



Evaluasi Geoteknik Material Tanah Timbun dari Quarry Lokal di Pesisir Dumai

Susy Srihandayani^{1*}, Rafika Rani², Sony Adya Putra³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Sipil Institut Teknologi dan Bisnis Riau Pesisir Dumai, Indonesia

*Email doctorsoil79@gmail.com

Abstrak

Material tanah timbun merupakan komponen kritis dalam pekerjaan tanah infrastruktur pesisir, namun pemilihan material di Kota Dumai, Riau masih sering dilakukan berdasarkan jarak hauling dan biaya tanpa evaluasi kualitas teknis yang terukur. Penelitian ini mengevaluasi kelayakan geoteknik material dari tiga quarry lokal aktif—Pelintung, Bukit Nenas, dan Bukit Timah—untuk digunakan sebagai material timbunan dalam konstruksi sipil. Sampel terganggu diambil pada kedalaman 0,5–1,0 m dan diuji di laboratorium sesuai Standar Nasional Indonesia (SNI) meliputi kadar air alami, berat jenis, void ratio, porositas, batas Atterberg, dan uji pemadatan Proctor standar. Hasil dibandingkan dengan SNI 8460:2017 dan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 3. Kadar air alami berkisar 10,43–16,12%, kepadatan kering maksimum 1,65–1,86 g/cm³, dan indeks plastisitas 9,60–13,68%. Material Quarry Pelintung memenuhi seluruh persyaratan dan diklasifikasikan sebagai timbunan pilihan (*selected fill*); Quarry Bukit Nenas layak sebagai timbunan umum (*common fill*) dengan pengendalian kadar air; sedangkan Quarry Bukit Timah bersifat marginal dan memerlukan pencampuran pasir atau pengeringan sebelum pemadatan. Tren invers antara indeks plastisitas dan kepadatan kering maksimum dikonfirmasi secara statistik. Temuan menunjukkan bahwa material quarry lokal Riau dapat dimanfaatkan secara optimal untuk konstruksi berkelanjutan apabila disesuaikan dengan fungsi struktural dan didukung pengendalian kadar air serta kepadatan lapangan yang disiplin.

Kata kunci: tanah timbun; quarry lokal; pemadatan Proctor standar; indeks plastisitas

1. Pendahuluan

Kawasan pesisir Provinsi Riau, khususnya Kota Dumai, mengalami pertumbuhan infrastruktur yang pesat, mencakup pembangunan jalan akses kawasan industri, jembatan, dan permukiman baru. [1], [2], [3]. Setiap proyek tersebut membutuhkan material tanah timbun dalam jumlah besar sebagai fondasi struktur di atasnya [3], [4]. Kualitas material timbunan secara langsung menentukan stabilitas jangka panjang konstruksi, terutama di wilayah dengan tanah dasar berupa lempung lunak dan gambut yang dominan di sepanjang pesisir Riau [2], [5], [6]. Oleh karena itu, penggunaan material dari sumber lokal yang tidak teruji secara geoteknik berisiko menyebabkan penurunan konsolidasi berlebih dan ketidakstabilan struktur [3]. Wilayah Dumai dan sekitarnya dicirikan oleh tanah aluvial lunak pada kedalaman 1–3 m dengan kadar air di atas 80% dan berat isi kering di bawah 1,0 g/cm³, sehingga termasuk kategori *very soft clay* yang tidak mampu menopang beban konstruksi secara langsung [7]. Kondisi ini menjadikan material tanah timbun dari quarry lokal sebagai satu-satunya solusi realistis untuk membangun platform kerja yang stabil [8], [9]. Namun,

pemanfaatan material quarry tanpa evaluasi geoteknik yang terukur berpotensi menimbulkan permasalahan teknis serius seperti differential settlement, deformasi plastis, dan kerusakan dini perkerasan jalan [10].

Tiga quarry yang menjadi sumber utama material timbunan di Kota Dumai adalah Quarry Pelintung di Kecamatan Medang Kampai, Quarry Bukit Nenas di Kecamatan Bukit Kapur, dan Quarry Bukit Timah di Kecamatan Dumai Selatan. Ketiga lokasi ini secara rutin menyuplai proyek pemerintah dan swasta, namun belum tersedia data teknis terverifikasi mengenai kualitas fisik dan mekanis materialnya. Praktik pemilihan material di lapangan masih lebih banyak didasarkan pada pertimbangan jarak, biaya, dan ketersediaan daripada hasil uji laboratorium [11].

Penelitian terdahulu di Indonesia menunjukkan bahwa kelayakan material timbunan sangat dipengaruhi oleh serangkaian parameter indeks dan pemadatan, serta bahwa karakterisasi lokal bersifat mutlak diperlukan [12], [13]. Di tingkat internasional, kajian komprehensif tentang praktik pemadatan tanah menegaskan peran sentral pengendalian kadar air selama penempatan material [14], [15]. Namun, material quarry di pesisir Riau belum banyak dikaji, sehingga perencana dan pelaksana proyek tidak memiliki dasar teknis yang dapat dipertanggungjawabkan dalam memilih sumber material—gap spesifik yang ditangani penelitian ini [16].

Penelitian ini bertujuan untuk: (i) menentukan karakteristik geoteknik material dari ketiga quarry melalui serangkaian uji laboratorium standar; (ii) membandingkan hasil uji dengan persyaratan SNI 8460:2017 dan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018; (iii) mengklasifikasikan kelayakan material sebagai timbunan pilihan, timbunan umum, atau material marginal; dan (iv) memberikan rekomendasi teknis operasional bagi perencana dan pelaksana proyek, termasuk alternatif perbaikan material yang belum memenuhi standar

2. Metode

2.1. Lokasi dan Pengambilan Sampel

Penelitian ini menggunakan pendekatan evaluatif berbasis pengujian laboratorium terhadap material dari tiga quarry aktif di Kota Dumai, Provinsi Riau. Quarry Pelintung (Kecamatan Medang Kampai) terletak sekitar 18 km sebelah timur pusat kota pada ketinggian +10 hingga +15 m dpl, berdekatan dengan kawasan industri dan pelabuhan. Material dominan berupa lanau berpasir (*silty sand*) berwarna coklat kemerahan dari pelapukan batuan pasir halus dengan drainase alami yang baik.

Quarry Bukit Nenas terletak di kawasan perbukitan kapur pada elevasi +25 hingga +40 m dpl, dengan material dominan berupa lempung berlanau berwarna coklat kekuningan yang memiliki tingkat kelembapan sedang hingga tinggi. Sementara itu, Quarry Bukit Timah menempati area dataran tinggi bergelombang rendah dan didominasi oleh lempung berlanau berwarna coklat keabu-abuan dengan karakteristik plastisitas yang tergolong sedang hingga tinggi. Pengambilan sampel dilakukan pada kedalaman 0,5–1,0 meter untuk memastikan material yang diambil merepresentasikan kondisi asli tanah quarry sebelum mengalami degradasi atau pelapukan permukaan [17]. Seluruh sampel kemudian dikemas menggunakan kantong plastik kedap udara untuk menjaga kadar air alami sebelum dikirim ke laboratorium geoteknik guna pengujian lebih lanjut sesuai dengan standar prosedur operasional yang berlaku [18]. Pengujian parameter fisik dan mekanis yang dilakukan mencakup analisis saringan, batas Atterberg, uji pemadatan Proctor standar, serta uji CBR laboratorium untuk menentukan klasifikasi AASHTO dan USCS material tersebut [19], [20]. Prosedur pengujian merujuk pada standar teknis terkini untuk menjamin konsistensi data, di mana pengujian CBR dilakukan untuk mengukur daya dukung material pada kondisi kepadatan optimum [21]. Pengujian indeks sifat material ini bertujuan untuk memberikan gambaran komprehensif mengenai distribusi ukuran partikel dan plastisitas, yang merupakan indikator krusial dalam menentukan perilaku teknis tanah saat menerima beban dinamis [22].

Sampel terganggu (*disturbed sample*) diambil pada kedalaman 0,5–1,0 m dari permukaan tanah di setiap lokasi. Setiap sampel didokumentasikan dengan foto lapangan, koordinat GPS, dan deskripsi visual. Pengambilan sampel dilakukan dua kali di setiap lokasi untuk memastikan representativitas data.

2.2. Program Pengujian Laboratorium

Seluruh pengujian dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Tanah Institut Teknologi dan Bisnis Riau Pesisir mengacu pada standar SNI yang berlaku. Setiap jenis pengujian dilakukan dua kali replikasi dan dilaporkan sebagai nilai rata-rata. Parameter angka pori dan porositas ditentukan melalui perhitungan hubungan volume-massa dari data pengukuran, bukan merupakan hasil pengujian langsung. Program pengujian serta standar acuan yang digunakan dalam penelitian ini dirinci pada Tabel 1.

Tabel 1. Program Pengujian Laboratorium

No	Jenis Pengujian	Satuan	SNI	ASTM
1	Kadar air alami (w)	%	3423:2008	D2216
2	Berat jenis (Gs)	–	1964:2008	D854
3	Berat isi basah/kering	g/cm ³	–	D2937
4	Batas Atterberg (LL, PL, PI)	%	1967:2008	D4318
5	Pemadatan Proctor standar	g/cm ³ , %	1742:2008	D698
6	Void ratio (e), porositas (n)	–	diturunkan	–

2.3. Analisis Data dan Evaluasi Standar

Data hasil pengujian laboratorium ditabulasi per quarry dan dianalisis untuk memperoleh seluruh parameter fisik dan mekanis [23]. Kurva pemadatan Proctor diplot untuk menentukan γ_d maks dan w_{opt} secara akurat. Hubungan antar-parameter —terutama antara indeks plastisitas dan kepadatan kering maksimum—dikaji secara statistik menggunakan regresi linear. Setiap parameter kemudian dibandingkan dengan batas nilai yang ditetapkan SNI 8460:2017 dan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 3 untuk menentukan klasifikasi kelayakan material.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Karakteristik Fisik Material Tanah Timbun

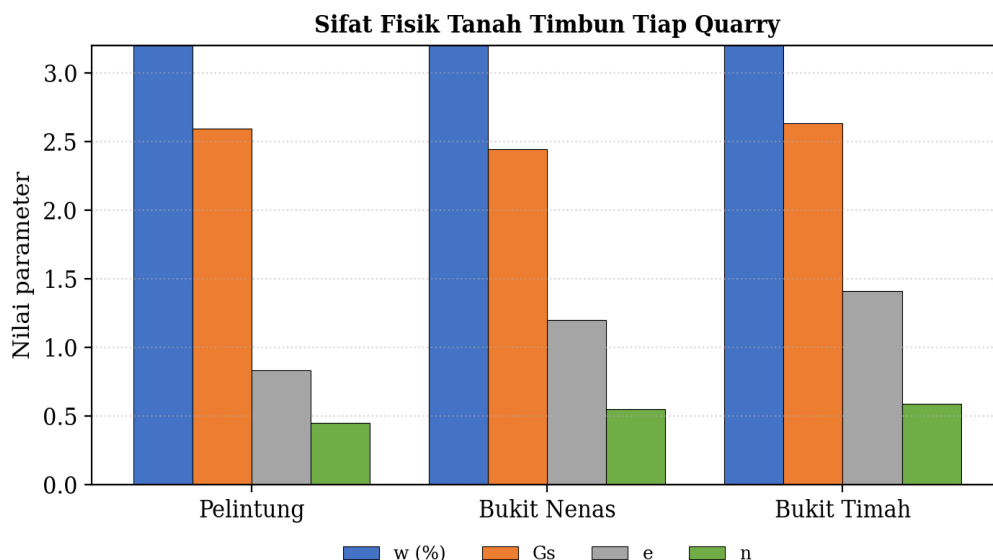
Hasil pengujian sifat fisik dari ketiga quarry disajikan dalam Tabel 2 dan ditampilkan secara grafis pada Gambar 1. Kadar air alami meningkat secara konsisten dari Quarry Pelintung (10,43%) melalui Bukit Nenas (15,70%) hingga Bukit Timah (16,12%). Hanya Pelintung yang berada dalam kisaran ideal 6–15% yang dipersyaratkan untuk pemadatan normal; Bukit Timah sedikit melampaui batas tersebut dan cenderung mendekati kondisi jenuh akibat drainase alami yang kurang baik di lokasi tersebut.

Berat jenis (Gs) berkisar antara 2,44 hingga 2,63, tergolong normal untuk tanah mineral. Nilai Gs Bukit Nenas yang lebih rendah (2,44) mengindikasikan kemungkinan kandungan lanau lebih tinggi atau adanya jejak material organik halus. Void ratio dan porositas mencerminkan kepadatan alami masing-masing material secara paling jelas: Pelintung menunjukkan kondisi padat alami ($e = 0,83$; $n = 0,45$), sedangkan Bukit Timah sangat berpori dan longgar ($e = 1,41$; $n = 0,59$). Nilai e dan n Bukit Timah yang jauh di atas batas standar ($e \leq 0,90$; $n \leq 0,50$) mengindikasikan risiko penurunan diferensial yang signifikan apabila langsung dibebani tanpa pemadatan intensif [24].

Tabel 2. Sifat fisik material tanah timbun ketiga *quarry*

Parameter	Sat.	Pelintung	B. Nenas	B. Timah
Kadar air (w)	%	10,43	15,70	16,12
Berat jenis (Gs)	–	2,59	2,44	2,63
γ basah	g/cm^3	1,56	1,28	1,27
γ_d kering	g/cm^3	1,41	1,10	1,09
Void ratio (e)	–	0,83	1,20	1,41
Porositas (n)	–	0,45	0,55	0,59

Data pada Tabel 2 tersebut menunjukkan bahwa material dari Quarry Bukit Timah memiliki konsistensi paling rendah, yang secara langsung berkorelasi dengan tingginya nilai rasio pori dan porositas dibandingkan dua lokasi lainnya [25], [26]. Kondisi ini mengindikasikan bahwa material tersebut memerlukan energi pemadatan yang lebih besar untuk mencapai tingkat kepadatan maksimum yang disyaratkan dalam spesifikasi teknis [27], [28]



Gambar 1. Perbandingan parameter fisik (w, e, n) ketiga quarry; garis putus menunjukkan batas standar SNI.

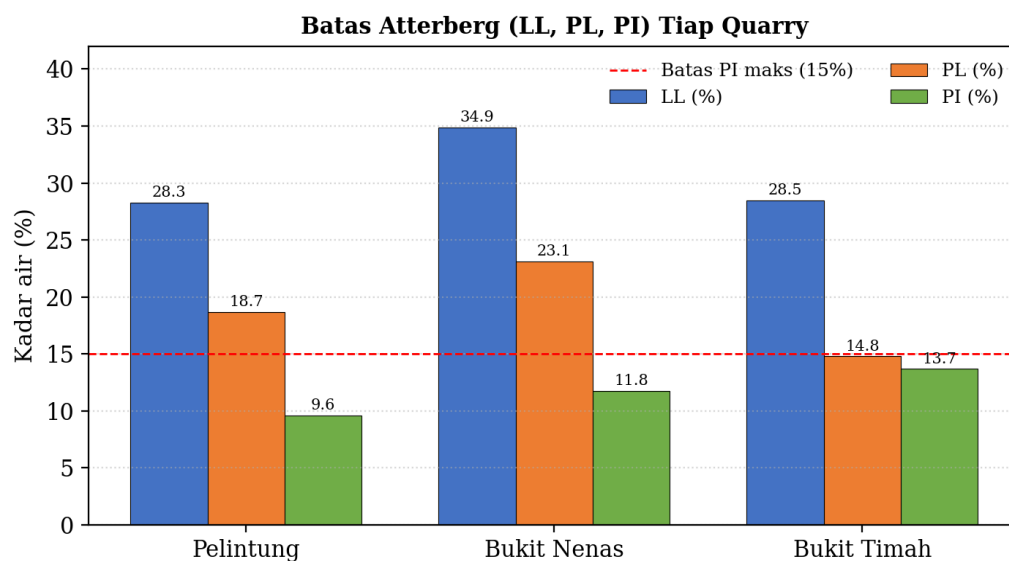
3.2. Batas Atterberg dan Klasifikasi Plastisitas

Seluruh sampel menghasilkan batas cair (LL) di bawah 40% dan indeks plastisitas (PI) tidak melebihi 15%, sehingga secara nominal memenuhi batas Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Plastisitas meningkat dari Pelintung (PI = 9,60%; plastisitas rendah) melalui Bukit Nenas (PI = 11,76%; plastisitas sedang) hingga Bukit Timah (PI = 13,68%; plastisitas sedang–tinggi). Hasil uji selengkapnya disajikan pada Tabel 3 dan Gambar 2. Berdasarkan diagram plastisitas Casagrande, material dari ketiga lokasi diklasifikasikan sebagai tanah berbutir halus dengan plastisitas rendah hingga sedang, yang mengindikasikan sifat kohesif yang relatif stabil namun tetap memerlukan perhatian khusus terhadap kontrol kadar air.

Tabel 3. Hasil uji batas Atterberg

Quarry	LL (%)	PL (%)	PI (%)	Klasifikasi
Pelintung	28,28	18,68	9,60	Rendah – timbunan pilihan
Bukit Nenas	34,86	23,11	11,76	Sedang – timbunan umum
Bukit Timah	28,46	14,78	13,68	Sedang-tinggi – perlu kontrol kadar air

Batas plastis (PL) Bukit Timah yang rendah (14,78%) memperlebar rentang plastisitasnya dan menjadikannya material yang paling sensitif terhadap perubahan kadar air di antara ketiga quarry. Material ini rentan mengalami penyusutan (shrinkage) saat kering dan pengembangan (swelling) saat basah, sehingga memerlukan pengendalian kadar air yang lebih ketat di lapangan dibandingkan kedua quarry lainnya.



Gambar 2. Batas Atterberg (LL, PL, PI) untuk ketiga quarry; garis batas standar LL = 40% dan PI = 15% ditampilkan.

Analisis lebih lanjut mengenai perilaku mekanis material ini akan dibahas pada bagian berikutnya, khususnya mengenai kaitan antara indeks plastisitas terhadap nilai permeabilitas dan kepadatan kering optimum

3.3. Karakteristik Pemadatan Proctor Standar

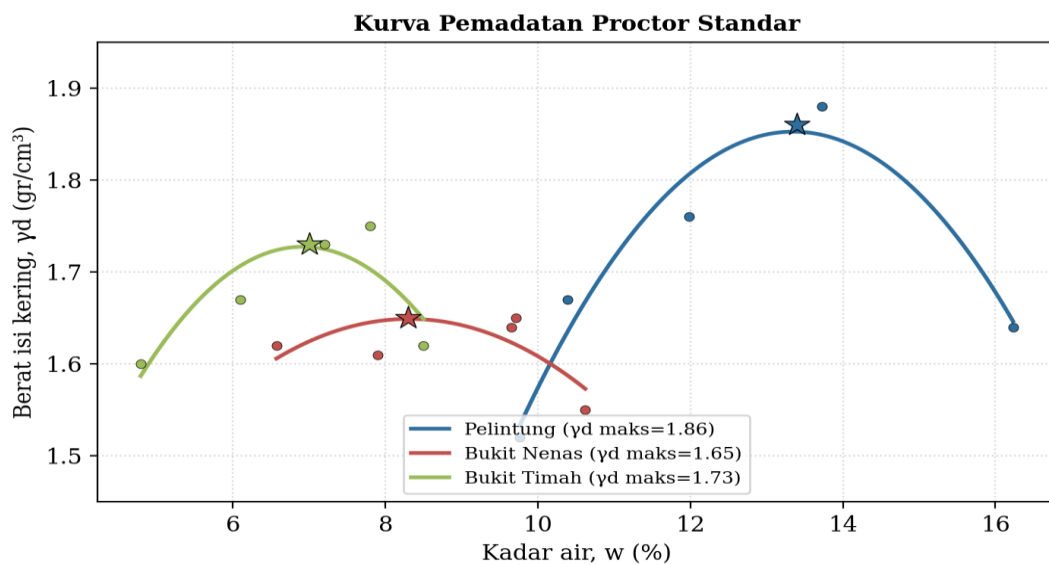
Uji pemadatan Proctor standar menghasilkan kepadatan kering maksimum (γ_d maks) sebesar 1,86, 1,65, dan 1,73 g/cm³ untuk Pelintung, Bukit Nenas, dan Bukit Timah, dengan kadar air optimum (w_{opt}) berturut-turut 13,4%, 8,3%, dan 7,0% (Tabel 4). Seluruh nilai γ_d maks melampaui batas minimal 1,60 g/cm³ untuk timbunan umum. Kurva pemadatan Proctor ketiga quarry ditampilkan pada Gambar 3.

Pelintung menunjukkan γ_d maks tertinggi (1,86 g/cm³) berkat distribusi butiran lanau berpasir yang optimal. Bukit Timah, meskipun mencapai 1,73 g/cm³, memiliki kadar air optimum yang sangat rendah (7,0%) dengan rentang optimum yang sempit, sehingga sangat rentan terhadap fluktuasi kadar air lapangan. Pemadatan lapangan harus dilakukan pada kisaran $w_{opt} \pm 2\%$ sesuai ketentuan Bina Marga 2018 [29], yaitu 11–15% untuk Pelintung, 6–10% untuk Bukit Nenas, dan 5–9% untuk Bukit Timah.

Tabel 4. Hasil uji pemadatan Proctor standar

Quarry	γ_d maks (g/cm ³)	W _{opt} (%)	Klasifikasi
Pelintung	1,86	13,4	Sangat baik – timbunan pilihan (<i>selected fill</i>)
Bukit Nenas	1,65	8,3	Baik – timbunan umum (<i>common fill</i>)
Bukit Timah	1,73	7,0	Baik – kontrol kelembapan sangat ketat diperlukan

Karakteristik kepadatan yang dihasilkan sangat bergantung pada usaha pemadatan serta distribusi kadar air aktual saat proses konstruksi berlangsung [30]. Variasi kadar air di luar rentang optimum dapat menyebabkan penurunan nilai daya dukung tanah secara signifikan, mengingat sensitivitas plastisitas material yang telah diidentifikasi sebelumnya.

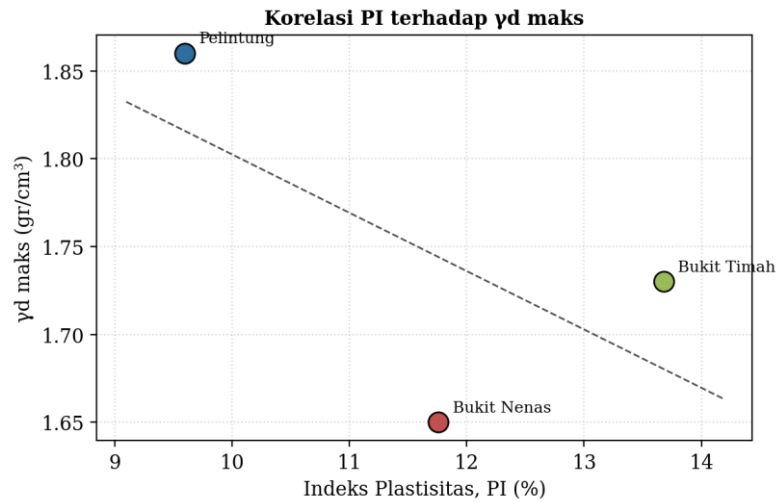


Gambar 3. Kurva pemadatan Proctor standar quarry ketiga bintang (★) menandai titik γ_d maks.

3.4. Korelasi antara Plastisitas dan Kepadatan Kering Maksimum

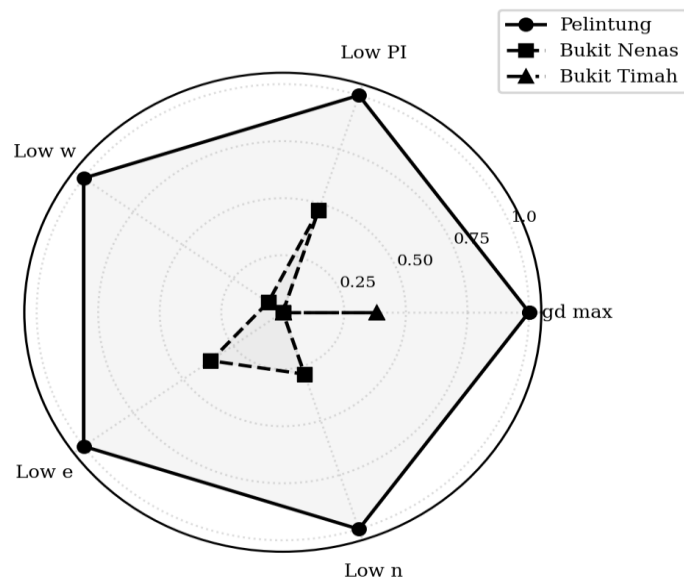
Analisis hubungan antara indeks plastisitas (PI) dan γ_d maks (Gambar 4) mengonfirmasi tren invers yang diperkirakan oleh teori pemadatan klasik: material Pelintung dengan plastisitas terendah mencapai kepadatan tertinggi, sedangkan Bukit Timah dengan plastisitas lebih tinggi—meski memiliki G_s lebih besar—hanya mencapai γ_d maks lebih rendah. Hal ini terjadi karena partikel kohesif halus menjebak udara dan air di dalam pori, sehingga menghambat pengaturan rapat antar butiran saat pemadatan.

Analisis regresi menghasilkan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,63, yang menunjukkan bahwa sekitar 63% variasi nilai kepadatan kering maksimum dapat dijelaskan oleh variasi indeks plastisitas. Sisanya dipengaruhi oleh parameter lain seperti distribusi ukuran butir, berat jenis, dan struktur internal tanah.



Gambar 4. Korelasi PI terhadap $\gamma_{d \text{ maks}}$; garis putus = tren linier ($R^2 = 0,63$).

Diagram radar pada Gambar 5 memvisualisasikan skor kelayakan komposit masing-masing quarry secara holistik berdasarkan lima parameter ternormalisasi. Pelintung mendominasi hampir semua dimensi, memperkuat posisinya sebagai sumber material terbaik di antara ketiga quarry yang dievaluasi.



Gambar 5. Diagram radar skor kelayakan komposit (skala ternormalisasi 0–1, nilai lebih besar = lebih baik).

3.5. Evaluasi Kelayakan terhadap Standar Nasional

Tabel 5 menyajikan perbandingan menyeluruh antara parameter hasil uji dan batas yang ditetapkan oleh SNI 8460:2017 dan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Quarry Pelintung memenuhi semua kriteria—kadar air, G_s , γ_d maks, LL, PI, void ratio, dan porositas—sehingga diklasifikasikan sebagai timbunan pilihan (*selected fill*), cocok untuk subgrade jalan, perataan area industri, dan timbunan di bawah pondasi.

Quarry Bukit Nenas memenuhi sebagian besar persyaratan, namun porositas ($n = 0,55$) dan void ratio ($e = 1,20$) melampaui batas standar. Material ini paling sesuai sebagai timbunan umum (*common fill*) dengan pemadatan berlapis tipis dan pengendalian kadar air yang konsisten. Quarry Bukit Timah bersifat marginal akibat porositas tinggi ($n = 0,59$) dan void

ratio besar ($e = 1,41$); penggunaannya harus didahului pencampuran pasir sekitar 30% dan pengeringan alami, atau dikombinasikan dengan geotekstil pemisah di atas tanah lunak [31], [32].

Tabel 5. Evaluasi kelayakan material terhadap standar nasional

Quarry	Kategori	Kesesuaian	Rekomendasi penggunaan
Pelintung	Timbunan Pilihan	Penuh	Subgrade jalan, area industri, timbunan struktural
Bukit Nenas	Timbunan Umum	Sebagian	Timbunan umum non-struktural + kontrol kadar air
Bukit Timah	Marginal Fill	Bersyarat	Sub-fill setelah blending pasir $\pm 30\%$ dan pengeringan

Terdapat empat implikasi praktis penting dari hasil evaluasi ini. Pertama, di wilayah pesisir Dumai dengan curah hujan tinggi, pengendalian kadar air sebelum dan selama pemadatan merupakan faktor penentu utama keberhasilan pekerjaan timbunan. Kedua, material lokal mampu memenuhi standar nasional tanpa perlu mendatangkan material dari luar daerah, asalkan pemilihannya berbasis fungsi struktural. Ketiga, pemanfaatan quarry lokal mengurangi biaya hauling dan jejak karbon, mendukung prinsip konstruksi berkelanjutan [33]. Keempat, verifikasi kepadatan lapangan melalui sand cone test atau nuclear density gauge wajib dilakukan secara berkala untuk memastikan pencapaian minimal 95% γ_d maks.

4. Kesimpulan

Berdasarkan evaluasi laboratorium terhadap material dari tiga quarry lokal di pesisir Dumai menunjukkan bahwa seluruh sampel berada dalam batas dasar persyaratan nasional untuk material timbunan. Namun kelayakan lapangan berbeda secara signifikan antar quarry. Quarry Pelintung—berupa lanau berpasir padat berplastisitas rendah—merupakan sumber terbaik dan direkomendasikan sebagai timbunan pilihan untuk lapisan struktural dan subgrade jalan. Quarry Bukit Nenas memenuhi syarat sebagai timbunan umum untuk pekerjaan non-struktural dengan pengendalian kadar air dan pemadatan berlapis. Quarry Bukit Timah bersifat marginal akibat porositas tinggi dan sensitivitas terhadap kadar air; material ini harus ditingkatkan kualitasnya melalui pencampuran pasir dan pengeringan sebelum digunakan. Tren invers antara indeks plastisitas dan kepadatan kering maksimum dikonfirmasi, menegaskan bahwa pengendalian kadar air, porositas, dan distribusi ukuran butir merupakan parameter kunci dalam pemadatan lapangan. Penelitian lebih lanjut direkomendasikan untuk mengukur nilai CBR, perilaku kembang-susut, dan efektivitas stabilisasi kimia ringan guna meningkatkan kualitas material marginal dari Quarry Bukit Timah.

Referensi

- [1] O. U. Ubani, E. Ngezahayo, C. M. O. Nwaiwu, and C. M. Nwakaire, "Strength Development and Durability of Cement-Stabilized Tropical Clay-Quarry Dust Mixtures for Pavement Construction," *Sustainability*, vol. 17, no. 19, p. 8825, 2025, doi: 10.3390/su17198825.
- [2] S. Srihandayani, "Pengaruh Tanah Ekspasif Pada Bangunan Sipil dan Solusinya," *JURNAL UNITEK*, vol. 10, no. 2, pp. 59–75, 2018, doi: 10.52072/unitek.v10i2.85.

- [3] S. Srihandayani, "Evaluasi Karakteristik Geoteknik Material Tanah Timbun Dari Quarry Lokal Di Wilayah Riau Pesisir Untuk Pekerjaan Konstruksi Sipil," 2026, *Andalas University*.
- [4] P. Sultana and A. K. Dey, "Estimation of Ultimate Bearing Capacity of Footings on Soft Clay from Plate Load Test Data Considering Variability," *Indian Geotechnical Journal*, vol. 49, no. 2, pp. 170–183, Apr. 2019, doi: 10.1007/s40098-018-0311-9.
- [5] R. Aziz, Muhardi, and A. I. Putra, "Perbaikan Tanah Lempung Dengan Metode Kolom Konfigurasi Segitiga dari Campuran Fly Ash dan Bottom Ash," *SAINSTEK International Journal on Applied Science Advanced Technology and Informatics*, vol. 10, no. 1, pp. 39–50, 2022, doi: 10.35583/js.v10i1.216.
- [6] D. R. Basri, E. E. Putri, B. M. Adji, and A. Hakam, "Pengaruh Gradasi Pasir Pada Pemanfaatan Mortar Busa Sebagai Pengganti Lapisan Pondasi Jalan Pada Tanah Gambut," *SIKLUS Jurnal Teknik Sipil*, vol. 10, no. 2, pp. 203–214, 2024, doi: 10.31849/siklus.v10i2.22654.
- [7] Satria, "Parameter Sifat Fisis dan Kuat Geser Tanah Lempung di Kawasan Tambak Desa Tambak Beras Kecamatan Cerme," *Jurnal Vokasi Teknik Sipil*, vol. 3, no. 2, 2025, doi: 10.26740/viteks.v3i2.71565.
- [8] M. Anggraini, V. T. Haris, and A. Saleh, "Karakteristik tanah timbun sebagai pengganti subgrade," *J. Infrastruct. Civ. Eng. (JICE)*, vol. 3, no. 2, pp. 100–103, 2023, doi: 10.35583/jice.v3i2.44.
- [9] J. Kodikara, T. Islam, and A. Sounthararajah, "Review of soil compaction: History and recent developments," *Transportation Geotechnics*, vol. 17, pp. 24–34, 2018, doi: 10.1016/j.trgeo.2018.09.006.
- [10] F. Q. Al-naje, A. H. Abed, and A. J. Al-Taie, "A Review of Sustainable Materials to Improve Geotechnical Properties of Soils," *Al-Nahrain Journal for Engineering Sciences*, vol. 23, no. 3, pp. 289–305, 2020, doi: 10.29194/njes.23030289.
- [11] S. Srihandayani and D. I. Mazni, "Karakteristik Tanah Timbun sebagai Pengganti Subgrade di Lahan Gambut," *Jurnal Universitas Muhammadiyah Palembang*, vol. 07, no. 01, pp. 10–14, Jun. 2021.
- [12] Nuraida, I. Sukoco, and A. Ilfiyaningrum, "Uji Kepadatan Tanah Timbun Untuk Pembangunan Jalur Ganda KA Antara Solo Balapan - Kadipuro - Kalioso KM. 96+400 s/d KM 104+900," *Artikel Ilmiah Aplikasi Teknoloi APTEK*, vol. 16, no. 1, pp. 17–21, Dec. 2023, doi: 10.30606/aptek.v16i1.2160.
- [13] T. T. Setiyanto, F. R. Yamali, and A. Setiawan, "Tinjauan Karakteristik Tanah Timbunan Sumber Bahan Di Desa Mendalo Darat Kecamatan Jambi Luar Kota," *Jurnal Talenta Sipil*, vol. 4, no. 2, p. 176, 2021, doi: 10.33087/talentasipil.v4i2.72.
- [14] A. Soltani, M. Azimi, and B. C. O'Kelly, "Modeling the compaction characteristics of fine-grained soils blended with tire-derived aggregates," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 13, no. 14, Jul. 2021, doi: 10.3390/su13147737.
- [15] W. Ahmad and T. Uchimura, "The Effect of Moisture Content at Compaction and Grain Size Distribution on the Shear Strength of Unsaturated Soils," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 15, no. 6, Mar. 2023, doi: 10.3390/su15065123.

- [16] I. S. Darma, "Evaluation Of Roller Compacted Concrete (Rcc) Mix Design And Methods In Indonesia: A Comparison Of Laboratory And On-Site Trials," *International Journal of Geomate*, vol. 28, no. 130, 2025, doi: 10.21660/2025.130.g14272.
- [17] M. R. Iskandar, I. Suharyanto, and H. Masang, "Analisa Uji Fisik Tanah Lempung Hasil Quarry Kelurahan Sitimulyo Piyungan Sebagai Material Timbunan Konstruksi Jalan," *CivETech*, vol. 7, no. 2, 2025, doi: 10.47200/civetechn.v7i2.3106.
- [18] A. Minmahddun, "Analisis Efektivitas Pemadatan Tanah Berdasarkan Uji Laboratorium dan Lapangan pada Pekerjaan Timbunan Tanah di Sulawesi Tenggara," *Jurnal Aspirasi Teknik Sipil*, vol. 3, no. 1, pp. 20–30, 2025, doi: 10.35438/aspal.v3i1.109.
- [19] F. Achmad, "Tinjauan Material Lokal Quarry Inengo Sebagai Bahan Lapis Pondasi Atas Menurut Spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3," *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Universitas Muhammadiyah Jakarta 2016*, 2016, [Online]. Available: <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek/article/download/682/610>
- [20] K. Gon, R. Cornelis, and I. Rustendi, "Kelayakan Material Desa Golo Lalong Sebagai Bahan Timbunan Pilihan Pekerjaan Jalan Berdasarkan Nilai Aktif Material," *Teodolita Media Komunkasi Ilmiah di Bidang teknik*, vol. 24, no. 1, pp. 84–100, 2023, doi: 10.53810/jt.v24i1.479.
- [21] Y. Happy and M. Virganinda, "Kajian Karakteristik Fisik dan Mekanis Tanah Desa Henda sebagai Alternatif Material Timbunan Jalan," *Riwayat Educational Journal of History and Humanities*, vol. 9, no. 1, pp. 2018–2034, 2026, doi: 10.24815/riwayat.v9i1.430.
- [22] O. O. Ugwu, A. S. Ogboin, and C. U. Nwoji, "Characterization of engineering properties of active soils stabilized with nanomaterial for sustainable infrastructure delivery," *Front. Built Environ.*, vol. 4, Oct. 2018, doi: 10.3389/fbuil.2018.00065.
- [23] E. Oktareza and I. Suprayogi, "Analisis Sifat Fisik Tanah Berpengaruh Terhadap Kuat Geser Tanah Wilayah Pesisir Menggunakan ANFIS," *JICE-Journal of Infrastructure and Civil Engineering*, vol. 6, no. 1, pp. 23–30, 2026, doi: 10.35583/jice.v6i1.160.
- [24] V. Bagarello, G. Caltabellotta, M. Fusco, G. Vaccaro, and D. Autovino, "Investigating Soil Compaction and Its Impact on Physical and Hydraulic Properties Using a Simple Testing Apparatus," *Water (Switzerland)*, vol. 17, no. 5, Mar. 2025, doi: 10.3390/w17050723.
- [25] R. I. Kusuma, E. Mina, W. Fathonah, M. W. G. Althaf, and Y. Fajarwati, "Stabilisasi Tanah dengan Penambahan Arang Kayu terhadap Nilai Daya Dukung CBR (Studi Kasus Jalan Desa Cibingbin, Kecamatan Cibaliung, Kabupaten Pandeglang)," *INERSIA Informasi dan Ekspose Hasil Riset Teknik Sipil dan Arsitektur*, vol. 18, no. 1, pp. 72–82, 2022, doi: 10.21831/inersia.v18i1.47372.
- [26] I. Irianto, P. H. Sitorus, D. S. S. Mabui, R. Rochmawati, and F. E. Lapian, "Analisis Pengaruh Penambahan Limbah Tailing PT. Freeport Sebagai Bahan Stabilisasi Tanah Pada Lapis Pondasi Jalan," *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 30, no. 3, pp. 449–456, 2023, doi: 10.5614/jts.2023.30.3.13.
- [27] S. A. M. Pratama, A. K. Yudhistira, and S. A. Fauzan, "Evaluasi Kepadatan Tanah dengan Metode Penggantian Volume Air pada Sumur Uji di Proyek Jalan Tol Probolinggo–Banyuwangi Paket 3," *RIGGS Journal of Artificial Intelligence and Digital Business*, vol. 4, no. 3, pp. 5672–5682, 2025, doi: 10.31004/riggs.v4i3.2859.

- [28] A. Alfahreza, A. Firmansya, S. A. Faza, and A. Firmanto, "Analysis of Quarry Material Characteristics in Reclamation work Using Sand Cone and CBR Methods (Case Study: Patimban Port Package 5)," *Journal Of World Science*, vol. 4, no. 8, pp. 1054–1062, 2025, doi: 10.58344/jws.v4i8.1478.
- [29] Bina Marga, "Spesifikasi Umum 2018 Divisi 3 Pekerjaan Tanah dan Geosintetik," 2018.
- [30] K. I. Sari and L. Tambunan, "Studi Perbandingan Uji Pemadatan Standar Dan Uji Pemadatan Modified Terhadap Tanah Dari Jalan Pertahanan – Patumbak Yang Dicampur Kapur," *Journal Of Civil Engineering Building And Transportation*, vol. 4, no. 1, pp. 22–30, 2020, doi: 10.31289/jcebt.v4i1.3568.
- [31] R. Kufre Etim, D. Ufot Ekpo, I. Christopher Attah, and K. Chibuzor Onyelowe, "Effect of micro sized quarry dust particle on the compaction and strength properties of cement stabilized lateritic soil," *Cleaner Materials*, vol. 2, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.clema.2021.100023.
- [32] P. Lindh and P. Lemenkova, "Geotechnical Properties of Soil Stabilized with Blended Binders for Sustainable Road Base Applications," *Construction Materials*, vol. 3, no. 1, pp. 110–126, Mar. 2023, doi: 10.3390/constrmater3010008.
- [33] B. Yoon, Y. Cho, H. Choo, and J. Jang, "Experimental and numerical evaluation of sustainable application of steel slag as an alternative to gravel in compaction piles," *Case Studies in Construction Materials*, vol. 21, 2024, doi: 10.1016/j.cscm.2024.e03900.