

ANALISIS DESAIN PENINGKATAN JALAN DI ATAS TANAH LUNAK MENGGUNAKAN CERUCUK KAYU GALAM DAN MINIPILE (DESIGN ANALYSIS OF ROAD IMPROVEMENT ON SOFT SOIL USING GALAM WOOD AND MINIPILE GROUPS)

Achmad Miraj Ridwansyah

Karyasiswa Magister Superspesialis Kerjasama PUPR Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Jl. Teknik Kimia, Keputih, Kec. Sukolilo, Kota Surabaya, Jawa Timur
e-mail: achmadmiraj93@gmail.com

Diterima: 05 Januari 2022 ; direvisi: 05 Juni 2022; diterbitkan online: 27 Juni 2022.

ABSTRAK

Peningkatan jalan dari Sp.3 Janas (Jalan Nasional) s.d STI sepanjang 2,5 km (Sta. 0+000 – Sta. 2+450) dilakukan untuk menunjang pengembangan kawasan Food Estate Belanti. Jalan tersebut telah terbangun selebar 3,5 m dengan perkerasan aspal satu lapis dan akan ditingkatkan menjadi 6,0 m lebar badan jalan dan 3,8 m lebar bahu jalan (kanan-kiri). Telah ada desain awal dengan perkuatan tanah dasar dengan 36 cerucuk kayu galam di bagian pelebaran jalan pada tahun 2020. Jumlah kayu galam yang diperlukan sesuai ketentuan sangatlah besar. Hal ini dikhawatirkan memberi dampak buruk terhadap lingkungan. Makalah ini bertujuan melakukan optimasi desain yang telah ada dengan menghitung kembali kebutuhan cerucuk kayu galam dan menggunakan alternative lainnya, yaitu tiang beton minipile. Metodologi yang digunakan adalah menggunakan data sekunder yang telah ada dan menghitung stabilitas timbunan dan penurunan tanah dasar pada kedua jenis perkuatan tanah dasar. Selanjutnya dibandingkan dari segi kekuatan dalam menahan beban dan kebutuhan biayanya. Dari hasil analisis didapatkan pelebaran jalan 2,5 km akan menghabiskan biaya sebesar Rp. 1.078.000.000,- untuk penggunaan kayu galam dan Rp. 31.752.000.000,- untuk penggunaan tiang beton minipile. Total penurunan lapisan tanah setebal 11,0 m (kedalaman -1,0 s.d -12,0 m) adalah sebesar 17,3 cm dengan perbedaan penurunan di sisi pelebaran jalan yang menggunakan cerucuk kayu galam sebesar 6,6 cm. Jika menggunakan tiang beton minipile, total penurunan lapisan tanah menjadi 13,3 cm dengan perbedaan penurunan di sisi pelebaran jalan yang menggunakan tiang beton minipile sebesar 7,0 cm.

Kata Kunci: cerucuk, kayu galam, minipile, pelebaran jalan, tanah lunak.

ABSTRACT

The road improvement of Sp.3 Janas (National Road) to STI along 2.5 km (Sta. 0+000 – Sta. 2+450) is carried out to support the development of the Belanti Food Estate area. The road has been built with a width of 3.5 m with single layer asphalt pavement and will be increased to 6.0 m wide and 3.8 m wide road shoulders (right-left). In the existing plan, the soil layer under the widening of the road will be installed with galam woodpiles as subgrade reinforcement. The need for large quantities of galam wood as subgrade reinforcement for road improvement is feared to have a negative impact on the environment, especially illegal logging. Therefore, minipile concrete pillars are an alternative for subgrade reinforcement used to prevent environmental damage due to the use of large amounts of galam wood. An analysis of the stability of the embankment and subgrade settlement was carried out by using the two subgrade reinforcements which were then compared in terms of strength to withstand loads and their cost requirements. The improvement of the Sp.3 Janas road (National Road) to STI along 2.5 km (Sta. 0+000 – Sta. 2+450) will cost Rp. 1,078,000,000,- for the use of galam wood and Rp. 31,752,000,000,- for the use of minipile concrete pillars. The total subsidence of 11.0 m of soil (depth -1.0 to -12.0 m) was 17.3 cm with a difference of 6.6 cm on the side of the road widening using galam woodpiles. If using minipile concrete piles, the total subsidence of the soil layer will be 13.3 cm with the difference in settlement on the widening side of the road using minipile concrete poles of 7.0 cm.

Keywords: soft soil, galam wood, woodpile, minipile, road widening

PENDAHULUAN

Pengembangan kawasan *food estate* di provinsi Kalimantan tengah terkendala dengan kondisi lahan alluvial yang merupakan tanah lunak. Berdasarkan Atlas Sebaran tanah Lunak Indonesia (2019) penanganan permasalahan pada pondasi konstruksi bangunan ringan dapat dilakukan dengan penggantian sebagian atau seluruh tanah lunak sesuai ketebalannya. Selain itu dapat juga dilakukan penanganan dengan pemasangan cerucuk, dolken, atau tiang pancang (*minipile*). Panjang cerucuk harus melebihi bidang kelongsoran yang terdalam. Di sini cerucuk merupakan tiang pondasi yang berfungsi sebagai perkuatan stabilitas lereng.

Salah satu metode perkuatan tanah yang efektif mengatasi kelongsoran jalan dan stabilitas lereng adalah dengan menggunakan perkuatan tiang-tiang vertikal yang berperilaku seperti sistem cerucuk (Nabilla Zahera, dkk, 2019).

Tiang kayu akan tahan lama dan tidak mudah busuk apabila tiang kayu tersebut dalam keadaan selalu terendam penuh di bawah permukaan air tanah. Tiang kayu yang banyak dipakai di Indonesia untuk perbaikan kapasitas daya dukung tanah lunak berdiameter 8 – 10 cm dengan panjang 4,0 m, beban maksimum yang dapat dipikul oleh kayu tunggal dapat mencapai 270 – 300 kN. Tiang pancang kayu (kayu galam) sangat cocok untuk daerah rawa dan tanah lunak.

Penggunaan cerucuk kayu pada jalan menyebabkan cukup banyak jumlah yang diperlukan bahkan sampai dengan ribuan kayu galam. Jika setiap luas 4,5 ha hutan industri galam terdiri dari 9 ribu batang pohon galam Lazuardi (2000), maka dapat dibayangkan luas ha hutan industri yang harus menyediakan kayu galam untuk memenuhi kebutuhan konstruksi jalan tersebut.

Tahun 2020, telah dilakukan desain peningkatan jalan menggunakan cerucuk kayu galam. Desain tersebut menunjukkan bahwa terdapat jumlah kayu yang digunakan adalah ±110 ribu kayu galam sebagai konstruksi tiang pondasi.

Alternatif lain untuk perkuatan stabilitas tanah dengan tiang pondasi sebagai pengganti cerucuk kayu galam diperkirakan dapat mencegah terjadinya kerusakan lingkungan akibat penebangan hutan.

Makalah ini bertujuan untuk melakukan kajian desain perkuatan pelebaran jalan antara desain awal dengan desain perkuatan cerucuk kayu galam dan *minipile* menurut Penulis. Hal ini dimaksudkan untuk mendapatkan desain optimal peningkatan jalan dengan pelebaran.

HIPOTESIS

Desain awal pelebaran jalan menggunakan perkuatan tanah cerucuk kayu galam dapat dioptimasi dengan penggunaan *minipile*.

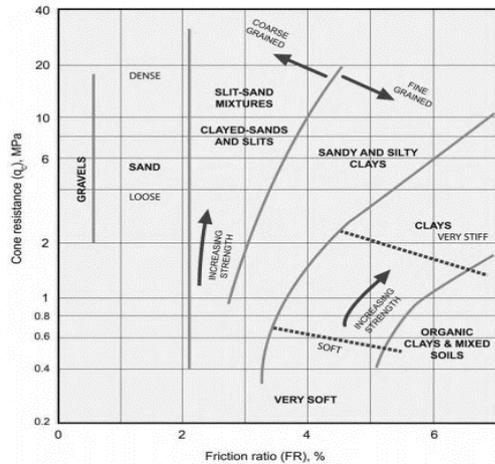
METODOLOGI

Tahapan pelaksanaan sebagai berikut:

1. Pengumpulan data sekunder
Data yang diperoleh dari Balai Pelaksanaan Jalan Nasional Kalimantan Tengah pada tahun 2020. Data meliputi:
 - a. Gambaran kondisi lokasi
 - b. Desain awal peningkatan jalan berupa gambar potongan melintang pelebaran badan jalan dan penambahan bahu jalan
 - c. Sketsa detail peletakan cerucuk sebagai perkuatan tanah dasar.
 - d. Laporan penyelidikan tanah, meliputi data hasil bor-dalam beserta nilai SPT dan data sondir
 - e. Dokumentasi lapangan
2. Penentuan parameter tanah pada jalan eksisting dan pada bagian pelebaran jalan dan bahu jalan
3. Penentuan beban timbunan dan beban lalu lintas
4. Penentuan kembali daya dukung cerucuk kayu galam di bawah pelebaran jalan dan stabilitas timbunan pelebaran jalan. Hasil perhitungan selanjutnya dibandingkan dengan desain awal untuk mendapatkan desain yang terbaik.
5. Perhitungan daya dukung tiang beton *minipile* di bawah pelebaran jalan dan stabilitas timbunan pelebaran jalan
6. Perhitungan penurunan tanah di tepi pelebaran jalan dan tepi badan jalan eksisting serta perbedaannya untuk mengetahui apakah akan terjadi *differential settlement* yang membahayakan pengguna jalan.
7. Analisis perbandingan perkuatan tanah dasar dengan cerucuk kayu galam dan tiang beton (*minipile*).

Penentuan Jenis Tanah dan Konsistensinya

Penentuan jenis tanah dan konsistensinya menggunakan grafik Schmertmann dari NAVFAC Design Manual 7.02 (**Gambar 1**) dan data konus serta nilai *friction ratio* dari hasil penyelidikan tanah di lapangan (hasil pengujian sondir).



Sumber : NAVFAC Design Manual 7.02 - Foundations & Earth Structures

Gambar 1. Grafik konus Schmertmann

Penentuan Parameter Tanah

Penentuan parameter tanah dasar ditentukan berdasarkan formula yang dikembangkan oleh Bowles (1984) dalam Wahyudi (1999) dan Mochtar (2012) yang ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Pengelompokkan tanah berdasarkan konsistensinya

<i>Cohesionless Soil</i>					
N (blows)	0 - 3	4 - 10	11 - 30	31 - 50	> 50
γ_{sat} (kN/m ³)	-	12 - 16	14 - 18	16 - 20	18 - 23
Φ (°)	-	25 - 32	28 - 36	30 - 40	> 35
Kondisi	Very Loose	Loose	Medium	Dense	Very Dense
Dr (%)	0 - 15	15 - 35	35 - 65	65 - 85	85 - 100
<i>Cohesive Soil</i>					
N (blows)	< 4	4 - 6	6 - 15	16 - 25	> 25
γ_{sat} (kN/m ³)	14 - 18	16 - 18	16 - 18	16 - 20	> 20
Φ (°)	< 25	20 - 50	30 - 60	40 - 200	> 100
Konsistensi	Very Soft	Soft	Medium	Stiff	Hard

Sumber: Bowles (1984) dalam Wahyudi (1999)

Tabel 2. Konsistensi tanah (untuk tanah dominan lanau dan lempung)

Konsistensi tanah	Taksiran harga kekuatan geser undrained, C_u		Taksiran harga SPT, harga N	Taksiran harga tahanan konus, q_0 (dari Sondir)	
	kPa	ton/m ²		kg/cm ²	kPa
Sangat lunak (very soft)	0 - 12,5	0 - 1,25	0 - 2,5	0 - 10	0 - 1000
Lunak (soft)	12,5 - 25	1,25 - 2,5	2,5 - 5	10 - 20	1000 - 2000
Menengah (medium)	25 - 50	2,5 - 5	5 - 10	20 - 40	2000 - 4000
Kaku (stiff)	50 - 100	5 - 10	10 - 20	40 - 75	4000 - 7500
Sangat kaku (very stiff)	100 - 200	10 - 20	20 - 40	75 - 150	7500 - 15000
Keras (hard)	> 200	> 20	> 40	> 150	> 15000

Sumber: Mochtar (1984), direvisi (2012)

Perhitungan Daya Dukung Tiang

Nilai daya dukung ujung tiang (q_p) dan daya dukung ujung selimut (q_s), dianalisis menggunakan data hasil penyelidikan tanah berupa data sondir untuk mengetahui besar daya dukung total 1 tiang (q_u) dengan persamaan berikut.

$$q_u = q_p + q_s \dots \dots \dots (1)$$

Mengingat cerucuk kayu dan tiang beton minipile diletakkan secara berkelompok, perlu di cek efisiensi dari masing-masing cerucuk tersebut. Untuk itu digunakan formula yang dikembangkan oleh Converse-Labarre (1968), yaitu:

$$C_e = 1 - \frac{\arctan(\phi S)}{90^\circ} \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n} \right) \dots \dots \dots (2)$$

Dimana:

- ϕ = diameter cerucuk kayu (cm)
- S = jarak as ke as antar tiang dalam grup (30,0 cm)
- m = jumlah baris cerucuk dalam grup
- n = jumlah kolom cerucuk dalam grup

Untuk mengetahui daya dukung ijin 1 tiang dalam kelompok digunakan persamaan sebagai berikut:

$$q_{ijin} = \frac{qu \ 1 \ tiang}{SF} \dots \dots \dots (3)$$

dengan nilai angka keamanan tiang diambil sebesar 3.

Perhitungan Penurunan Lapisan Tanah Dasar

Perhitungan penurunan tanah dilakukan dengan cara membagi lapisan *compressible* menjadi lapisan yang tipis dengan ketebalan masing-masing 1,0 m; hal ini dilakukan agar diperoleh hasil yang lebih akurat. Beban yang diperhitungkan adalah beban gabungan akibat pelebaran jalan dan jalan eksisting.

Untuk menghitung besar penurunan tanah pada lapisan yang ditinjau (setiap ketebalan 1,0 m), beberapa tahapan yang dilakukan adalah:

- Menghitung tegangan overburden efektif (P_o') pada setiap lapisan
- Menentukan tegangan prakonsolidasi efektif (P_c') dengan menggunakan rumus: $P_c' = P_o' + \Delta P_f$
 ΔP_f = tambahan tegangan yang terjadi akibat fluktuasi muka air tanah; dalam studi ini diasumsikan maksimum -2,0 m.
- Menghitung besar beban yang diterima oleh setiap lapisan (ΔP) akibat pengaruh beban timbunan dan beban lalu lintas dengan formula yang dikembangkan oleh Boussinessq (1883).

Lapisan tanah dasar di wilayah studi dapat diasumsikan sebagai lapisan tanah yang *overconsolidated (OC-Soil)* karena adanya fluktuasi muka air tanah sebesar 2,0 m sehingga harga *overconsolidated ratio* > 1,0. Untuk itu, formula yang digunakan berdasarkan Das Braja (1988), yaitu:

$(P_o' + \Delta P) \leq P_c'$, maka

$$S_{ci} = \left[\frac{C_s}{1 + e_0} \log \frac{P_o' + \Delta P}{P_o'} \right] H_i \dots \dots \dots (4)$$

$(P_o' + \Delta P) > P_c'$, maka

$$S_{ci} = \left[\frac{C_s}{1 + e_0} \log \frac{P_c'}{P_o'} + \frac{C_c}{1 + e_0} \log \frac{P_o' + \Delta P}{P_c'} \right] H_i \dots \dots \dots (5)$$

Lama waktu penurunan tanah (*rate of settlement*) yang terjadi dihitung dengan menggunakan formula berikut.

$$C_v \text{ gabungan} = \frac{(H_1 + H_2 + \dots + H_i)}{\frac{H_1}{\sqrt{C_{v1}}} + \frac{H_2}{\sqrt{C_{v2}}} + \dots + \frac{H_i}{\sqrt{C_{vi}}}} \dots \dots \dots (6)$$

Waktu Konsolidasi (t)

$$t = \frac{T H^2 dr}{C_v} \dots \dots \dots (7)$$

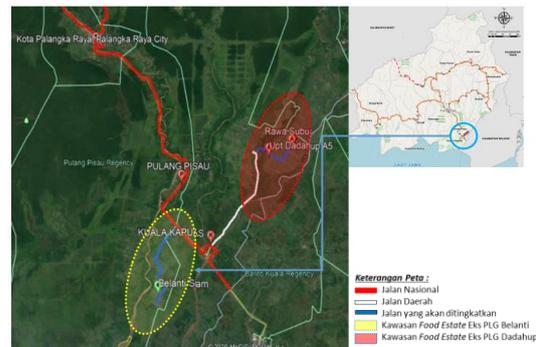
Time Factor

$$t = \frac{\pi}{4} U^2 \dots \dots \dots (8)$$

HASIL DAN ANALISIS

Kondisi Eksisting

Lokasi yang ditinjau merupakan eks PLG Belanti Kabupaten Pulang Pisau, Kalimantan Tengah ditunjukkan pada Gambar 2.



Sumber : BPJN Kalteng (2020)

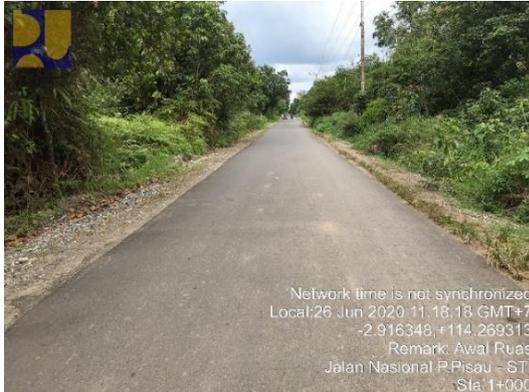
Gambar 2. Lokasi yang ditinjau

Kondisi eksisting ruas jalan yang sudah terbangun, khususnya pada ruas Sp. 3 Janas-STI sepanjang 2,5 km (Sta. 0+000 – Sta. 2+450) merupakan jalan dengan lapis perkerasan berupa aspal satu lapis lebar 3,5 m, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.

Kondisi lalu lintas pada jalan eksisting tersebut tidak banyak dilalui oleh kendaraan bermotor penumpang dikarenakan kawasan tersebut adalah kawasan yang didominasi oleh lahan pertanian sehingga lalu lintas didominasi oleh kendaraan bermuatan seperti *dump truck* dengan kapasitas 4-8 ton. *Dump truck* tersebut digunakan untuk mengangkut beras dan gabah padi untuk dijual ke kota-kota terdekat seperti

kota Kapuas, kota Pulang Pisau, dan kota Palangkaraya.

Kondisi eksisting ruas jalan tersebut dengan lebar jalan hanya 3,5 m dikhawatirkan tidak dapat mengakomodir kegiatan logistic seperti berpapasannya dua kendaraan bermuatan besar (*dump truck*). Terutama area ini merupakan kawasan *food estate*.



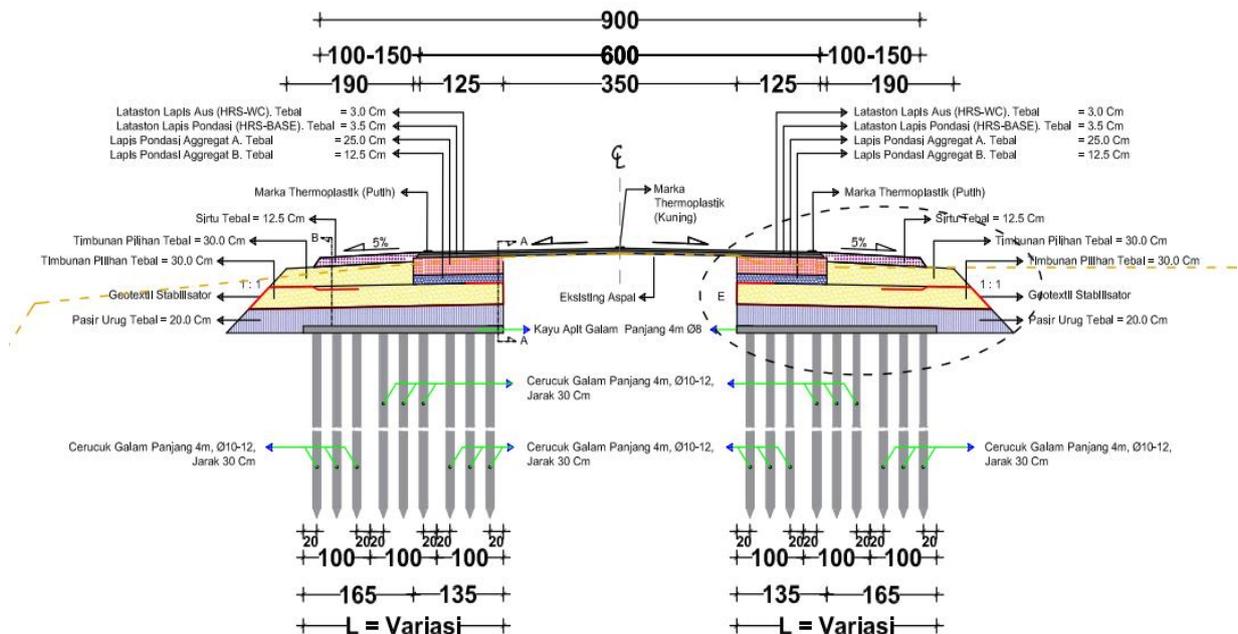
Sumber : BPJN Kalteng (2020)

Gambar 3. Kondisi jalan perkerasan aspal satu lapis Ruas Sp.3 Janas – STI sepanjang 2, 5 km

Desain Awal Peningkatan Jalan di Lokasi Studi

Balai Pelaksanaan Jalan Nasional (BPJN) Provinsi Kalimantan Tengah telah melakukan desain pelebaran jalan pada segmen perkerasan eksisting aspal satu lapis, yaitu pelebaran jalan yang awalnya 3,5 m menjadi 6,0 m dan bahu jalan selebar 1,5 meter pada masing-masing sisi kiri dan kanan jalan. Jadi total lebar jalan (termasuk bahu jalan) adalah 9,8 m seperti ditunjukkan pada Gambar 4 perencanaan awal.

Gambar 4 menunjukkan bahwa lapisan tanah dasar di bawah pelebaran dipasang cerucuk kayu galam dan di atas rencana pelebaran jalan diletakkan lapisan pasir urug, lapisan timbunan pilihan, dan lapis pondasi agregat dengan total ketebalan sebesar 80-85 cm. Kemudian di atas lapis pondasi dipasang lapis tipis aspal beton (lataston) sebanyak 2 lapis dengan total tebal lapisan sebesar 6,5 cm. Pada rencana bahu jalan selebar 1,9 m (masing-masing kanan dan kiri jalan) diletakkan lapis sirtu (pasir-batu) tebal 12,5 cm di atas lapisan timbunan pilihan. Di antara lapis pasir urug dan timbunan pilihan diberikan geotekstil stabilisator yang berfungsi mencegah material timbunan bercampur dengan pasir urug.



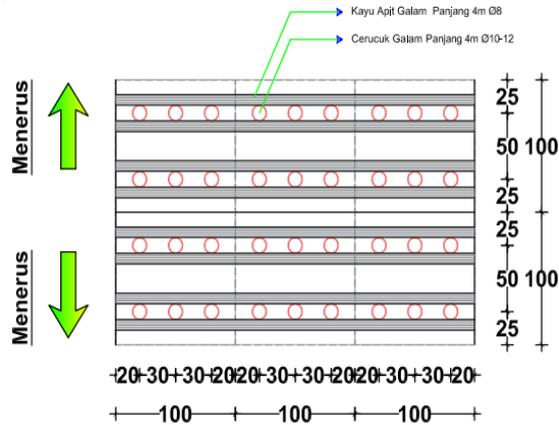
Sumber : BPJN Kalteng (2020)

Gambar 4. Tipikal penanganan pada eksisting jalan aspal satu lapis

Pelebaran jalan sepanjang 2,5 km direncanakan dengan menggunakan perkuatan cerucuk kayu galam (*Melaleuca sp.*) mengingat

lapisan tanah dasar yang lunak dengan hasil pengujian sondir merupakan tanah lunak mulai permukaan tanah s.d kedalaman -12,0 m.

Oleh karena itu digunakan ukuran cerucuk kayu yang akan dipasang adalah panjang 4,0 m dan diameter Ø10-12 cm; diameter cerucuk pada umumnya tidak sama dari ujung atas sampai bawah dikarenakan cerucuk kayu yang dipakai bukan produk pabrikasi dan hanya tersedia sepanjang 4,0 m di pasaran.



Keterangan: Satuan panjang dalam centimeter
Sumber : BPJN Kalteng

Gambar 5. Sketsa rencana tata letak cerucuk kayu galam dalam 1,0 m panjang jalan untuk satu sisi

Gambar 5 menunjukkan bahwa dalam 1,0 meter panjang (satu sisi) jalan dan lebar 3,0 meter pelebaran jalan dipasang 18 buah cerucuk yang diletakkan dalam 2 baris sejajar dimana tiap baris terdiri dari 9 buah cerucuk. Jarak antar cerucuk sebesar 50 cm arah memanjang jalan dan 30 cm arah melintang jalan. Jadi untuk pelebaran jalan 1,0 meter panjang jalan diperlukan 36 cerucuk kayu di kedua sisi jalan.

Perencanaan cerucuk kayu tersebut didasarkan pada kondisi tanah dasar yang lunak dengan kandungan sisa-sisa organik. Dikarenakan sifat tanah dasar lunak yang mudah memampat maka besar kemungkinan terjadinya kelongsoran pada timbunan pelebaran jalan dan beda penurunan antara sisi pelebaran dan badan jalan eksisting.

Data Tanah di Lokasi Studi

Kondisi tanah dasar hasil pengujian sondir di Kawasan *Food Estate* Eks PLG Belanti ruas Sp. 3 (Simpang Tiga) Janas-STI segmen aspal satu lapis (Sta. 0+000 – Sta. 2+450) merupakan tanah lunak dengan kondisi mulai permukaan tanah s.d kedalaman -12,0 m merupakan lapisan tanah lunak. Konsistensi tanah mulai permukaan tanah s.d kedalaman 6,0

m adalah sangat lunak dengan jenis tanahnya adalah lempung organik ($q_{c\text{rata-rata}} = 5 \text{ kg/cm}^2$ dan $FR_{\text{rata-rata}} = 10\%$); mulai kedalaman 6,0 m s.d kedalaman 10,0 m adalah lunak jenis tanahnya adalah lempung ($q_{c\text{rata-rata}} = 10 \text{ kg/cm}^2$ dan $FR_{\text{rata-rata}} = 4\%$); dan mulai kedalaman 10,0 m s.d kedalaman 12,0 m adalah lunak jenis tanahnya adalah lempung kelanauan ($q_{c\text{rata-rata}} = 33 \text{ kg/cm}^2$ dan $FR_{\text{rata-rata}} = 4\%$). Dengan menggunakan grafik Schmertmann dan data konus serta nilai *friction ratio* pada titik sondir di ruas Sp. 3 Janas-STI Sta. 2+250 dapat diketahui jenis dan konsistensi lapisan tanah dasarnya. Hasil analisa data tanah tersebut bisa dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil penentuan lapisan tanah berdasarkan data sondir di Sta. 2+250

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	Konsistensi
0 - 6	Lempung Organik	Sangat Lunak
6 - 10	Lempung	Lunak
10 - 12	Lempung kelanauan	Sedang
12 - 15	Lempung kelanauan	Kaku

Rekapitulasi parameter tanah dasar tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai parameter lapisan tanah dasar

Nama Lapisan	γ_{sat} (kN/m ³)	Wc (%)	Gs	Cu (t/m ²)	e
Lempung Organik	13,0	85,0	2,3	1,2	2,21
Lempung	14,5	75,0	2,6	2,1	2,08
Lempung Kelanauan	16,0	60,0	2,65	3,5	1,6

Perhitungan Beban Lapis Perkerasan Pelebaran Jalan

Pada perencanaan peningkatan jalan ini, pelebaran jalannya diberi tanah timbunan setinggi 0,925 m untuk menyamakan elevasi dengan jalan lama. Beban yang diperhitungkan dalam perencanaan ini adalah beban pelebaran jalan dan beban lalu lintas.

- Beban akibat bahu jalan meliputi:
 - Pasir urug setebal 20 cm; $\gamma = 1,670 \text{ t/m}^3$
 - Timbunan pilihan setebal 60 cm; $\gamma = 1,689 \text{ t/m}^3$
 - Sirtu (diganti dengan material pasir urug) setebal 12,5 cm; $\gamma = 1,670 \text{ t/m}^3$
- Berat volume lapisan sirtu disamakan dengan berat volume lapisan pasir urug karena tidak tersedia stok material sirtu di lokasi pekerjaan

2. Beban akibat pelebaran badan jalan meliputi:
 - a. Pasir urug setebal 20 cm; $\gamma = 1,670 \text{ t/m}^3$
 - b. Timbunan pilihan setebal 60 cm; $\gamma = 1,689 \text{ t/m}^3$
 - c. Agregat kelas A setebal 25 cm; $\gamma = 2,200 \text{ t/m}^3$
 - d. Agregat kelas B setebal 12,5 cm; $\gamma = 2,172 \text{ t/m}^3$
 - e. HRS-BASE setebal 3,5 cm; $\gamma = 2,249 \text{ t/m}^3$
 - f. HRS-WC setebal 3,0 cm; $\gamma = 2,239 \text{ t/m}^3$

Perhitungan Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas yang diasumsikan sebagai beban terbagi rata sebesar $1,0 \text{ t/m}^2$ selebar badan jalan dan bahu jalan dengan asumsi bahwa beban tersebut merupakan beban kendaraan yang melewati ruas jalan secara terus menerus. Berdasarkan SNI 1725-2016, untuk beban kendaraan berat digunakan beban gandar truk sebesar $225,0 \text{ kN}$ dengan asumsi jenis kendaraan dengan beban tersebut yang akan melewati jalan tersebut.

Daya Dukung Cerucuk Kayu Galam dalam Menerima Beban Vertikal

Mengingat ukuran diameter cerucuk kayu galam yang tidak sama (9,0 - 12,0 cm) maka dalam perhitungan daya dukungnya digunakan diameter terkecil 9,0 cm. Ujung cerucuk kayu galam berada di kedalaman 5,0 m dari permukaan tanah. Data sondir di kedalaman tersebut adalah:

- a. qc rata-rata (sepanjang -8D s.d +4D dari ujung tiang) = $6,27 \text{ kg/cm}^2$
- b. jumlah hambatan pelekat (JHP) = $192,60 \text{ kg/cm}$.

Jadi nilai daya dukung ujung tiang (qp), daya dukung ujung selimut (qs), dan daya dukung total 1 tiang (qu) sebagai berikut.

$$qp = 381,70 \text{ kg}$$

$$qs = 5445,64 \text{ kg}$$

$$qu = qp + qs = 5827,34 \text{ kg} \approx 5,827 \text{ ton}$$

Mengingat cerucuk kayu diletakkan secara berkelompok, perlu di cek efisiensi dari masing-masing cerucuk tersebut. Untuk itu digunakan formula yang dikembangkan oleh Converse-Labarre (1968). Dari perhitungan diperoleh harga efisiensi:

$$Ce = 0,979.$$

Dengan demikian, daya dukung 1 cerucuk yang berada dalam kelompok menjadi:

$$qu \text{ tiang (dalam kelompok)} = qu \times Ce = 5,705 \text{ ton}$$

Jadi, qijin 1 cerucuk dalam kelompok sebesar:

$$q_{ijin} = 1,902 \text{ ton}$$

Pada satu sisi jalan terdapat 18 cerucuk kayu galam per 1,0 meter panjang jalan, sehingga besar beban yang dapat ditahan oleh kelompok cerucuk adalah:

$$q_{ijin \ 18 \ cerucuk} = 34,229 \text{ ton}$$

Beban timbunan per 1,0 meter panjang jalan yang ditahan oleh kelompok cerucuk sebesar $q_{timbunan} = 31,017 \text{ ton/m}$.

Daya Dukung Tiang Beton Minipile dalam Menerima Beban Vertikal

Ukuran tiang beton *minipile* adalah tiang persegi dengan ukuran 20 cm x 20 cm dan panjang tiang 6,0 m. Ujung tiang beton *minipile* berada di kedalaman 7,0 m dari permukaan tanah yang sudah digali sedalam 1,0 m. Data sondir di kedalaman tersebut adalah:

- a. qc rata-rata (sepanjang -8D s.d +4D dari ujung tiang) = $9,61 \text{ kg/cm}^2$
- b. jumlah hambatan pelekat (JHP) = $306,0 \text{ kg/cm}$.

Sama seperti tahapan perhitungan daya dukung cerucuk kayu galam dalam menerima beban vertikal, maka didapatkan hasil perhitungan yang dibandingkan antara keduanya seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil perhitungan daya dukung vertikal antara cerucuk kayu galam dan tiang beton *minipile*

Parameter	Cerucuk Kayu Galam	Tiang Beton Minipile
qp (ton)	0,382	3,844
qs (ton)	5,445	24,480
qu (ton)	5,827	28,324
Ce	0,979	0,980
qu 1 tiang (dalam kelompok) (ton)	5,705	27,758
qijin 1 tiang dalam kelompok (ton)	1,902	9,253
Kebutuhan tiang untuk menahan beban vertikal (buah)	18 (desain awal)	6

Daya Dukung Cerucuk Kayu Galam dan Tiang Beton *Minipile* dalam Menerima Gaya Horizontal

Seperti yang telah disampaikan sebelumnya bahwa lapisan tanah dasar di bawah timbunan merupakan lapisan tanah lunak. Oleh sebab itu perlu juga dianalisis kekuatan cerucuk dalam menerima beban horizontal agar perencanaan dapat dipastikan aman terhadap kelongsoran akibat beban pelebaran jalan dan akibat beban gandar truk. Dengan menggunakan program bantu diperoleh faktor keamanan (FK), momen penahan (M_{res}), radius bidang longsor, dan koordinat titik pusat bidang longsor.

Data input yang perlu dimasukkan dalam program bantu XSTABL dan *spreadsheet* EXCEL adalah H_{timb} = 0,925 m; kemiringan slope 1:1; q_{timb-rata2} = 2,717 t/m²; beban gandar

truk sebesar 225,0 kN; kayu galam panjang 4 m dan diameter 10 cm. Berdasarkan Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia (Departemen Pekerjaan Umum, 1961) kayu galam termasuk kayu kelas kuat II dengan nilai E = 100.000 kg/cm² dan kuat lentur (σ_{lt}) = 100 kg/cm²; untuk tiang beton *minipile* tiang beton persegi panjang 6 m berukuran 20x20 cm dengan nilai E = 250.000 kg/cm²; dan data tanah dasar seperti yang telah diuraikan sebelumnya. Dari program bantu tersebut diperoleh:

- FK = 1,145
- Momen Penahan (M_{res}) = 721,0 kN.m
- Jari-jari kelongsoran (R) = 6,02 m

didapatkan hasil perhitungan yang dibandingkan antara keduanya seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil perhitungan daya dukung horizontal antara cerucuk kayu galam dan tiang beton *minipile*

Parameter	Desain Awal	Desain Lanjutan	
	Cerucuk Kayu Galam	Cerucuk Kayu Galam	Tiang Beton <i>Minipile</i>
FK timbunan	n.a.	1,145	1,145
Momen penahan (M _{res} , kN.m)	n.a.	721,0	721,0
Jari-jari kelongsoran (m)	n.a.	6,02	6,02
Momen Pendorong (M _d , kN-m)	n.a.	629,7	629,7
Tambahan momen penahan (Δ M _r)	n.a.	223,55	223,541
Daya dukung dalam menerima beban horizontal (Ph, kN)	n.a.	2,73	11,81
Kebutuhan tiang untuk menahan beban vertikal (buah)	18	14	4

Keterangan: n.a.=tidak ada data tersedia

Penurunan Lapisan Tanah di Bawah Pelebaran Jalan dan Jalan Eksisting

Dari data lapisan tanah lunak pada Tabel 1 dapat diketahui bahwa lapisan tanah yang akan mengalami penurunan adalah sampai dengan kedalaman 12,0 m. Parameter lapisan tanah di bawah pelebaran jalan (kondisi initial) dapat dilihat pada Tabel 7. Parameter lapisan tanah di bawah jalan eksisting yang telah mengalami penurunan akibat lapisan timbunan sirtu dan beban lalu lintas sejak jalan tersebut dibangun diberikan pada Tabel 8. Parameter lapisan tanah pada Tabel 7 dan Tabel 8 didapatkan dari perhitungan empiris menggunakan formula yang dikembangkan oleh Kosasih dan Mochtar (1997). Dari data tanah tersebut dapat diketahui bahwa parameter tanah pada kedalaman 6,0 s.d 12,0 m tidak berubah. Hal ini berarti penurunan tanah akibat beban jalan eksisting terjadi hanya sampai dengan kedalaman 6,0 m saja dengan

perubahan parameter terbesar terjadi di lapisan tanah yang dekat dengan muka tanah dan semakin mengecil dengan bertambahnya kedalaman.

Tabel 7. Parameter tanah di bawah pelebaran jalan (kondisi initial)

Kedalaman (m)	e ₀	Cc	Cs	γ _{sat} kN/m ³
1 – 6	2,211	0,861	0,166	13,0
6 – 10	2,078	0,735	0,137	14,50
10 – 12	1,600	0,482	0,094	16,0

Tabel 8. Parameter tanah di bawah jalan eksisting yang telah mengalami penurunan

Kedalaman (m)	e ₀	Cc	Cs	γ _{sat} kN/m ³
1 – 2	2,155	0,830	0,161	14,120
2 – 3	2,183	0,845	0,164	14,084
3 – 4	2,195	0,852	0,165	14,069
4 – 5	2,201	0,855	0,165	14,061
5 – 6	2,205	0,858	0,166	14,056
6 – 10	2,075	0,732	0,137	15,204
10 – 12	1,600	0,481	0,094	16,349

Dalam menghitung penurunan, lapisan tanah dasar yang dipasang cerucuk kayu galam (-1,0 m s.d -5,0 m) diasumsikan tidak mengalami penurunan. Perhitungan penurunan pada lapisan tanah dasar yang dipasang tiang beton *minipile* (-1,0 m s.d -7,0 m) juga diasumsikan tidak mengalami penurunan.

Perhitungan penurunan tanah di bawah pelebaran jalan dihitung mulai - 5,0 m sampai dengan -12,0 m (setebal 7,0 m) untuk perkuatan cerucuk kayu galam dan untuk tiang beton *minipile* dihitung mulai - 7,0 m sampai dengan -12,0 m (setebal 6,0 m).

Perhitungan penurunan tanah di tepi jalan eksisting mulai kedalaman -1,0 m s.d -12,0 m. Hal ini disebabkan tidak ada pemasangan cerucuk pada jalan tersebut.

Perhitungan penurunan lapisan tanah di bawah pelebaran jalan yang dipasang cerucuk (kedalaman -1,0 m s.d -5,0 m) ditinjau mulai kedalaman -5,0 m s.d -12,0 m. Sedangkan untuk tiang beton *minipile* (kedalaman -1,0 m s.d -7,0 m) ditinjau mulai kedalaman -7,0 m s.d -12,0 m.

Perhitungan penurunan akibat beban jalan eksisting saja tanpa beban akibat pelebaran jalan dihitung karena beban tersebut

diteruskan langsung oleh tiang ke lapisan tanah dasar setelah ujung tiang bagian bawah. Perhitungan dilakukan pada lapisan tanah setebal 4,0 m (kedalaman -1,0 m s.d -5,0 m) untuk perkuatan dengan cerucuk kayu galam dan lapisan tanah setebal 6,0 m (kedalaman -1,0 m s.d -7,0 m) untuk perkuatan dengan tiang beton *minipile*.

Hasil perhitungan penurunan dengan perkuatan cerucuk kayu galam diberikan pada Tabel 9 dan untuk perhitungan penurunan tanah dengan perkuatan tiang beton *minipile* diberikan pada Tabel 10.

Penurunan total yang terjadi di jalan eksisting dengan perkuatan cerucuk kayu galam sebesar 17,3 cm dan di pelebaran jalan sebesar 10,6 cm. Untuk Penurunan total yang terjadi di jalan eksisting dengan perkuatan tiang beton *minipile* sebesar 13,3 cm dan di pelebaran jalan sebesar 6,3 cm.

Lama waktu penurunan tanah dasar dengan perkuatan cerucuk kayu galam dan perkuatan tiang beton *minipile* tersebut akan tercapai dalam waktu tertentu yang telah dianalisis dan ditunjukkan pada Tabel 11 dan Tabel 12.

Tabel 9. Rekapitulasi hasil perhitungan penurunan di bawah jalan eksisting dan di bawah pelebaran jalan (dengan perkuatan cerucuk kayu galam)

Kedalaman (m)	Beban $\Delta\sigma$ akibat:		Sc Jalan Eksisting	Sc Pelebaran Jalan	Keterangan
	Jalan Eksisting kN/m ²	Pelebaran Jalan kN/m ²	m	m	
1 - 2	11.395	0.000	0.042	0.000	<ul style="list-style-type: none"> • Cerucuk berada di -1,0 s.d -5,0m • Penurunan total = 17,3 cm • Penurunan dibawah jalan eksisting dari -1,0 s.d -5,0 m = 6,6 cm
2 - 3	7.547	0.000	0.014	0.000	
3 - 4	5.459	0.000	0.007	0.000	
4 - 5	4.121	0.000	0.004	0.000	
5 - 6	3.203	27.444	0.035	0.035	
6 - 7	2.672	26.769	0.025	0.025	
7 - 8	2.252	25.032	0.018	0.018	
8 - 9	2.097	22.708	0.013	0.013	
9 - 10	1.722	20.326	0.008	0.008	
10 - 11	1.680	18.154	0.004	0.004	
11 - 12	1.466	16.270	0.003	0.003	
		Sc =	0.173	0.106	

Tabel 10. Rekapitulasi hasil perhitungan penurunan dibawah jalan eksisting dan di bawah pelebaran jalan (dengan tiang beton *minipile*)

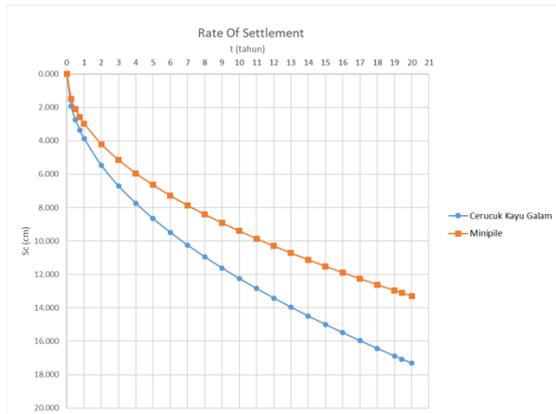
Kedalaman (m)	Beban $\Delta\sigma$ akibat:		Sc Jalan Eksisting	Sc Pelebaran Jalan	Keterangan
	Jalan Eksisting kN/m ²	Pelebaran Jalan kN/m ²	m	m	
1 - 2	11.395	0.000	0.042	0.000	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Minipile</i> berada di -1,0 s.d -7,0m • Penurunan total = 13,3 cm • Penurunan dibawah jalan eksisting dari -1,0 s.d -7,0 m = 7,0 cm
2 - 3	7.547	0.000	0.014	0.000	
3 - 4	5.459	0.000	0.007	0.000	
4 - 5	4.121	0.000	0.004	0.000	
5 - 6	3.203	0.000	0.002	0.000	
6 - 7	2.672	0.000	0.001	0.000	
7 - 8	2.252	27.444	0.022	0.022	
8 - 9	2.097	26.769	0.018	0.018	
9 - 10	1.722	25.032	0.014	0.014	
10 - 11	1.680	22.708	0.005	0.005	
11 - 12	1.466	20.326	0.004	0.004	
		Sc =	0.133	0.630	

Tabel 11. Besar Penurunan Tanah (*Rate of Settlement*, dengan perkuatan cerucuk kayu galam)

t (tahun)	Jalan Eksisting		Pelebaran Jalan	
	Sc (time) (m)	Sc (time) (cm)	Sc (time) (m)	Sc (time) (cm)
0	0	0	-	-
0.25	0.019	1.936	0.0119	1.193
0.5	0.027	2.739	0.017	1.687
0.75	0.034	3.354	0.021	2.066
1	0.039	3.873	0.024	2.386
2	0.055	5.477	0.034	3.374
3	0.067	6.708	0.041	4.132
4	0.077	7.746	0.048	4.771
5	0.087	8.660	0.053	5.334
6	0.095	9.487	0.058	5.843
7	0.102	10.247	0.063	6.312
8	0.110	10.954	0.067	6.747
9	0.116	11.619	0.072	7.157
10	0.122	12.247	0.075	7.544
11	0.128	12.845	0.079	7.912
12	0.134	13.416	0.083	8.264
13	0.140	13.964	0.086	8.601
14	0.145	14.491	0.089	8.926
15	0.150	15.000	0.092	9.239
16	0.155	15.492	0.095	9.542
17	0.160	15.968	0.098	9.836
18	0.164	16.431	0.101	10.121
19	0.169	16.882	0.104	10.398
20	0.173	17.320	0.107	10.668

Tabel 12. Besar Penurunan Tanah (*Rate of Settlement*, dengan perkuatan tiang beton *minipile*)

t (tahun)	Jalan Eksisting		Pelebaran Jalan	
	Sc (time) (m)	Sc (time) (cm)	Sc (time) (m)	Sc (time) (cm)
0	0	0	-	-
0.25	0.015	1.487	0.007	0.744
0.5	0.021	2.103	0.011	1.052
0.75	0.026	2.575	0.013	1.288
1	0.029	2.974	0.015	1.487
2	0.042	4.206	0.022	2.208
3	0.051	5.151	0.026	2.619
4	0.059	5.948	0.029	2.991
5	0.066	6.650	0.033	3.330
6	0.073	7.284	0.036	3.636
7	0.078	7.868	0.039	3.915
8	0.084	8.411	0.042	4.167
9	0.089	8.921	0.044	4.396
10	0.094	9.404	0.046	4.604
11	0.098	9.863	0.048	4.793
12	0.103	10.302	0.049	4.964
13	0.107	10.722	0.051	5.119
14	0.111	11.127	0.053	5.259
15	0.115	11.518	0.054	5.387
16	0.119	11.895	0.055	5.503
17	0.122	12.261	0.056	5.608
18	0.126	12.617	0.057	5.703
19	0.129	12.963	0.058	5.790
20	0.133	13.299	0.059	5.868



Gambar 6. Besar Penurunan Tanah (*Rate of Settlement*) antara cerucuk kayu galam dan tiang beton *minipile*

PEMBAHASAN

Perhitungan stabilitas timbunan dengan menggunakan program bantu XSTABL didapatkan faktor keamanan sebesar $FK = 1,145$. Untuk meningkatkan stabilitas pelebaran jalan dengan menggunakan $FK_{rencana}$ sebesar 1,5 diperlukan sebanyak 14 buah cerucuk kayu galam.

Dibandingkan dengan desain awal, pemasangan 18 buah cerucuk kayu galam menunjukkan bahwa desain tersebut sudah lebih dari aman terhadap kelongsoran. Nilai daya dukung cerucuk dalam kelompok sebanyak 18 cerucuk per 1,0 m panjang jalan adalah sebesar 34,229 ton. Kelompok tersebut mampu menahan berat timbunan pelebaran jalan sebesar 31,017 ton/m'.

Dari perhitungan di atas juga diketahui bahwa cerucuk yang dipasang sebanyak 18 buah pada satu sisi jalan per meter panjang jalan adalah sudah lebih dari cukup dalam menahan gaya horizontal. Jadi desain awal pelebaran jalan adalah stabil atau tidak longsor walau dilewati truk. Untuk itu, penelitian selanjutnya difokuskan ke desain penggunaan cerucuk kayu galam sebanyak 18 buah.

Penggunaan tiang beton *minipile* dibutuhkan sebanyak 4 buah tiang beton *minipile* untuk meningkatkan stabilitas pelebaran jalan dengan menggunakan $FK_{rencana}$ sebesar 1,5 agar aman terhadap kelongsoran. Tetapi, untuk mampu menahan berat timbunan pelebaran jalan sebesar 31,017 ton/m' maka digunakan 6 buah tiang beton *minipile* dengan nilai daya dukung dalam kelompok per 1,0 m panjang jalan sebesar

55,516 ton. Dari perhitungan di atas juga diketahui bahwa jumlah tiang beton *minipile* yang dipasang sebaiknya sebanyak 6 buah pada satu sisi jalan per meter panjang jalan agar dapat menahan gaya horizontal dan gaya vertikal beban di atasnya.

Dari hasil perhitungan penurunan dapat diketahui bahwa total penurunan pada lapisan tanah setebal 11,0 m (kedalaman -1,0 s.d -12,0 m) akibat beban gabungan timbunan jalan eksisting dan pelebaran jalan serta beban lalu lintas adalah sebesar 17,3 cm dan akan terjadi dalam waktu $t = 20$ tahun. Penurunan lapisan tanah setebal 7,0 m (kedalaman -5,0 s.d -12,0 m) adalah sebesar 10,7 cm. Sedang penurunan lapisan tanah di bawah jalan eksisting mulai kedalaman -1,0 s.d -5,0 m (tanpa cerucuk) adalah sebesar 6,6 cm. Jadi perbedaan penurunan pada sambungan antara jalan eksisting dan pelebaran jalan yang akan terjadi sebesar 6,6 cm. Perbedaan penurunan di akhir tahun pertama akan terjadi sebesar 3,9 cm atau sebesar di akhir tahun kedua 5,5 cm.

Untuk hasil perhitungan penurunan tanah dengan perkuatan tiang beton *minipile* dapat diketahui bahwa total penurunan pada lapisan tanah setebal 11,0 m (kedalaman -1,0 s.d -12,0 m) akibat beban gabungan timbunan jalan eksisting dan pelebaran jalan serta beban lalu lintas adalah sebesar 13,3 cm dan akan terjadi dalam waktu $t = 20$ tahun. Penurunan lapisan tanah setebal 5,0 m (kedalaman -7,0 s.d -12,0 m) adalah sebesar 6,3 cm. Sedang penurunan lapisan tanah di bawah jalan eksisting mulai kedalaman -1,0 s.d -7,0 m (tanpa cerucuk) adalah sebesar 7,0 cm. Jadi perbedaan penurunan pada sambungan antara jalan eksisting dan pelebaran jalan yang akan terjadi sebesar 7,0 cm. Perbedaan penurunan di akhir tahun pertama akan terjadi sebesar 3,0 cm atau sebesar di akhir tahun kedua 4,2 cm.

Perbandingan desain awal dan desain optimasi ditunjukkan pada Tabel 13.

Tabel 13. Perbandingan penggunaan cerucuk kayu galam dan tiang beton *minipile*

Parameter	Cerucuk Kayu Galam	Tiang Beton <i>Minipile</i>
Jumlah Tiang pada 1 sisi (buah)	18	6
Biaya yang Dibutuhkan (milyar)	1,078	31,752
Penurunan Tanah Total (cm)	17,3	13,3
Beda Penurunan Tanah antara Jalan Eksisting dan Pelebaran Jalan (cm)	6,6	7,0
Beda Penurunan Tanah tahun ke-1 (cm)	3,9	3,0
Beda Penurunan Tanah tahun ke-2 (cm)	5,5	4,2

Dari segi ketersediaan bahan dan kebutuhan biaya, cerucuk kayu galam adalah material alam yang mudah didapatkan di Prov. Kalimantan Tengah dan harganya cukup murah di pasaran. Namun demikian, penggunaan 36 cerucuk kayu dan 8 kayu apit per 1,0 meter panjang jalan akan memberikan dampak buruk terhadap lingkungan.

Hal ini disebabkan karena, Peningkatan jalan sepanjang 2,45 km akan membutuhkan total 107.800 batang dengan kayu galam yang setara dengan 54 ha lahan hutan industri kayu galam yang akan menyebabkan penggundulan hutan dan lahan yang banyak ditumbuhi pohon galam. Selain itu, kayu galam dengan ukuran panjang 4,0 m dan diameter 10-12 cm termasuk sulit untuk dipenuhi di lapangan.

Dari aspek harga, harga cerucuk kayu galam di pasaran senilai Rp. 2.500,- per meter panjang batang (Rp. 10.000,- per batang), maka untuk menyiapkan 107.800 cerucuk kayu galam maka dibutuhkan biaya sebesar Rp. 1.078.000.000,- (*satu milyar tujuh puluh delapan juta rupiah*).

Untuk pengadaan tiang beton *minipile* akan lebih mudah dalam penyediaan bahan sesuai ukuran yang diinginkan, karena merupakan bahan yang dapat difabrikasi dan memiliki kekuatan yang lebih baik dibandingkan cerucuk kayu galam. Penggunaan tiang beton *minipile* juga dapat mencegah penggunaan material alam berupa kayu sebagai bahan perkuatan daya dukung tanah dasar.

Kekurangan dalam pengadaan tiang beton *minipile* adalah harga per meter panjang tiang cukup mahal. Selain itu, pengiriman tiang harus hati-hati agar tidak patah selama perjalanan. Dari aspek penyimpanan tiang memiliki kendala, yaitu perlu disediakan menggunakan lahan yang luas. Berdasarkan katalog produk tiang PT. Balikpapan Ready Mix Pile (PT. BRM), harga tiang senilai Rp. 180.000,- per meter panjang tiang. Untuk itu, harga 1 tiang sepanjang 6,0 m adalah Rp. 1.080.000,- (*satu juta delapan puluh ribu rupiah*). Jika per meter panjang jalan dibutuhkan 12 tiang di kedua sisi pelebaran jalan maka peningkatan ruas jalan ruas Sp. 3 Janas-STI (Sta. 0+000 – Sta. 2+450) sepanjang 2,45 km akan membutuhkan 29.400 tiang beton *minipile* dengan total kebutuhan biaya sebesar Rp. 31.752.000.000,- (*tiga puluh satu milyar tujuh ratus lima puluh dua juta rupiah*).

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil analisis studi yang diberikan di atas, dapat disimpulkan bahwa hasil analisa stabilitas timbunan peningkatan jalan dan daya dukung vertikal tiang terhadap timbunan yang terdiri dari lapisan pasir urug, timbunan pilihan, dan lapis fondasi perkerasan membutuhkan 18 buah cerucuk kayu galam dan 6 buah tiang beton *minipile* pada satu sisi agar dapat menahan kelongsoran dan mengurangi penurunan tanah yang terjadi.

Pelebaran jalan 2,5 km akan menghabiskan biaya sebesar Rp. 1.078.000.000,- untuk penggunaan kayu galam dan Rp. 31.752.000.000,- untuk penggunaan tiang beton *minipile*.

Total penurunan lapisan tanah setebal 11,0 m (kedalaman -1,0 s.d -12,0 m) adalah sebesar 17,3 cm dengan perbedaan penurunan di sisi pelebaran jalan yang menggunakan cerucuk kayu galam sebesar 6,6 cm. Jika menggunakan tiang beton *minipile*, total penurunan lapisan tanah menjadi 13,3 cm dengan perbedaan penurunan di sisi pelebaran jalan yang menggunakan tiang beton *minipile* sebesar 7,0 cm.

Penurunan tanah total dari desain penggunaan cerucuk kayu galam lebih besar dibandingkan tiang beton *minipile*.

Saran

Penggunaan *minipile* yang mengurangi pembabatan hutan kayu galam perlu teknis transportasi yang dapat menghindari terjadinya kerusakan pada *minipile* dan meminimasi keperluan lahan yang cukup luas serta aman untuk penyimpanannya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Makalah yang ditulis ini merupakan bagian dari hasil studi yang dilakukan sebagai salah satu *output* bagi karyasiswa Magister Superspesialis Kementerian PUPR Prodi Preservasi Jalan pada Kondisi Geoteknik Tanah Sulit. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak, terutama:

1. Prof. Ir. Noor Endah Mochtar, M.Sc., Ph.D selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dalam penelahaan naskah untuk diterbitkan pada Jurnal Jalan dan Jembatan Kementerian PUPR.
2. Riwanto Marbun, ST., MT selaku mentor lapangan yang telah membantu dalam pengumpulan data dan dokumentasi lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

Departemen Pekerjaan Umum, 1961. *Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia, PKKI 1961*. Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Cipta Karya, Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung: Departemen Pekerjaan Umum.

- Das, Braja M. 1988. *Mekanika Tanah: Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik*. Diterjemahkan oleh Noor Endah dan Indrasurya B.M. Surabaya: Erlangga.
- Kosasih, Agustina dan Mochtar. 1997. *Pengaruh Kadar Air, Angka Pori, dan Batas Cair Tanah Lempung terhadap Harga Indeks Pemampatan Konsolidasi, Cc, dan Indeks Pengembangan, Cs*. Surabaya: Master Thesis Jurusan Teknik Sipil FTSP Institut Teknologi 10 Nopember.
- Lazuardi, D. 2000. *Teknik pengelolaan hutan rakyat gelam (Maleleuca leucadendron Linn) di Kalimantan Selatan*. In: Daryono H et al. (eds). *Prosiding Seminar Pengelolaan Hutan Rawa Gambut dan Ekspose Hasil Penelitian di Hutan Lahan Basah*. Balai Teknologi Reboisasi Banjarbaru.
- Naval Facilities Engineering Command. 1986. *NAVFAC Design Manual 7.02 - Foundations & Earth Structures*. U.S. Government Printing Office.
- Mochtar, Noor Endah. 2012. *Modul Ajar Metode Perbaikan Tanah*. Surabaya: ITS Press.
- Standar Nasional Indonesia. 2016. *Pembebanan untuk Jembatan, SNI-1725-2016*. Bandung: Badan Standarisasi Nasional.
- Wahyudi, Herman. 1999. *Daya Dukung Pondasi Dalam*. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil.
- Wardoyo, Sarwondo, Farah Destiasari, Wahyudin, Wiyono, Ginda Hasibuan, William Pradana Sollu. 2019. *Atlas Sebaran tanah Lunak Indonesia Edisi Tahun 2019*. Bandung: Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Zahera, Nabilla., Masayu Widiastuti, dan Triana Sharly P. Arifin. 2019. Analisis Kekuatan Struktur *Minipile* Pasca Keruntuhan Dengan Menggunakan Software PLAXIS V8.6 (Studi Kasus : Landasan Bandara Samarinda Baru, Kota Samarinda). *Jurnal Teknologi Sipil Volume 3, Nomor 1 Mei 2019*.