

Perilaku Lendutan Pada Sistem Pelat Terpaku Dengan Metode Elemen Hingga

Achmad Taufik

Program Studi Teknik Sipil,
Fakultas Teknik Sipil,
Universitas 17 Agustus 1945 Samarinda
achmad.taufik18@gmail.com

ABSTRAK

Perkerasan yang dibangun diatas tanah dasar ekspansif tanpa adanya perlakuan khusus terlebih dahulu, kelak akan menimbulkan berbagai macam masalah dikemudian hari. Masalah muatan berlebih (*overloading*) juga erat hubungannya dengan kerusakan dini pada perkerasan. Salah satu penyelesaian dari masalah tersebut adalah dengan menggunakan perkerasan Sistem Pelat Terpaku. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perilaku lendutan struktur Sistem Pelat Terpaku dengan berbagai variasi kondisi tanah (*subgrade*).

Penelitian ini menggunakan metode analisis elemen hingga dengan memanfaatkan program SAP2000 versi 14. Model Sistem Pelat Terpaku yang digunakan dalam penelitian adalah pelat beton berukuran (7,5 x 13) m² yang didukung oleh tiang-tiang beton mini, dengan diameter 20 cm, panjang 150 cm dan jarak antar tiang 100 cm. Sistem Pelat Terpaku disimulasi dengan berbagai variasi nilai modulus reaksi *subgrade* (k_v) yang mewakili kondisi tanah dasar. Hasil simulasi berupa *output* nilai lendutan. Hasil analisis menunjukkan bahwa Kenaikan nilai k_v akan mereduksi nilai lendutan yang terjadi pada pelat.

ABSTRACT

Pavement which built on expansive ground soil without any special treatment first, will create various problems on later day. Overloading problem has also closely related on early pavement deterioration. One of solution to solve this problem is to use "Sistem Pelat Terpaku" concrete pavement. A research is conducted to determine the behavoiur of "Sistem Pelat Terpaku" with various variation of soil condition (subgrade).

This research uses finite element method by using SAP2000 14th version program. This research uses "Sistem Pelat Terpaku" model with (7,5 x 13) m² slab concrete wich supported by mini piles concrete with its diameter 20 cm, 150 cm length and range among the piles is 100 cm. "Sistem Pelat Terpaku" will be simulated with various value of the modulus of subgrade reaction (k_v) which represent the ground soil condition. The analisys result showed that the increase in the value of k_v will reduce the value of displacement rhat occur on the slab.

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Struktur perkerasan jalan terdiri dari beberapa lapis material yang tersusun di atas tanah-dasar (*subgrade*) yang dipadatkan. Struktur dibuat berlapis-lapis dengan lapis paling bawah yang memiliki kualitas paling rendah dan semakin ke atas kualitas material semakin tinggi. Dengan demikian, tegangan yang diakibatkan oleh beban kendaraan yang lewat diatas struktur perkerasan diharapkan dapat terdistribusi dengan baik, sekaligus melindungi tanah-dasar dari pengaruh buruk perubahan cuaca.

Tidak selamanya jalan yang dibangun terletak di atas tanah dasar yang memadai daya dukungnya, khususnya di Indonesia banyak terdapat daerah dengan kondisi *subgrade* terletak pada tanah lunak (ekspansif) yang mempunyai daya dukung tidak memadai bila dijadikan *subgrade* suatu struktur perkerasan. Bila suatu struktur perkerasan tetap dibangun di atas tanah-dasar yang memiliki daya dukung yang rendah (tanah lunak) tanpa ada perlakuan khusus terhadap tanah-dasar tersebut, kelak akan timbul masalah-masalah yang tidak diinginkan dikemudian hari. Masalah yang sering timbul pada tanah lunak yang dijadikan *subgrade* adalah terjadinya deformasi berlebihan yang mengakibatkan penurunan atau kenaikan pada tanah-dasar yang tidak seragam. Penurunan atau kenaikan tanah-dasar yang tidak seragam mengakibatkan timbulnya rongga-rongga antara *subgrade* dan perkerasan. Adanya

rongga-rongga tersebut ditambah dengan beban lalu-lintas yang lewat di atasnya akan mengurangi kekuatan struktur perkerasan sehingga menyebabkan kerusakan pada struktur perkerasan tersebut. Selain itu, getaran yang terjadi akibat beban lalu-lintas yang lewat juga menyebabkan gerakan naik-turun perkerasan yang mengurangi keawetan atau umur pelayanan suatu perkerasan jalan. Masalah yang lainnya yaitu kendaraan dengan muatan berlebih (*overloading*) juga erat hubungannya dengan kerusakan dini yang terjadi pada struktur perkerasan. Oleh karenanya, dibutuhkan suatu sistem perkerasan yang memiliki kekakuan dan kekuatan yang cukup untuk mengatasi masalah-masalah tersebut. Hardiyatmo (2008) mengusulkan perkerasan beton “Sistem Pelat Terpaku”, dimana sistem ini merupakan pengembangan dari Sistem Cakar Ayam.

Sistem Pelat Terpaku terdiri dari pelat beton bertulang yang tersambung monolit dengan tiang-tiang beton mini. Pelat seolah-olah “dipaku” dengan tiang-tiang beton sehingga menyatu dengan tanah, kemudian terjadi interaksi antara pelat-tiang-tanah disekitarnya yang membuat suatu perkerasan menjadi lebih kaku, sehingga lebih tahan terhadap deformasi tanah-dasar dan getaran yang berlebihan. Selain itu, kemungkinan terjadinya rongga-rongga antar *subgrade* dan perkerasan dapat dicegah.

Dalam analisisnya, struktur pelat Sistem Pelat Terpaku dimodelkan diatas media pendukung elastis yang diwakili oleh nilai modulus reaksi *subgrade* (k_v) menggunakan program SAP2000 v.14

untuk mengetahui lendutan pada struktur pelat tersebut. Pembebanan pada Sistem Pelat Terpaku berdasarkan pada pembebanan maksimum roda kendaraan yang paling kritis, yang mengacu pada pembebanan jalan untuk jembatan (RSNI T-02-2005).

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan permasalahan yang akan dibahas pada penelitian ini, antara lain:

1. Bagaimana perilaku pelat yang meliputi lendutan (*displacement*), momen dan gaya lintang pada struktur perkerasan Sistem Pelat Terpaku dengan berbagai kondisi tanah dasar?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis perilaku pelat yang meliputi lendutan (*displacement*) pada struktur perkerasan Sistem Pelat Terpaku.
2. Mengetahui perilaku struktur perkerasan pada Sistem Pelat Terpaku dengan berbagai kondisi tanah dasar

1.4. Batasan Masalah

Karena keterbatasan waktu dan kemampuan penulis, maka dalam penelitian ini perlu adanya batasan masalah sebagai berikut:

1. Analisis dilakukan dengan metode elemen hingga statis linier 3D memanfaatkan program SAP2000 V.14.

2. Semua material yang dimodelkan baik tanah dan beton diasumsikan sebagai bahan yang bersifat isotropis, homogen dan statis linier.
3. Tanah dasar dimodelkan sebagai *spring* linier (translasi vertikal), sedangkan tanah disekitar tiang dimodelkan sebagai *spring* gesek.
4. *Spring* dimodelkan untuk tidak menahan tarik, melainkan hanya menahan tekan saja.
5. Tinjauan hanya dilakukan pada perilaku pelat beton (*slab*) yang meliputi lendutan (*displacement*), momen dan gaya lintang.
6. Beban roda kendaraan yang bekerja di atas pelat beton mengacu pada metode pembebanan untuk jembatan (RSNI T-02-2005).
7. Tidak membahas analisis kapasitas dukung perkerasan Sistem Pelat Terpaku.
8. Data-data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data asumtif.

1.5. Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Menambah pengetahuan penulis dan pembaca mengenai Sistem Pelat Terpaku.
2. Sebagai dasar pertimbangan untuk perencanaan dan perancangan perkerasan Sistem Pelat Terpaku.
3. Menambah ilmu pengetahuan dibidang Teknik Sipil, terutama dibidang geoteknik dan perkerasan jalan dengan memanfaatkan program SAP2000 v.14 dalam menganalisis

permasalahan tanah dasar (*subgrade*) dan pelat kaku (beton).

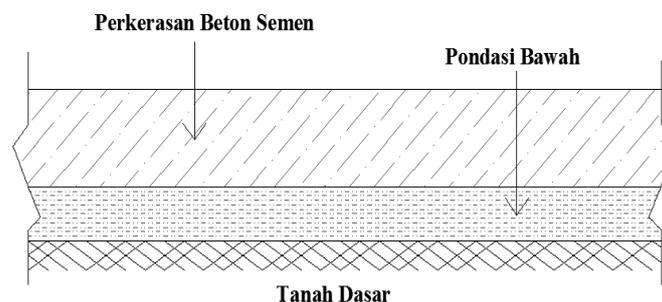
2. STUDI PUSTAKA

2.1. Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

Perkerasan jalan beton semen atau secara umum disebut perkerasan kaku, terdiri atas pelat beton (*slab*) sebagai struktur utamanya dengan tebal berkisar antara 12,5-30 cm tergantung pada beban lalu lintasnya. Semakin berat dan bertambahnya repitisi beban lalu lintas, maka semakin besar pula tebal perkerasan yang diperlukan. Struktur

perkerasan kaku secara tipikal sebagaimana terlihat pada **Gambar 2.1**.

Karena kekakuannya yang tinggi, pelat beton mendistribusikan beban lebih luas ke bidang dibawahnya, sehingga tegangan yang diterima *subgrade* menjadi lebih kecil dan tegangan akan semakin mengecil bila diantara pelat beton dan subgrade diberi lapisan *base* atau *subbase*. Penambahan lapisan *base* atau *subbase* pada perkerasan kaku boleh tidak dilakukan dan perkerasan kaku dapat langsung diletakkan diatas *subgrade*. Namun, untuk perkerasan yang dituntut memiliki kinerja yang tinggi, penambahan lapisan *base* atau *subbase* menjadi hal yang diperlukan.



Gambar 2. 1 Tipikal struktur perkerasan kaku

2.1.1. Jenis-Jenis Perkerasan Kaku

Berdasarkan adanya sambungan dan tulangan pelat, perkerasan kaku dapat diklasifikasikan menjadi 3 jenis sebagai berikut:

1. Perkerasan beton tak bertulang bersambungan (*Jointed Plain Concrete Pavement, JPCP*), yaitu pelat dengan panjang tipikal 3,0 - 6,0 m dan disetiap sambungan antar pelatnya terdapat sambungan kontraksi (*joint contraction*).

2. Perkerasan beton bertulang bersambungan (*Jointed Reinforced Concrete Pavement, JRCP*), yaitu pelat bersambungan dengan perkuatan tulangan baja yang ringan dan memiliki panjang tipikal 7,5 - 9,0 m. Pemberian tulangan tersebut tidak dimaksudkan untuk ikut menahan beban lalu lintas, melainkan hanya untuk mengendalikan retak yang terjadi.

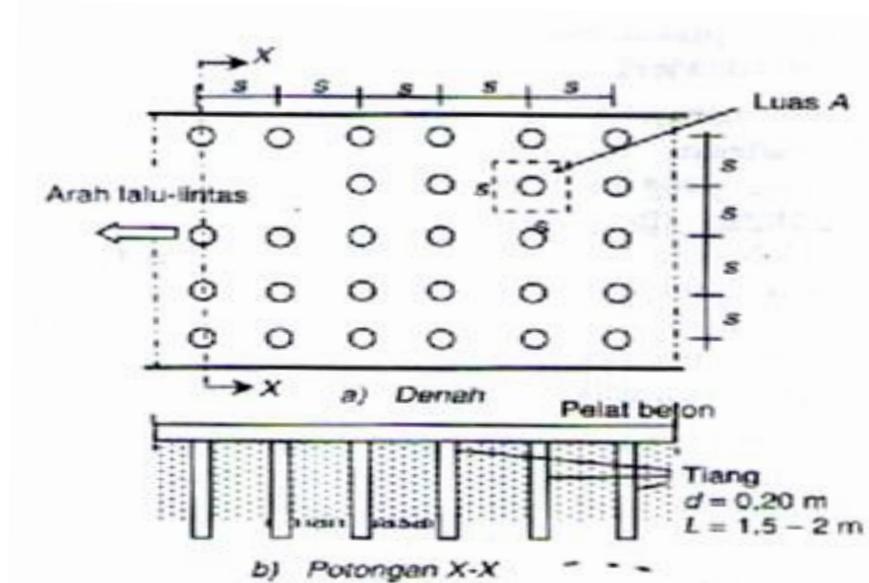
3. Perkerasan beton bertulang menerus (*Continuously Reinforced Concrete Pavement, CRCP*), yaitu pelat beton tanpa sambungan (*joint*) dengan perkuatan tulangan yang lebih banyak daripada JRCP. Seperti halnya pada JRCP, pemberian tulangan pada CRCP hanya bertujuan untuk mengendalikan retak yang terjadi.

2.2. Sistem Pelat Terpaku

Sistem pelat terpaku (*Nailed Slab System*) adalah suatu perkerasan beton bertulang (tebal antara 12 - 20 cm) yang didukung oleh tiang-tiang beton mini (panjang 150 – 200 cm). Tiang-tiang dan pelat beton dihubungkan secara monolit dengan bantuan tulangan-tulangan. Interaksi antara pelat beton-tiang-tanah di sekitarnya menciptakan suatu

perkerasan yang lebih kaku, yang lebih tahan terhadap deformasi tanah-dasar (Hardiyatmo, 2011). Karena sifatnya yang kaku, Sistem Pelat Terpaku cocok diterapkan pada perkerasan yang tanah-dasarnya bermasalah, seperti pada tanah ekspansif (memiliki kembang-susut yang tinggi) dan pada tanah yang mengalami penurunan tidak seragam.

Selain berfungsi untuk menaikkan daya dukung tanah-dasar, pemasangan tiang-tiang beton juga berfungsi untuk menjaga agar pelat beton tetap dalam kontak yang baik dengan lapis pondasi bawah, dengan demikian kemungkinan terjadinya rongga-rongga dibawah pelat beton dapat dihindari, sehingga kekuatan struktur perkerasan dapat terjamin sampai masa pelayanannya. Denah sistem pelat terpaku ditunjukkan pada **Gambar 2.2**



Gambar 2.2 Sistem Pelat Terpaku (Hadiyatmo, 2011)

2.3. Model Elemen Hingga Untuk Analisis Sistem Cakar Ayam Modifikasi

Sistem Pelat Terpaku (*Nailed Slab System*) merupakan pengembangan dari Sistem Cakar Ayam Modifikasi. Suhendro (1992), mengembangkan analisis model cakar ayam modifikasi dengan solusi metode elemen hingga (*finite elemen method*) yang ditunjukkan pada **Gambar 2.3**.

Dan berikut adalah 5 langkah dasar prosedur perhitungan metode elemen hingga untuk menganalisis sistem Cakar Ayam Modifikasi (Suhendro, et.al., 2000):

1. Diskritisasikan *slab* beton dan pipa baja menjadi elemen-elemen *shell* dan *subbase* sebagai elemen pegas (*spring*) vertikal dengan koefisien *subgrade reaction* vertikal (k_v) dan tanah dasar disekitar pipa sebagai *spring* horizontal dengan koefisien *subgrade reaction* horizontal (k_h), serta gesekan dinding pipa dengan

tanah sekitar sebagai *spring* luasan pada dinding pipa luar.

2. Untuk setiap elemen, yaitu elemen *shell*, pegas vertikal maupun pegas horizontal dan pegas luasan, dievaluasi matriks kekakuan elemen dalam koordinat lokalnya dengan formula:

$$[k_i^e] = \iiint_V [B]^T [E][B] dV$$

$$\{\varepsilon\} = [B]\{d\}$$

$$[B] = [D][N]$$

$$\{u\} = [N]\{d\}$$

Selanjutnya, $[k_i^e]$ tersebut

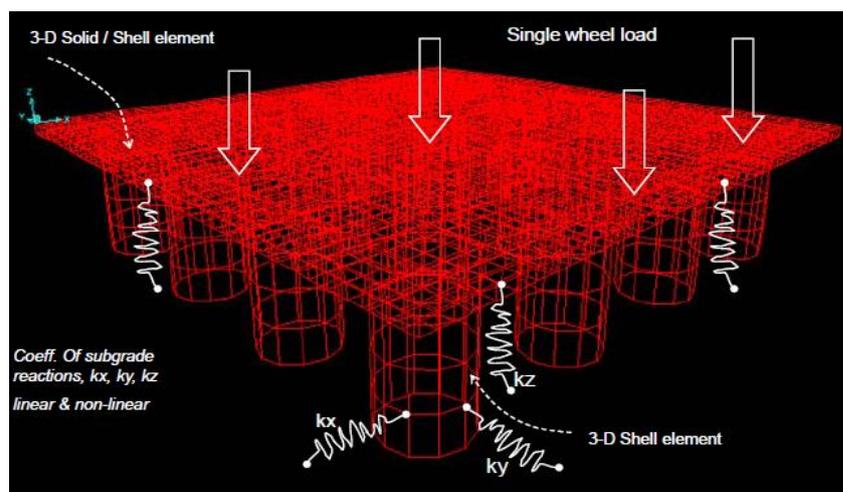
ditransformasikan ke sistem koordinat global:

$$[k_g^e] = [T]^T [k_i^e] [T]$$

Demikian pula halnya untuk vektor beban dan vektor *nodal displacemen*:

$$\{P\}_{lokal} = [T]\{P\}_{global}$$

$$\{d\}_{lokal} = [T]\{d\}_{global}$$



Gambar 2.3 Pemodelan 3D Elemen Hingga Cakar Ayam Modifikasi (Suhendro, 1992, 2000)

3. Matriks-matriks $[k_g^e]$, $\{P\}_{global}^e$ maupun $\{d\}_{global}^e$ untuk setiap elemen dapat di-assembly menjadi $[K]$, $[P]$ dan $\{D\}$ dari strukturnya, dan persamaan keseimbangan struktur dalam sistem koordinat global menjadi:

$$[K]\{D\} = \{P\}$$

4. Persamaan tersebut diatas, setelah kondisi batas beban $\{P\}^e$ dan kondisi batas displacement $\{D^k\}$ pada struktur diperhitungkan, dapat diselesaikan untuk memperoleh solusi nodal displacement dari struktur yang belum diketahui $\{D^u\}$ maupun reaksi-reaksi nodal pada pegas-pegas vertikal dan horizontal tanah dasar $\{P\}^r$.

5. Berdasarkan solusi nodal displacement $\{D^u\}$ pada langkah (4), setelah ditransformasikan kembali ke sistem koordinat lokal $\{d^e\}$ dengan besarnya tegangan $\{\sigma\}$, regangan $\{\epsilon\}$, maupun gaya-gaya dalam untuk setiap elemen, $\{p^e\}$ dapat dihitung sebagai berikut:

$$\{\sigma\} = [E]\{\epsilon\} = [E][B]\{d^e\}$$

$$\{\epsilon\} = [B]\{d^e\}$$

$$\{p^e\} = [k_{pegas}^e]\{d^e\}$$

Untuk distribusi tekanan tanah dibawah slab beton Cakar Ayam dapat dievaluasi dengan mengalikan defleksi slab di setiap titik dengan nilai koefisien subgrade reaction vertikal (k_v).

2.4. Program SAP2000

Program SAP 2000 (*Structural Analysis Program*) merupakan program analisis struktur produk dari CSI (*Computer and Structure, Inc.*), Universitas Berkeley, California, AS. Program yang berbasis grafis ini menyediakan fasilitas untuk keperluan analisis dengan elemen hingga (*finite element*) dan analisis non-linier, serta dukungan beberapa *fiture* dan *option* yang memudahkan penggunaannya. Namun demikian program ini hanya merupakan alat bantu dalam melakukan analisis dan perhitungan struktur, sehingga akan tetap diperlukan kecermatan dari penggunaannya terhadap masukan (*input*), proses, maupun keluaran (*output*) dari program. Untuk mengakomodasi hal ini, perlu adanya validasi antara model struktur dengan model dilapangan, sehingga model yang dibuat bisa lebih akurat dan bisa membantu melacak kesalahan bilamana terjadi hasil yang menyimpang atau kurang sesuai dengan hitungan perkiraan.



Gambar 2. 4 Splash screen
SAP2000 V.14

2.5. Modul Subgrade Reaction Vertikal

Bowles (1982) menyatakan bahwa *modulus of subgrade reaction* adalah suatu hubungan konseptual antara

tekanan tanah dan defleksi yang banyak digunakan pada analisis struktur fondasi. Bowles (1997) juga memberikan perkiraan nilai modulus *subgrade reaction* untuk menentukan kisaran harga *modulus of subgrade reaction* untuk berbagai jenis tanah (**Tabel 2.1**).

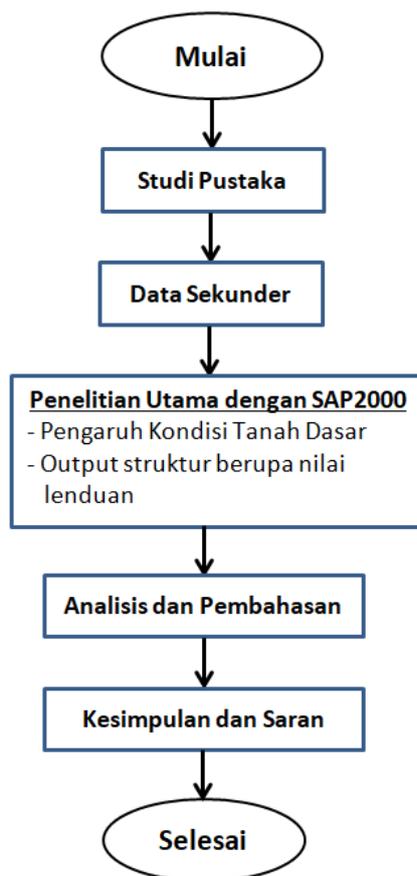
Type of Soil	k_s (kN/m ³)
Medium dense sand	4800 – 16000
Dense sand	9600 – 80000
Clayey medium dense sand	64000 – 128000
Silty medium dense sand	32000 – 128000
Clayey soil:	
• $q_u \leq 200$ kPa	12000 – 24000
• $200 < q_u \leq 400$ kPa	24000 – 48000
• $q_u > 800$ kPa	> 48000

Tabel 2.1 Kisaran nilai *modulus of subgrade reaction* (k_s)

3. METODE PENELITIAN

3.1. Tahapan Penelitian

Adapun tahapan - tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini seperti yang ditunjukkan **Gambar 3.1**



Gambar 3.1 Bagan alir tahapan penelitian

3.2. Peralatan Penelitian

Untuk melakukan penelitian ini digunakan *hardware* dan *software* yang mendukung agar dapat dilakukan proses *running* perhitungan analisis dengan cepat dan akurat serta analisis hasil dan pembuatan laporan, antara lain sebagai berikut:

1. Perangkat keras, 1 set unit computer *laptop* dengan spesifikasi:
 - a. Prosesor: Intel CORE™ i5 1,86GHz
 - b. VGA: Mobil Intel X3 100
 - c. *Memory*: 1,5 GB
 - d. *Harddisk*: 160 GB
 - e. Printer: HP Deskjet F2180
2. Perangkat lunak:
 - a. *Operating System*: Microsoft Windows7
 - b. Analisis struktur: SAP 2000 V.14
 - c. Pengolahan data: Microsoft Excel 2007 dan Autocad 2012
 - d. Pembuatan laporan: Microsoft Word 2007

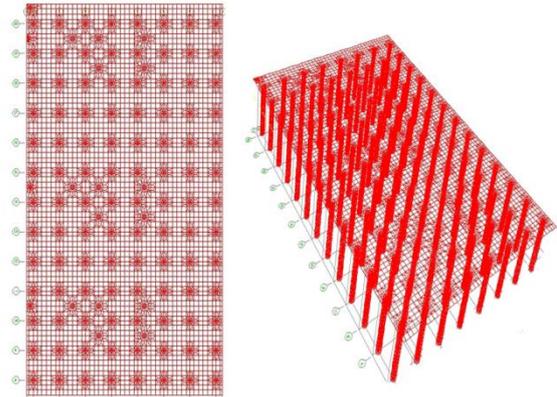
3.3. Model Sistem Pelat Terpaku

Secara umum, pemodelan Sistem Pelat Terpaku menggunakan *software* SAP2000 dilakukan dengan mengikuti penelitian-penelitian terdahulu, baik tentang pemodelan Cakar Ayam ataupun tentang pemodelan Sistem Pelat Terpaku. Pemodelan struktur Sistem Pelat Terpaku dengan menggunakan *software* SAP2000 v.14 dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 3.2**.

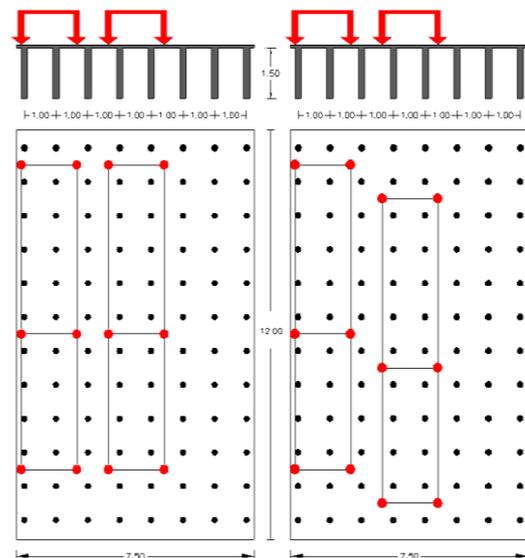
3.4. Skenario Pembebanan

Sedangkan untuk skenario pembebanannya, Sistem Pelat terpaku akan dibebani dengan beban truk semi-

trailer yang mana konfigurasi sumbu dan beban kendarannya akan dibebankan diatas pelat sesuai dengan ukuran (panjang dan lebarnya) serta beratnya, seperti yang terlihat pada **Gambar 3.3**



Gambar 3.2 Pemodelan Struktur Sistem Pelat Terpaku dengan SAP2000 v.14



Gambar 3.3 Denah pembebanan Sistem Pelat Terpaku

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1. Parameter Input Analisis

pada Sistem Pelat Terpaku tidak dirancang berdasarkan repetisi beban gandar standar 18 kip (8.16 ton) seperti halnya perancangan jalan konvensional yang mengacu pada AASHTO maupun Bina Marga MST-10 (muatan sumbu terberat 10 ton), namun dirancang dengan mengacu pada pembebanan untuk jembatan (RSNI T-02-2005).

Oleh karenanya, dilakukan analisis untuk mengetahui kinerja dan karakteristik dari Sistem Pelat Terpaku dalam menahan beban lalu lintas sesuai dengan acuan pembebanan diatas.

Data *input* yang digunakan dalam analisis antara lain adalah data material (tanah dan beton), data geometrik (bentuk dan ukuran Sistem Pelat Terpaku), data koefisien reaksi tanah dasar (berupa data asumtif) dan data pembebanan (luas kontak dan tekanan kontak). Parameter data *input* dapat dilihat pada **Tabel 4.1**.

Tabel 4.1 Parameter data *input*

No.	Parameter	Nilai	Satuan
1.	Koefisien <i>subgrade</i> vertikal tanah (k_v)	5000 - 80000	kN/m ³
2.	Koefisien <i>subgrade</i> gesek tanah (k_s)	500 - 8000	kN/m ³
3.	Kuat tekan beton (f_c')	29.05	MPa
4.	Modulus elastisitas (E_c)	25332	MPa
5.	Dimensi tiang beton		
	Panjang	150	cm
	Diameter	20	cm
	Jarak antar tiang	100	cm
6.	Dimensi koperan		
	Panjang	50	cm
	Tebal	10	cm
7.	Dimensi pelat beton		
	Panjang	13	m
	Lebar	7.5	m
	Tebal	15; 17; 20	cm

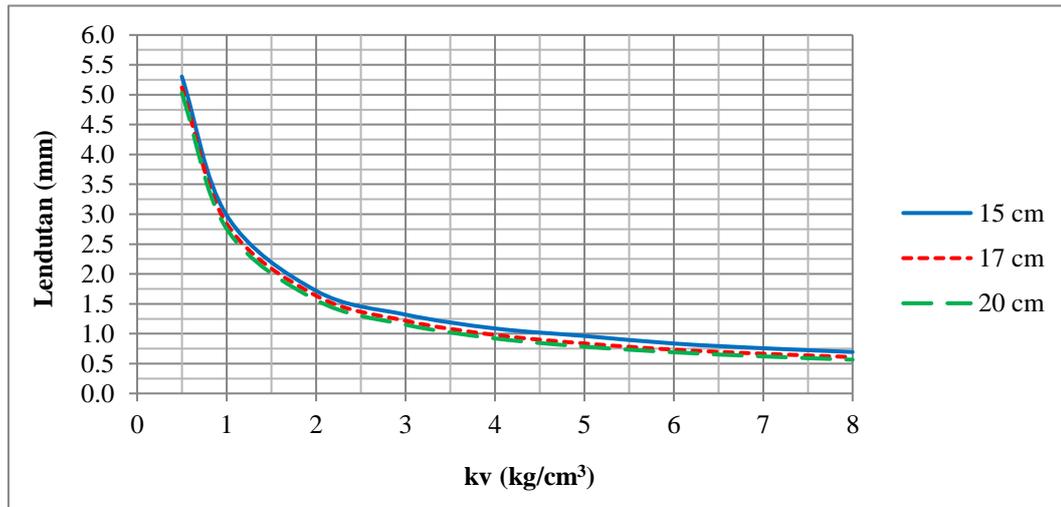
4.2. Analisis Sistem Pelat Terpaku

Hasil simulasi pelat terpaku dengan 2 truk sejajar sebagai acuan pembebanannya seperti yang ditunjukkan **Tabel 4.2**. Nilai yang tercantum pada tabel-tabel tersebut berupa nilai lendutan maksimum. Nilai-nilai tersebut kemudian diplot ke dalam grafik sehingga membentuk grafik-grafik Sistem Pelat Terpaku untuk berbagai kondisi tanah dan berbagai ketebalan pelat seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.1**.

Tabel 4.2 Hasil hitungan lendutan

kv (kg/cm ³)	Lendutan maksimum (mm)		
	15 cm	17 cm	20 cm
0,5	5,305	5,121	5,029
1	2,984	2,845	2,758
2	1,719	1,637	1,564
3	1,320	1,216	1,151
4	1,088	0,979	0,921
5	0,941	0,837	0,784
6	0,836	0,733	0,689
7	0,757	0,665	0,620
8	0,694	0,609	0,565

Pada **Tabel 4.2** menunjukkan pengaruh tebal pelat dan koefisien *subgrade* vertikal tanah (k_v) terhadap nilai lendutan yang terjadi. Variasi nilai k_v memberikan pengaruh terhadap nilai lendutan. Semakin tinggi nilai k_v maka semakin rendah nilai lendutannya, begitupun sebaliknya. Variasi tebal pelat juga memberikan pengaruh terhadap nilai lendutan. Semakin tebal ukuran pelat maka semakin rendah nilai lendutannya, begitu pula sebaliknya.



Gambar 4.1 Perhitungan lendutan Sistem Pelat Terpaku dengan koperan untuk beban 112,5 kN

Dari **Gambar 4.1** khususnya pada grafik perhitungan lendutan, dapat dilihat bahwa garis lendutan membentuk garis cekung untuk nilai $k_v < 3 \text{ kg/cm}^3$. Artinya selisih nilai lendutan dari perbedaan nilai $k_v < 3 \text{ kg/cm}^3$ cukup besar. Sedangkan untuk nilai $k_v > 3 \text{ kg/cm}^3$ garis lendutan membentuk garis lurus atau asimtotis, yang artinya lendutan sudah cukup konstan dengan selisih yang cukup kecil.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang didapat pada penelitian ini adalah:

1. Sistem Pelat Terpaku akan mengalami lendutan paling besar saat beban terletak di tepi pelat.
2. Kenaikan nilai k_v akan mereduksi parameter *output* lendutan pada Sistem Pelat Terpaku.

3. Akibat bertambahnya tebal pelat, kekakuan pelat juga bertambah sehingga lendutan maksimum yang terjadi akan berkurang/mengecil, begitu pula sebaliknya.

5.2. Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya:

1. Dalam memodelkan setiap bagian-bagian struktur perlu diketahui idealisasi dan derajat kebebasan (*degree of freedom*) dari elemen-elemen yang digunakan. Tiap-tiap elemen harus tersambung sesuai dengan derajat kebebasan dan idealisasi yang dimiliki oleh elemen-elemen tersebut, sehingga diperoleh pemodelan struktur yang kompatibel.
2. Nilai modulus rekasi *subgrade* arah horisontal (k_h) yang dimodelkan sebagai *joint spring* pada tiang-tiang

beton harus diberi nilainya yang berkisar antara $2.k_v - 10.k_v$. Hal ini dilakukan untuk mengantisipasi gaya horizontal yang terjadi pada tiang-tiang beton akibat beban yang bekerja di atas struktur tersebut, juga untuk memenuhi idealisasi dari struktur tanah yang mengelilingi tiang-tiang beton.

DAFTAR PUSTAKA

- Azizi. F., 2013. *Perilaku Gaya Lintang. Momen dan Lendutan pada Sistem Pelat Terpaku dengan Metode Beam on Elastic Foundation (BOEF)*. Skripsi S-1. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta
- Bangun. M., 2010. *Studi Perilaku Pelat Beton diatas Tanah dengan Metode Elemen Hingga (SAP200 v.11) ditinjau pada Variasi Modulus Reaksi Subgrade (kv) dan Mutu Pelat Beton*. Tugas Akhir S-1. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral BinaMarga. 2005. Standar Pembebanan untuk jembatan. Pusat Litbang Prasarana Transportasi. Jakarta.
- Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah. 2012. Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen. Pusat Litbang Prasarana Transportasi. Jakarta.
- Hardiyatmo. C. H., 2011. *Perancangan Perkerasan Jalan dan Penyelidikan Tanah*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Nawangalam. P., 2008. *Pemodelan Elemen Hingga Sistem Cakar Ayam dengan Analisis Tanah-dasar Non-Linier*. Tesis S-2 Program Pasca Sarjana. UGM. Yogyakarta.
- Puspasari. V., 2013. *Analisis Lendutan. Momen dan Gaya Lintang Pada Sistem Pelat Terpaku dengan SAP2000*. Tesis S-2 Program Pasca Sarjana. UGM. Yogyakarta.
- Suhendro. B., 1999. *Pemodelan Elemen Hingga dan Studi Eksperimental Perilaku Struktur Sistem Cakar Ayam di Bandara Soekarno-Hatta. Prosiding Seminar Nasional Metode Elemen Hingga*. ITB. Bandung.
- Suhendro. B., 2000. *Metode Elemen Hingga dan Aplikasinya*. Yogyakarta.
- Suryawan. A., 2009. *Perkerasan Jalan Beton Semen Portland. Beta Offset*. Yogyakarta.
- SNI 03-2847-2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. ITS Press. Surabaya.