STUDI EKSPERIMEN PERILAKU STRUKTUR PERKERASAN KAKU

Iman Ruchiyat

Dosen Teknik Sipil Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
Email:Imanruchiyat@gmail.com

ABSTRAK

Ruas jalan Tol Purbaleunyi khususnya Km 78+200 yang dijumpai beberapa pelat beton yang mengalami kerusakan terutama jenis kerusakan retak memanjang, retak melintang dan retak sudut yang menerus dari permukaan sampai dasar pelat beton. Perbaikan terhadap jenis kerusakan tersebut adalah dengan mengganti pelat beton/ full depth repair dengan pelat beton yang baru.Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji perilaku pelat beton sebagai suatu bagian dari suatu struktur perkerasan kaku yang diletakan diatas berbagai variasi tanah dasar yang sudah mengalami stabilisasi termasuk tanah dasar eksisting. Perilaku struktur perkerasan diperlihatkan oleh kinerja struktural yaitu penurunan/ lendutan, regangan dan beban maksimum pada saat pelat beton tersebut mengalami kehancuran. Hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa perilaku pelat beton untuk parameter lendutan maksimum relatif mengalami penurunan. Lebih jauh untuk parameter beban diperoleh hasil untuk tanah dasar variasi II, III dan IV berturut-turut sebesar 73,47 kN, 83,25 kN, dan 93,50 kN terhadap variasi I sebesar 42,23 kN. Peningkatan beban tersebut sangat signifikan dalam kisaran 174% sampai dengan 221%. Dan regangan yang terjadi baik untuk variasi I, II, III dan IV dalam kisaran 0,0032 sampai dengan 0,0034.

Kata Kunci:
Perkerasan Kaku, Lendutan, Beban, Regangan, dan CBR

1. PENDAHULUAN

Jalan Tol Purbaleunyi merupakan ruas jalan yang diharapkan selalu dapat memberikan kinerja fungsional dan struktural yang memenuhi Standar Pelayanan Minimun (SPM) jalan tol. Namun demikian, setiap tahun ruas jalan ini dilakukannya penggantian pelat beton secara penuh/ *Full Depth Repair*. Seperti yang terjadi pada Km 78+200 ruas jalan tersebut terjadi kerusakan struktur perkerasan kaku berupa retak-retak yang meluas. Kerusakan struktur perkerasan kaku tersebut dapat disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya faktor beban kendaraan yang berlebih, tanah dasar menerima beban yang melebihi daya dukungnya, masuknya air kedalam tanah dasar sehingga menurunkan daya dukungnya, serta adanya jenis kerusakan retak. Jenis kerusakan struktur perkerasan kaku tersebut seperti diperlihatkan pada **Gambar 1** dan **Gambar 2**. Untuk mengurangi kembang susut yang cukup tinggi pada tanah dasar dapat dilakukan dengan melakukan stabilisasi tanah dasar dengan mencampur bahan tambah yang sesuai dengan tekstur dan sifat – sifat fisik tanah tersebut.

Gambar 1. Retak Acak di Sudut Segmen Perkerasan Kaku

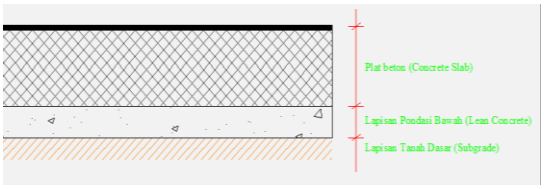
Gambar 2**.** Kerukan Perkerasan Kaku di Bagian Tengah

Berdasarkan permasalahan yang dijelaskan diatas, maka penelitian ini fokus untuk mempelajari perilaku struktur perkerasan kaku diatas berbagai variasi tanah dasar yang sudah mengalami stabilisasi, termasuk tanah dasar eksisting. Perilaku struktur perkerasan kaku diatas tanah dasar tersebut diperlihatkan oleh kinerja perkerasan seperti parameter penurunan/ lendutan pelat beton dan juga regangan pada saat pelat beton tersebut menerima beban statik *monothonic atau Quasi static*

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Struktur Perkerasan Kaku

Struktur perkerasan adalah suatu konstruksi yang terletak di atas lapisan tanah dasar/ *subgrade*, yang terdiri dari lapisan pondasi (*sub base course*) dan pelat beton (*concrete slab*). Susunan lapisan perkerasan kaku dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Susunan lapisan perkerasan kaku.

2.2 Analisis Struktur Perkerasan kaku

Modulus of Rupture (MR) Pendekatan hubungan antara modulus lentur dan kekuatan beton seperti pada Persamaan berikut:

$$M_r = K\sqrt{fc'} \quad \text{.....} \quad \text{(II-1)}$$

Dimana:

M_r : Modulus lentur (MPa)

K : Konstanta 0,7 untuk agregat tidak dipecah dan 0,75 untuk agregat pecah.

fc' : Kuat tekan beton (MPa)

Pada SNI 03-2847-2002 ditetapkan bahwa lendutan seketika dihitung dengan nilai momen inersia efektif (Ie) berdasar persamaan berikut:

$$Ie = \left(\frac{M_{cr}}{Ma}\right) Ig + \left\{1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right\} I_{cr}$$

Dengan:

Ie : Momen inersia efektif

Ig : Momen inersia penampang utuh terhadap sumbu berat penampang

Icr : Momen inersia penampang retak trans-formasi

Ma: Momen maksimum pada saat lendutan maksimum dihitung

Mcr: Momen pada saat timbul retak per-tama kali

Nilai Inersia penampang yang diambil adalah inersia penampang pelat beton (I). Nilai inersia untuk penampang sebelum mengalami retak dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$I_{cr} = \frac{1}{3} by^3 (\text{m}^4) \text{.....} \quad \text{(II-2)}$$

2.3 Lendutan Akibat Beban Tengah Dengan Dimensi Pelat Terbatas

Fleksibilitas balok (λ), sebagaimana yang dirumuskan oleh Hetenyi (1974):

$$\lambda = \sqrt{\frac{KB}{4EI}} \text{.....} \quad \text{(II-3)}$$

Dengan :

λ : Fleksibelitas balok di atas tanah (m^{-1})

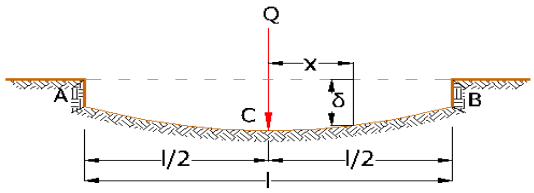
E : Modulus Elastis balok (kN/m2)

K : Modulus reaksi tanah dasar (kN/m2)

I : Momen Inersia Balok (m^4)

Untuk menghitung besaran lendutan struktur perkerasan kaku di atas tanah yang elastis dengan panjang terbatas, yang dibebani beban terpusat pada tengah pelat digunakan Persamaan dari teori balok pada fondasi elastik (Hetenyi, 1974):

$$\delta = \frac{Q}{2K} \frac{1}{\sinh \lambda l + \sin \lambda l} \left\{ \begin{array}{c} \cosh \lambda(l-x) + cos\, \lambda x \cosh \lambda\,(l-x) \\ -\sinh \lambda x \sin \lambda(l-x) + \sin \lambda x \sin \lambda(l-x) \\ +2 \cosh \lambda x \cos \lambda x \end{array} \right\} \quad \text{(II-4)}$$



Gambar 4. Balok Terhingga Yang Dibebani Beban Titik Pada Tengah Bentang (Hetenyi, 1974)

2.4 Tegangan Lentur Akibat Beban Roda

Tegangan pada permukaan bawah pelat beton dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut (Mathew & Rao, 2007): seperti terlihat pada **Gambar 5.**

$$\sigma_b = \frac{0{,}316P}{h^2}\left[4log_{10}\left(\frac{l}{b}\right) + 1{,}069\right] \text{.....} \quad \text{(II-5)}$$

Dimana :

σ_b :Tegangan tekan pada bagian tarik permukaan bawah pelat akibat beban sumbu kendaraan yang bekerja pada tengah pelat (kN)

P : Beban sumbu (kN)

h : tebal plat beton (cm)

b : radius ekivalen (cm)

$$b = \sqrt{1{,}6a^2 + h^2} - 0{,}675h$$

jika a < 1,724h ..... (II-6)

$$b = a$$

jika a > 1,724h

Ketika beban diberikan, maka luasan area pelat menahan momen akibat lentur. *Westergaard* memberikan hubungan radius ekivalen pada bagian bawah pelat.

l = kekakuan relative tanah dasar

Untuk menentukan karakteristik kekakuan relatif lapisan tanah dasar, dapat digunakan rumus berikut ini:

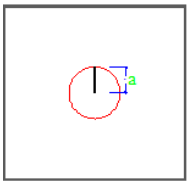
$$l = \sqrt[4]{\frac{Eh^3}{12K(1-\mu^2)}} \quad \text{.....} \quad \text{(II-7)}$$

Dimana:

E : Modulus elastis pelat beton

μ : *Poison* ratio pelat beton, nilai *poison* diambil (0,15)

K : Modulus reaksi tanah dasar



Gambar 5. Pembebanan pada tengah pelat (*centre*)
Sumber: Mathew dkk. (2007)

Besaran tegangan lentur dibatasi dengan tegangan lentur atau biasa disebut modulus lentur. Distribusi tegangan tarik pada permukaan bagian bawah dan bagian atas pelat beton dapat dilihat pada **Gambar 6.**

Secara umum untuk tegangan lentur pada permukaan atas pelat sejauh y dari garis netral dapat digunakan dengan rumus berikut:

$$\sigma_{lt} = \frac{M.y}{n.I_{eq}} \quad \text{.....} \quad \text{(II-8)}$$

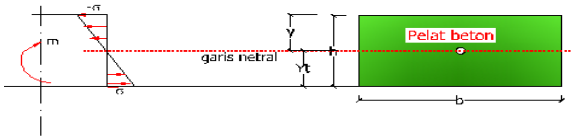
Dengan:

σ_{lt} : tegangan akibat lentur

M : momen luar

y : jarak tegangan yang ditinjau ke garis netral ke serat atas pelat beton

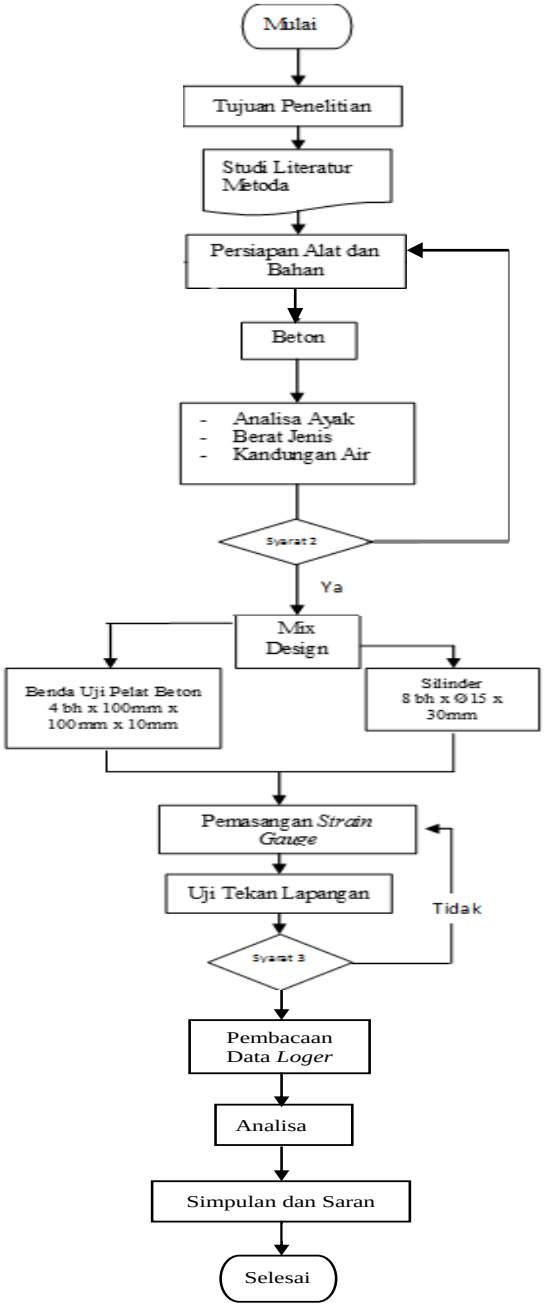
I : momen inersia



Gambar 6. Distribusi Tegangan Akibat Lentur

3. METODOLOGI

Metodologi yang digunakan pada penelitian ini diuraikan seperti pada.



Gambar 7. Bagan Alir Pelaksanaan Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Laboratorium Pengujian Beton

Di atas tanah dasar diletakkan pelat beton sebagai ilustrasi struktur perkerasan kaku, dengan ukuran, panjang 1.000 mm x lebar 1.000 mm x tebal 100 mm sebanyak 4 (empat) buah. Pengujian yang dilakukan terhadap beton adalah sebagai berikut

Pengujian Karakteristik Material Pelat Beton, hasil pengujian karakteristik material beton didapat data seperti yang tersaji pada Tabel 1**.**

Tabel 1**.** Hasil Pengujian Bahan

JENIS PENGUJIAN	PASIR	KERIKIL	SEMEN
Berat jenis	2,35	2,53	2,98
Kadar air	6,16 %	1,46 %	-
Kadar lumpur	5,80 %	1,41 %	-
Berat isi	1,15 gr/l	1,15 gr/l	-
Analisa ayakan	2,70	7,11	-
Kadar air lapangan	8,47 %	3,30 %	-
Penyerapan air	6,89 %	2,74 %	-

*Komposisi Campuran Pelat Beton (Mix Design)***,** merancang beton dapat dilakukan dengan metoda **ACI-211-4R-93.** Untuk benda uji dengan metode ini digunakan benda uji dengan bentuk silinder. Nilai *slump* beton segar pada campuran ini adalah ±11 cm. (**SNI 03-1973-1990**), sedangkan komposisi campu-ran beton untuk 1 m^3 lebih rinci dapat dilihat pada Tabel 2**.**

Tabel 2 Komposisi Campuran Beton

BAHAN	KOMPOSISI 1 M^3 BETON	
	BERAT (Kg)	PERBANDINGAN BERAT
Semen	342	1
Agregat Halus	729	2,11
Agregat Kasar	1.088	3,17

Pengujian Kuat Tekan Beton adalah muatan tekan maksimum yang dapat dipikul oleh beton persatuan luas dengan menggunakan mesin tekan. Pada metode ini untuk menentukan kuat tekan yang direncanakan (f'cr) dapat dilakukan berdasarkan pengalaman dilapangan dengan rumus:

$$\mathbf{f'cr} = f'c + 1{,}34\ Sd$$

Dimana :

f'cr : Kuat tekan rata-rata yang disyaratkan (MPa)

f'c : Kuat tekan rata-rata yang ditargetkan (MPa)

Sd : Standar deviasi

Kuat tekan beton dilakukan pada benda uji dengan ukuran diameter (ø) 150 mm x Tinggi 300 mm, sejumlah 8 (delapan) buah, sesuai rujukan metode *British Standart* 1988.

Hasil dari pengujian kuat tekan silinder beton sebanyak 8 (delapan) buah sampel dapat ditabelkan sebagai berikut.Tabel 3.

Tabel 3 Hasil Uji Tekan Silinder Beton

KODE SAMPEL	DIMENSI		BERAT (Kg)	NILAI KUAT TEKAN (Kg/cm2)	NILAI KUAT TEKAN (MPa)
	Ø mm	TINGGI mm			
S1	150	300	12,10	204,31	20,03
S2	150	300	12,09	171,80	1.684
S3	150	300	11,88	184,50	1.809
S4	150	300	11,97	237,60	23,30
S5	150	300	12,20	268,04	26,28
S6	150	300	12.14	237,60	23,30
S7	150	300	12,02	268,04	26,28
S8	150	300	11,98	272,91	26,76
Rata-rata kuat tekan (f'cr)				230,60	23,320
Standar Deviasi				16,36	16,360
Konstanta Statistik				1,34	1,34
Kuat Tekan Karakteristik Umur 28 Hari				252,52	25,68

Proses perhitungan hasil uji tekan silinder dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

f'cr = fc + 1,34 * 16,36 (**ACI-211.4R-93**)
= 230,60 + 1,34 * 16,36
= **252,52** Kg/cm^2

Setelah melalui perhitungan standar *deviasi* dan konstanta *statistic*, maka didapat rata-rata kuat tekan beton sebesar 252,52 Kg/cm^2, dibulatkan menjadi 25 MPa.

4.2 Pengendalian Mutu Beton

Pengendalian mutu beton dapat dilaku-kan dengan mengecek mutu beton pada saat beton segar, beton dalam masa perawatan dan saat beton keras, sesuai rujukan **SNI-03-2493-1991.**

Pengujian Beton Segar yang dilakukan diantaranya pengujian kelecakan/*slump test*, pengujian *slump test* campuran beton pada penelitian ini mencapai ± 110 mm, sesuai dengan standart **SNI 03-1973-1990**. Dilakukan pula pengecoran pelat beton sebagai ilustrasi dari struktur perkerasan kaku. Ukuran pelat beton adalah panjang 1.000 mm x lebar 1.000 mm x tebal 100 mm, sejumlah 4 (empat) buah.

Perawatan Beton dilakukan dengan menutup permukaan beton dengan karung goni basah. Setelah umur beton mencapai 7 (tujuh) hari cetakan disisi kiri dan kanan dilepas, sedangkan karung goni dikondisikan selalu basah. Perawatan beton dilakukan sampai beton mencapai umur 28 (dua puluh delapan) hari. Perawatan beton penting dilakukan sebagaimana yang disyaratkan **SNI-03-2493-1991**.

Pemasangan Sensor/ *Strain Gauges*, Maksud dari pemasangan *strain gauges* tersebut agar dapat menditeksi regangan yang terjadi serta dapat berupa besar tekanan, regangan, lendutan dan retak awal. Pengujian Kepadatan Pelat Beton dilakukan dengan menggunakan pengujian beton *non distruktif* yaitu

menggunakan alat pundit. Proses uji kepadatan pelat beton dengan menggunakan alat *pundit*, yaitu mengukur kecepatan rambat gelombang yang ditimbulkan alat pundit melalui dua buah transducer dengan jarak tertentu.

Hasil pengujian kepadatan pelat beton dapat dilihat pada Tabel 4

Uji kepadatan : Pelat Beton
Lokasi : Laboratorium Beton
Kegiatan : Uji Kepadatan Beton dengan Alat Pundit (*Proceq*)
Tanggal Inspeksi : 5 September 2016

Tabel 4 Uji Kepadatan Pelat Beton

VARIASI	NOMOR LOKASI UJI	LOKASI UJI	ID	L Cm	t_1 µ s	t_2 µ s	V m/s
I	1	S Kr Atas$_1$ S KrTengah $_1$ S Kr Bawah $_1$	637	15	41,9	89,0	2.123
	2	Tengah $_1$ Tengah $_2$ Tengah $_3$	638	15	49,1	77,4	3.534
	3	S Kn Atas $_3$ S Kn Tengah $_3$ S Kn bBawah $_3$	639	15	49,2	90,.5	2.421
II	4	S Kr Atas $_4$ S Kr Tengah $_4$ S Kr Bawah $_4$	640	15	39,8	73,9	2.933
	5	Tengah $_1$ Tengah $_2$ Tengah $_3$	641	15	24,4	63,6	2.591
	6	S Kn Atas $_6$ S Kn Tengah $_6$ S Kn Bawah $_6$	642	15	41,7	74,8	3.021
III	7	S Kr Atas $_7$ S Kr Tengah $_7$ S Kr Bawah $_7$	643	15	34,1	55,8	4.608
	8	Tengah $_1$ Tengah $_2$ Tengah $_3$	644	15	24,2	63,.7	2.532
	9	S Kn Atas $_9$ S Kn Tengah $_9$ S Kn Bawah $_9$	645	15	31,6	68,4	2.717
IV	10	S Kr Atas $_{10}$ S Kr Tengah $_{10}$ S Kr Bawah $_{10}$	646	15	37,8	77,3	2.532
	11	Tengah $_1$ Tengah $_2$ Tengah $_3$	647	15	35,.2	67,6	3.086
	12	S Kn Atas$_{12}$ S Kn Tengah $_{12}$ S Kn Bawah $_{12}$	648	15	36,.0	70,4	2.907

Keterangan **Tabel 4** adalah sebagai berikut:

ID : No urut pengujian yang tertera dialat uji.
L : Jarak *Transducer* ke *Transducer* lain
t_1 : *Tranducer* 1
t_2 : *Transducer* 2
V : Kecepatan Rambat (µ/s)

4.3 Pengujian Lapangan

4.3.1 Uji Tekan Pelat Beton

Uji tekan di lapangan dilakukan dengan media *strain gauges*, alat *Linier Variable Deferensial Tranducer* (LVDT), *Load cells* dan satu set data *logger*. Tujuan alat tersebut untuk mendapatkan data regangan, tegangan dan lendutan dititik-titik tertentu saat dilakukan uji tekan.

4.4 Pembahasan Hasil Pengujian Lapangan

Setelah dilakukan analisis terhadap hasil pengujian lapangan baik terhadap tanah dasar dan pelat beton, maka diperoleh kesimpulan bahwa dengan meningkatnya nilai CBR tanah dasar akan meningkatkan daya dukung tanah yang dapat diberikan kepada pelat beton. Sesuai dengan rujukan **SNI 03-1732-1989** dan **SKBI 2.3.26.1987** bahwa Nilai CBR erat hubungannya dengan daya dukung tanah. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian Tanah Dasar dan Pelat Beton Lapangan

VARIASI	KEPADATAN SAND CONE %	CBR LAPANGAN %	BEBAN (kN)	LENDUTAN mm	REGANGAN (ε)
I	70,43	4.61	42,23	9,2	0,0032
II	85,03	24,57	76,73	8,5	0,0034
III	86,32	31,01	84,37	5,2	0,0032
IV	93,35	34,15	94,05	4,4	0,0032

Dari Tabel 5. dapat dijelaskan bahwa Pengaruh perilaku pada pelat beton diantaranya beban yang dipikul menunjukan peningkatan sejalan dengan meningkatnya nilai CBR, begitu pula tingginya prosentase nilai CBR dapat memperkecil nilai lendutan yang terjadi pada pelat beton.

Tabel 6 Hasil Pengujian Pembebanan Terhadap Penurunan dan Lendutan Pelat Beton

Variasi	Tahap Penurunan						Tahap Lendutan		
	Posisi Kiri		Posisi Kanan		Posisi Tengah		Posisi Tengah		
	LVDT1 (mm)	Beban (kN)	LVDT3 (mm)	Beban (kN)	LVDT2 (mm)	Beban (kN)	LVDT2 (mm)	Beban (kN)	Lendutan relatif (mm)
I	2,84	42,13	2,90	42,23	2,86	17,66	9,13	42,23	6,26
II	2,52	76,73	2,95	76,73	0,97	12,50	8,41	73,47	5,66
III	1,45	83,36	2,58	80,98	2,48	27,31	5,21	83,25	3,19
IV	1,23	89,71	4,52	93,03	1,68	31,42	4,52	93,50	2,57

Tabel 6 memperlihatkan perilaku pelat beton diatas berbagai variasi kondisi tanah dasar pada saat diberikan beban diatasnya. Perilaku pelat beton tersebut dinyatakan dalam parameter penurunan dan lendutan.

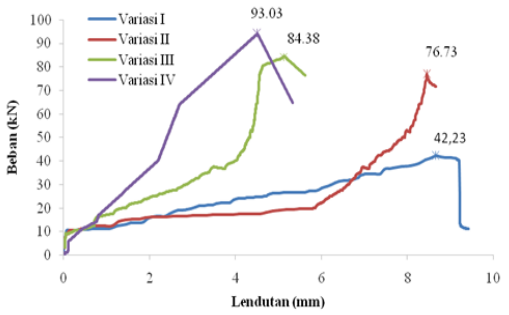
Walaupun tanah dasar tersebut sudah mendapatkan pemadatan, namun demikian masih mengalami pemadatan setelah menerima beban yang diteruskan melalui pelat beton. Dalam kenyataan dilapangan untuk mengurangi adanya penurunan pelat beton terutama pada bagian sisi pelat beton, maka digunakan *dowel* dan *tie bar*, sehingga beban yang diterima oleh tanah dasar akan semakin kecil.

Pada saat pelat beton tidak lagi mengalami penurunan, maka selanjutnya perilaku pelat beton adalah mengalami lendutan. Landutan terbesar terjadi pada bagian tengah pelat beton.

Lendutan yang terjadi pada pelat beton yang melebihi kapasitasnya dapat menyebabkan pelat beton tersebut mengalami retak permukaan dan retak menerus sampai pada bagian bawah pelat beton. Pada struktur perkerasan kaku, jenis kerusakan retak ditangani dengan mengisi celah retak tersebut dengan *sealant* atau dengan melakukan *partial depth repair* atau *full depth repair*. .

Disisi lain dengan meningkatnya daya dukung tanah dasar yang dapat diberikan kepada pelat beton, maka besarnya beban yang dapat diterima oleh pelat beton semakin besar, sampai pelat beton mengalami keruntuhan. Sebagai contoh untuk pelat beton diatas tanah dasar variasi I dan diatas tanah dasar variasi IV mengalami peningkatan yang signifikan dari 42,23 kN menjadi 93,50 kN, lebih dari 200%.

Pada kenyataan dilapangan, suatu struktur perkerasan kaku akan mengalami pembebanan dari kendaraan yang melewatinya secara terus menurus atau berulang-ulang selama umur rencana, dikenal dengan istilah *Cummulative Equivalent Standard Axle load* (CESA). Dalam penelitian ini telah memperlihatkan bahwa dengan semakin besarnya daya dukung yang dapat diberikan oleh tanah dasar, maka beban yang dapat diterima oleh pelat beton semakin besar.



Gambar 8. Lendutan Pelat Beton pada Tanah Dasar Variasi I, II, III dan IV

Gambar 8 memperlihatkan bahwa besarannya lendutan yang terjadi pada pelat beton sangat dipengaruhi oleh kondisi tanah dasar dengan meningkatnya persentase campuran bahan tambah kerikil dan pasir, maka terjadi peningkatan nilai CBR tanah dasar. Hal tersebut sejalan dengan yang dikemukakan oleh Ahmed Salim AL Riyami(*undated*) bahwa penggunaan tanah dasar pasir halus baik dalam mengurangi lendutan pelat beton pada saat menerima beban.

Besaran lendutan pelat beton sendiri secara teoritis dapat dihitung (hetenyi, 1979). Adapun formula yang digunakan dalam pehitungan lendutan pada pelat beton sebagai berikut (Persamaan II-3):

$$\lambda_n = \sqrt[4]{\frac{k_{cn}B}{4EI}}\ (m^{-1}) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (II\text{-}4)$$

Sehingga diperoleh nilai fleksibilitas pelat (λ)

Variasi I $\lambda_1 = \sqrt[4]{\frac{k_{c1}B}{4EI}}\ (m^{-1})$

$$= \sqrt[4]{\frac{930,2 \times 1}{4x23593,81x0,83x10^{-4}}} = 0,58\ m$$

Variasi II $\lambda_2 = \sqrt[4]{\frac{k_{c2}B}{4EI}}\ (m^{-1})$

$$= \sqrt[4]{\frac{1929 \times 1}{4x23593,81x0,83x10^{-4}}} = 0,703m$$

Dimana:

λ_1 adalah fleksibilitas pelat beton variasi 1; λ_2 adalah fleksibilitas pelat beton variasi 2; λ_3 adalah fleksibilitas untuk pelat beton variasi 3 dan λ_4 adalah fleksibilitas untuk pelat beton variasi 4.

Besaran lendutan dengan panjang balok terhingga dapat dihitung dengan Persamaan (II-4), sebagaimana dapat dilihat pada

Perhitungan secara empiris dengan besaran beban yang diberikan adalah pada saat pelat beton mengalami mengalami keruntuhan. Sebagai contoh perhitungan pada variasi 1 dengan beban saat mengalami keruntuhan sebesar 42,23 kN. Modulus reaksi tanah dasar (k_{c1}) 930,2 kN/m^3, lebar pelat beton (l) 1,0 m^1, fleksibilitas pelat (λ_1) 0,58 m, dan

Dimana :

k_c= Modulus reaksi tanah (kN/m^3), dari perhitungan diperoleh nilai $kc_1$930,2 kN/m^3, kc_2 1929 kN/m^3, kc_3 2239 kN/m^3, dan kc_4 2549 kN/m^3

B= lebar pelat beton,yaitu 1,0 m;

E= $4700\sqrt{fc'}$ (kN/m^2)

= $4700\sqrt{25,2}$ = 23593,81 kN/m^2

Inersia pelat beton dihitung dengan persamaan (II-2), berikut contoh perhitungannya.

I= momen inersia = $\frac{1}{12}bxh^3$ (m^4).

= $\frac{1}{12}1x0,1^3$ = 0,83x10^{-4} m^4

Variasi III $\lambda_3 = \sqrt[4]{\frac{k_{c3}B}{4EI}}\ (m^{-1})$

$$= \sqrt[4]{\frac{2239x\ 1}{4x23593,81x0,83x10^{-4}}} = 0,73m$$

Variasi IV $\lambda_4 = \sqrt[4]{\frac{k_{c3}B}{4EI}}(m^{-1}$

$$= \sqrt[4]{\frac{2549x\ 1}{4x23593,81x0,83x10^{-4}}} = 0,75$$

$$\delta = \frac{Q}{2K}\frac{1}{\sinh\lambda l + \sin\lambda l}\left\{\begin{matrix}\cosh\lambda(l-x) + cos\,\lambda x\cosh\lambda(l-x) \\ -\sinh\lambda x\sin\lambda(l-x) + \sin\lambda x\sin\lambda(l-x) \\ +2\cosh\lambda x\cos\lambda x\end{matrix}\right\}$$

Dimana:

δ = besaran lendutan (m)

Q = beban titik (kN)

l = lebar pelat beton (m)

x = jarak dari titik beban ke pinggir pelat beton

jarak titik beban ke tepi pelat (x) 0,5 m, seperti berikut ini:

$$\delta = \frac{Q}{2K}\frac{1}{\sinh\lambda l + \sin\lambda l}\left\{\begin{matrix}\cosh\lambda(l-x) + cos\,\lambda x\cosh\lambda(l-x) \\ -\sinh\lambda x\sin\lambda(l-x) + \sin\lambda x\sin\lambda(l-x) \\ +2\cosh\lambda x\cos\lambda x\end{matrix}\right\}$$

$$\delta_1 = \frac{42,23}{2x930,2}\frac{1}{\sinh 0,58 \text{ x } 1+\sin 0,58 \text{ x1}} X \left\{ \begin{array}{c} \cosh 0,58(1-0,5)+\cos 0,58 \text{ x0,5 } \cosh 0,58(1-0,5) \\ -\sinh 0,58 \text{ x0,5x} \sin 0,58(1-0,5)+\sin 0,58 \text{ x0,5} \sin 0,58(1-0,5) \\ +2 \cosh 0,58 \text{x0,5 } \cos 0,58 \text{ x0,5} \end{array} \right\}$$

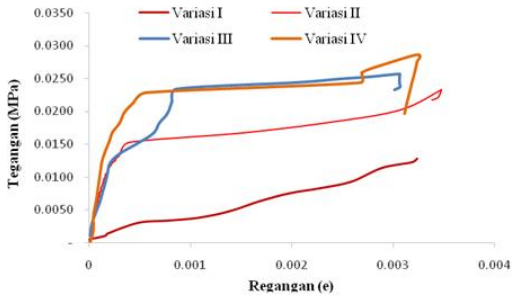
$= 7,8$ mm

Selanjutnya dengan perhitungan yang sama, nilai lendutan semua variasi disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Lendutan Lapangan dan Lendutan Teoritis

VARIASI	KEPADATAN SAND CONE %	CBR LAPANGAN %	BEBAN (kN)	LENDUTAN UJI LAPANGAN (mm)	LENDUTAN HASIL TEORITIS (mm)	SELISIH (%)
I	42,23	4.61	42,23	6,26	7,8	24,60
II	85,03	24,57	76,73	5,67	5,9	5,29
III	86,32	31,01	84,37	3,19	3,24	1,56
IV	93,35	34,15	94,05	2,56	2,85	11,33

Besaran nilai lendutan hasil teoritis lebih besar dari nilai hasil lendutan hasil uji, dimana selisih antara teoritis dan uji adalah sebesar 24,60%; 3,87%; 1,25%; dan 16,33% berturut-turut untuk variasi I sampai dengan variasi IV. Ini menunjukkan secara teoritis dapat digunakan untuk perhitungan lendutan pada perkerasan kaku.



Gambar 9. Regangan dan Tegangan Variasi I sampai dengan Variasi IV

Selanjutnya untuk besaran regangan yang terjadi pada tiap variasi sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 9. Untuk variasi I, hasil uji menunjukkan keruntuhan terjadi pada saat regangan mencapai 0,0032, dan nilai tegangan diperoleh dari hasil perhitungan sebesar 0,0130 MPa. Kemudian untuk variasi II terjadi keruntuhan pada saat regangan mencapai 0,0034 dengan nilai tegangan sebesar 0,020 MPa. Selanjutnya untuk variasi III dan variasi IV terjadi keruntuhan berturut-turut pada saat regangan mencapai 0,0032 dan 0,0032 dengan tegangan sebesar 0,026 MPa dan 0,280 MPa. Dapat disimpulkan bahwa meningkatnya nilai CBR pada tanah yang distabilisasi, maka tegangan untuk mencapai keruntuhan semakin besar.

Besaran tegangan yang terjadi diperoleh secara hitungan teoritis, dimana tegangan yang terjadi pada bagian permukaan bawah pelat (*Westtergaard*, 1926). Sebagai contoh perhitungan tegangan adalah sebagai berikut:

$$\sigma_b = \frac{0,316P}{h^2}\left[4log_{10}\left(\frac{l}{b}\right)+1,069\right]$$

Sebagai contoh perhitungan adalah variasi 1

E	=	23611,28023	(MPa)
h	=	0,1	(m)
k	=	930,2	(kN/m^3
μ	=	0,15	
a	=	17,2	(cm^2)

Dimana :

$$l = \sqrt[4]{\frac{Eh^3}{12K(1-\mu^2)}} .= \sqrt[4]{\frac{23611,28x0,1^3}{12x930,2(1-0,15^2)}} = 0,215$$

b = radius bidang kontak

$$b = \sqrt{1,6a^2+h^2}-0,675h$$

jika a < 1,724h $b = a$

jika a > 1,724h

a = 0,172<1,724h = 0,172, maka b = 0,175 m

$$b = \sqrt{1,6x17,5^2+0,1^2}-0,675x0,1$$

= 0,175 m

beban pada variasi 1 dengan beban mencapai keruntuhan sebesar P = 42,23 kN, maka:

$$\sigma_b = \frac{0,316P}{h^2}\left[4log_{10}\left(\frac{l}{b}\right)+1,069\right]$$

$$\sigma_b = \frac{0,316x42,23}{0,1^2}\left[4log_{10}\left(\frac{0,215}{0,175}\right)+1,069\right]$$

= 13 kN

= 0,013 Mpa

Selanjutnya dengan hasil perhitungan yang sama, maka diperoleh nilai tegangan pada masing-masing variasi sebagaimana disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Tegangan pada Serat Permukaan Bawah Pelat Akibat Beban Terpusat

No	Variasi	Beban (kN)	k (kN/m^3)	*l*	Tegangan Hasil Teoritis (MPa)	Regangan Hasil Uji Lapangan (ε)
1	I	42,23	930,2	0,215	0,0130	0,0032
2	II	76,73	1929	0,179	0,0230	0,0034
3	III	84,37	2239	0,173	0,0260	0,0032
3	IV	94,05	2549	0,167	0,2800	0,0032

Stabilisasi tanah dasar dengan bahan tambahan pasir dan kerikil terbukti dari hasil penelitian, diperlihatkan oleh variasi II, III dan IV, dapat menurunkan nilai lendutan dan meningkatkan besarnya beban yang dapat diterima oleh pelat beton. Walaupun besarnya regangan tidak mengalami perubahan yang signifikan.

5. SIMPULAN

a. Besarnya beban yang dapat diterima oleh pelat beton, sampai dengan pelat beton mengalami keruntuhan, meningkat sejalan dengan meningkatnya daya dukung tanah dasar variasi II, III dan IV berturut-turut sebesar 73,47 kN, 83,25 kN dan 93,50 kN terhadap variasi I sebesar 42,23 kN. Peningkatan beban tersebut sangat signifikan dalam kisaran 174% sampai dengan 221%.
b. Lendutan maksimum relatif yang terjadi pada pelat beton mengalami penurunan menjadi 5,66 mm, 3,19 mm dan 2,57 mm berturut-turut untuk tanah dasar variasi II, III dan IV terhadap tanah dasar variasi I sebesar yaitu 6,26 mm.
c. Perbedaan lendutan yang terjadi pada pelat beton hasil dari pengujian lapangan dan hitungan secara teoritis memberikan perbedaan dalam kisaran 1% sampai dengan 25%. Perbedaan terbesar terjadi pada tanah dasar variasi I dan terkecil terjadi pada tanah dasar variasi IV.
d. Peningkatan beban yang diterima oleh pelat beton tidak memberikan perubahan yang signifikan terhadap besarnya regangan. Regangan yang terjadi pada pelat beton dalam kisaran 0,0032 sampai dengan 0,0034, hal tersebut sesuai dengan yang dijelaskan dalam ACI 318 bahwa regangan maksimum yang terjadi dalam rentang 0,003 sampai dengan 0,005

6. DAFTAR PUSTAKA

Ahmed Salim AL Riyami (undated), *Experimental Behavior of Model Rigid Pavements Supported on Typical Representative Subgrades of* Oman, Civil and Architectural Engineering Department-College of Engineering-Sultan Qaboos University.

Anas Puri, Hary Christady Hardiyatmo, Bambang Suhendro, dan Ahmad Rifai (2015), Perilaku Perkerasan Sistem Pelat Terpaku Pada Tanah Dasar Lempung Lunak. Prosiding Konferensi Nasional Pascasarjana Teknik Sipil (KNPTS) 2015, ISSN 2477-0086.

AASHTO (1978), *Standard Specification for Transportation Material and Methods of Sampling and Testing, 12th Ed Washington D.C* Part, 1998 pp.

Clark Graves. R, David L Allen (1992), Pavement Deflection Evaluations, Federal Highway administration U.S Departement of Transportation.

Chen, F.H, 1975 Pondation on Expansiv Soil, Developments in Geotechnical Engineering 12,Elsevier Scientific Publishing Company,Amsterdam.

Dachlan A. (2009). Kajian Lapangan Perkerasan Jalan Beton Pracetak di Indonesia, Jurnal Jalan dan Jembatan Vol. 26 N0. 3 2009.

Darestani M. Y, David P. Thambiratnam and A. Nataatmadja (2006)., *Experimental Study On Structural Response of Rigid Pavements Under Moving Truck Load*, *22nd ARRB Conference – Research into Practice*, Canberra Australia.

Das. Braja, M. (1998). *Mekanika Tanah*. Erlangga. Jakarta.

Fendi Hary Yanto (2015). Analisis Lendutan Perkerasan Kaku Pada Tanah Lunak Dengan Perkuatan Kolom *Soil Cement*. Tesis Magister Teknik, Program Pasca Sarjana Universitas Seberat Maret Surakarta.

Hakam Abdul. (2010). Studi Pengaruh Penambahan Tanah Lempung pada Tanah Pasir Pantai Terhadap Kekuatan Geser Tanah.

Hendarsin Shirley, L. (2008), Perencanaan Teknik Jalan Raya, Politeknik Negeri Bandung.

Jesus Larralde (2011). *Structural Analysis of Rigid Pavements With Pumping*, School of Civil Engineering Indiana Department of Highways.

Luh M. Chang, Yu Tzu Chen dan Sangwook Lee. (2004). *Using Precast Concrete Panels For Pavement Contruction In Indiana*.

Lynn Evan, Tom Pyle, Walid Tabet. (2005). *Evaluation Of Polyurathene Foam Supporting Existing Rigid Concrete Pavement Slabs.*

Miller, M.M (1958)., *Stresses and Deflecnons In Continuously Reinforced Concrere Paventents*., Joint Highway Research Project, Purdue University Lafayette Indiana.

Mulyani Sri. (2010). Stabilisasi Tanah Lempung dengan Bahan Tambah Abu Terbang Limbah Pembakaran Batu Bara.

Ninik Ariyani dan Andriyanto C. Nugroho (2007) "Pengaruh Kapur dan Abu Sekam Padi pada Nilai CBR Laboratorium Tanah Tras dari Dusun Seropan untuk Stabilitas

Santoso Nurcahyo B. (2003). Teknik Pelaksanaan Jalan Beton.

Sukirman,S.,1995," Perkerasan Lentur Jalan Raya, Penerbit Nova , Bandung

Westergaard, H. (1926) "Stresses in concrete pavements computed by theoretical analysis, public roads, PP.23-35

Winda Sekar Putri, Harimurti, Suroso (undated), Pengaruh variasi Beban terhadap perilaku tegangan dan lendutan tanah ekspansif di bawah perkerasan kaku, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Youn su Jung, Dan G. Zollinger, Moon Won, and Andrew J. Wimsatt (2009)., *Subbase and Subgrade Performance Investigation For Concrete Pavement*, Texas Trtnsportation Institute The Texas A&M University System.

*) Staf Pengajar POLBAN