

ANALISIS PENURUNAN JALAN DI ATAS TANAH GAMBUT TANPA PERBAIKAN DI PEKANBARU

Jonathan Wansons Khohara¹ dan Aniek Prihatiningsih²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia
jonathan.325190003@stu.untar.ac.id

²Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia
aniekp@ft.untar.ac.id

Masuk: 19-01-2023, revisi: 30-04-2023, diterima untuk diterbitkan: 02-05-2023

ABSTRACT

Indonesia is one of the countries that has the largest area of peat soil. Construction on peat soil may cause problems to the structure due to poor physical properties of peat soil such as having low bearing capacity, which usually soil improvement methods are used to solve this issue, however this requires additional cost during construction. There have been several cases where roads build on peat experience damages like the occurrence of settlement that results in road surface subsidence making the road uneven. This research will conduct a study in peat soil without soil improvement where the peatland will be used as a location for road construction, which the bearing capacity, settlement and time required for settlement to take place is predicted as well as the risks of not using soil improvements on peat. The analysis will be conducted in a condition where in the pavement will be placed right above the elevation of 0,0 m, and the pavement as well as vehicle will be considered as a load. The largest bearing capacity is 200,8648 kN/m². The total settlement is 58,9 cm, whereas the time needed for primary consolidation to take place is 22,6997 years.

Keywords: peat soil; low bearing capacity; settlement; consolidation; roads

ABSTRAK

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki luas lahan gambut terbesar di dunia. Pembangunan pada tanah gambut dapat menimbulkan beberapa masalah kepada konstruksi yang disebabkan oleh sifat fisik tanah gambut yang kurang bagus seperti memiliki daya dukung yang rendah, sehingga biasanya perlu dilakukan perkuatan tanah dan dibutuhkan biaya tambahan dalam konstruksi. Dalam penelitian ini akan dilakukan penelitian terhadap tanah gambut yang tidak diperbaiki atau diperkuat dimana tanah tersebut akan digunakan sebagai lokasi konstruksi jalan, yang akan dilakukan prediksi besar daya dukung, serta besar dan lama penurunan yang terjadi pada tanah tersebut serta risiko apa saja yang terdapat. Analisis pada penelitian ini dilakukan dalam kondisi dimana lapisan perkerasan jalan terletak tepat di atas elevasi 0,0 m dimana lapisan perkerasan dan kendaraan akan dianggap sebagai beban. Daya dukung terbesar yang diperoleh adalah 200,8648 kN/m². Penurunan total yang terjadi adalah 58,9 cm, serta jumlah lama penurunan konsolidasi primer adalah 22,6997 tahun.

Kata kunci: tanah gambut; daya dukung rendah; penurunan; konsolidasi; jalan

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara di dunia yang memiliki luas sebaran lahan gambut terbesar, dimana negara Indonesia memiliki luas lahan gambut sekitar 14,9 juta hektare (Ritung et al, 2011). Tanah gambut biasanya memiliki daya dukung yang kecil yang disebabkan oleh sifat fisiknya yang kurang baik, sehingga menjadi sulit untuk digunakan dalam bidang konstruksi. Tanah gambut secara umum adalah suatu zat organik yang terbentuk secara alami yang memiliki zat pembentuk utama yaitu bahan tumbuhan (ASTM D4427-92:2002). Dengan perkembangan ekonomi yang sangat pesat pada saat ini dibutuhkan pemanfaatan lahan-lahan yang lebih luas untuk membangun infrastruktur yang diperlukan bagi masyarakat, oleh karena itu konstruksi di atas tanah gambut sudah tidak bisa dihindarkan lagi.

Salah satu infrastruktur yang diperlukan oleh masyarakat pada saat ini adalah infrastruktur yang mendukung kelancaran jaringan transportasi seperti pembangunan jalan. Namun pembangunan jalan di atas tanah gambut ini biasanya menimbulkan masalah yang disebabkan oleh sifat fisiknya yang kurang baik sehingga dapat menghasilkan permukaan jalan yang mengalami penurunan dan membuat permukaan jalan menjadi tidak rata. Pembangunan di atas tanah gambut ini biasanya dilakukan perbaikan tanah untuk meningkatkan sifat fisik serta daya dukungnya, namun dengan melakukan perbaikan tentunya dibutuhkan biaya yang lebih. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan

dilakukan pengamatan mengenai penurunan yang terjadi pada tanah gambut yang tidak diperkuat, dan digunakan sebagai lokasi untuk pembangunan infrastruktur jalan.

Tanah gambut

Istilah tanah gambut ini didefinisikan sebagai suatu zat yang memiliki kadar organik tinggi dimana zat tersebut berasal dari bahan tumbuhan, tanah gambut ini terbentuk pada saat zat organik tumbuhan terkumpul lebih cepat dan kemudian mengalami pembusukan (Huat et al, 2014). Menurut Pd T-06-2004-B, tanah gambut merupakan suatu jenis tanah lunak yang memiliki zat sisa-sisa tumbuhan yang membusuk sebagai pembentuk utamanya. Secara umum tanah gambut memiliki kompresibilitas yang tinggi dan kuat geser *undrained* yang rendah, serta permeabilitas yang tinggi. Suatu tanah dapat diklasifikasikan sebagai tanah gambut apabila kadar organik dari tanah tersebut > 75%. Tanah gambut ini memiliki daya dukung yang rendah serta memiliki tekstur yang berserat sehingga membuat tanah tersebut memiliki tingkat permeabilitas dan konsolidasi yang tinggi, oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa tanah gambut kurang baik untuk digunakan dalam pembangunan suatu struktur, dan apabila akan dilakukan pembangunan perlu dilakukan upaya penguatan tanah untuk meningkatkan daya dukung dari tanah tersebut (Rahayu et al, 2018). Selain itu tanah gambut juga memiliki karakteristik serat-serat tumbuhan yang mirip dengan spons sehingga partikel tanah gambut sangat renggang (*very loose*) (Thomson & Prihatiningsih, 2021).

Efek air pada tanah gambut

Tanah gambut memiliki sifat yang berbahaya dimana tanah gambut memiliki sifat yang disebut sebagai mengering tidak balik (*irreversible drying*), dimana dengan sifat ini membuat tanah gambut menjadi mudah terbakar pada saat musim panas. Sifat ini membuat tanah gambut yang sudah mengalami pengeringan dengan kadar air pada tanah kurang dari 100% (berdasarkan berat) kehilangan kemampuannya untuk menyerap air lagi apabila nantinya dibasahi. Pada kondisi ini tanah gambut menjadi lebih mudah hanyut dibawa air dan lebih mudah untuk terbakar (Agus & Subiksa, 2008).

Sifat fisik tanah gambut

Berat isi tanah gambut biasanya memiliki nilai pada rentang $8,3 \text{ kN/m}^3 - 11,5 \text{ kN/m}^3$ (Huat et al, 2011).

Secara umum tanah gambut adalah tanah yang sangat *compressive*, oleh karena itu tanah gambut memiliki nilai angka pori yang cukup tinggi. Dimana tanah gambut ini bisa memiliki angka pori dalam rentang 5 – 15 dan untuk jenis tanah gambut berserat (*fibrous*) angka pori dapat mencapai nilai 25 (Huat et al, 2011).

Fondasi dangkal

Fondasi dangkal secara umum adalah fondasi yang terletak dalam tanah dengan kedalamannya yang tidak melebihi dari lebar fondasinya sendiri. Fondasi termasuk fondasi tapak (*pad*), jalur atau menerus (*strip*), dan rakit (*raft*) (Das & Sivakugan, 2017). Daya dukung dari suatu fondasi dangkal dapat dihitung menggunakan persamaan teori Terzaghi (1943), Meyerhof (1963), Hansen (1970), dan Vesic (1973, 1975).

Tekanan efektif

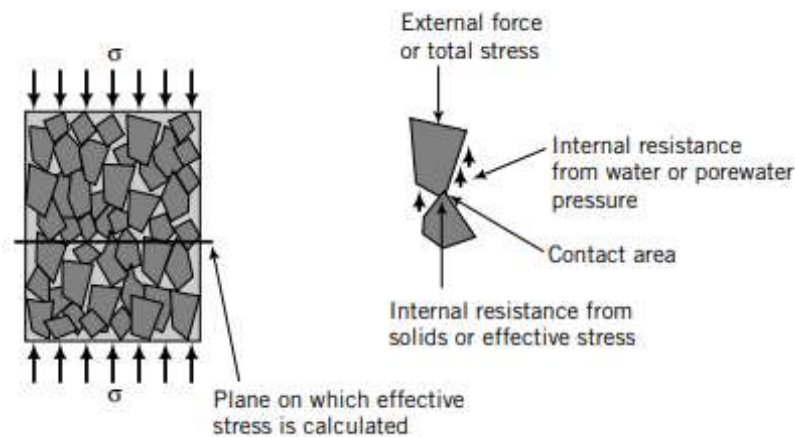
Tekanan efektif (*effective stress*) adalah tekanan yang dibawa oleh partikel-partikel pada tanah. Asumsikan suatu elemen tanah jenuh yang dikenakan tekanan normal (σ) dari Persamaan 1, yang diterapkan pada batas horizontal yang dapat dilihat pada Gambar 1. Tekanan σ disebut sebagai tekanan total, dimana untuk mencapai kestabilan tekanan pada tanah perlu sama dan berlawanan dengan σ . Reaksi terhadap σ disediakan oleh kombinasi dari tekanan zat padat, yang disebut sebagai tekanan efektif (σ'), dan tekanan air pori (u) dari air pada pori-pori (Budhu, 2010).

$$\sigma = \sigma' + u \quad (1)$$

Tegangan vertikal

Tegangan vertikal pada tanah akibat beban terpusat dapat dihitung menggunakan persamaan metode Boussinesq, yang dapat digunakan Persamaan 2.

$$\Delta\sigma = \frac{3P}{2\pi z^2 \left(1 + \left(\frac{r}{z}\right)^2\right)^{\frac{5}{2}}} \quad (2)$$



Gambar 1. Tekanan efektif (Budhu, 2010)

dengan $\Delta\sigma$ = peningkatan tegangan pada kedalaman z (kN/m^2), P = beban (kN), r = jarak tegak lurus dari titik kerja gaya (m), dan z = kedalaman (m).

Tegangan vertikal pada tanah akibat beban merata dapat dihitung dengan tabel korelasi nilai $\Delta\sigma/q_0$ dengan $2z/B$ dan $2x/B$ yang dapat dilihat pada Das & Sivakugan (2017).

Penurunan total

Dalam SNI 8460:2017, penurunan total adalah penurunan seketika atau penurunan elastis ditambah dengan penurunan konsolidasi, dimana penurunan elastis akan terjadi pada saat beban diberikan. Berikut adalah alasan mengapa dapat terjadi penurunan pada tanah:

1. Pemberian beban pada fondasi
2. Berubahnya elevasi muka air tanah
3. Getaran akibat beban mesin, kereta api, termasuk akibat gempa
4. Perubahan tegangan yang bekerja pada lapisan tanah fondasi yang diakibatkan dari adanya galian atau pekerjaan konstruksi di sekitarnya

Penurunan elastis

Penurunan elastis adalah penurunan yang disebabkan oleh deformasi elastis tanah kering, basah, dan jenuh air, tanpa adanya perubahan kadar air. Penurunan elastis ini terjadi secara langsung setelah konstruksi suatu struktur atau setelah diberikan beban (Das & Sivakugan, 2017).

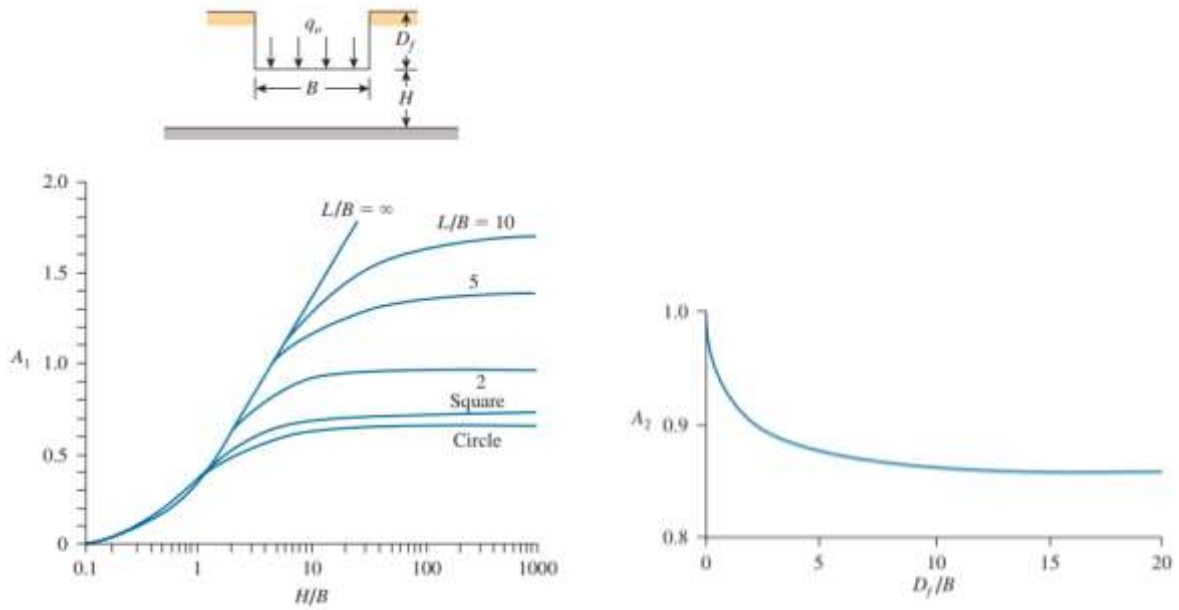
Penurunan elastis fondasi dangkal (Persamaan 3) yang diajukan oleh Janbu et al (1956) pada tanah jenuh (*saturated clay*) dengan nilai rasio poisson, $\mu_s = 0,5$. Serta dengan grafik nilai A_1 dan A_2 yang diajukan oleh Christian dan Carrier (1978) yang dapat dilihat pada Gambar 2.

$$S_e = A_1 A_2 \frac{q_o B}{E_s} \quad (3)$$

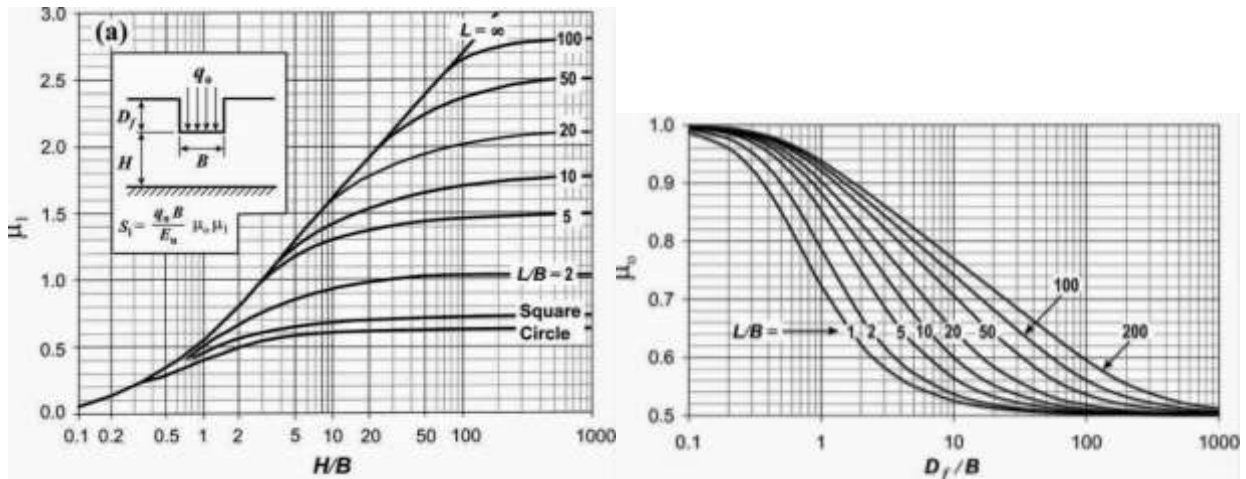
dengan S_e = penurunan elastis (m), $A_1 = f(H/B, L/B)$, $A_2 = f(D_f/B)$, L = Panjang fondasi (m), B = lebar fondasi (m), D_f = kedalaman fondasi (m), H = ketebalan lapisan tanah (m), q_o = tekanan yang bekerja (kN/m^2), dan E_s = modulus elastisitas tanah (kN/m^2).

Persamaan 4, penurunan elastis yang diajukan oleh Janbu et al (1956) dengan grafik nilai μ_0 dan μ_1 yang dapat dilihat pada Gambar 3.

$$S_e = \frac{\mu_0 \mu_1 q_o B}{E_s} \quad (4)$$



Gambar 2. Nilai A_1 dan A_2 untuk kalkulasi penurunan elastis (Das & Sivakugan, 2017)



Gambar 3. Grafik hubungan μ_1 dengan H/B dan μ_0 dengan D/B (Craig & Soepandji, 1989)

Persamaan 5-11 untuk menghitung penurunan elastis pada tanah granular sesuai dengan teori elastisitas.

$$S_e = q_o(\alpha B') \frac{1 - \mu_s^2}{E_s} I_s I_f \quad (5)$$

$$I_s = F_1 + \frac{1 - 2\mu_s}{1 - \mu_s} F_2 \quad (6)$$

$$F_1 = \frac{1}{\pi} (A_0 + A_1) \quad (7)$$

$$F_2 = \frac{n'}{2\pi} \tan^{-1} A_2 \quad (8)$$

$$A_0 = m' \ln \frac{(1 + \sqrt{m'^2 + 1}) \sqrt{m'^2 + n'^2}}{m' (1 + \sqrt{m'^2 + n'^2} + 1)} \quad (9)$$

$$A_1 = \ln \frac{(m' + \sqrt{m'^2 + 1})\sqrt{1 + n'^2}}{m' + \sqrt{m'^2 + n'^2 + 1}} \quad (10)$$

$$A_2 = \frac{m'}{n'\sqrt{m'^2 + n'^2 + 1}} \quad (11)$$

Persamaan 12-14 untuk perhitungan di tengah fondasi.

$$\alpha = 4 \quad (12)$$

$$m' = \frac{L}{B} \quad (13)$$

$$n' = \frac{H}{\left(\frac{B}{2}\right)} \quad (14)$$

Persamaan 15-17 untuk perhitungan di sudut fondasi.

$$\alpha = 1 \quad (15)$$

$$m' = \frac{L}{B} \quad (16)$$

$$n' = \frac{H}{B} \quad (17)$$

dengan α = faktor lokasi penurunan pada fondasi, $B' = B/2$ untuk di tengah fondasi, dan B untuk di sudut fondasi, I_s = faktor bentuk, dan I_f = faktor kedalaman. Dimana variasi nilai I_f dapat dilihat pada Tabel 1, sedangkan untuk variasi nilai rasio poisson tanah dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1. Variasi nilai I_f dengan L/B dan D_f/B (Das & Sobhan, 2014)

L/B	D_f/B	I_f		
		$\mu_s = 0,3$	$\mu_s = 0,4$	$\mu_s = 0,5$
1	0,5	0,77	0,82	0,85
	0,75	0,69	0,74	0,77
	1	0,65	0,69	0,72
2	0,5	0,82	0,86	0,89
	0,75	0,75	0,79	0,83
	1	0,71	0,75	0,79
5	0,5	0,87	0,91	0,93
	0,75	0,81	0,86	0,89
	1	0,78	0,82	0,85

Tabel 2. Nilai rasio poisson sesuai dengan jenis tanah (Das & Sobhan, 2014)

Tipe tanah	Rasio poisson (μ_s)
Pasir lepas	0,2 – 0,4
Pasir sedang	0,25 – 0,4
Pasir padat	0,3 – 0,45
Pasir berlanau	0,2 – 0,4
Lempung lembut	0,15 – 0,25
Lempung sedang	0,2 – 0,5

Penurunan konsolidasi

Penurunan konsolidasi adalah jenis penurunan yang bergantung pada waktu dimana terjadi pengurangan volume yang disebabkan oleh keluarnya air dari pori atau rongga yang terdapat pada tanah tersebut (Budhu, 2010). Penurunan konsolidasi umumnya terjadi dalam satu arah yaitu arah vertikal dari atas ke bawah, hal ini disebabkan karena tanah sekitarnya dapat menahan gaya atau beban tambahan yang diterima dari arah horizontal yang biasanya disebut sebagai konsolidasi satu arah (*one dimensional consolidation*) (Wilson & Susilo, 2018). Penurunan konsolidasi secara umum terjadi dalam dua tahap, yaitu penurunan konsolidasi primer dan penurunan konsolidasi sekunder. Pada penelitian ini akan hanya dilakukan perhitungan pada konsolidasi primer. Berikut adalah persamaan untuk menghitung penurunan konsolidasi primer:

Persamaan 18 untuk *normally consolidated* ($\sigma'_o = \sigma'_c$).

$$S_c = \frac{C_c H_c}{1 + e_o} \log \frac{\sigma'_o + \Delta \sigma'}{\sigma'_o} \quad (18)$$

Persamaan 19-20 untuk *over consolidated*.

$$\sigma'_o + \Delta \sigma' \leq \sigma'_c \rightarrow S_c = \frac{C_s H_c}{1 + e_o} \log \frac{\sigma'_o + \Delta \sigma'}{\sigma'_o} \quad (19)$$

$$\sigma'_o + \Delta \sigma' > \sigma'_c \rightarrow S_c = \frac{C_s H_c}{1 + e_o} \log \frac{\sigma'_c}{\sigma'_o} + \frac{C_c H_c}{1 + e_o} \log \frac{\sigma'_o + \Delta \sigma'}{\sigma'_c} \quad (20)$$

dengan S_c = penurunan konsolidasi primer (m), C_c = indeks kompresibilitas, C_s = indeks pemuaian, e_o = angka pori awal tanah, H_c = tebal lapisan tanah (m), $\Delta \sigma'$ = perubahan tekanan (kN/m²), σ'_o = tekanan efektif *overburden* (kN/m²), dan σ'_c = tekanan prakonsolidasi (kN/m²).

Lama penurunan konsolidasi

Persamaan 21 untuk Faktor waktu.

$$T_v = \frac{C_v t}{H_{dr}^2} \quad (21)$$

Persamaan 22 untuk $U = 0 - 60\%$.

$$T_v = \frac{\pi}{4} \left(\frac{U\%}{100} \right)^2 \quad (22)$$

Persamaan 23 untuk $U > 60\%$.

$$T_v = 1,781 - 0,933 \log (100 - U\%) \quad (23)$$

Persamaan 24 untuk kecepatan penurunan konsolidasi.

$$t = \frac{T_v H_{dr}^2}{C_v} \quad (24)$$

dengan T_v = faktor waktu, C_v = koefisien konsolidasi (mm²/min), H_{dr} = Panjang maksimum aliran drainase (m). U = derajat konsolidasi (%), dan t = waktu yang diperlukan untuk terjadi penurunan.

Penurunan izin yang digunakan pada penelitian ini adalah penurunan izin yang tercantum dalam Bina Marga untuk perkerasan jalan yaitu 100 mm (MDP 04/SE/Db/2017).

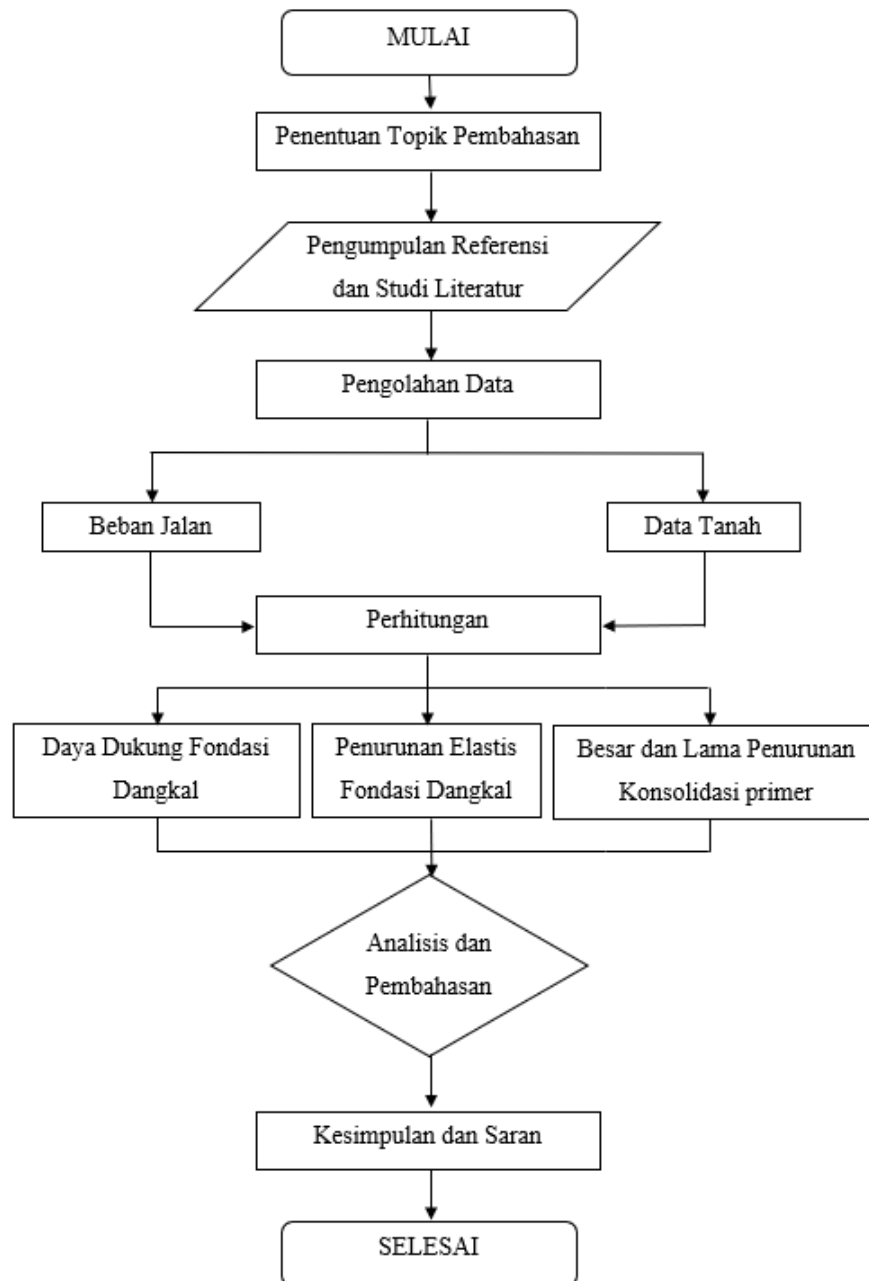
2. METODE PENELITIAN

Berikut adalah tahap-tahap yang dilakukan pada penelitian ini:

1. Mencari dan mengumpulkan referensi serta teori yang berguna untuk mendukung penelitian ini berupa jurnal, buku literatur, dan artikel yang berhubungan dengan topik pembahasan yang telah ditentukan.
2. Menganalisis sifat tanah gambut, daya dukung fondasi, jenis penurunan, dan rumus daya dukung serta penurunan tanah.
3. Mengumpulkan data dan parameter yang diperlukan untuk data tanah gambut.
4. Mencari jenis atau kelas jalan yang akan digunakan dalam penelitian.
5. Mendesain beban jalan yang akan direncanakan sesuai dengan kelas jalan.

6. Menghitung daya dukung fondasi dangkal.
7. Menghitung besar penurunan elastis dan penurunan konsolidasi primer yang terjadi.
8. Menghitung lama penurunan tanah.
9. Membuat kesimpulan dan saran berdasarkan hasil penelitian.

Diagram alir dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram alir penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan data tanah yang berasal dari pekanbaru dengan hasil data tersebut yang berupa data Borlog. Data tanah diperoleh dengan dilakukan pengeboran pada dua titik yaitu DBI dan DBII yang berupa data borlog, dimana data ini berasal dari Pekanbaru. Lapisan perkerasan yang digunakan pada penelitian ini adalah lapisan perkerasan yang terdapat pada suatu jalan di pekanbaru. Dimana parameter tanah yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.

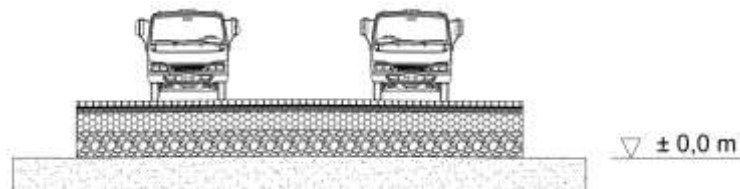
Tabel 3. Parameter akhir tanah

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	Konsistensi	γ_{sat} (kN/m ³)	e_o	C_c	C_s	ϕ (°)
0 – 1	Lempung	Sangat Lembut	16,5	1,4	0,4	0,18	29
1 – 8	Organis	Sangat Lembut	8,3	15	5,9	2,26	25
8 – 11	Silt	Sangat Lembut	18	0,65	0,16	0,09	30
11 – 18	Lempung	Sedang	16,5	0,7	0,2	0,11	30
18 – 24	Pasir	Padat Sedang	18	0,5	0,1	0,08	36
24 – 28	Pasir	Padat	18	0,5	0,1	0,08	37
28 – 31	Silt	Kaku	18	0,45	0,1	0,07	30
31 – 40	Pasir	Sangat Padat	18	0,45	0,1	0,07	39

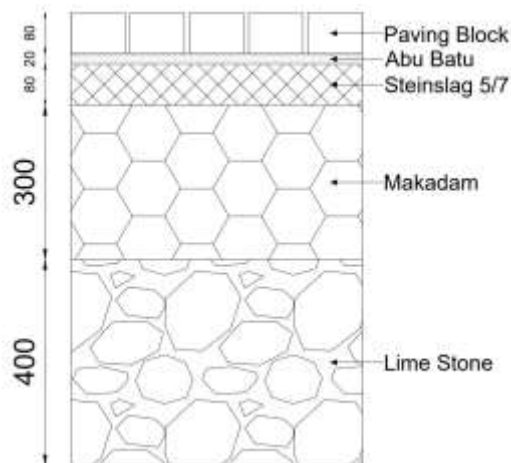
Tabel 3. Parameter akhir tanah (lanjutan)

Kedalaman (m)	S_u (kN/m ²)	C' (kN/m ²)	σ'_c (kN/m ²)	E_s (MPa)	C_v (cm ² /s)
0 – 1	8	1,5	52	2	0,00085
1 – 8	8	1,5	40	2	0,0005
8 – 11	24	5	80	7	0,00085
11 – 18	30	6	115	9	0,00085
18 – 24	-	-	-	27	-
24 – 28	-	-	-	24	-
28 – 31	72	16	260	23	0,00085
31 – 40	-	-	-	32	-

Lapisan perkerasan akan terletak tepat pada elevasi 0,0 m yang dapat terlihat pada Gambar 5, dengan lapisan perkerasan dan kendaraan akan dianggap sebagai beban. Lapisan perkerasan yang digunakan berasal dari jalan yang terdapat pada lokasi tersebut yang dapat terlihat pada Gambar 6.



Gambar 5. Sketsa perkerasan jalan



Gambar 6. Detail lapisan perkerasan

Pembebanan yang digunakan

Hasil dari pembebanan yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4, yang memberikan tabulasi mengenai beban-beban yang digunakan pada perhitungan penelitian ini.

Tabel 3. Tabulasi pembebanan pada jalan

Keterangan	Material	Berat Isi (kN/m ³)	Lebar (m)	Ketebalan (m)	q (kN/m)	P (kN)
Lapisan Perkerasan	<i>Paving Block</i>	22	7	0,08	1,76	12,32
	Abu Batu	18	7	0,02	0,36	2,52
	Steinslag 5/7	14,5	7	0,08	1,16	8,12
	Makadam	15	7	0,3	4,5	31,5
	<i>Limestone</i>	23,87	7	0,4	9,548	66,836
Beban Kendaraan (MST = 8 Ton)						313,92
Total Beban (kN)						435,216

Tegangan vertikal akibat beban merata (lapisan perkerasan) dan terpusat (kendaraan)

Tegangan vertikal pada setiap lapisan tanah akibat beban merata yang disebabkan oleh lapisan perkerasan dapat dilihat pada Tabel 5, sedangkan tegangan vertikal akibat beban terpusat yang disebabkan oleh beban kendaraan dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 4. Tegangan vertikal akibat beban merata perkerasan jalan

Tebal Lapisan (m)	z (m)	2x/B	2z/B	$\Delta\sigma_z/q$	$\Delta\sigma_z$ (kN/m ²)
0 – 1	0,425	1	0,2429	0,4996	17,3131
	0,925	1	0,5286	0,4964	17,2042
	1	1	0,5714	0,4956	17,1745
1 – 8	4,5	1	2,5714	0,3650	12,6494
	8	1	4,5714	0,2481	8,5996

Tabel 5. Tegangan vertikal akibat beban kendaraan

Tebal Lapisan (m)	z (m)	$\Delta\sigma_z$ (kN/m ²)	
		P ₁	P ₂
0 - 1	0,94	8,2454	0,6179
	1	8,7486	0,7108
1 - 4	2,5	7,3271	2,5038
	4	3,8191	2,2523
4 - 8	6	1,8973	1,4639
	8	1,1110	0,9548
8 - 11	9,5	0,7999	0,7173
	11	0,6023	0,5548
11 - 18	14,5	0,3507	0,3344
	18	0,2289	0,2219
18 - 24	21	0,1686	0,1648
	24	0,1293	0,1271
24 - 28	26	0,1103	0,1087
	28	0,0952	0,0940
28 - 31	29,5	0,0858	0,0848
	31	0,0777	0,0769
31 - 40	35,5	0,0593	0,0588
	40	0,0467	0,0464

Daya dukung

Daya dukung akan dihitung menggunakan berbagai metode dengan beberapa teori, dimana hasil daya dukung yang diperoleh dari berbagai metode yaitu teori Terzaghi, Meyerhof, Hansen, dan Vesic dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 6. Daya dukung

Daya Dukung (kN/m ²)	Teori			
	Terzaghi (1943)	Meyerhof (1963)	Hansen (1970)	Vesic (1973, 1975)
q _{all}	176,3758	150,8406	139,7496	200,8648

Penurunan elastis

Penurunan elastis akan dihitung menggunakan berbagai persamaan dimana, hasil untuk setiap persamaan dapat dilihat pada Tabel 8, yang memberikan hasil penurunan elastis yang terjadi pada setiap lapisan tanah.

Tabel 7. Hasil penurunan elastis

Lapisan (m)	E _s (kN/m ²)	H (m)	Penurunan Elastis (m)			Penurunan Terbesar (m)
			Tanah Jenuh	Janbu et al (1956)	Hooke's law	
0 – 0,85	2000	0,85	$7,0001 \times 10^{-4}$	$4,3078 \times 10^{-3}$	-	$4,3078 \times 10^{-3}$
0,85 – 1	2000	0,15	$9,9105 \times 10^{-4}$	$5,0830 \times 10^{-3}$	-	$5,0830 \times 10^{-3}$
1 – 8	2000	7	$2,0491 \times 10^{-2}$	$3,8848 \times 10^{-2}$	-	$3,8848 \times 10^{-2}$
8 – 11	7000	3	$1,4804 \times 10^{-4}$	$4,2986 \times 10^{-4}$	-	$4,2986 \times 10^{-4}$
11 – 18	9000	7	$1,6587 \times 10^{-4}$	$3,1101 \times 10^{-4}$	-	$3,1101 \times 10^{-4}$
18 – 24	27000	6	-	-	$2,6685 \times 10^{-5}$	$2,6685 \times 10^{-5}$
24 – 28	24000	4	-	-	$2,4236 \times 10^{-5}$	$2,4236 \times 10^{-5}$
28 – 31	23000	3	$3,0192 \times 10^{-6}$	$1,0722 \times 10^{-5}$	-	$1,0722 \times 10^{-5}$
31 – 40	32000	9	-	-	$1,3852 \times 10^{-5}$	$1,3852 \times 10^{-5}$
Total						0,0491

Penurunan konsolidasi primer

Penurunan konsolidasi primer akan dihitung untuk setiap lapisan, dengan hasil penurunan yang terjadi pada setiap lapisannya dapat terlihat pada Tabel 9 mengenai besar penurunan, dan pada Tabel 10 mengenai lama penurunan konsolidasi untuk setiap lapisannya.

Tabel 8. Perhitungan penurunan konsolidasi primer

Lapisan (m)	σ'_o (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	σ'_c (kN/m ²)	C _s	C _c	H _c	e _o	Penurunan (m)
0 – 0,85	6,375	19,3391	52	0,18	0,4	0,85	1,4	0,0386
0,85 – 1	13,2518	25,9068	52	0,18	0,4	0,15	1,4	0,0053
1 – 8	8,4685	17,8355	40	2,26	5,9	7	15	0,4867
8 – 11	15,4685	1,5172	80	0,09	0,16	3	0,65	0,0066
11 – 18	51,1685	0,6851	115	0,11	0,2	7	0,7	0,0026
28 – 31	168,7685	0,1706	260	0,07	0,1	3	0,45	0,0001
Total								0,5399

Tabel 9. Perhitungan lama penurunan konsolidasi primer

Lapisan (m)	H (m)	Cv (m ² /s)	t (tahun)
0 – 0,85	0,85	$8,5 \times 10^{-8}$	0,1086
0,85 – 1	0,15	$8,5 \times 10^{-8}$	0,0034
1 – 8	7	5×10^{-8}	12,5187
8 – 11	3	$8,5 \times 10^{-8}$	1,3526
11 – 18	7	$8,5 \times 10^{-8}$	7,3639
28 – 31	3	$8,5 \times 10^{-8}$	1,3526
Total			22,6997

Contoh perhitungan penurunan konsolidasi primer pada lapisan tanah gambut (1 – 8 m) kondisi I:

$$\Delta\sigma' = 17,8355 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned}\sigma'_o &= (\gamma_1 \times H_1) + (\gamma_2 \times H_2) + (\gamma_3 \times H_3) \\ &= (15 \times 0,85) + ((16,5 - 9,81) \times 0,15) + ((8,3 - 9,81) \times 3,5) \\ &= 8,4685 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\sigma'_c = 40 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Cek } \sigma'_o + \Delta\sigma' \leq \sigma'_c$$

$$\sigma'_o + \Delta\sigma' = 8,4685 + 17,8355 = 26,3040 \text{ kN/m}^2 \leq \sigma'_c = 40 \text{ kN/m}^2$$

$$C_s = 2,26$$

$$C_c = 5,9$$

$$H_c = 7 \text{ m}$$

$$e_o = 15$$

S_c menggunakan Persamaan 19,

$$\begin{aligned}&= \frac{2,26 \times 7}{1+15} \log \frac{8,4685+17,8355}{8,4685} \\ &= 0,4867 \text{ m}\end{aligned}$$

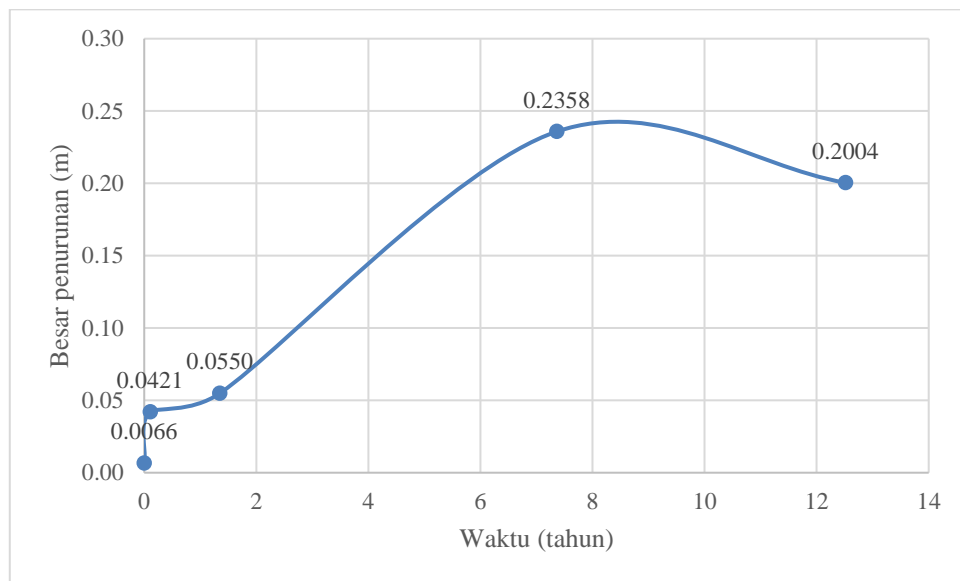
Untuk lama penurunan konsolidasi primer dengan $U = 70\%$ maka T_v menggunakan Persamaan 23,

$$\begin{aligned}&= 1,781 - 0,933 \log (100 - 70\%) \\ &= 0,4028\end{aligned}$$

$$C_v = 5 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\begin{aligned}t &= \frac{T_v H_{dr}^2}{C_v} = \frac{0,4028 \times 7^2}{5 \times 10^{-8}} \\ &= 394788952 \text{ s} = 4569 \text{ hari} = 12,5187 \text{ tahun}\end{aligned}$$

Untuk besarnya penurunan yang terjadi pada setiap tahunnya dapat terlihat pada Gambar 7, yang memperlihatkan grafik mengenai besarnya penurunan yang terjadi pada lapisan tanah untuk setiap tahunnya.



Gambar 7. Grafik penurunan konsolidasi/tahun

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berikut adalah kesimpulan dari penelitian ini:

1. Dari hasil perhitungan diperoleh penurunan total yang terjadi adalah 58,9 cm dimana penurunan izin yang terdapat pada Bina Marga adalah 10 cm. Maka penurunan yang terjadi belum memenuhi syarat yang telah ditentukan.
2. Dari hasil analisis, penurunan elastis yang dihasilkan adalah 4,91 cm.
3. Dari hasil perhitungan besar penurunan konsolidasi primer yang terjadi adalah 53,99 cm.
4. Lama penurunan konsolidasi primer apabila dijumlahkan adalah 22,6997 tahun dengan waktu paling lama lapisan tanah mengalami penurunan adalah 12,5187 tahun.
5. Dari hasil perhitungan daya dukung fondasi dangkal diperoleh nilai terbesar dengan metode Vesic yaitu $q_{all} = 200,8648 \text{ kN/m}^2$.

Berikut adalah saran yang dapat diberikan dari hasil penelitian ini:

1. Untuk mengurangi penurunan total yang terjadi, sebaiknya dilakukan perbaikan tanah dalam pembangunan jalan di atas tanah gambut.
2. Diperlukan metode perbaikan yang lebih baik dan cocok untuk perbaikan tanah gambut karena sifat tanahnya yang unik, perbaikan tanah gambut dapat dilakukan dengan metode kompaksi atau mengisi ruang pori dengan menggunakan metode grouting.
3. Karena sifat tanah gambut yang memiliki kadar organik tinggi, maka terdapat banyak ketidakpastian dalam memprediksi serta menentukan besar penurunan yang terjadi secara akurat. Oleh karena itu disarankan untuk melakukan tes laboratorium untuk memperoleh besar penurunan yang terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus, F., & Subiksa, I. G. (2008). *Lahan Gambut: Potensi untuk Pertanian dan Aspek Lingkungan*. Balai Penelitian Tanah dan World Agroforestry Centre (ICRAF).
- American National Standards Institute. (2002). *Standard Classification of Peat Samples by Laboratory Testing* (ASTM D4427-92:2002 e1).
- Badan Standardisasi Nasional. (2017). *Persyaratan Perancangan Geoteknik* (SNI 8460:2017).
- Budhu, M. (2010). *Soil Mechanics and Foundation* (edisi ke 3). John Wiley & Sons, Inc.
- Craig, R. F., & Soepandji, B. S. (1989). *Mekanika Tanah* (edisi ke 4). Penerbit Erlangga.
- Das, B. M., & Sivakugan, N. (2017). *Principles of Foundation Engineering* (edisi ke 9). Cengage Learning.
- Das, B. M., & Sobhan, K. (2014). *Principles of Geotechnical Engineering* (edisi ke 8, SI). Cengage Learning.
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. (2004). *Perencanaan Konstruksi Timbunan Jalan di Atas Tanah Gambut dengan Metode Prapembebanan* (Pd T-06-2004-B).

- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2017). *Manual Perkerasan Jalan (REVISI Juni 2017) Nomor 04/SE/Db/2017* (MDP 04/SE/Db/2017).
- Huat, B. B., Kazemian, S., Prasad, A., & Barghchi, M. (2011). State of the Art Review of Peat: General Perspective. *International Journal of the Physical Sciences*, 6(8), 1988-1996. 10.5897/IJPS11.192
- Huat, B. B., Prasad, A., Asadi, A., & Kazemian, S. (2014). *Geotechnics of Organic Soils and Peat*. CRC Press/Balkema. <https://doi.org/10.1201/b15627>
- Rahayu, W., Damoerin, D., & Hayyan, A. (2018). Pengaruh Geopolimer untuk Meningkatkan Kuat Geser Tanah Gambut. *Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, 25(3), 187-194. 10.5614/jts.2018.25.3.3
- Ritung, S., Wahyunto, Nugroho, K., Sukarman, Hikmatullah, Suparto, & Tafakresnanto, C. (2011). *Peta Lahan Gambut Indonesia Skala 1:250.000*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan.
- Thomson, D., & Prihatiningsih, A. (2021). Analisis Keefektifitasan Jenis Dinding Penahan Tanah pada Tanah Gambut. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 4(3), 695-710. <https://doi.org/10.24912/jmts.v0i0.12615>
- Wilson, & Susilo, A. J. (2018). Perbandingan Penurunan Konsolidasi Pada Tanah yang Belum Diperbaiki serta yang Diperbaiki dengan Preloading dan Pemancangan Keliling. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 1(2), 151-160. <https://doi.org/10.24912/jmts.v1i2.2675>

