



## DEFORMASI PELAT BERONGGA DUA ARAH SEBAGAI PERKERASAN KAKU PADA TANAH EKSPANSIF

Noerman Adi Prasetya<sup>\*1</sup>, Yonathan<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Borneo Tarakan, Tarakan

e-mail: \*[noerman@borneo.ac.id](mailto:noerman@borneo.ac.id)

**ABSTRACT:** *The purpose of this research is to develop a two-way hollow plate as an alternative pavement for roads on expansive soils with studies on the southern mountain road of Tarakan City, while the steps to be implemented are to modify the existing road pavement structure with the new type of structure offered, then the results of the new design will be compared with the existing design. The results obtained are that the deformation or settlement that occurs on the slab is very small, so that there is almost no difference in height between the plates that are loaded and those that are not, even though the soil in the subgrade is classified as soft (expansive) with CBR <4%. This shows that the strength capacity due to the reduction in strength that occurs in the two-way hollow plate system is still sufficient to serve the Heaviest Axis Load (MST) based on road class IIIB on Jalan Gunung Selatan, Tarakan City. It is hoped that this research can provide information and input to structural planners in designing buildings made of reinforced concrete, especially on rigid pavement structures, and then provide alternative types of pavement for roads in areas with expansive soil types.*

**Keywords:** *Rigid Pavement, Expansive Soil, Two-Ways Hollow Slab.*

**ABSTRAK:** *Tujuan dari penelitian ini adalah menemukembangkan pelat berongga dua arah sebagai alternatif perkerasan untuk jalan pada tanah ekspansif dengan studi pada jalan gunung selatan Kota Tarakan, adapun langkah-langkah yang akan dilaksanakan adalah dengan memodifikasi struktur perkerasan jalan eksisting dengan jenis struktur baru yang ditawarkan, lalu hasil dari desain baru tersebut akan dikomparasikan dengan desain eksisting. Hasil yang diperoleh yaitu deformasi atau penurunan yang terjadi pada pelat sangat kecil, sehingga hampir tidak ditemukan adanya selisih ketinggian antara bidang pelat yang terbebani dan yang tidak, meskipun tanah pada subgrade tergolong lunak (ekspansif) dengan CBR < 4%. Hal tersebut menunjukkan kapasitas kekuatan akibat reduksi kekuatan yang terjadi pada sistem pelat berongga dua arah masih cukup untuk melayani Muatan Sumbu Terberat (MST) berdasarkan kelas jalan IIIB yang ada pada Jalan Gunung Selatan Kota Tarakan. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi informasi dan masukan kepada perencana struktur dalam mendesain bangunan berbahan beton bertulang, khususnya pada struktur perkerasan kaku, lalu memberikan alternatif jenis perkerasan untuk jalan di daerah dengan jenis tanah ekspansif.*

**Kata kunci:** *Perkerasan Kaku, Tanah Ekspansif, Pelat Rongga Dua Arah.*

### 1. PENDAHULUAN

Kerusakan jalan dapat diakibatkan berbagai macam faktor diantaranya karena kendaraan angkutan barang yang muatannya berlebih yang mampu menurunkan umur layan (Morisca, 2014), serta daya dukung tanah yang rendah, baik itu dari jenis tanahnya maupun kontur sehingga menyebabkan perkerasan jalan mengalami lendutan berlebih. Hal tersebut jugalah yang terjadi pada ruas Jalan Gunung Selatan Kota Tarakan.

Berdasarkan klasifikasi menurut Dinas Perhubungan Kota Tarakan fungsi jalan, Ruas Jalan Gunung Selatan dikategorikan jalan kelas IIIB, memiliki lebar 6,0 meter, panjang 4,109 km, dan jalan ini memiliki type 2/2 UD. Jalan Gunung Selatan merupakan satu-satunya jalur alternatif yang menghubungkan antara wilayah barat Kota Tarakan, wilayah tengah Kota Tarakan, dan wilayah utara Kota Tarakan dengan jarak tempuh yang lebih singkat. Karena letaknya di pinggiran kota, sehingga Pemerintah Kota Tarakan mengarahkan penggunaan jalan tersebut untuk melayani angkutan material konstruksi yang pada umumnya memiliki muatan yang melebihi kapasitas jalan yang potensial menimbulkan kerusakan pada jalan.

Evaluasi kondisi dan kerusakan perkerasan lentur yang sudah dilakukan Bakri (2019) di Jalan Gunung Selatan ini menunjukkan bahwa jenis kerusakan yang ditemukan pada ruas jalan ini antara lain yaitu: retak kulit buaya (*alligator crack*), kegemukan (*bleeding*), retak kotak-kotak (*block cracking*), keriting (*corrugation*), amblas (*depression*), retak samping jalan (*edge cracking*), retak memanjang/melintang (*longitudinal/transverse cracking*), tambalan (*patching and utility cut patching*), lubang (*pothole*), dan pelepasan butiran (*weathering*). Berdasarkan hal tersebut, jenis perkerasan kaku merupakan tawaran solutif untuk beberapa bagian jalan yang mengalami kerusakan mayor.

*Rigid Pavement* (perkerasan kaku) banyak digunakan pada kondisi tanah dasar yang mempunyai daya dukung rendah, atau pada kondisi tanah yang mempunyai daya dukung yang tidak seragam (Surat, 2011). Perkerasan kaku umumnya menggunakan perkerasan bersambung tanpa menggunakan tulangan. Perencanaan tersebut mengasumsikan bahwa tanah dasar sudah dalam kondisi yang stabil, sehingga struktur pelat perkerasan dirancang berdasarkan pada daya dukung tanah dasar yang dinyatakan dalam nilai CBR (*California Bearing Ratio*).

Kelebihan dari konstruksi perkerasan kaku adalah sifat kekakuannya yang mampu menahan beban roda kendaraan dan menyebarkannya ke tanah dasar secara efisien serta mampu mengurangi deformasi yang berakibat pada penurunan permukaan yang tidak seragam. Sifat beton yang mampu menahan beban tekan dijadikan sebagai andalan untuk menahan beban roda kendaraan. Sementara kelemahan dalam menahan beban yang mengakibatkan terjadinya tegangan tarik serta retak akibat susut beton dijadikan sebagai kendala dalam perencanaan tebal pelat beton.

Dampak dari terjadinya lendutan berlebih dari material beton pada perkerasan kaku adalah terjadinya retak-retak pada permukaan. Retak tersebut menyebabkan air masuk ke dalam beton dan menyebabkan retakan yang semakin besar. Jika retak tidak segera ditangani dan konstruksi perkerasan tetap menerima beban kendaraan, maka akan menambah terjadinya retak tambahan yang pada akhirnya berakibat pada berkurangnya umur layan dari konstruksi perkerasan.

Struktur pelat rongga dua arah adalah jenis struktur yang termasuk dalam tipe struktur *flat plate* yakni sistem struktur gedung dengan elemen utama berupa kolom dan pelat tanpa menggunakan balok. Sistem pelat rongga dua arah juga merupakan inovasi terbaru dari pengembangan sistem pelat beton dengan keunggulan mampu mereduksi pemakaian beton sebesar 26 persen (Prasetya, 2021), bahkan hingga 30 persen lebih (Taskin & Peker, 2014). Sistem pelat rongga dua arah merupakan evolusi dari gabungan sistem *waffle slab* (pelat rusuk) dan *hollow slab* satu arah. Pada gedung, perkuatan sistem struktur ini difokuskan pada bagian pertemuan antara pelat dan kolom, karena berdasarkan penelitian Prasetya & Hernadi (2017) diketahui bahwa variasi tegangan berada pada bagian *column strip*, sedangkan bagian *middle strip* tegangan sangat kecil.

Lendutan berlebih dari perkerasan kaku yang terbebani dengan beban besar serta didukung oleh tanah dengan kondisi kurang stabil dapat dikurangi dengan meningkatkan kekakuan melalui penambahan tebal perkerasan. Akan tetapi penambahan tebal pelat akan berbanding lurus dengan peningkatan volume beton dan tentu akan berdampak pada tingginya harga pekerjaan. Berdasarkan hal tersebut maka sistem pelat berongga dua arah sebagai perkerasan kaku merupakan alternatif yang ideal untuk masalah tersebut karena volume rongga-rongga yang ada pada sistem ini akan disubstitusi menjadi volume beton untuk meningkatkan tebal pelat itu sendiri.

## 2. METODE PENELITIAN

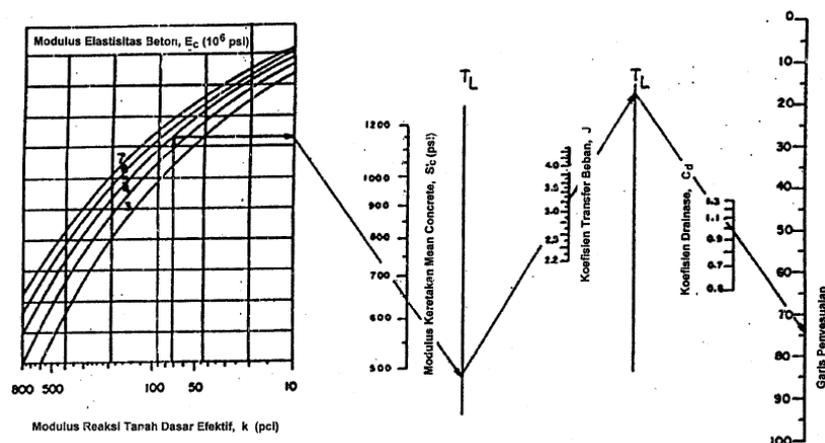
### 2.1. Desain Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement Design*)

Cara pendekatan terhadap pengaruh pengembangan tanah pada desain perkerasan kaku, adalah hampir sama dengan desain perkerasan lentur. Jika faktor pengangkatan mengembang dijadikan suatu pertimbangan yang dapat berpengaruh terhadap kehilangan tingkat pelayanan dan memerlukan lapisan tambah pada masa mendatang, maka dapat menggunakan prosedur di bawah ini:

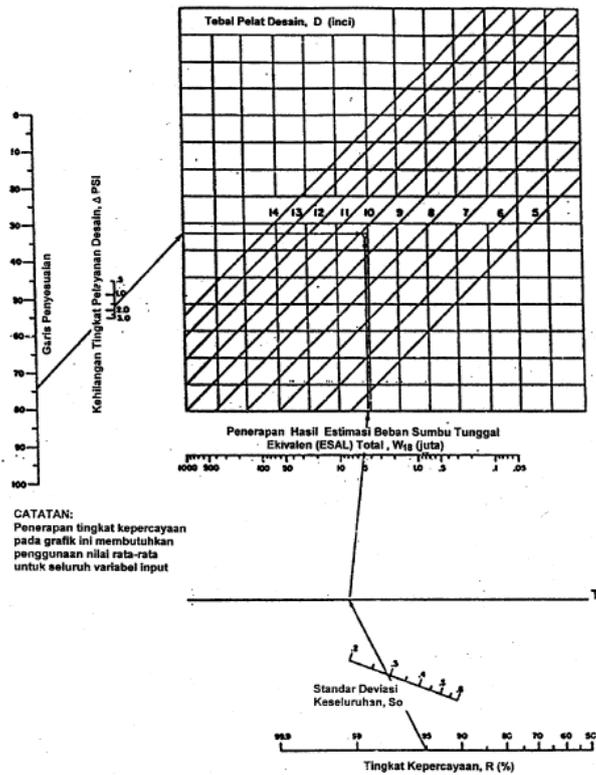
- 1) Pilih ketebalan slab yang sesuai untuk desain perkerasan awal. Dalam prakteknya ada kalanya ketebalan slab yang kurang dari nilai yang ditetapkan pada pedoman desain dapat cocok untuk menahan pengangkatan mengembang, sepanjang itu tidak bertentangan dengan waktu untuk lapis tambah minimum.
- 2) Pilih perkiraan waktu untuk lapis tambah yang diinginkan pada kondisi pengangkatan mengembang yang diantisipasi dan masukan ke dalam perkiraan waktu untuk lapis tambah.
- 3) Dengan menggunakan grafik hubungan antara kehilangan tingkat pelayanan lingkungan kumulatif dengan perkembangan waktu, perkiraan kehilangan tingkat pelayanan lingkungan total yang diakibatkan oleh pengangkatan mengembang ( $\Delta PSI_{sw}$ ) yang dapat diharapkan untuk perkiraan waktu lapis tambah dari Langkah 2 dan masukan ke dalam kolom ini.
- 4) Kurangkan nilai kehilangan tingkat pelayanan total yang diinginkan dengan nilai kehilangan tingkat pelayanan lingkungan (Langkah 3), untuk menetapkan kehilangan tingkat pelayanan lalu lintas yang sesuai, lalu masukan ke dalam kolom kesesuaian kehilangan pelayanan total akibat lalu lintas

$$\Delta PSI_{TR} = \Delta PSI - \Delta PSI_{sw} \quad (1)$$

- 5) Gunakan Gambar 1a dan Gambar 1b, untuk mengestimasi nilai kumulatif yang diperbolehkan lalu lintas pada ekivalen sumbu tunggal seberat 8,16 ton sesuai dengan kehilangan tingkat pelayanan lalu lintas yang didapat dari Langkah 4. Hal yang penting adalah gunakan tingkat kepercayaan yang sama, modulus efektif reaksi tanah dasar dan lainnya, bila menggunakan nomograf desain perkerasan kaku untuk mengestimasi lalu lintas yang diijinkan.
- 6) Perkirakan tahun yang sesuai dengan kumulatif lalu lintas pada ekivalen sumbu tunggal seberat 8,16 ton yang akan dicapai (ditentukan dari Tahap 5) dan ubah menjadi waktu untuk lapis tambah yang sesuai. Nilai ini harus disertai dengan tambahan dari hubungan lalu lintas kumulatif terhadap perkembangan waktu.
- 7) Bandingkan perkiraan waktu untuk lapis tambah dengan hasil perhitungan pada Tahap 6. Jika perbedaannya lebih besar dari 1 tahun, maka hitunglah nilai rata-rata dari dua angka tersebut dan gunakan ini sebagai nilai coba-coba untuk memulai pengulangan berikutnya (kembali ke Langkah 2). Jika perbedaannya kurang dari 1 tahun, maka perhitungan memuaskan.



Gambar 1a. Grafik desain untuk perkerasan kaku berdasarkan penggunaan nilai rata-rata untuk tiap variabel input

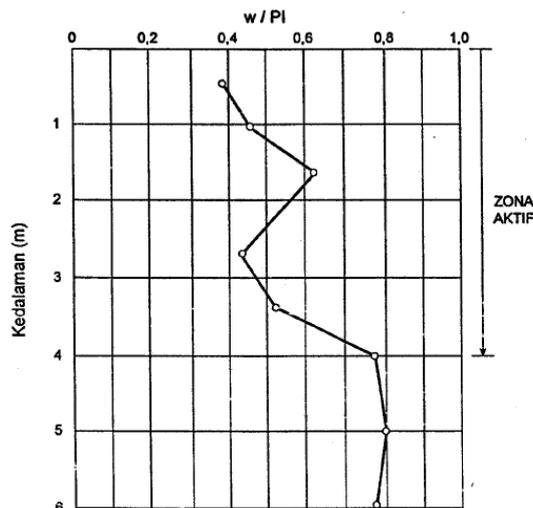


Gambar 2b. Grafik desain untuk perkerasan kaku berdasarkan penggunaan nilai rata-rata untuk tiap variabel input

## 2.2. Perkerasan Jalan di Atas Tanah Ekspansif

### 2.2.1. Penentuan Zona aktif

Zona aktif dapat ditentukan dengan memetakan nilai kadar air ( $w$ ) terhadap kedalaman ( $D$ ) dari contoh tanah yang diambil selama musim basah dan kering. Kedalaman pada saat kadar air hampir konstan adalah batasan zona aktif, atau disebut juga tebal perubahan kadar air musiman. Penentuan ketebalan zona aktif dapat pula ditentukan berdasarkan nilai kadar air ( $w$ ) yang dibagi dengan nilai indeks plastisitas ( $PI$ ), yang ditulis dalam bentuk persamaan sebagai  $w/PI$ . Selain itu juga dapat pula ditentukan berdasarkan nilai batas cair ( $LL$ ) yang dikurangi dengan nilai kadar air ( $w$ ), kemudian dibagi dengan nilai indeks plastisitas ( $PI$ ), atau jika ditulis dalam bentuk persamaan menjadi  $(LL-w)/PI$ . Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 2. Metode penentuan zona aktif dari perubahan kadar air (Nelson & Miller, 1992 dalam Pusat Litbang Prasarana Transportasi, 2005)

### 2.2.2. Pemadatan Tanah

Pada prinsipnya pemadatan tanah merupakan suatu proses dimana partikel tanah saling berdekatan, sehingga rongga udara menjadi lebih kecil akibat tumbukan mekanik. Dengan melakukan pemadatan tanah pada kondisi kadar air yang mendekati optimum, rongga udara dapat dieliminir sehingga perubahan kadar air pun berkurang. Pemadatan yang baik pada timbunan badan jalan akan mengurangi bahkan meniadakan penurunan timbunan. Melalui pemadatan tanah yang baik kuat geser tanah akan meningkat dan tahan terhadap deformasi.

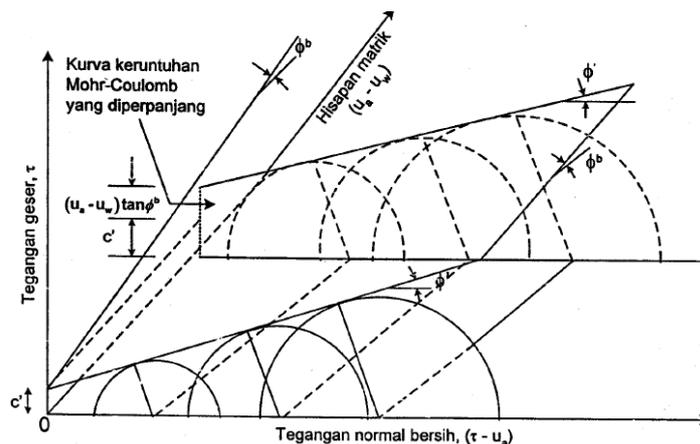
### 2.2.3. Kuat geser tanah tak jenuh

Pengukuran kuat geser tanah tak jenuh dapat dilakukan dengan memodifikasi alat geser langsung atau triaksial sehingga dapat mengukur tegangan fase air dan udara serta perubahan volume fase air maupun udara. Gambar 4 menunjukkan kurva keruntuhan tanah tak jenuh yang merupakan hubungan antara tegangan geser dan tegangan normal. Persamaan yang digunakan dalam menghitung kuat geser tanah tak jenuh adalah sebagai berikut:

$$\tau_{ff} = c' + (\sigma_{ff} - u_{af})_f \tan\phi' + (u_a - u_w)_f \tan\phi^b \quad (2)$$

dengan:

$\tau_{ff}$	: kuat geser tanah tak jenuh (kPa)
$c'$	: kohesi tanah (kPa)
$\sigma_{ff}$	: tegangan normal pada bidang keruntuhan (kPa)
$u_{af}$	: tekanan udara pori pada bidang keruntuhan (kPa)
$(\sigma_{ff} - u_{af})_f$	: tegangan normal bersih pada bidang keruntuhan (kPa)
$u_w$	: tekanan air pori pada bidang keruntuhan (kPa)
$(u_a - u_w)_f$	: hisapan matrik pada bidang keruntuhan (kPa)
$\phi'$	: sudut geser dalam ( $^\circ$ )
$\phi^b$	: sudut perubahan kuat geser terhadap hisapan matrik ( $^\circ$ )



**Gambar 3. Kurva keruntuhan tanah tak jenuh**

(Fredlund & Rahardjo dalam Pusat Litbang Prasarana Transportasi, 2005)

### 2.2.4. Perilaku kuat geser akibat siklus berulang

Terdapat dua kemungkinan yang terjadi akibat proses berulangnya basah-kering terhadap partikel-partikel tanah, yaitu terjadinya penyatuan butiran sehingga ukuran menjadi lebih besar, dan terjadinya pengurangan butiran sehingga ukuran menjadi lebih kecil.

### 2.2.5. Perilaku mengembang akibat siklus berulang

Perilaku potensi mengembang pada tanah ekspansif akan berkurang akibat bertambahnya siklus berulang basah-kering. Pengurangan tersebut semakin kecil setelah melewati siklus kelima. Permukaan

jalan mengalami pergerakan setiap siklus musim hujan hingga empat siklus dan pergerakan menjadi sangat kecil setelah mengalami siklus kelima. Kondisi berulangnya pengembangan tanah akan mengakibatkan kelelahan pengembangan.

### 2.2.6. Tekanan tanah lateral

Untuk keperluan konstruksi dinding penahan tanah yang ditempatkan di atas tanah ekspansif, maka analisis perhitungan dapat dipertimbangkan terhadap dua kondisi, yaitu:

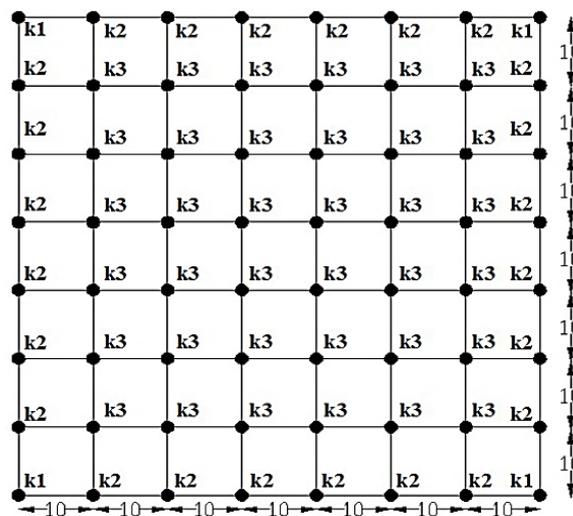
- Untuk tanah timbunan yang berupa tanah ekspansif, analisis perhitungan dipertimbangkan terhadap keadaan remasan (*remolded*).
- Untuk tanah galian yang berupa tanah ekspansif, analisis perhitungan dipertimbangkan terhadap keadaan asli.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Pemodelan Perkerasan Kaku Jalan

#### 3.1.1. Penentuan konstanta pegas landasan pelat

Tanah dasar yang dipakai sebagai tumpuan lapisan perkerasan kaku diasumsikan sebagai tumpuan pegas dengan nilai kekakuan pegas dengan pemodelan sebagai berikut:



Gambar 4. Model tumpuan pegas pada perkerasan kaku

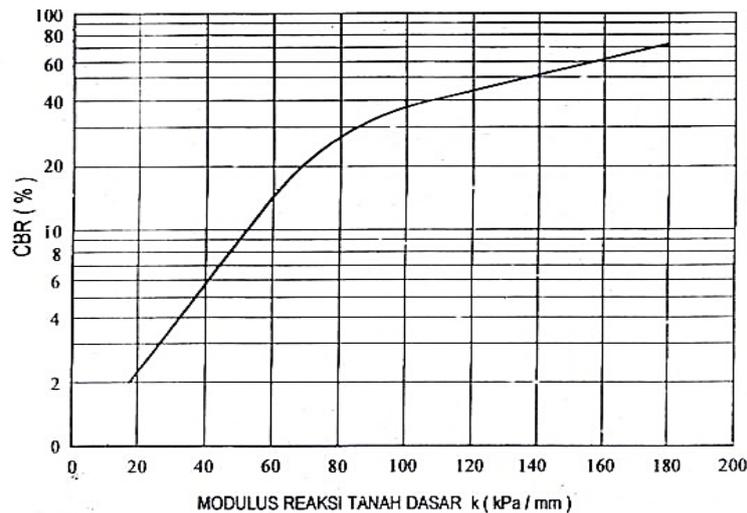
Apabila pelat beton kaku yang terletak pada material semi elastik mengalami pembebanan akibat beban lalu-lintas, maka pelat akan terdefleksi dan tegangan lengkung (*warping stress*) akan bekerja padanya. Besarnya tegangan pada beton, merupakan fungsi dari radius kurvatur pelat setelah melengkung. Ketika pelat beton mengalami defleksi akibat beban, maka akan timbul reaksi antara pelat dan media yang berada di bawahnya. Hubungan beban-defleksi dari tanah dasar umumnya tidak linier. Namun dianggap linier dan dinyatakan dalam besaran modulus reaksi tanah dasar (*modulus of subgrade reaction*), yang dinotasikan dengan  $k$ .

Penentuan tebal pelat beton membutuhkan nilai dukungan material di bawahnya yang dinyatakan dalam nilai modulus reaksi tanah dasar (*modulus of subgrade reaction*,  $k$ ). Nilai- $k$  merupakan konstanta pegas (*spring constant*) dari material yang mendukung perkerasan kaku. Nilai ini menunjukkan daya dukung dari lapisan di bawah pelat beton. Modulus reaksi tanah dasar dapat diperoleh dengan melakukan uji beban pelat (*plate load test* atau *plate bearing test*). Pelaksanaan uji beban pelat membutuhkan waktu yang lama. Karena itu, dalam perancangan perkerasan jalan raya, umumnya jarang dilakukan uji tersebut, kecuali jika terdapat kasus perancangan yang khusus. Nilai-nilai pendekatan  $k$  untuk perancangan yang disarankan oleh Yoder & Witzcak (1975) dalam Hardiyatmo (2019), ditunjukkan dalam Tabel 2 dan Gambar 5.

Tabel 2 Perkiraan modulus reaksi tanah dasar ( $k$ )

Jenis Tanah	Modulus reaksi tanah-dasar ( $k$ )	
	pci	kN/m <sup>3</sup>
Lempung plastis	50 – 100	13600 – 27200
Lanau dan lempung berlanau	100 – 200	27200 – 54400
Pasir, kerikil berlempung	200 – 300	54400 – 81600
Kerikil	500+	136000
CTB atau ATB	400+	108800

Sumber: (Yoder & Witzcak, 1975 dalam Hardiyatmo, hal: 291, 2019)

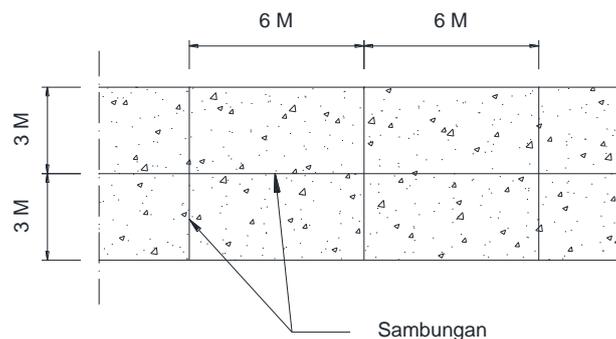
Gambar 5. Hubungan CBR dengan  $k$ 

(Austroads, 1977; FAA, 1995 dalam Hardiyatmo, hal: 580, 2019)

Konstanta pegas yang digunakan dalam riset ini yang didasarkan pada jenis tanah pada lokasi yakni lempung plastis dengan nilai CBR pada subgrade adalah di bawah 3% dengan nilai *Modulus of subgrade reaction* arah vertikal ( $k_{sv}$ ) sebesar 25000 KN/m<sup>3</sup> = 2 kg/cm<sup>3</sup>.

Berdasarkan data di atas, dengan jarak antar tumpuan arah memanjang sebesar 10 cm dan jarak antar tumpuan pegas arah melebar sebesar 10 cm, nilai-nilai kekakuan pegas  $k_1$ ,  $k_2$  dan  $k_3$  dihitung sebagai berikut:

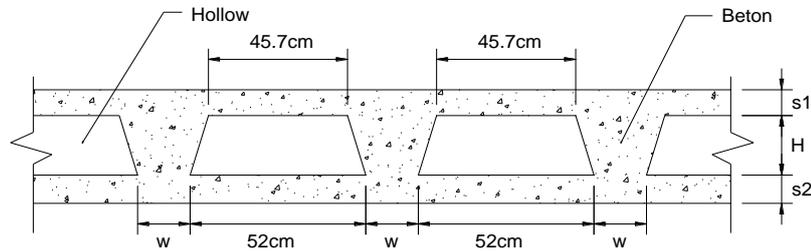
- $k_1 = 5,00\text{cm} \times 5,00\text{cm} \times 2,00 \text{ kg/cm}^3 = 50,00 \text{ kg/cm}^3$
- $k_2 = 5,00\text{cm} \times 10,00\text{cm} \times 2,00 \text{ kg/cm}^3 = 100,00 \text{ kg/cm}^3$
- $k_3 = 10,00\text{cm} \times 10,00\text{cm} \times 2,00 \text{ kg/cm}^3 = 200,00 \text{ kg/cm}^3$



Gambar 6. Segmen jalan

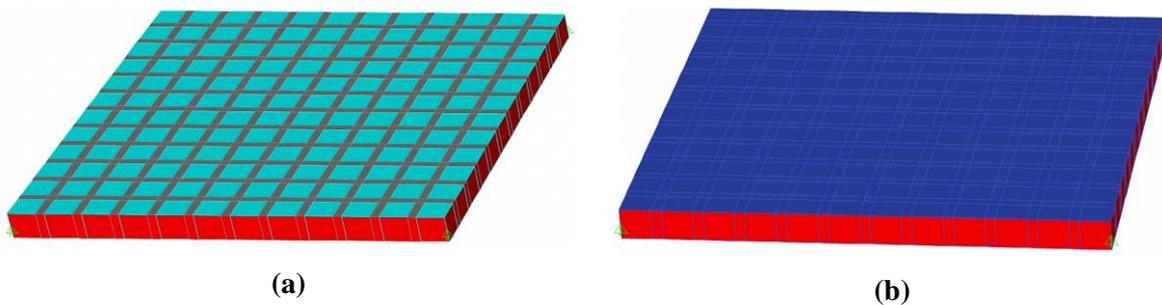
### 3.1.2. Penentuan parameter pelat dengan rongga 2 arah

Parameter dari rongga yang digunakan adalah tebal selimut rongga ( $s$ ) sebesar 7,50 cm, tebal rongga ( $H$ ) sebesar 15 cm, jarak tepi-tepi antar rongga ( $w$ ) sebesar 20 cm, sehingga total tebal menjadi 30 cm, sedangkan ukuran lebar rongga menyesuaikan bentuk modul dari produk U-Boot beton (lihat Gambar 7).



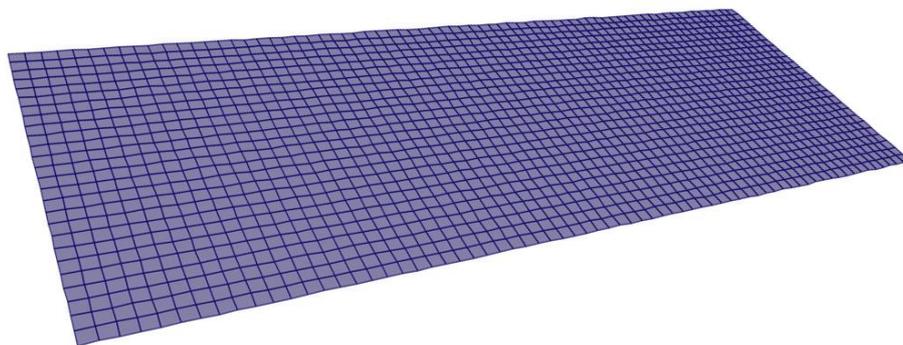
**Gambar 7. Geometri rongga dan variabel pembentuknya**

Pemodelan rongga dilakukan dengan melakukan ekivalensi kemampuan lentur antara pelat ber-rongga (Gambar 8a) dengan pelat solid (Gambar 8b) yang dibebani beban merata yang sama (berat sendiri = 0), hal tersebut dilakukan karena sangat sulit memodelkan sistem pelat dengan rongga 2 arah secara langsung, karena akan terbentuknya meshing yang tidak seragam, karena keseragaman ukuran meshing sangat sensitif terhadap reabilitas hasil analisa struktur berbasis *Finite Element Method* (Hwang & Moehle, 2000), oleh karena itu diberikan alternatif dengan cara membuat beberapa model pelat solid, kemudian ditentukan lendutan pada tengah panel terhadap model pelat ber-rongga sebagai target reduksi kekakuan lentur, sehingga diperoleh angka reduksi kekakuan lentur sebesar 0.873.



**Gambar 8. Model untuk mencari reduksi kekakuan lentur slab**  
a) model pelat ber-rongga 2 arah; b) model solid slab

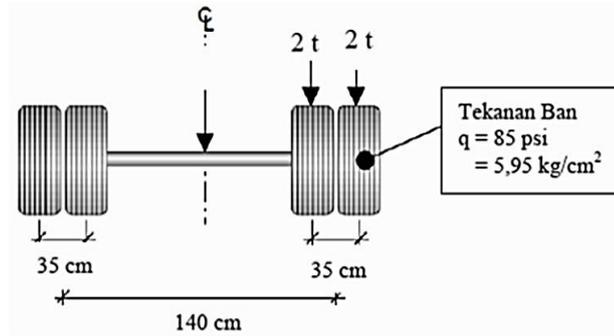
Ukuran meshing yang digunakan dalam pemodelan ini adalah seragam pada seluruh area pelat sebesar 10cm, nilai tersebut untuk memudahkan dalam meletakkan beban terpusat dengan mempertimbangkan jarak antar roda kendaraan.



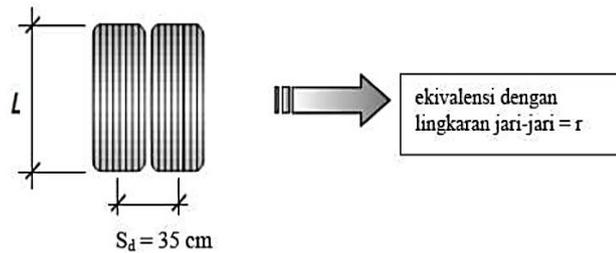
**Gambar 9. Hasil diskritisasi model pelat dengan rongga 2 arah**

### 3.1.3. Penentuan pembebanan

Penentuan beban berdasarkan dari Muatan Sumbu Terberat (MST) berdasarkan kelas jalan adalah sebesar 8 ton, 10 ton dan >10 ton (Anonim, 1997), yang dalam analisis struktur perkerasan ditentukan sebagai beban statis. Desain beban gandar dan ekivalensi luas bidang kontak untuk MST = 8 ton seperti pada Gambar 10 dan Gambar 11.



Gambar 10. Standart Axle Load Design



Gambar 11. Ekivalensi luas bidang kontak

Area kontak roda disederhanakan menjadi berbentuk lingkaran dengan jari-jari r dengan perhitungan sebagai berikut:

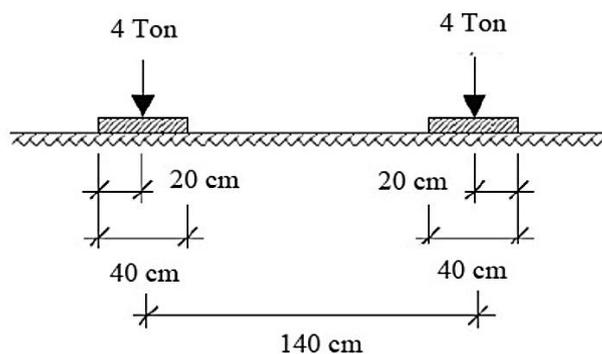
$$L = \sqrt{\frac{Pd}{0,5227 \cdot q}} = \sqrt{\frac{2000}{0,5227 \cdot 5,95}} = 25,36 \text{ cm}$$

$$\pi r^2 = (2 \times 0,5227 \times L^2) + ((S_d - 0,6) \times L)$$

$$\pi r^2 = (0,4454 \times 25,36^2) + ((35 - 0,6) \times 25,36)$$

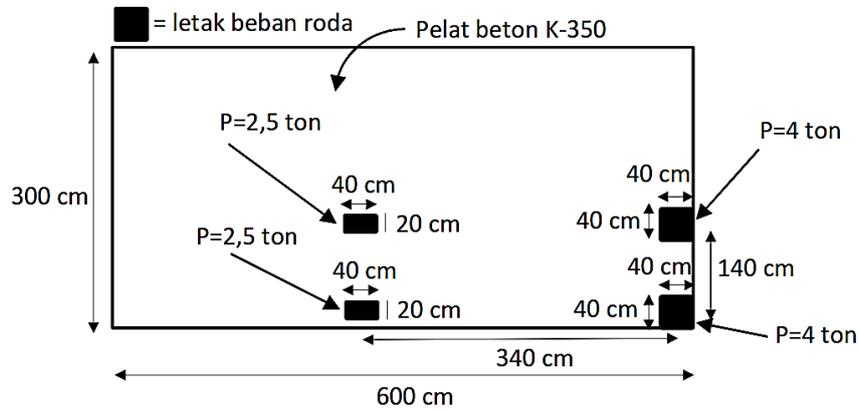
$$\pi r^2 = 1158,83$$

$$r = \sqrt{\frac{1158,83}{\pi}} = 19,21 \approx 20 \text{ cm}$$

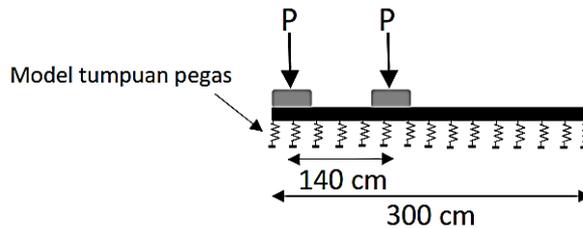


Gambar 12. Area kontak beban roda

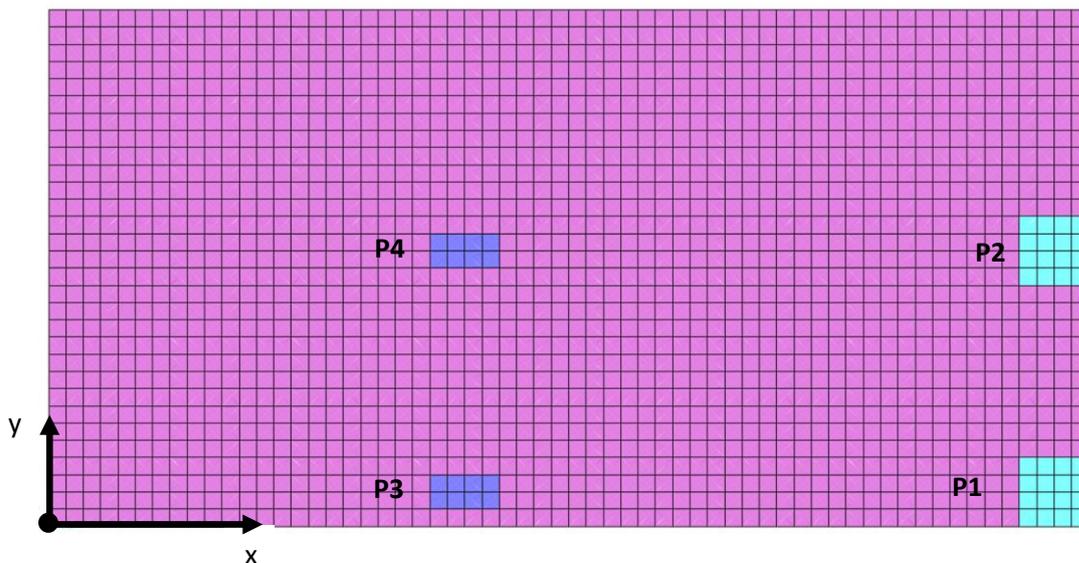
Pembebanan yang terjadi pada pelat beton akibat pembebanan roda (lalu lintas) di bedakan menjadi 3 macam, yaitu pembebanan ujung, pembebanan tengah, dan pembebanan pinggir (Suryawan, 2009 dalam Yasir et al, 2017). Posisi pembebanan yang digunakan pada riset ini menggunakan jenis pembebanan ujung/sudut (*corner loading*) dan tidak menggunakan koperan sebagai struktur perkuatan tambahan pada tepi pelat.



Gambar 13. Denah pelat dan pembebanan



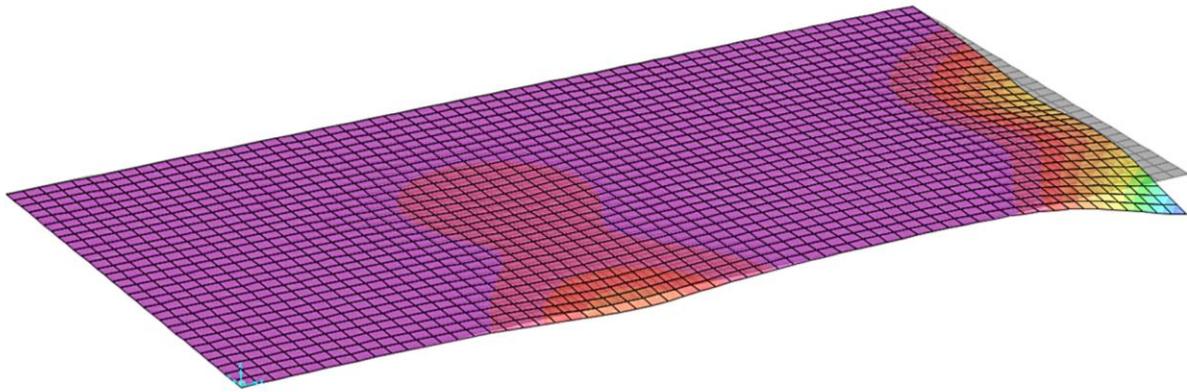
Gambar 14. Denah pelat dan pembebanan



Gambar 15. Denah perletakan beban pada model pelat yang telah di *meshing*

### 3.2. Hasil Analisis Struktur Perkerasan Kaku

Analisis struktur pelat dengan rongga 2 arah yang dimodelkan sebagai perkerasan kaku menggunakan bantuan aplikasi berbasis *finite element method* SAP2000. Adapun hasil analisis dapat dilihat pada Tabel 3 dan kontur penurunan/deformasi dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Deformasi Pelat

Tabel 3 Rekapitulasi Deformasi yang terjadi pada area pelat yang terbebani

No	Karakteristik	Satuan	Nilai
1.	Area beban P1	mm	0,100
2.	Area beban P2	mm	0,045
3.	Area beban P3	mm	0,028
4.	Area beban P4	mm	0,014

Berdasarkan hasil analisis struktur pada Tabel 3 diketahui bahwa deformasi atau penurunan yang terjadi pada pelat sangat kecil, sehingga hampir tidak ditemukan adanya selisih ketinggian antara bidang pelat yang terbebani dan yang tidak, meskipun tanah pada *subgrade* tergolong lunak (ekspansif) dengan CBR < 4%. Hal tersebut menunjukkan kapasitas kekuatan akibat reduksi kekuatan yang terjadi pada sistem pelat berongga dua arah masih cukup untuk melayani Muatan Sumbu Terberat (MST) berdasarkan kelas jalan IIIB yang ada pada Jalan Gunung Selatan Kota Tarakan.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan studi yang dilakukan pada penelitian ini, dapat diketahui bahwa deformasi akibat beban pada perkerasan kaku menggunakan pelat berongga dua arah adalah sangat kecil, pemakaian beton berkurang sebesar 23,52% diakibatkan reduksi rongga pelat, sedangkan volume pemakaian tulangan meningkat 2 kali akibat penggunaan 2 lapis penulangan pada sistem struktur ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Bakri, M.D., 2019, *Evaluasi Kondisi dan Kerusakan Perkerasan Lentur Dengan Metode Pavement Condition Index (PCI) (Studi Kasus: Jalan Gunung Selatan Kota Tarakan Provinsi Kalimantan Utara)*. Borneo Engineering Jurnal Teknik Sipil Vol.3 No. 2 Desember 2019, hal. 81-96, ISSN: 2581-1134.
- Departemen Pekerjaan Umum, Badan Litbang Prasarana Transportasi, 2005, *Penanganan Tanah Ekspansif untuk Konstruksi Jalan*, Bandung: Puslitbang Prasarana Transportasi.
- Hardiyatmo, H.C, (2019), *Perancangan Perkerasan Jalan dan Penyelidikan Tanah*, Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hwang, S.J, Moehle, J.P, 2000, *Models for Laterally Loaded Slab-Column Frames*, ACI Structural Journal, V.97, No.2, Hal: 345-351.

- Morisca,W, 2014, *Evaluasi Beban Kendaraan Terhadap Derajat Kerusakan Dan Umur Sisa Jalan*. Palembang: Jurnal Teknik Sipil dan lingkungan. 2(4), 692-699.
- Prasetya, N.A, 2021, *Perbandingan Sistem Pelat-Balok Konvensional Dengan Sistem Flat Plate Berongga Dua Arah Dari Segi Volume Beton Pada Gedung Fakultas Ilmu Kesehatan Universitas Borneo Tarakan*, Borneo Engineering: Jurnal Teknik Sipil, Vol. 5 No.3, Hal: 330-334
- Prasetya, N.A, 2017, *Desain Tulangan Lentur Pelat Pada Struktur Flat Plate Ber-Hollow Dua Arah Dengan Metode Lebar efektif*, INOVTEK POLBENG, Vol.7 No.2, Hal: 146-152
- Surat, 2011, *Analisis Struktur Perkerasan Jalan di Atas Tanah Ekspansif (Studi Kasus: Ruas Jalan Purwodadi-Blora)*, Surakarta, Universitas Sebelas Maret
- Taskin. T, Peker, K, 2014, *Design Factors and TheEconomical Application of Spherical Type Voids in RC Slabs*, Proceedings of International Scientific Confrence People, Buildings and Environment 2014, Hal:448-458.
- Yasir F, Surjandari N S, Purwana Y M. 2017. *Analisis Lendutan Perkerasan kaku Pada Pembebanan Sudut dengan Metode Elemen Hingga*, Jurnal Muara, Vol.1, No. 1, Hal:150-156.