

Karakteristik Fisik dan Daya Dukung CBR Tanah Dasar sebagai Penyebab Amblas Jalan Poros Toraja–Luwu Km 27 Desa Salubua

Fisca Della Buttu¹, Abdias Tandy Arrang², Marthen Tangkeallo³

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Indonesia Toraja, Jalan Nusantara No. 120, Makale Tana Toraja, 91811, Indonesia

^{2,3} Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Indonesia Toraja, Jalan Nusantara No. 120, Makale Tana Toraja, 91811, Indonesia

corresponding author : [email penulis korespondensi]@ukitoraja.ac.id

ABSTRAK

Kata Kunci:

Tanah amblas
Klasifikasi tanah
Kepadatan relatif
CBR
Tanah dasar jalan

Badan jalan Poros Toraja–Luwu Km 27 di Desa Salubua, Kecamatan Basse Sangtempe, amblas sepanjang 58,5 m. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi karakteristik fisik dan daya dukung tanah dasar yang menjadi penyebab amblas. Sampel dari dua titik diuji kadar air, berat isi, berat jenis, batas Atterberg, gradasi, pemadatan standar, dan CBR laboratorium pada contoh tanah asli (tiga titik) dan terpadatkan (10, 25, dan 60 tumbukan). Seluruh data dihitung ulang secara konsisten dengan hubungan fase tanah. Tanah tergolong pasir berlanau–berlempung (SM/SC; A-2-7) dengan butiran halus 29,5%, LL 41,9%, PI 16,0%, dan batas susut 24,8%. Kadar air asli 39,8% dengan berat isi kering 0,88 g/cm³ dan angka pori sekitar 2,0, sehingga kepadatan relatif lapangan hanya 64% terhadap berat isi kering maksimum 1,36 g/cm³ pada kadar air optimum 31,3%. CBR tanah asli hanya 1,1–2,0% (modulus resiliensi sekitar 11–21 MPa), sedangkan pemadatan menaikkan CBR menjadi 10,9–13,4%. Kepadatan rendah dan kadar air di atas optimum menjadi penyebab utama amblas, sehingga perbaikan tanah dasar dengan pemadatan terkontrol dan pengendalian air diperlukan.

Keywords:

Road subsidence
Soil classification
Relative compaction
CBR
Road subgrade

ABSTRACT

The Toraja–Luwu arterial road at Km 27, Salubua Village, Basse Sangtempe District, has subsided over a length of 58.5 m. This study identifies the physical characteristics and bearing capacity of the subgrade responsible for the subsidence. Samples from two points were tested for moisture content, unit weight, specific gravity, Atterberg limits, gradation, standard compaction, and laboratory CBR on undisturbed (three points) and compacted (10, 25, and 60 blows) specimens. All data were recalculated consistently using soil phase relationships. The soil is a silty-clayey sand (SM/SC; A-2-7) with 29.5% fines, LL 41.9%, PI 16.0%, and a shrinkage limit of 24.8%. The in-situ moisture content is 39.8% with a dry unit weight of 0.88 g/cm³ and a void ratio of about 2.0, giving a field relative compaction of only 64% of the maximum dry unit weight of 1.36 g/cm³ at an optimum moisture content of 31.3%. The undisturbed CBR is only 1.1–2.0% (resilient modulus about 11–21 MPa), whereas compaction increases the CBR to 10.9–13.4%. Low density and moisture above optimum are the main causes of the subsidence, so subgrade improvement by controlled compaction and water management is required.

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



I. Pendahuluan

Jalan merupakan prasarana transportasi yang menopang kegiatan ekonomi, sosial, dan pemerataan pembangunan antarwilayah [1]. Kinerja jalan sangat ditentukan oleh tanah dasar (subgrade) yang menerima beban lalu lintas dari lapisan perkerasan. Tanah dasar dengan kepadatan rendah dan kadar air tinggi akan mengalami pemampatan dan penurunan kekuatan secara bertahap, yang di permukaan tampak sebagai retak,

alur, dan ambblas [2], [3]. Pada ruas pegunungan, kondisi ini diperparah oleh infiltrasi hujan dan lereng timbunan yang curam [4].

Ruas Jalan Poros Toraja–Luwu merupakan penghubung utama Rantepao dengan Kabupaten Luwu melalui wilayah perbukitan Basse Sangtempe. Pada Km 27 di Desa Salubua, badan jalan mengalami ambblas sepanjang sekitar 58,5 m dengan lebar terdampak 11,7 m. Kerusakan ini berulang dan membahayakan pengguna jalan, terutama pada malam hari karena perbedaan elevasi perkerasan sulit terlihat. Penanganan yang selama ini berupa perbaikan permukaan tidak menyelesaikan masalah karena penyebabnya terletak pada tanah di bawah perkerasan.

Tanah berbutir halus yang plastis cenderung mengalami perubahan volume akibat siklus basah–kering dan kehilangan kuat geser ketika jenuh [5], [6]. Untuk tanah dasar jalan, parameter kunci yang menentukan perlu tidaknya perbaikan adalah klasifikasi tanah, kepadatan relatif terhadap hasil uji pemadatan, dan nilai CBR [7]. Artikel ini merupakan bagian pertama dari kajian ambblas Salubua yang berfokus pada karakteristik fisik dan daya dukung tanah; analisis stabilitas lereng dan perencanaan dinding penahan disajikan dalam artikel terpisah.

Penelitian ini bertujuan (1) mengidentifikasi properti fisik dan klasifikasi tanah pada lokasi ambblas, (2) menilai kondisi kepadatan lapangan terhadap hasil uji pemadatan, dan (3) menentukan daya dukung CBR tanah asli dan tanah terpadatkan sebagai dasar rekomendasi perbaikan tanah dasar.

II. Metode Penelitian

A. Lokasi dan Pengambilan Sampel

Lokasi penelitian berada di Jalan Poros Toraja–Luwu Km 27, Desa Salubua, Kecamatan Basse Sangtempe, Kabupaten Luwu, pada zona ambblas sepanjang 58,5 m dengan lebar terdampak 11,7 m dan tinggi lereng timbunan sekitar 5 m. Sampel tak terganggu dan terganggu diambil pada dua titik (Titik I dan Titik II), sedangkan contoh CBR tanah asli diambil pada tiga titik dengan tabung bervolume 4.095,7 cm³. Pengujian dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Tanah UKI Toraja dan UKI Paulus Makassar pada Januari–Maret 2024.

B. Pengujian Laboratorium

Pengujian meliputi kadar air (ASTM D2216), berat isi dengan ring bervolume 64,13 cm³, berat jenis dengan piknometer (SNI 03-1964-1990), batas-batas Atterberg (SNI 03-1967-1990), analisis saringan kering (SNI 3423:2008), pemadatan standar dengan cetakan bervolume 917 cm³ (SNI 1742:2008), serta CBR laboratorium (SNI 1744:2012) pada contoh terpadatkan 10, 25, dan 60 tumbukan dan contoh tanah asli tanpa perendaman.

C. Analisis Data

Seluruh data mentah dihitung ulang secara konsisten. Hubungan fase dihitung dengan Persamaan (1)–(3), dengan $G_s = 2,66$ dan $\gamma_w = 1,0 \text{ g/cm}^3$ [2].

$$\gamma_d = \gamma / (1 + w) \quad (1)$$

$$e = G_s \gamma_w / \gamma_d - 1 \quad (2)$$

$$S_r = w G_s / e \quad (3)$$

Batas cair ditentukan dari regresi kadar air terhadap logaritma jumlah pukulan pada $N = 25$. Tanah diklasifikasikan menurut USCS [8] dan AASHTO [9], dengan indeks kelompok dihitung dari Persamaan (4) untuk kelompok A-2-7 [9]. Potensi pengembangan diperkirakan dengan korelasi Seed dkk. (Persamaan 5) [6].

$$GI = 0,01 (F_{200} - 15)(PI - 10) \quad (4)$$

$$S (\%) = 0,00216 PI^{2,44} \quad (5)$$

Kadar air optimum dan berat isi kering maksimum ditentukan dari regresi kuadrat lima titik uji pemadatan, dan kepadatan relatif lapangan dihitung sebagai $RC = \gamma_{d, \text{lapangan}} / \gamma_{d, \text{maks}} \times 100\%$. Nilai CBR dihitung langsung dari beban terbaca pada penetrasi 2,54 mm dan 5,08 mm terhadap beban standar 3.000 lb dan 4.500 lb (Persamaan 6); nilai terbesar dipakai sebagai CBR desain [10]. Modulus resilien diperkirakan dengan korelasi $M_R (\text{psi}) = 1.500 \text{ CBR}$, atau $M_R \approx 10,34 \text{ CBR}$ dalam MPa [11].

$$\text{CBR}_{2,54} = P_{2,54} / 3.000 \times 100\%; \text{CBR}_{5,08} = P_{5,08} / 4.500 \times 100\% \quad (6)$$

III. Hasil dan Pembahasan

A. Kondisi Asli Tanah

Hasil uji kadar air dan berat isi pada empat benda uji disajikan pada Tabel 1. Kadar air asli berkisar 33,7–46,8% dengan rata-rata 39,8%. Berat isi kering hanya 0,84–0,91 g/cm³, sehingga angka pori mencapai 1,93–2,17 dan porositas sekitar 67%. Derajat kejenuhan 41–62% menunjukkan tanah belum jenuh pada saat pengambilan sampel, tetapi rongga yang sangat besar memungkinkan penyerapan air hujan dalam jumlah besar.

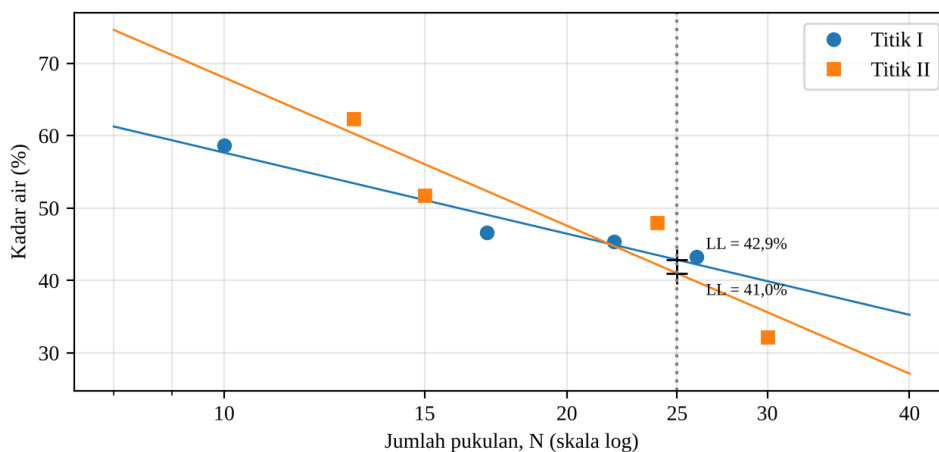
Tabel 1. Kadar air, berat isi, dan hubungan fase tanah kondisi asli

Benda uji	Berat tanah basah (g)	Berat tanah kering (g)	w (%)	γ (g/cm ³)	γ_d (g/cm ³)	e	n (%)	S _r (%)
Titik I – 1	72,2	54,0	33,70	1,13	0,84	2,17	68,5	41,5
Titik I – 2	81,6	58,4	39,73	1,27	0,91	1,93	65,9	54,9
Titik II – 1	77,2	55,6	38,85	1,20	0,87	2,08	67,5	49,9
Titik II – 2	83,7	57,0	46,84	1,31	0,89	2,00	66,7	62,4
Rata-rata			39,78	1,23	0,88	2,05	67,1	52,2

Berat jenis dari empat pembacaan piknometer bervariasi sangat lebar (1,35; 4,02; 2,17; dan 3,12), padahal nilai G_s tanah alami umumnya 2,6–2,8 [2]. Rata-rata keempatnya (2,66) masih wajar, tetapi sebaran tersebut menandakan kesalahan pembacaan berat piknometer + air (W_2) yang seharusnya tetap untuk piknometer dan suhu yang sama. Karena itu, $G_s = 2,66$ dipakai sebagai nilai indikatif dan disarankan diuji ulang.

B. Konsistensi, Gradasi, dan Klasifikasi Tanah

Kurva aliran batas cair (Gambar 1) menghasilkan LL 42,9% untuk Titik I ($R^2 = 0,94$) dan 41,0% untuk Titik II ($R^2 = 0,86$). Batas plastis 30,7% dan 21,2% memberikan PI 12,2% dan 19,8%, dengan rata-rata 16,0% (Tabel 2). Batas susut rata-rata 24,8% hampir sama dengan batas plastis, sehingga tanah mulai menyusut ketika kadar air turun di bawah sekitar 25%, nilai yang jauh di bawah kadar air lapangan.

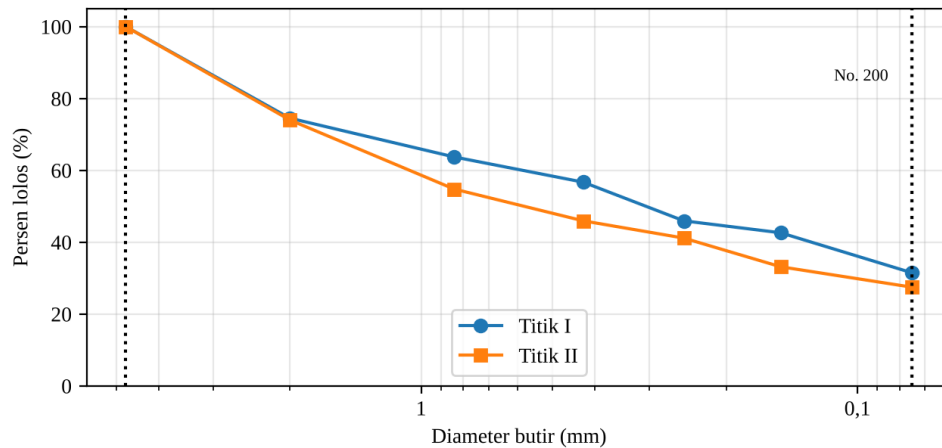


Gambar 1. Kurva aliran penentuan batas cair (skala semilogaritma)

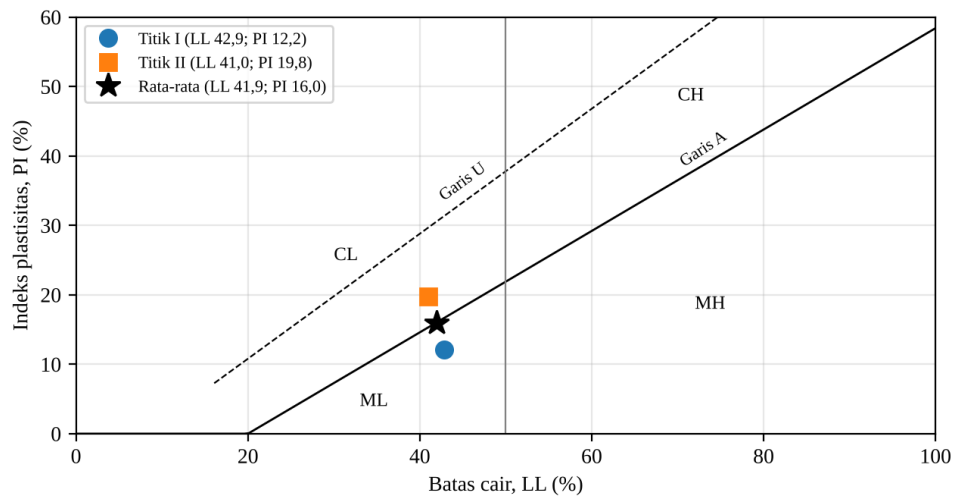
Tabel 2. Batas-batas Atterberg, gradasi, dan klasifikasi tanah

Parameter	Titik I	Titik II	Rata-rata	Nilai pada naskah asal
Batas cair, LL (%)	42,9	41,0	41,9	42,25
Batas plastis, PL (%)	30,7	21,2	26,0	25,96 (ditulis juga 16,29)
Indeks plastisitas, PI (%)	12,2	19,8	16,0	16,29 (abstrak: 29,5)
Batas susut, SL (%)	28,30	21,22	24,76	24,76
Kerikil, > 4,75 mm (%)	0	0	0	–
Pasir, 0,075–4,75 mm (%)	68,50	72,50	70,50	–
Butiran halus, < 0,075 mm (%)	31,50	27,50	29,50	29,50
Klasifikasi USCS	SM	SC	SM/SC	lempung anorganik / kerikil
Klasifikasi AASHTO	A-2-7	A-2-7	A-2-7 (1)	–

Gradasi butiran (Gambar 2) menunjukkan 0% kerikil, 68,5–72,5% pasir, dan 27,5–31,5% butiran halus. Karena fraksi lolos saringan No. 200 kurang dari 50%, tanah termasuk tanah berbutir kasar menurut USCS. Pada bagian plastisitas (Gambar 3), PI Titik I (12,2%) berada di bawah garis A sehingga tergolong pasir berlanau (SM), sedangkan Titik II (19,8%) berada di atas garis A sehingga tergolong pasir berlempung (SC) [8]. Menurut AASHTO, butiran halus $\leq 35\%$ dengan $LL \geq 41\%$ dan $PI \geq 11\%$ menempatkan tanah pada kelompok A-2-7 dengan indeks kelompok $0,9 \approx 1$, yaitu tanah dengan kualitas sedang hingga buruk sebagai tanah dasar [9]. Analisis saringan dilakukan secara kering sehingga fraksi halus kemungkinan sedikit lebih besar daripada yang terukur.



Gambar 2. Kurva gradasi butiran tanah Titik I dan Titik II



Gambar 3. Posisi fraksi halus tanah pada bagan plastisitas Casagrande

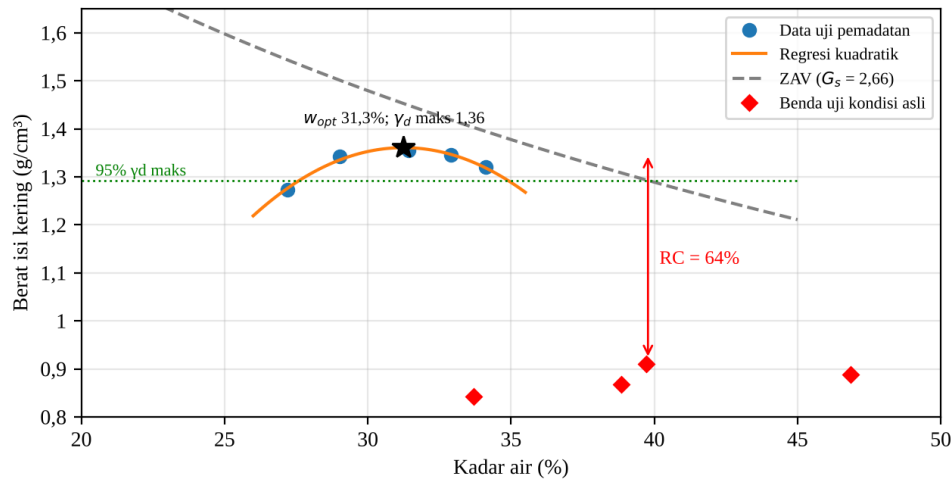
Korelasi Seed dkk. dengan PI 16,0% memberikan potensi pengembangan sekitar 1,9%, yang termasuk rendah hingga sedang [6]. Dengan demikian, mekanisme utama amblas bukan pengembangan tanah ekspansif sebagaimana diduga pada naskah asal, melainkan pemampatan dan pelemahan tanah lepas yang basah.

C. Pemadatan dan Kepadatan Relatif Lapangan

Data uji pemadatan disajikan pada Tabel 3 dan Gambar 4. Regresi kuadratik memberikan kadar air optimum 31,3% dan berat isi kering maksimum 1,36 g/cm³; titik puncak berada di sekitar 85% kejenuhan, sesuai karakter pasir berlempung. Pasangan contoh kadar air pada titik 2 dan 4 berbeda sangat jauh (16,1% vs 41,9% dan 9,5% vs 56,4%), sehingga rata-ratanya kurang andal dan kurva pemadatan sebaiknya diverifikasi dengan uji ulang.

Tabel 3. Data uji pemadatan standar

Titik	Berat tanah basah (g)	w contoh A (%)	w contoh B (%)	w rata-rata (%)	γ (g/cm ³)	γ_d (g/cm ³)	S_r (%)
1	1.484,0	30,96	23,42	27,19	1,62	1,272	66,3
2	1.588,3	16,07	41,95	29,01	1,73	1,343	78,6
3	1.632,8	34,68	28,16	31,42	1,78	1,355	86,8
4	1.639,7	9,47	56,35	32,91	1,79	1,345	89,6
5	1.624,1	30,15	38,10	34,12	1,77	1,320	89,5

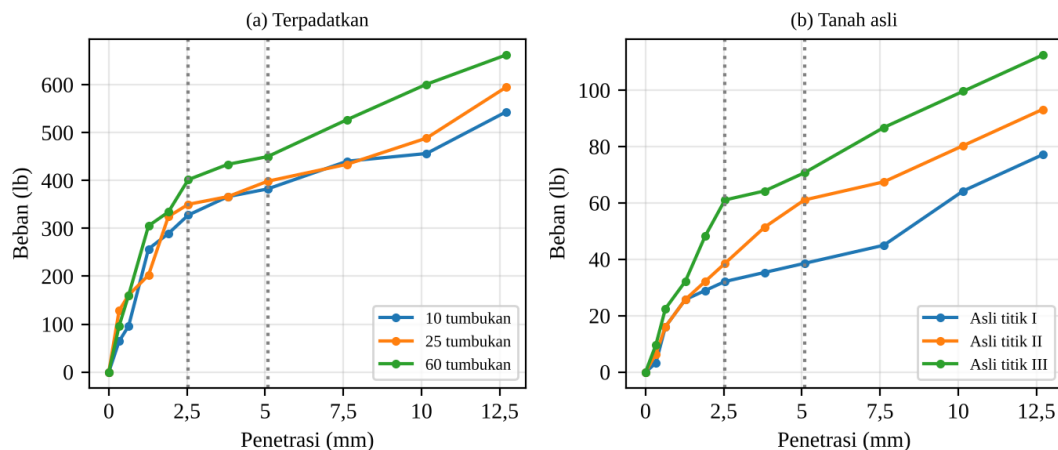


Gambar 4. Kurva pemadatan, garis ZAV, dan posisi benda uji kondisi asli

Seluruh benda uji kondisi asli berada jauh di bawah kurva pemadatan (Gambar 4). Berat isi kering lapangan rata-rata $0,88 \text{ g/cm}^3$ hanya setara 64% dari berat isi kering maksimum, jauh di bawah syarat kepadatan tanah dasar dan timbunan jalan (umumnya $\geq 95\%$ kepadatan kering maksimum) [7]. Kadar air lapangan juga sekitar 8,5 poin persentase di atas kadar air optimum. Kombinasi kepadatan sangat rendah dan kadar air di sisi basah inilah yang menjadi penyebab utama amblas: tanah lepas terus memampat di bawah beban kendaraan berulang, terlebih ketika jenuh akibat hujan.

D. Daya Dukung CBR

Kurva beban–penetrasi disajikan pada Gambar 5 dan hasil perhitungan CBR pada Tabel 4. CBR tanah asli hanya 1,07–2,04% atau modulus resilien sekitar 11–21 MPa. Menurut Manual Desain Perkerasan Jalan, tanah dasar dengan CBR serendah ini termasuk tanah sangat lunak yang memerlukan perbaikan sebelum perkerasan dibangun [7]. Pemadatan ulang menaikkan CBR menjadi 10,9–13,4% (M_R sekitar 113–138 MPa), atau 5–12 kali nilai tanah asli, dan melampaui batas CBR 6% yang umum dipakai untuk tanah dasar tanpa perbaikan khusus (Gambar 6).



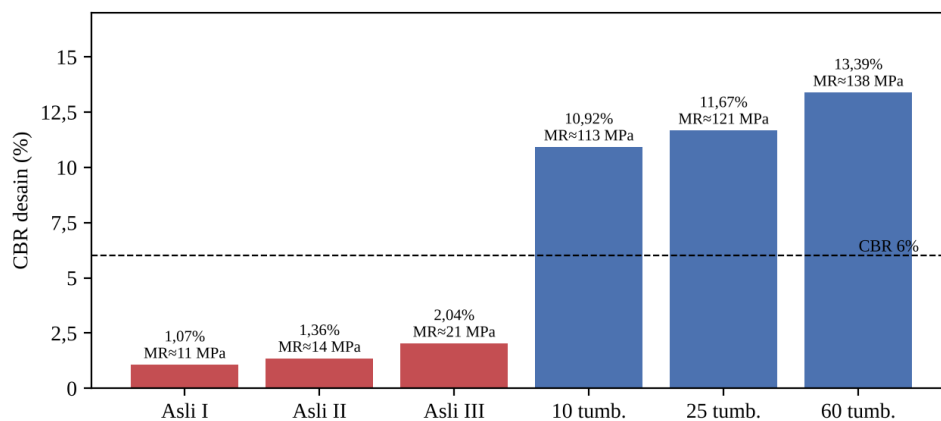
Gambar 5. Kurva beban–penetrasi uji CBR: (a) contoh terpadatkan, (b) contoh tanah asli

Tabel 4. Hasil perhitungan ulang nilai CBR laboratorium

Benda uji	w (%)	γ_d (g/cm^3)	Beban 2,54 mm (lb)	CBR 2,54 mm (%)	Beban 5,08 mm (lb)	CBR 5,08 mm (%)	CBR desain (%)	M_R (MPa)	CBR naskah asal (%)
10 tumbukan	61,8	1,28	327,7	10,92	382,4	8,50	10,92	113	9,64
25 tumbukan	47,7	1,42	350,2	11,67	398,4	8,85	11,67	121	10,24
60 tumbukan	36,8	1,63	401,6	13,39	449,8	10,00	13,39	138	11,85

Benda uji	w (%)	γ_d (g/cm ³)	Beban 2,54 mm (lb)	CBR 2,54 mm (%)	Beban 5,08 mm (lb)	CBR 5,08 mm (%)	CBR desain (%)	M _R (MPa)	CBR naskah asal (%)
Tanah asli titik I	37,2	0,88	32,1	1,07	38,6	0,86	1,07	11	1,11
Tanah asli titik II	47,2	0,78	38,6	1,29	61,0	1,36	1,36	14	1,44
Tanah asli titik III	52,8	0,75	61,0	2,04	70,7	1,57	2,04	21	1,84

Perhitungan ulang ini berbeda dari naskah asal karena CBR pada penetrasi 5,08 mm harus dibagi dengan beban standar 4.500 lb, bukan 3.000 lb, dan CBR desain diambil sebagai nilai terbesar, bukan rata-rata dua penetrasi [10]. Kadar air yang dilaporkan untuk contoh CBR terpadatkan (36,8–61,8%) bersama berat isi keringnya menghasilkan derajat kejenuhan 144–154%, yang secara fisik tidak mungkin. Hal ini mengindikasikan kesalahan pengambilan contoh kadar air, sehingga berat isi kering contoh terpadatkan pada Tabel 4 hanya bersifat informatif.



Gambar 6. Perbandingan CBR desain dan perkiraan modulus resiliensi tanah asli dan terpadatkan

E. Implikasi bagi Perbaikan Tanah Dasar

Hasil di atas menunjukkan bahwa daya dukung tanah Salubua sangat bergantung pada kepadatan dan kadar air. Oleh karena itu, perbaikan perkerasan saja tidak memadai. Langkah yang disarankan adalah (1) membongkar dan memadatkan ulang timbunan badan jalan secara berlapis hingga $\geq 95\%$ kepadatan kering maksimum pada kadar air mendekati optimum, (2) membangun drainase permukaan dan bawah permukaan untuk menahan kadar air tanah di sekitar nilai optimum, dan (3) menempatkan lapisan penopang (capping) granular di atas tanah dasar lunak sesuai Manual Desain Perkerasan Jalan [7]. Pada lokasi dengan lereng curam, perbaikan tanah dasar perlu dipadukan dengan perkuatan lereng [12].

IV. Kesimpulan

Tanah pada lokasi amblas Jalan Poros Toraja–Luwu Km 27 adalah pasir berlanau–berlempung (SM/SC; A-2-7) dengan butiran halus 29,5%, LL 41,9%, PI 16,0%, dan potensi pengembangan rendah hingga sedang. Tanah berada dalam kondisi sangat lepas dengan kadar air 39,8%, berat isi kering 0,88 g/cm³, dan angka pori sekitar 2,0, atau hanya 64% dari berat isi kering maksimum 1,36 g/cm³ (kadar air optimum 31,3%).

CBR tanah asli hanya 1,1–2,0% (M_R 11–21 MPa), sedangkan pemadatan menaikkan CBR menjadi 10,9–13,4%. Kepadatan lapangan yang sangat rendah dan kadar air di atas optimum merupakan penyebab utama amblas. Perbaikan tanah dasar dengan pemadatan ulang terkontrol, pengendalian air melalui drainase, dan lapisan penopang granular direkomendasikan. Uji berat jenis dan pemadatan disarankan diulang untuk memastikan parameter desain.

Daftar Pustaka

- [1] Republik Indonesia, *Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2004 tentang Jalan*. Jakarta, Indonesia: Sekretariat Negara, 2004.
- [2] B. M. Das dan K. Sobhan, *Principles of Geotechnical Engineering*, ed. 9. Boston, MA, USA: Cengage Learning, 2018.

Buttu, et. al. (Karakteristik Fisik dan Daya Dukung CBR Tanah Dasar sebagai Penyebab Amblas Jalan Poros Toraja–Luwu Km 27 Desa Salubua)

-
- [3] B. M. Das, N. Endah, dan I. B. Mochtar, *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)*, jilid 2. Jakarta, Indonesia: Erlangga, 1995.
 - [4] R. A. Rahma, M. Jamal, dan H. Sutanto, "Analisis stabilitas lereng pada ruas jalan Samarinda–Balikpapan KM.24 dengan alternatif perkuatan dinding bronjong dan geotekstil," *Teknologi Sipil: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, vol. 3, no. 2, pp. 19–27, 2019, doi: 10.30872/ts.v3i2.3255.
 - [5] J. E. Bowles dan J. K. Hainim, *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*, ed. 2. Jakarta, Indonesia: Erlangga, 1984.
 - [6] H. B. Seed, R. J. Woodward, dan R. Lundgren, "Prediction of swelling potential for compacted clays," *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE*, vol. 88, no. SM3, pp. 53–87, 1962.
 - [7] Direktorat Jenderal Bina Marga, *Manual Desain Perkerasan Jalan (Revisi Juni 2017)*, No. 04/SE/Db/2017. Jakarta, Indonesia: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2017.
 - [8] ASTM International, *ASTM D2487-17: Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)*. West Conshohocken, PA, USA: ASTM International, 2017.
 - [9] AASHTO, *M 145-91: Standard Specification for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes*. Washington, DC, USA: American Association of State Highway and Transportation Officials, 2012.
 - [10] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 1744:2012 Metode Uji CBR Laboratorium*. Jakarta, Indonesia: BSN, 2012.
 - [11] AASHTO, *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*. Washington, DC, USA: American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993.
 - [12] R. Zelby, A. Hakam, dan Andriani, "Analisis stabilitas dan perbandingan metode perbaikan longsor ruas Jalan Barung-Barung Belantai KM. 45+400, Pesisir Selatan," *Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil*, vol. 22, no. 1, pp. 74–83, 2025, doi: 10.30630/jirs.v22i1.1761.