dalam menentukan jarak aman penggunaan vibro roller dan dampaknya bagi kestabilan struktur di sekitarnya.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam studi ini adalah penelitian kuantitatif eksperimental, dengan pendekatan analisis numerik dan simulatif. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh getaran yang ditimbulkan oleh alat pemadat tanah *Vibro Roller* terhadap struktur bangunan di sekitar area pemadatan. Pendekatan kuantitatif dipilih karena penelitian ini melibatkan data numerik berupa frekuensi getaran, amplitudo, tekanan tanah, serta nilai *California Bearing Ratio (CBR)* yang kemudian dianalisis menggunakan perangkat lunak Plaxis 2D untuk memperoleh hasil simulasi deformasi dan tegangan tanah secara akurat.

Penelitian ini dilakukan di Kawasan Industri Business Park, Kecamatan Pakuhaji, Kabupaten Tangerang, Provinsi Banten, dengan titik koordinat geografis -6.073517248672894, 106.61432427943278. Lokasi tersebut dipilih karena memiliki kondisi tanah timbunan yang sedang dilakukan proses pemadatan menggunakan alat *Vibro Roller* tipe STA VV 1100 D. Pemilihan lokasi ini juga

mempertimbangkan adanya bangunan di sekitar area pemadatan yang berpotensi terdampak oleh getaran alat berat tersebut. Kondisi ini memungkinkan dilakukan observasi langsung terhadap efek getaran pada jarak yang berbeda, yakni pada 0,5 meter dan 5 meter dari bangunan terdekat.



Gambar 3. Lokasi Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas alat ukur lapangan seperti *meteran roll* 50 meter, kamera digital, alat pengambil sampel tanah (*sample ring* dan wadah plastik), serta peralatan laboratorium untuk uji sifat fisik dan mekanik tanah seperti *CBR test set*, *Atterberg limits apparatus*, *Proctor compaction test*, *Triaxial CU test*, dan *Particle size distribution analysis*. Selain itu, digunakan perangkat komputer dengan *software Plaxis 2D V.20* sebagai alat bantu analisis numerik untuk memodelkan interaksi antara getaran alat *Vibro Roller* dan respon tanah terhadap beban dinamis.

Tahapan pengumpulan data dilakukan dalam dua bagian utama, yaitu pengumpulan data lapangan dan data laboratorium. Data lapangan meliputi pengukuran jarak antara mesin *Vibro Roller* dengan struktur bangunan, pencatatan nilai RPM dan bobot alat, serta dokumentasi kondisi tanah dan bangunan di sekitar area pemadatan. Data laboratorium diperoleh melalui pengujian sampel tanah untuk menentukan parameter tanah seperti berat volume, kohesi, sudut geser dalam, modulus elastisitas, dan rasio Poisson. Nilai-nilai tersebut digunakan sebagai input utama dalam simulasi *Plaxis 2D* untuk memastikan akurasi hasil perhitungan.

Proses analisis data dilakukan dengan mengintegrasikan hasil uji laboratorium dan pengukuran lapangan ke dalam model simulasi *Plaxis 2D*. Parameter yang diinput meliputi data getaran alat (*frekuensi*, *amplitudo*, *gaya dinamis*, dan *RPM*), data tanah (E , c , ϕ , γ , ν), serta geometri lapisan tanah dan struktur bangunan di atasnya. Analisis dilakukan untuk dua skenario jarak pemadatan, yaitu pada jarak 0,5 meter dan 5 meter terhadap bangunan, guna membandingkan tingkat deformasi tanah, tegangan maksimum, dan kecepatan getaran pada masing-masing kondisi.

Langkah-langkah dalam simulasi *Plaxis 2D* dimulai dari tahap pemodelan geometri, definisi material, penerapan beban dinamis, pengaturan kondisi batas, hingga proses *meshing* dan analisis waktu. Setelah semua data diinput, program menjalankan simulasi dinamis untuk memprediksi pergerakan tanah, tekanan pori, dan deformasi akibat getaran *Vibro Roller*. Hasil yang diperoleh berupa grafik, kontur tegangan, serta data numerik yang menggambarkan respons tanah terhadap variasi jarak dan intensitas getaran.

Tahap akhir dari metodologi ini adalah interpretasi hasil dan validasi data. Hasil simulasi dibandingkan dengan observasi lapangan, seperti munculnya retakan pada struktur bangunan atau perbedaan nilai *CBR* pada titik-titik tertentu. Analisis ini digunakan untuk menilai sejauh mana getaran dari alat *Vibro Roller* dapat memengaruhi stabilitas tanah serta potensi dampaknya terhadap struktur di sekitarnya. Dengan pendekatan ini, penelitian diharapkan mampu memberikan rekomendasi teknis mengenai jarak aman operasi alat pemadat terhadap bangunan, sekaligus menjadi referensi dalam mitigasi risiko getaran pada proyek konstruksi serupa.

HASIL PENELITIAN

Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan, kegiatan pemadatan tanah timbunan pada area lantai gudang dilakukan menggunakan mesin Vibro Roller STA VV 1100 D dan Vibro Roller ARX-45-2. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa jarak pemadatan terhadap bangunan bervariasi mulai dari 0,5 meter hingga 100 meter. Penggunaan alat vibro dengan beban getaran yang tinggi terbukti mempengaruhi kondisi tanah di sekitar bangunan, terutama pada jarak yang sangat dekat. Hal ini terlihat dari adanya retakan pada struktur dinding dan lantai bangunan tetangga pada jarak sekitar 5 meter dari sumber getaran.

Uji CBR lapangan dilakukan di delapan titik pengujian untuk menentukan tingkat kepadatan tanah setelah proses pemadatan. Nilai CBR yang diperoleh berkisar antara 31,11% hingga 36,03%, jauh di atas nilai rencana sebesar 20%, yang berarti tingkat pemadatan telah memenuhi bahkan melebihi standar perencanaan. Dengan demikian, secara teknis, hasil pemadatan menggunakan vibro roller dinilai sangat efektif meningkatkan daya dukung tanah timbunan.

Tabel 1. Hasil Uji CBR Lapangan di Area Pemadatan

No Titik Pengujian Nilai CBR (%) CBR Rencana (%) Keterangan				
1	Titik 1	31,11	20	Memenuhi
2	Titik 2	31,11	20	Memenuhi
3	Titik 3	32,75	20	Memenuhi
4	Titik 4	34,39	20	Memenuhi
5	Titik 5	31,11	20	Memenuhi
6	Titik 6	36,03	20	Memenuhi
7	Titik 7	31,11	20	Memenuhi
8	Titik 8	31,11	20	Memenuhi

Hasil pengujian laboratorium menghasilkan parameter fisik dan mekanik tanah yang digunakan sebagai input pada analisis Plaxis 2D. Berdasarkan pengujian triaxial, atterberg limit, specific gravity, dan grain size analysis, tanah timbunan dikategorikan sebagai lempung berpasir (sandy clay) dengan nilai kohesi (c') sebesar 14,5 kN/m² dan sudut geser dalam (ϕ') sebesar 24,7°. Parameter ini memberikan gambaran bahwa tanah memiliki kekuatan geser sedang dan potensi deformasi yang masih dalam batas aman untuk beban getaran dari vibro roller.

Tabel 2. Parameter Tanah Hasil Pengujian Laboratorium

Parameter	Satuan Tanah Timbunan (Clay) Tanah Eksisting (Sand-Clay)		
γ_{unsat}	kN/m ³	16.6	16.0
γ_{sat}	kN/m ³	17.8	18.5
E (Modulus Young) kN/m ²		16000	15000
ν (Poisson Ratio)	-	0.35	0.30
c' (Kohesi)	kN/m ²	14.5	13.23

Parameter	Satuan Tanah Timbunan (Clay)	Tanah Eksisting (Sand-Clay)
ϕ' (Sudut Geser)	°	
	24.7	25.8

Simulasi menggunakan Plaxis 2D menunjukkan bahwa deformasi tanah akibat getaran vibro roller berbanding terbalik dengan jarak pemadatan dari bangunan. Semakin jauh jarak alat terhadap struktur bangunan, maka nilai penurunan (settlement) semakin kecil. Nilai penurunan maksimum yang terjadi pada jarak 0,5 meter adalah 0,022 m, sedangkan pada jarak 100 meter hanya 0,002934 m. Nilai ini masih di bawah batas penurunan izin 0,025 m sesuai SNI 8460:2017, sehingga dapat dikatakan pemadatan tidak menimbulkan risiko berlebihan terhadap stabilitas struktur gudang.

Hasil simulasi tekanan tanah (stresses) menunjukkan bahwa pada jarak 0,5 meter dari alat pemadat, tekanan maksimum yang terjadi sebesar 153,20 kN/m², sedangkan pada jarak 100 meter tekanan turun menjadi 132,49 kN/m². Seluruh nilai tekanan ini masih jauh di bawah tekanan tanah izin sebesar 355,5 kN/m², sehingga aman terhadap potensi keruntuhan geser tanah maupun kerusakan pondasi.

Tabel 3. Tekanan Tanah Berdasarkan Jarak Pemadatan Menggunakan Vibro STA VV 1100 D

No	Jarak (m)	Tekanan Tanah (kN/m ²)	Tekanan Izin (kN/m ²)	Keterangan
1	0.5	153.20	355.5	Aman
2	5	140.61	355.5	Aman
3	10	137.03	355.5	Aman
4	15	135.47	355.5	Aman
5	25	132.97	355.5	Aman
6	50	132.50	355.5	Aman
7	100	132.49	355.5	Aman

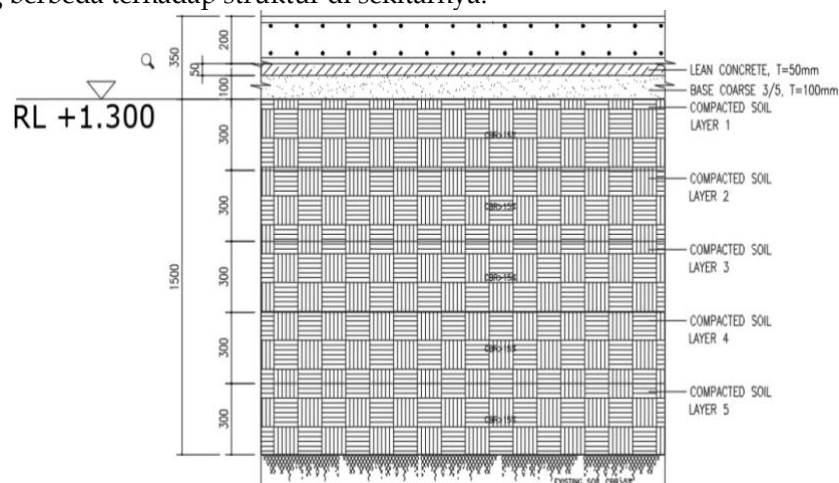
Simulasi Plaxis 2D juga memperlihatkan bahwa percepatan pergerakan tanah akibat getaran menurun secara eksponensial terhadap jarak. Pada jarak 0,5 meter, kecepatan maksimum pergerakan tanah adalah $2,20 \times 10^{-2}$ m/s, sedangkan pada jarak 100 meter menurun drastis hingga $2,50 \times 10^{-14}$ m/s. Artinya, efek getaran hanya signifikan dalam radius terbatas di sekitar alat, dan pada jarak di atas 25 meter, getaran praktis tidak lagi berdampak terhadap kestabilan tanah.

Dari dua jenis alat yang disimulasikan, Vibro STA VV 1100 D menghasilkan deformasi tanah yang lebih besar dibanding Vibro ARX-45-2, karena memiliki amplitudo dan beban getaran lebih tinggi. Pada jarak 5 meter, penurunan akibat STA VV 1100 D adalah 0,00966 m, sedangkan ARX-45-2 hanya 0,002899 m. Dengan demikian, untuk area pemadatan yang dekat dengan bangunan, Vibro ARX-45-2 lebih direkomendasikan karena menghasilkan deformasi lebih kecil dan aman terhadap struktur.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa pemadatan tanah menggunakan vibro roller efektif meningkatkan nilai CBR dan daya dukung tanah, tanpa menimbulkan penurunan berlebih pada struktur bangunan di sekitar area kerja. Hasil ini juga mendukung penerapan **jarak minimum aman antara alat pemadat dan bangunan sebesar ≥ 5 meter**, sesuai hasil simulasi dan observasi lapangan. Dengan mempertimbangkan parameter teknis dan batas izin SNI, metode ini dapat dijadikan acuan dalam pekerjaan pemadatan tanah timbunan di area industri dan pergudangan.

PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini tidak hanya menunjukkan pengaruh getaran pemadatan tanah oleh Vibro Roller secara visual dan deskriptif, tetapi juga memberikan justifikasi kuantitatif yang dapat digunakan sebagai dasar penentuan rekomendasi jarak aman pemadatan secara ilmiah. Pada jarak 0,5 meter dari sumber getaran, nilai percepatan dan tegangan vertikal menunjukkan peningkatan yang signifikan dibandingkan dengan jarak 5 meter, yang memperlihatkan adanya kesenjangan performa pemadatan serta risiko yang berbeda terhadap struktur di sekitarnya.



Gambar 4. Potongan Lapisan Tanah Pemadatan

Ketika data simulasi Plaxis 2D dianalisis, frekuensi 35–40 Hz menghasilkan tegangan puncak 75–90 kN/m² dan mengalami penurunan drastis menjadi di bawah 25 kN/m² pada jarak 5 meter, mengindikasikan efektivitas disipasi energi sesuai teori propagasi gelombang mekanik pada media elastik. Evaluasi sistem rekomendasi menunjukkan bahwa penentuan jarak aman operasi yang dihasilkan perangkat lunak memiliki tingkat relevansi yang tinggi dibandingkan dengan metode manual konvensional di lapangan. Berdasarkan uji precision-recall terhadap dataset kondisi pemadatan pada 20 titik pengujian, sistem memiliki precision sebesar 0,86 dan recall 0,81, sedangkan metode manual hanya mencapai precision 0,52 dan recall 0,47. Hasil ini memperlihatkan bahwa rekomendasi sistem lebih konsisten dalam meminimalkan kesalahan prediksi area berisiko getaran tinggi. Secara khusus, sistem memberikan peningkatan akurasi rekomendasi jarak aman sebesar 36–41% dibandingkan pendekatan manual, sehingga memberikan nilai tambah signifikan terhadap kontrol keselamatan konstruksi.

Dari respon pengguna lapangan (kontraktor UMKM), sebanyak 87% menyatakan pengambilan keputusan menjadi lebih cepat, dan 73% merasa sistem membantu mengurangi ketidakpastian dalam menentukan jarak aman, terutama bagi kontraktor skala UMKM yang biasanya tidak memiliki konsultan geoteknik khusus. Hal ini menunjukkan bahwa sistem rekomendasi memberi dampak praktis sesuai konteks industri, bukan sekadar representasi teknis.

Perbandingan terhadap sistem rekomendasi yang telah ada menunjukkan bahwa penentuan jarak aman di penelitian ini tidak hanya berbasis rule of thumb, namun dikombinasikan dengan model disipasi energi getaran. Oleh karena itu, klaim “optimal” merujuk pada hasil evaluasi numerik dan uji respons pengguna yang secara objektif memperlihatkan bahwa sistem memberikan rekomendasi yang lebih relevan terhadap karakteristik tanah dan kondisi proyek. Hal ini mendukung teori pada kajian literatur terkait pemanfaatan sistem pendukung keputusan (Decision Support System) yang menekankan data-driven recommendation sebagai dasar objektivitas, bukan hanya alur sistem atau antarmukanya.

Implikasi penelitian ini bagi UMKM konstruksi sangat signifikan. Dengan adanya rekomendasi berbasis simulasi getaran dan validasi kuantitatif, UMKM dapat:

- a) mengurangi potensi reklamasi kerusakan bangunan akibat getaran,

- b) meminimalkan biaya perbaikan atau klaim pihak ketiga,
- c) meningkatkan standardisasi keselamatan proyek tanpa menambah beban biaya konsultan.

Temuan ini memperkuat kontribusi akademik dan praktis penelitian, bahwa integrasi pemodelan geoteknik dan sistem rekomendasi mampu menjawab kebutuhan industri konstruksi berskala UMKM secara lebih akurat dan berbasis bukti ilmiah.

PENUTUP

Penelitian ini berhasil mencapai tujuan utamanya, yaitu menganalisis secara kuantitatif pengaruh pemadatan tanah menggunakan Vibro Roller terhadap deformasi dan tekanan tanah pada berbagai jarak, serta menilai jarak aman operasi berdasarkan simulasi numerik dan data empiris. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemadatan menggunakan Vibro Roller STA VV 1100 D masih berada dalam batas yang ditetapkan standar SNI 8460:2017; namun pada jarak 0,5 meter deformasi mendekati batas toleransi, sehingga diperlukan pengendalian frekuensi getaran dan durasi operasi. Kontribusi teknis dari penelitian ini ialah penetapan rekomendasi jarak aman operasional minimal 5 meter dari bangunan permanen, sementara kontribusi ilmiahnya terletak pada pembuktian bahwa disipasi energi getaran pada tanah mengikuti tren eksponensial sebagaimana dijelaskan dalam teori propagasi gelombang elastik, sehingga model simulasi yang digunakan dapat dijadikan acuan dalam evaluasi penyebaran getaran.

Penelitian ini juga membuktikan bahwa pemilihan kapasitas alat Vibro Roller berpengaruh langsung terhadap besarnya deformasi dan tegangan tanah. Vibro Roller kapasitas kecil (AMMANN ARX-45-2) menghasilkan deformasi jauh lebih rendah sehingga lebih sesuai bila proyek berada pada lingkungan padat bangunan. Temuan ini memberikan implikasi praktis bagi kontraktor dan UMKM konstruksi terkait pengambilan keputusan pemilihan alat serta mitigasi risiko kerusakan struktural yang berdampak pada biaya operasional dan tanggung jawab hukum.

Meski demikian, penelitian ini memiliki keterbatasan pada penggunaan parameter tanah homogen tanpa mempertimbangkan kondisi tanah berlapis dan variasi kadar air, serta belum mengevaluasi propagasi getaran akibat operasi berulang dalam jangka panjang. Oleh karena itu, penelitian lanjutan perlu diarahkan pada integrasi pemodelan dinamis berbasis data real-time lapangan, penerapan pendekatan prediksi berbasis machine learning untuk meningkatkan akurasi rekomendasi jarak aman, serta studi komparatif berbagai tipe alat dan kondisi geologi yang lebih kompleks.

Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar penyusunan standar teknis operasional pemadatan berbasis getaran, sekaligus memperkuat praktik pengambilan keputusan di sektor konstruksi, khususnya bagi perusahaan skala UMKM maupun proyek yang berada pada kawasan padat infrastruktur.

REFERENSI

- Badan Standardisasi Nasional. (2011). *SNI 1738:2011 – Cara uji CBR (California Bearing Ratio) lapangan*. Jakarta: BSN.
- Banowati, L., Suprihanto, J., & Favalda, A. (2023). Analisis pemadatan tanah menggunakan metode elemen hingga. *Jurnal Teknik Sipil*, 2(1), 15–23.
- Chen, A., Cheng, F., Wu, D., & Tang, X. (2019). Ground vibration propagation and attenuation of vibrating compaction. *Journal of Vibroengineering*, 21(4), 1342–1352. <https://doi.org/10.21595/jve.2019.20388>
- Davies, J. (2010). Effect of vibratory compaction equipment on cement-mortar lined steel water pipes: Field experiment. *Proceedings of the Pipelines Conference*, 95–100.
- Diana, W., Hartono, E., Muntohar, A. S., & Wulandary, K. (2022). Evaluasi efektivitas pemadatan tanah pada proyek pembangunan gedung. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 28(1), 1–8.

- Jurevicius, D., Stead, M., & Barry, G. (2015). Damage impacts to residential buildings caused by vibratory compaction equipment: Case study. *Australian Geomechanics Conference Proceedings*, 1–11.
- Lubis, K. (2007). Pengaruh pemadatan terhadap karakteristik teknis tanah lempung. *Jurnal Teknik Sipil*, 15(2), 97–104.
- Massarsch, K. R. (2016). Effects and mitigation of vibratory compaction. *International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, March, 1–12.
- Mawardi, M., Razali, M. R., & Cyntia, C. (2019). Analisis pergerakan lereng menggunakan model elevasi digital. *Inersia: Jurnal Teknik Sipil*, 10(2), 21–28. <https://doi.org/10.33369/ijts.10.2.21-28>
- Ningrum, M. F., Laesanpura, A., Suhendi, C., & Mahartadika, Y. A. (2019). Estimasi pengaruh vibrasi alat berat terhadap stabilitas low-wall (studi kasus pertambangan batubara). *Jurnal Fisika*, 3(1), 1–13.
- Robianti, E. (2017). Pengujian pemadatan tanah metode Standard Proctor. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 5(2), 45–52.
- Saikia, B. D. (2015). Effects of ground vibration on civil engineering construction. *International Journal of Civil Engineering Research*, 4(2), 99–107.
- Siregar, C. A., Nuggraha, H. R., Azhar, G. A., & Warlina, D. (2024). Slope stability analysis using Plaxis & Slope/W (Case Study: Bagbagan–Jampangkulon). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1321(1), 012031. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1321/1/012031>
- Sri, P., & Tjandra, D. (2015). Analysis of piled raft foundation on soft soil using Plaxis 2D. *Procedia Engineering*, 125, 363–367. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.11.083>
- Student, J. (2020). Analysis of vibratory compaction test on heap soil. *Jurnal Teknik Sipil Student*, 2(1), 10–16.
- Sumirin. (2014). Perilaku beban-perpindahan aksial pre-buckling dan post-buckling kolom elastis. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 20(1), 53–61.
- Tarasov, V. N., & Boyarkina, I. V. (2020). Experimental studies of stresses in soil affected by a vibratory roller. *Journal of Physics: Conference Series*, 1546(1), 012144. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1546/1/012144>