

ANALISIS PENURUNAN TANAH LUNAK TERHADAP PERKERASAN JALAN KAKU MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA (STUDI KASUS: JALAN SRIJAYA RAYA, KOTA PALEMBANG)

Nurul Fadhilah*, Lindung Zalbuin Mase, Hardiansyah, Rena Misliniyati, Khairul Amri

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu
Jl. W.R. Supratman, Kandang Limun, Bengkulu 38371, Indonesia

*Corresponding author: nurulfadhilah848@gmail.com

Abstract

Rigid pavement is a commonly used pavement in soft subgrade conditions because it can anticipate soil subsidence in the transverse and longitudinal directions of the roadway as a result of uneven load distribution due to inhomogeneous soil. Road pavement that is passed by excessive loads will cause the road to experience soil subsidence which will also affect the soil layer below so that research on the problem is needed. This research uses the finite element method which aims to determine the vertical settlement of soil (U_y), the maximum settlement of 3650 days, and the safety factor (M_{sf}) that occurs in soft soil layers against rigid pavement on Srijaya Raya road, Palembang City. The soil characteristics on Srijaya Raya Road are dominated by clay soil with low to medium plasticity which is dominantly soft so that it can cause significant road damage if maintenance is not carried out. Based on the research, it was found that the maximum subsidence value of the distributed load was at STA 0 + 806 at point BH-02 located at the Air Waru Bridge towards Indralaya, which was -0.04847 m with a safety factor of 1.650 and the maximum subsidence for 3650 days was at STA 2 + 103 at point BH-04 located at the Air Kenanga Bridge towards Palembang of -0.539 m.

Keywords: *finite element method, rigid pavement, safety factor, settlement.*

Abstrak

Perkerasan kaku merupakan perkerasan jalan yang umum digunakan pada kondisi tanah dasar lunak karena dapat mengantisipasi penurunan tanah pada arah melintang maupun memanjang trase jalan sebagai akibat distribusi beban yang tidak merata akibat tanah yang tidak homogen. Perkerasan jalan yang dilewati oleh beban berlebihan maka akan mengakibatkan jalan tersebut mengalami penurunan tanah yang akan berpengaruh juga terhadap perlapisan tanah dibawahnya sehingga diperlukan adanya penelitian mengenai masalah tersebut. Penelitian ini menggunakan metode elemen hingga yang bertujuan untuk mengetahui penurunan vertikal tanah (U_y), penurunan maksimum 3650 hari, dan faktor aman (M_{sf}) yang terjadi pada perlapisan tanah lunak terhadap perkerasan jalan kaku di jalan Srijaya Raya, Kota Palembang. Karakteristik tanah di ruas Jalan Srijaya Raya didominasi oleh tanah lempung dengan plastisitas rendah sampai sedang yang bersifat dominan lunak sehingga dapat menyebabkan kerusakan jalan yang cukup signifikan jika tidak dilakukan perawatan. Berdasarkan penelitian didapatkan nilai penurunan tanah maksimum beban terdistribusi berada di STA 0+806 pada titik BH-02 yang berada di Jembatan Air Waru Arah Indralaya yaitu sebesar -0,04847 m dengan faktor keamanan sebesar 1,650 dan penurunan tanah maksimum selama 3650 hari berada di STA 2+103 pada titik BH-04 yang berada di Jembatan Air Kenanga Arah Palembang sebesar -0,539 m.

Kata Kunci: faktor keamanan, metode elemen hingga, penurunan, perkerasan kaku

PENDAHULUAN

Jalan Srijaya Raya merupakan salah satu ruas jalan lintas timur dalam Kota Palembang yang mempunyai peranan penting dalam distribusi barang dan jasa di Pulau Sumatera. Setiap harinya banyak kendaraan melintasi jalan tersebut sehingga mengakibatkan struktur perkerasan jalannya mengalami kerusakan yang mengakibatkan perkerasan jalan tersebut tidak mampu untuk melayani arus lalu lintas yang ada. Beban kendaraan yang berlebihan, seperti truk besar dan kendaraan berat lainnya, sering melebihi kapasitas yang direncanakan menyebabkan kerusakan struktur jalan seperti retak, lubang, dan deformasi. Selain itu, faktor cuaca ekstrem, seperti hujan deras dan suhu panas yang tinggi, juga berkontribusi pada kerusakan jalan dengan mempercepat proses erosi dan degradasi (Djawardi, 2016).

Menurut Nababan dkk (2021), Perkerasan jalan merupakan suatu lapisan yang terletak di atas tanah dasar yang sudah dipadatkan, dan berfungsi untuk memikul beban lalu lintas dengan membagi beban, baik secara horizontal maupun vertikal serta meneruskan beban ke tanah dasar (*subgrade*) sehingga beban pada tanah dasar tidak dapat melewati daya dukung tanah yang telah diizinkan. Struktur tanah di Jalan Srijaya Raya umumnya, memiliki struktur yang lunak atau lempung. Sompie dkk, (2018) menyebutkan tanah yang berfungsi sebagai media yang mendukung struktur bangunan, harus memiliki kemampuan yang memadai untuk menopang dan memikul beban yang diberikan, karena apabila tanah dibebani melebihi kapasitasnya, maka akan menghasilkan tegangan geser yang dapat menyebabkan deformasi pada massa tanah dan berpotensi menyebabkan penurunan struktur tersebut. Baihaqi, dkk (2017), mengatakan bahwa, Ketika daya dukung tanah rendah, hal ini dapat menyebabkan pemampatan di lapisan tanah dasar, yang berpotensi menyebabkan konsolidasi.

Untuk mendapatkan perkerasan jalan yang nyaman bagi pengguna transportasi darat perlu adanya perencanaan jalan yang baik agar tidak mudah rusak dan umur rencana perkerasan jalan sesuai dengan yang direncanakan. Menurut Yasir dkk (2017) perkerasan kaku merupakan jenis perkerasan yang sering dipilih untuk mengatasi dampak dari tanah yang memiliki daya dukung rendah. Perkerasan kaku memiliki kekuatan yang tinggi dan mampu menopang beban secara efisien, sehingga cocok digunakan pada tanah yang cenderung lunak atau memiliki daya dukung yang rendah. Ketika diterapkan dengan benar, perkerasan kaku dapat memberikan stabilitas yang diperlukan untuk jalan yang memiliki lalu lintas berat atau sering dilalui oleh kendaraan besar (Sukmawaty, 2018).

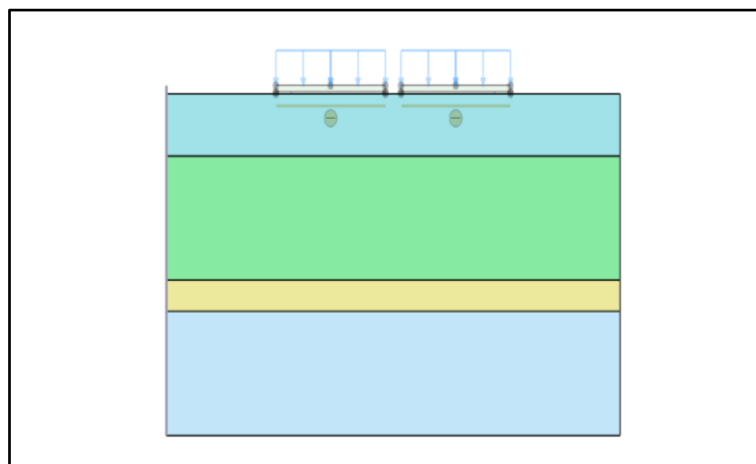
Yuanita (2022), menyebutkan pembangunan jalan di atas tanah lunak akan menghadapi beberapa masalah tanah, salah satunya adalah masalah penurunan yang besar dan berlangsung dalam jangka waktu yang lama yang akan berpengaruh juga terhadap perlapisan tanah dibawahnya sehingga diperlukan adanya penelitian mengenai masalah tersebut. Penelitian ini berjudul “Analisis Penurunan Tanah Pada Perlapisan Tanah Lunak Terhadap Perkerasan Jalan Kaku Menggunakan Metode Elemen Hingga (Studi Kasus: Jalan Srijaya Raya, Kota Palembang)” yang bertujuan untuk menganalisis penurunan yang terjadi pada perlapisan tanah lunak terhadap struktur perkerasan kaku. Menurut Apriyani, dkk (2016) *soft soil model* merupakan pendekatan yang hasilnya paling efisien terhadap analisis pada tanah lunak. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penurunan yang terjadi pada lunak terhadap pengaruh beban kendaraan pada perkerasan kaku di atasnya dengan menggunakan metode elemen hingga, mengetahui faktor keamanan, dan mengetahui nilai penurunan yang terjadi selama 3650 hari kedepan, serta tidak melakukan analisa perbaikan tanah pada penelitian ini.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah metode elemen hingga untuk menganalisis penurunan perlapisan tanah lunak terhadap perkerasan kaku di atasnya pada Ruas Jalan Srijaya, Kota Palembang. Penelitian ini dibagi menjadi 4 titik, yaitu pada STA 0+790, STA 0+806, STA 2+097, dan STA 2+103. Zhafirah (2022) menyebutkan metode elemen hingga didasari prinsip membagi atau diskretisasi suatu sistem yang memiliki derajat kebebasan tak terhingga dapat didekati menjadi suatu sistem yang memiliki derajat kebebasan berhingga. Semakin kecil pembagian elemen-elemen kecil maka semakin akurat pula perhitungan pendekatan melalui metode elemen hingga (Yanto, 2015). Perkerasan jalan kaku di ruas Jalan Srijaya Raya memiliki data dimensi sebagai berikut.

Konstruksi Perkerasan	: <i>Rigid pavement</i> , $t = 30,5$ cm <i>Lean concrete</i> , $t = 10$ cm
Jumlah Jalur	: 2 x 2 Lajur
Lebar Jalur	: 7 m
Lebar Median	: 1 m
Mutu Beton <i>Rigid Pavement</i>	: $f_c' 45$
Mutu Beton <i>Lean Concrete</i>	: $f_c' 10$

Rencana pemodelan geometri adalah penentuan bentuk, ukuran, dan posisi relatif gambar pelapisan tanah dan perkerasan jalan yang akan digunakan dalam pemodelan metode elemen hingga. Penelitian ini akan meletakkan beban kendaraan dengan menggunakan beban terdistribusi sebesar 15 kN dengan jenis dan kedalaman tanah yang bervariasi. Gambar 1 merupakan salah satu contoh rencana pemodelan yang akan dilakukan menggunakan metode elemen hingga.



Gambar 1 Pemodelan pada BH-01 Air Waru arah Palembang

HASIL DAN PEMBAHASAN

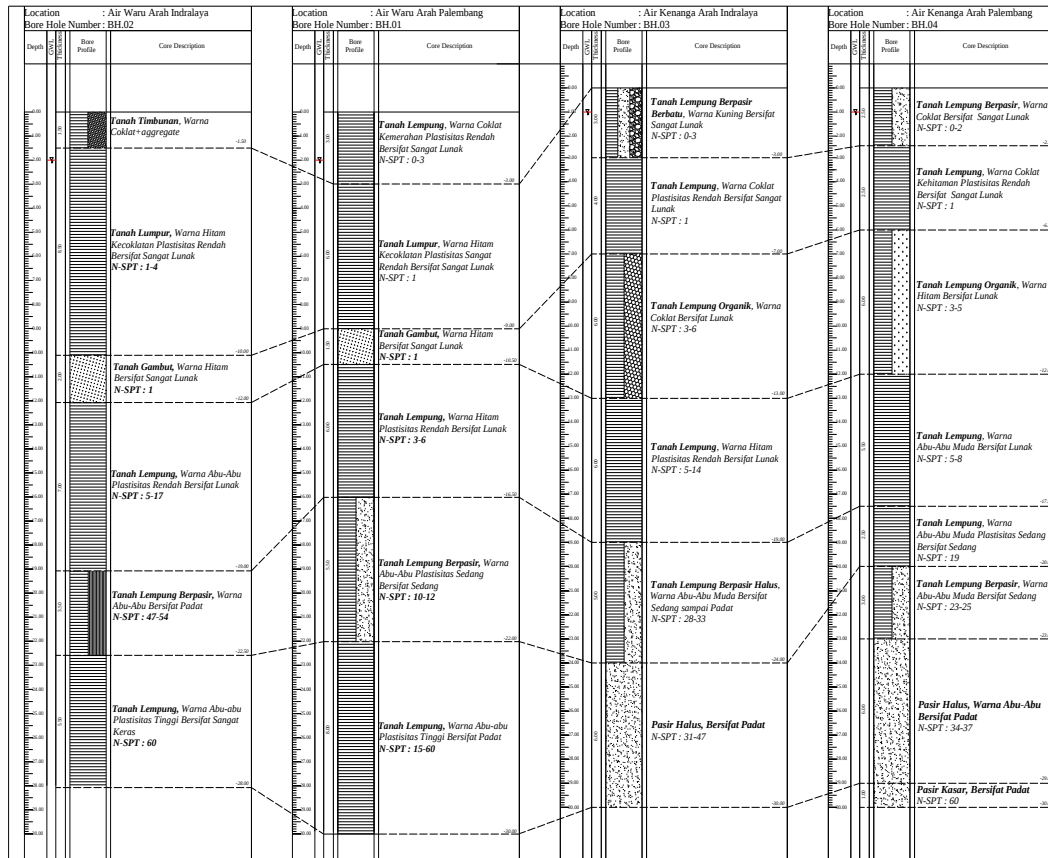
Data Karakteristik Tanah

Ruas jalan Srijaya Raya ini berada di dekat wilayah sungai yang menyebabkan lapisan tanah memiliki kandungan air yang cukup tinggi. Tanah dasar (*subgrade*) di ruas Berdasarkan hasil dari pemeriksaan sifat fisik tanah maka didapatkan nilai parameter yang akan digunakan untuk menentukan jenis tanah yang dapat dilihat pada Tabel 1, sebagai berikut.

Tabel 1 Data karakteristik tanah pada ruas Jalan Srijaya Raya

Karakteristik	Hasil
Kadar air (w)	25,21%
Berat jenis (G_s)	2,67%
Persen lolos saringan No.200	43,17%
Batas cair (LL)	39,4%
Batas plastis (PL)	15,88%
Indeks plastisi (PI)	23,51%

Kondisi geologi pada ruas jalan di dominasi dataran alluvial yang tersusun oleh tanah lempung, gambut, lumpur, dan pasir yang berplastisitas rendah sampai tinggi dengan konsistensi tanah sangat lunak sampai padat yang dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini. Penelitian ini berfokus pada jenis tanah yang berplastisitas sedang sampai rendah dengan konsistensi tanah sangat lunak sampai lunak.



Gambar 2 Drilling Log Ruas Jalan Srijaya Raya

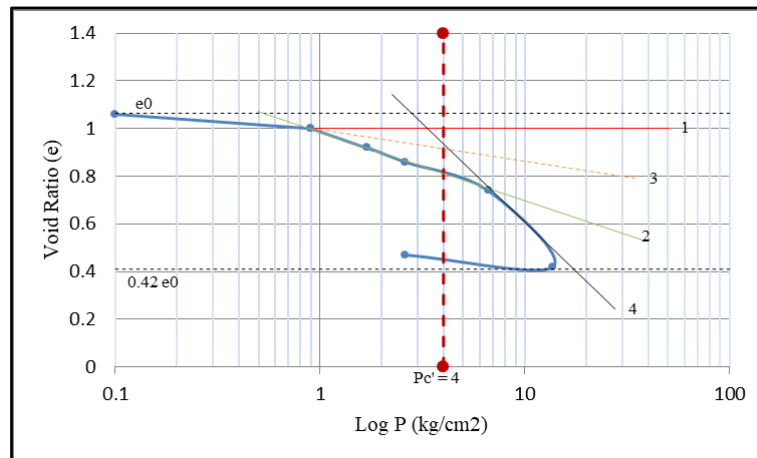
Berdasarkan Gambar 2 di atas, kedalaman tanah pada BH-01 Air Waru arah Palembang dapat diuraikan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2 Kedalaman tanah lunak

Kedalaman (M)	N-SPT	Jenis Litologi	Konsistensi Tanah
0 – 3	0 – 3	Tanah lempung, warna coklat kemerahan	Sangat lunak
3 – 9	1	Tanah lumpur, warna hitam kecoklatan	Sangat lunak
9 – 10,5	1	Tanah gambut, warna hitam	Sangat lunak
10,5 – 16,5	3 – 6	Tanah lempung, warna hitam	Lunak
16,5 – 22	10 - 12	Tanah lempung berpasir, warna abu-abu	Sedang
22 – 30	15 – 60	Tanah lempung, warna abu-abu	Padat

Hasil Pengujian Konsolidasi pada Tanah Sejenis

Surbakti (2021), menyebutkan konsolidasi adalah proses pengurangan volume tanah jenuh oleh air yang terjadi secara perlahan akibat pengaliran air pori setelah kenaikan tegangan total. Ketika beban eksternal diterapkan pada tanah, tekanan air dalam pori meningkat, menyebabkan tanah menyusut seiring waktu saat air pori mengalir keluar, hingga kelebihan tegangan air pori hilang dan tanah mencapai kestabilan baru dengan volume yang lebih kecil. Pemeriksaan konsolidasi dimaksudkan untuk menentukan sifat pemampatan suatu tanah yang diakibatkan adanya tekanan vertikal (berupa berat kendaraan diatasnya atau tanah isian) dan sifat pemampatan ini berupa adanya perubahan isi dan proses keluarnya air dari dalam pori tanah. Proses ini penting dalam desain pondasi dan stabilitas struktur, terutama pada tanah dengan permeabilitas rendah (Puspita dan Capri, 2017). Untuk mengetahui sifat pemampatan tanah akibat pembebanan, dilakukan analisis konsolidasi dengan memplot hubungan antara *void ratio* (e) dan tekanan efektif ($\log P$) dari hasil uji laboratorium. Dari grafik konsolidasi tersebut dapat ditentukan nilai tekanan prakonsolidasi (P_c), indeks kompresi (C_c), dan indeks rekombinasi (Cr) yang menggambarkan karakteristik pemampatan tanah. Hubungan tersebut ditunjukkan pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3 Grafik Konsolidasi

Parameter Input Metode Elemen Hingga

Model material yang digunakan untuk klaster lapisan tanah adalah *Soft Soil* dan klaster perkerasan jalan kaku menggunakan *Linier-Elastic*. Model *Soft Soil* memerlukan beberapa material input seperti indeks muai termodifikasi, indeks kompresi termodifikasi, berat isi tanah, koefisien permeabilitas, sudut geser dalam tanah, kohesi, modulus elastis tanah, angka poisson, dan sudut dilatasi (Latief dkk (2023)). Model Linier-Elastic untuk jalan menggunakan tipe material non-porous. Utomo dkk, (2017) menyebutkan berbeda dengan model material *Soft Soil*, material non-porous hanya memerlukan parameter input seperti berat jenis material, modulus elastisitas beton, dan angka poisson. Parameter tanah yang digunakan pada penelitian ini didapatkan dari data sekunder berupa hasil pengujian laboratorium dan korelasi dari penelitian sebelumnya. Untuk memperoleh hasil analisis yang akurat, diperlukan penentuan parameter material tanah dan perkerasan berdasarkan hasil investigasi lapangan serta asumsi karakteristik material yang sesuai dengan kondisi di lokasi studi. Parameter-parameter tanah yang digunakan dalam pemodelan diambil dari hasil uji tanah pada titik bor BH-01 di daerah Air Waru arah Palembang, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3. Sementara itu, parameter material untuk lapisan perkerasan yang digunakan dalam pemodelan disajikan pada Tabel 4.

Tabel 3 Parameter material BH-01 Air Waru arah Palembang

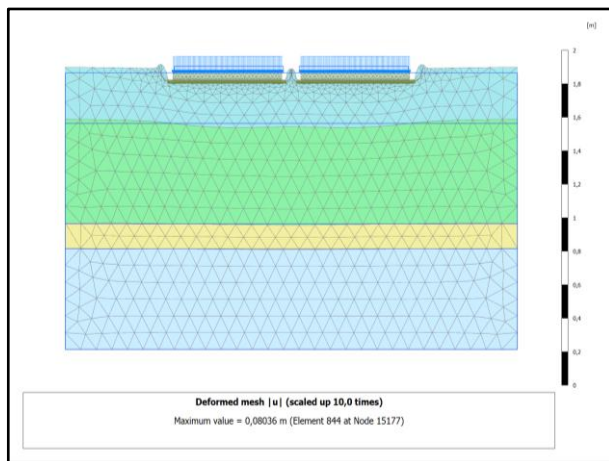
Parameter	Satuan	Tanah lapisan 1	Tanah lapisan 2	Tanah lapisan 3	Tanah lapisan 4
Jenis Tanah	-	Lempung sangat lunak	Lumpur Sangat Lunak	Gambut Sangat Lunak	Lempung lunak
Material Model	-	<i>Soft soil</i>	<i>Soft soil</i>	<i>Soft soil</i>	<i>Soft soil</i>
Material Type	-	<i>Undrained A</i>	<i>Undrained A</i>	<i>Undrained A</i>	<i>Undrained A</i>
Kedalaman Tanah	Meter	3,000	9,000	10,500	16,500
Tebal Lapisan	Meter	3,000	6,000	1,500	6,000
N-SPT	-	1,000	1,000	1,000	3,000
γ_{unsat}	kN/m	12,508	12,190	11,820	13,508
γ_{sat}	kN/m	17,208	17,021	16,867	18,072
Angka Pori	-	0,920	0,970	1,060	0,870
λ	-	0,591	0,576	0,551	0,539
κ	-	0,050	0,048	0,046	0,035
C	-	6,500	5,500	5,000	7,500
Sudut Geser Dalam	-	19,472	19,472	19,472	22,746
Sudut Dilatasi	-	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabel 4 Parameter input perkerasan

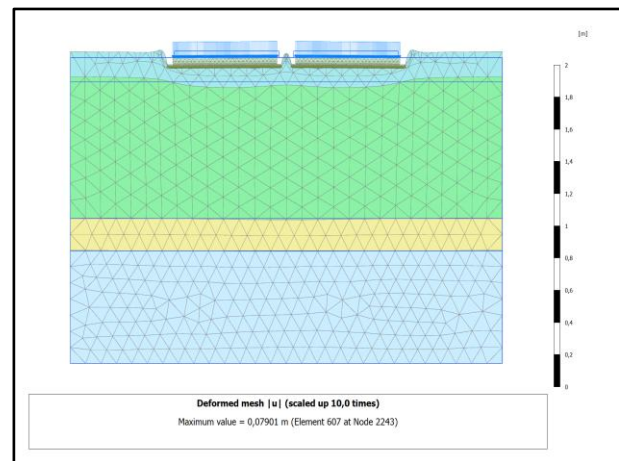
Parameter	Satuan	<i>Rigid Pavement</i>	<i>Lean Concrete</i>	<i>Base Course</i>
Material Model	-	<i>Linier Elastic</i>	<i>Linier Elastic</i>	<i>Linier Elastic</i>
Material Type	-	<i>Non-Porous</i>	<i>Non-Porous</i>	<i>Non-Porous</i>
Tebal	cm	30,500	10,000	10,000
γ_{unsat}	kN/m	25,000	22,000	23,000
γ_{sat}	kN/m	25,000	22,000	23,000
E	kN/m ²	31528558,483	14862705,003	5000000,00
ν	-	0,2	0,2	0,35
Beban (P)	kN	15,000	15,000	15,000

Mekanisme Penurunan Perlapisan Tanah berupa *Deformed Mesh*

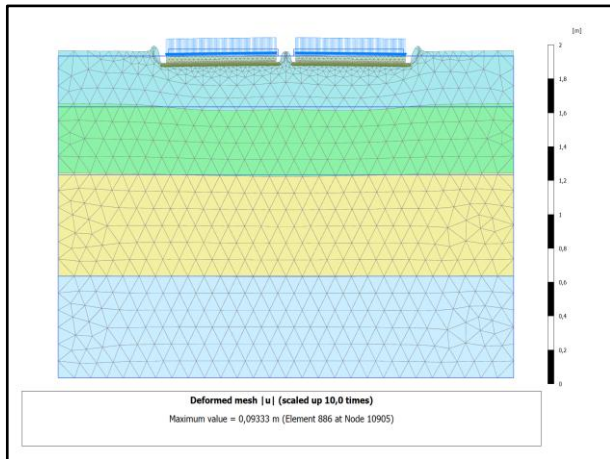
Mekanisme penurunan tanah menggambarkan area yang mengalami penurunan massa tanah yang di pengaruhi oleh beban kendaraan di atas perkerasan. Hasil analisis dari program metode elemen hingga memberikan informasi gambaran penurunan tanah berupa *deformed mesh* yang terjadi pada perlapisan tanah. Deformasi ini menggambarkan pergerakan tanah yang mungkin terjadi akibat faktor luar dan faktor dalam yang dikenakan pada perkerasan jalan. Hasil analisis deformasi tanah pada setiap titik bor disajikan dalam bentuk *deformed mesh* untuk menunjukkan pola distribusi dan besaran deformasi akibat pembebanan pada permukaan perkerasan. Visualisasi ini bertujuan untuk menganalisis respons tanah terhadap beban serta mengidentifikasi perilaku deformasi pada setiap lapisan tanah. Mekanisme deformasi tanah pada masing-masing lokasi ditunjukkan secara berurutan pada Gambar 4 (*Deformed Mesh* BH-01 Air Waru arah Palembang), Gambar 5 (*Deformed Mesh* BH-02 Air Waru arah Indralaya), Gambar 6 (*Deformed Mesh* BH-03 Air Kenanga arah Indralaya), dan Gambar 7 (*Deformed Mesh* BH-04 Air Kenanga arah Palembang).



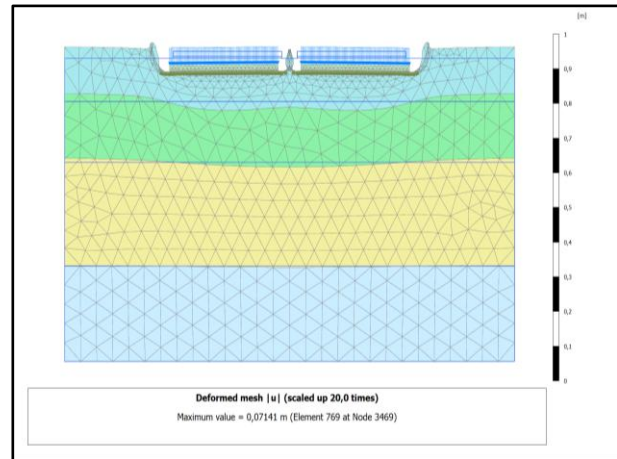
Gambar 4 Mekanisme *Deformed Mesh* BH-01 Air Waru arah Palembang



Gambar 5 Mekanisme *Deformed Mesh* BH-02 Air Waru arah Indralaya



Gambar 6 Mekanisme *Deformed Mesh* BH-03 Air Kenanga arah Indralaya

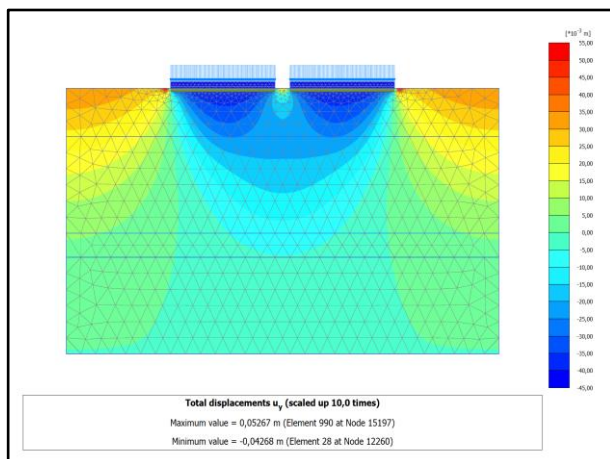


Gambar 7 Mekanisme *Deformed Mesh* BH-04 Air Kenanga arah Palembang

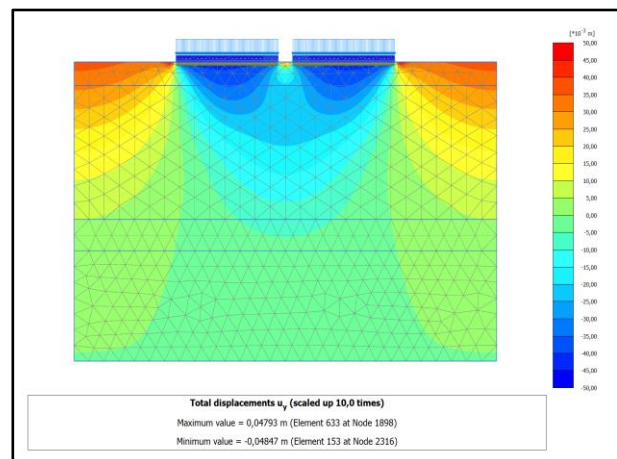
Pada hasil analisis menggunakan metode elemen hingga pada Ruas Jalan Srijaya Raya menunjukkan deformasi yang terbesar pada perlapisan tanah terjadi pada BH-02 Air Waru arah Indralaya dengan vertikal deformasi tanah sebesar -0,0933 m. Hal ini mengindikasikan bahwa pada empat titik lokasi penelitian dengan distribusi beban yang dimodelkan secara merata, lapisan tanah masih dalam keadaan yang aman menerima beban yang telah diasumsikan.

Mekanisme Penurunan Perlapisan Tanah berupa Perpindahan Total

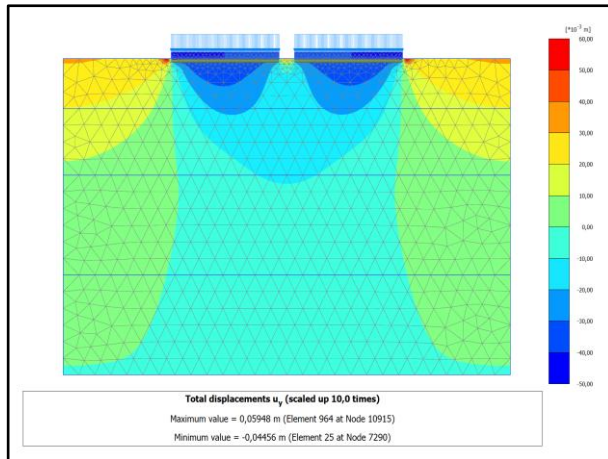
Untuk memperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai perilaku deformasi tanah akibat pengaruh beban lalu lintas, dilakukan analisis perpindahan vertikal pada setiap titik bor (BH) menggunakan metode elemen hingga (*finite element method*). Analisis ini bertujuan untuk mengevaluasi distribusi deformasi dan potensi penurunan lapisan tanah pada beberapa lokasi pengujian dengan arah lalu lintas yang berbeda Gambar 8 hingga Gambar 11 menyajikan hasil analisis mekanisme perpindahan vertikal pada empat titik pengamatan, yaitu BH-01 (Air Waru arah Palembang), BH-02 (Air Waru arah Indralaya), BH-03 (Air Kenanga arah Indralaya), dan BH-04 (Air Kenanga arah Palembang). Setiap gambar menunjukkan distribusi kontur perpindahan total akibat beban lalu lintas terdistribusi sebesar 15 kN yang bekerja pada permukaan perkerasan.



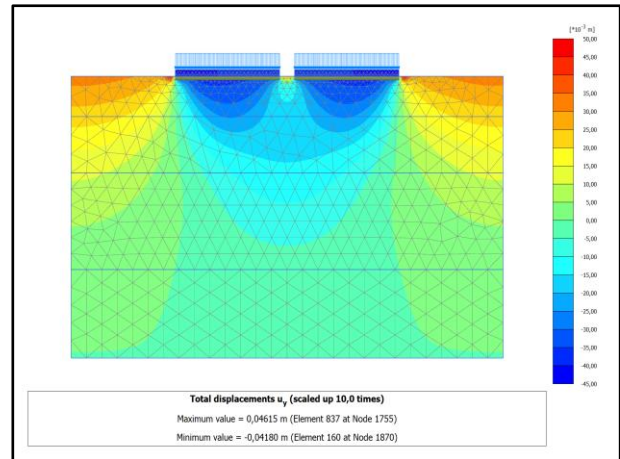
Gambar 8 Mekanisme perpindahan vertikal BH-01 Air Waru arah Palembang



Gambar 9 Mekanisme perpindahan vertikal BH-02 Air Waru arah Indralaya



Gambar 10 Mekanisme perpindahan vertikal BH-03 Air Kenanga arah Indralaya



Gambar 11 Mekanisme perpindahan vertikal BH-04 Air Kenanga arah Palembang

Pada gambar di atas memperlihatkan bahwa tampilan *output* hasil analisis menggunakan metode elemen hingga berwarna merah pekat menunjukkan area yang berpotensi mengalami penurunan tanah yang sangat besar dan menunjukkan nilai tegangan tinggi, perpindahan besar serta tekanan air pori tinggi. Tampilan warna merah pekat terjadi pada klaster tanah di samping kiri dan kanan perkerasan dan beban lalu lintas. Warna kuning hingga jingga menunjukkan area yang mengalami penurunan namun tidak terlalu besar potensi penurunan yang ditimbulkan. Warna kuning hingga jingga menunjukkan nilai antara, menengah hingga tinggi. Sedangkan untuk tampilan berwarna biru pekat menunjukan area yang aman dari terjadinya penurunan per lapisan tanah. Besarnya nilai penurunan tanah vertikal BH-01 Air Waru arah Palembang sebesar -0,04269 meter, BH-02 Air Waru arah Indralaya sebesar -0,04847 meter, BH-03 Air Kenanga arah Indralaya sebesar -0,04456 meter, dan pada BH-04 Air Kenanga arah Palembang sebesar -0,04180 meter.

Penurunan Tanah Maksimum

Penurunan tanah maksimum yang terjadi pada Ruas Jalan Srijaya Raya, dihitung dengan cara manual berdasarkan beberapa persamaan. Perhitungan penurunan maksimum penting dilakukan untuk memperkirakan penurunan tanah lunak akibat pembebanan struktur di atasnya. Berdasarkan data konsolidasi yang didapatkan, dapat dihitung pembagian jenis tanah lempung berdasarkan riwayat tegangannya dengan menggunakan persamaan berikut.

$$OCR = \frac{\sigma'_{pc}}{\sigma'_{vo}} \dots\dots\dots [1]$$

Berdasarkan persamaan di atas didapatkan nilai $OCR > 1$ yang merupakan tanah lempung pada hasil konsolidasi yang telah didapat sebelumnya mengalami overkonsolidasi (*Overconsolidated Clay*). *Overconsolidated clay* (lempung overkonsolidasi) adalah tanah lempung yang pernah mengalami tekanan efektif vertikal yang lebih besar di masa lalu dibanding tekanan efektif saat ini. Perhitungan penurunan maksimum dengan asumsi satu arah drainase dan beberapa lapisan tanah dengan waktu konsolidasi diasumsikan selama 10 tahun atau 3650 hari. Untuk menentukan penurunan maksimum pada kondisi *OC clay* dapat menggunakan persamaan di bawah ini.

Untuk $\sigma'_o + \Delta\sigma' \leq \sigma'_c$, dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$S_c = \frac{c_r}{1+e_0} H \log \frac{\sigma'_o + \Delta\sigma'}{\sigma'_o} \dots\dots\dots [2]$$

Untuk $\sigma'_o + \Delta\sigma' \geq \sigma'_c$, dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$S_c = \frac{c_r}{1+e_0} H \log \frac{\sigma'_c}{\sigma'_o} + \frac{c_r}{1+e_0} H \log \frac{\sigma'}{\sigma'_c} \dots\dots\dots [3]$$

Berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan di atas didapatkan hasil penurunan maksimum tanah selama 3650 hari pada Ruas Jalan Srijaya Raya menggunakan metode elemen hingga pada beberapa titik yaitu untuk BH-01 Air Waru arah Palembang sebesar 40,7 cm, BH-02 Air Waru arah Indralaya sebesar 42,5cm, BH-03 Air Kenanga arah Indralaya sebesar 37 cm, dan BH-04 Air Kenanga arah Palembang sebesar 53,9 cm.

KESIMPULAN

Besarnya nilai penurunan maksimum yang dihasilkan dari program metode elemen hingga dipicu oleh beberapa hal yaitu, tebal perkerasan, beban lalu lintas, dan konsistensi tanah yang buruk. Penurunan tanah maksimum terbesar yang diperoleh dari analisis penelitian ini berada pada STA 2+097 BH-02 Air Waru arah Indralaya sebesar -0,04847 meter. Nilai faktor keamanan (*safety factor*) pada perencanaan jalan sebesar $>1,2$ yang dimana pada penelitian ini didapatkan hasil faktor keamanan untuk distribusi beban lalu lintas pada BH-01 sebesar 1,979, pada BH-02 sebesar 1,650, pada BH-03 sebesar 1,798, dan pada BH-04 1,935. Berdasarkan nilai faktor keamanan yang telah didapatkan menjelaskan bahwa perkerasan jalan kaku di atas perlapisan tanah lunak aman dan mampu menahan beban sebesar 15 kN. Besarnya nilai penurunan tanah maksimum selama 3650 hari berada pada STA 2+103 BH-04 Air Kenanga arah Palembang sebesar -0,539 meter atau sebesar 53,9 cm sehingga perlu dilakukan pemeliharaan rutin dan perbaikan berkala untuk mengurangi potensi penurunan tanah pada masa mendatang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis tujukan kepada seluruh dosen dan mahasiswa di Program Studi Teknik Sipil Universitas Bengkulu yang telah membantu dalam kegiatan penelitian dan penulisan artikel ini.

REFERENSI

- Apriyani, N.K.D., Ikhyia, & Hamdhan, I.N. 2016. Analisis Konsolidasi dengan *Prefabricated Vertical Drain* untuk Beberapa *Soil Model* Menggunakan Metode Elemen Hingga. Jurnal Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional. Vol.2 No.3.
- Baihaqi, F.A., Setiawan, B., & Dananjaya, R.H. 2017. Analisis Metode Elemen Hingga Pada Lendutan Struktur Jalan Raya Terhadap Penggunaan Batu Kapur (*Limestone*). Jurnal Matriks Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret.
- Djawardi, D., 2016. Konstruksi Jalan diatas Tanah Lunak dengan Perkuatan *Geotekstil*. *International Civil Engineering Conference Towards Sustainable Civil Engineering Practice*. Surabaya.
- Hermawan, B., & Kuningsih, T.W. 2019. Analisis Kekuatan Tanah Dasar Pada Perkerasan Kaku di Jalan Raya Pelabuhan Tanjung Priok. Jurnal Kajian Teknik Sipil, Vol. 04, No. 2.
- Latief, I. P., Patuti, I. M., & Achmad, F. (2023). Analisis penurunan tanah timbunan menggunakan metode elemen hingga pada ruas jalan Tolango-Bulontio STA 47+600. *Civil Engineering Journal on Research and Development*, 4(1), 41–48. ISSN: 2746-1033.
- Nababan, D. S., Utary, C., & Murdin, Z. D. 2021. Analisis Perencanaan Ulang Perkerasan Kaku dengan Metode Manual Desain Perkerasan (MDP 2017). Musamus *Journal of Civil Engineering*. 4 (1), 1-10. ISSN: 2622-8084.
- Puspita, N., & Capri, A. (2017). Analisa penurunan tanah lunak dengan beberapa metode konsolidasi pada proyek jalan tol Palindra. Jurnal Penelitian dan Kajian Bidang Teknik Sipil, 6(1), 17-24. ISSN: 2477-4863.
- Sompie, G. M. E., Sompie, O. B. A., & Rondonuwu, S. (2018). Analisis Stabilitas Tanah dengan Model Material Mohr Coulomb dan Soft Soil. Jurnal Sipil Statik. 6(10), 783–792. ISSN: 2337-6732.
- Sukmawaty, D. (2018). Analisis Deformasi Tanah Lunak Terhadap Perkuatan Geogrid Menggunakan Metode Elemen Hingga. Jurnal Teknik Sipil. 2(1), 1–8. ISSN: 2581-1568.
- Surbakti, R. (2021). Prediksi penurunan konsolidasi tanah lunak dengan metode analitis dan metode elemen hingga. *Journal of Civil Engineering, Building and Transportation*, 5(2), 83–91. ISSN: 2549-6387.
- Utomo, V. P., Surjandari, N. S., & Yulianto, B. (2017). Analisis lendutan perkerasan kaku pada pembebanan tengah dan tepi dengan metode elemen hingga. *Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran, dan Ilmu Kesehatan*, 1(1), 142-149. ISSN-L 2579-6410.
- Yanto, F.H. 2015. Analisis Lendutan Perkerasan Kaku Pada Tanah Lunak dengan Perkuatan Kolom Soil Cement. Tesis Magister Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Yasir, F., Surjandari, N. S., & Purwana, Y. M. (2017). Analisis lendutan perkerasan kaku pada pembebanan sudut dengan metode elemen hingga. *Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran, dan Ilmu Kesehatan*, 1(1), 150-156.

ISSN-L 2579-6410.

- Yuanita, I., Indarto, Soemitro, R. A. A., & Permadi, N. (2022). Analisis penurunan tanah dengan perkuatan *water cement grouting* pada proyek preservasi ruas Tuban–Babat–Lamongan–Gresik. *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas*, 6 (Edisi Khusus), 21–36. ISSN: 2615-1847.
- Zhafirah, A. (2022). Analisis Lendutan Perkerasan Kaku pada Tanah Lempung Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teras Jurnal*.