

Analisis Kebutuhan Pelat Injak pada *Box Underpass* Akibat Pengaruh Beban

**WIBISONO BANGUN SATRIO, BERNARDINUS HERBUDIMAN,
ERMA DESMALIANA**

Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional
Email: wibisatrio6@gmail.com

ABSTRAK

Underpass merupakan suatu bangunan terowongan termasuk sarana transportasi barang dan manusia. Underpass dibangun di bawah tanah untuk menghindari daerah/kawasan rawan kemacetan. Pada kasus tertentu, kebutuhan pelat injak dapat diabaikan keberadaannya pada struktur box underpass. Analisis dilakukan dengan membandingkan perilaku struktur dengan 2 kondisi yaitu kondisi 1 pelat tanpa timbunan dan kondisi 2 pelat injak yang tertimbun oleh tanah timbunan. Analisis dilakukan dengan perangkat lunak SAP2000. Intensitas beban mengacu pada pembebanan jembatan SNI 1725:2016. Variasi panjang untuk pelat injak yang digunakan 5 m, 6 m dan 7 m, variasi tebal pelat yaitu 30 cm, 35 cm dan 40 cm, serta pengaruh jarak spring yaitu 10 cm, 20 cm dan 30 cm. Dari penelitian, lendutan yang terjadi cenderung lebih besar pada kondisi 2 karena pengaruh beban SIDL yang besar, lendutan maksimum kondisi 1 dan 2 adalah 1,148 mm dan 1,486 mm. Perbedaan momen maksimum kondisi 1 dan 2 masing-masing 422,111 kN-m dan 309,883 kN-m. Gaya geser masing-masing sebesar adalah 259,634 kN dan 583,885 kN. Gaya-gaya yang terjadi pada kondisi 1 cenderung lebih besar dari pada kondisi 2.

Kata kunci: *pelat injak, tanah timbunan, distribusi beban*

ABSTRACT

Underpass is a tunnel building for transportation of goods and people. Underpasses are built underground to avoid areas / areas prone to congestion. In certain cases, requirement of approach slab may be ignored in structure of the underpass box. Analysis was done by comparing the behavior of the structure with 2 conditions, condition 1 with plate without soil embankment and the condition 2 approach slab is covered by soil embankment. Analysis was carried out with SAP2000. Load intensity refers to SNI 1725: 2016. Variation of length for approach slab used 5 m, 6 m and 7 m, variation of plate thickness are 30 cm, 35 cm and 40 cm, and influence of spring distance are 10 cm, 20 cm and 30 cm. From the research, deflection that occurred tends to be greater in condition 2 because influence of large SIDL loads, maximum deflection conditions 1 and 2 are 1.148 mm and 1.486 mm. Difference in maximum moment in conditions 1 and 2 is 422.111 kN-m and 309.888 kN-m. Respectively shear force is 259.634 kN and 583.885 kN. The forces that occur in condition 1 tend to be greater than conditions 2.

Keywords: *approach slab, soil embankment, load distribution.*

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan pelat injak pada suatu struktur *box underpass* sangatlah penting karena dapat melindungi struktur *box culvert* pada daerah transisi antara struktur dan tanah. Hal tersebut dapat berpengaruh terhadap penurunan tanah yang terjadi pada oprit jembatan. Pada suatu keadaan, kebutuhan akan pelat injak dapat diabaikan dengan mempertimbangkan desain dari suatu *box culvert* sesuai kondisi suatu eksisting serta karakteristik tanah yang digunakan, adapun keadaan dimana kondisi pelat injak tertimbun oleh tanah timbunan sehingga perilaku struktur akan berbeda dengan kondisi jika tanpa adanya timbunan di atas pelat injak. Pada penelitian ini akan dikaji dan akan memodelkan beberapa kondisi yang pada beberapa kasus kebutuhan pelat injak dapat diabaikan dan diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai perilaku struktur yang terjadi akibat perbedaan kondisi eksisting serta dapat meningkatkan ke ekonomisan dalam mendesain suatu struktur *box underpass*. Pada penelitian ini akan ditekankan kepada perbedaan perilaku struktur dan seberapa besar perubahan momen, geser, lendutan dan apakah simulasi kondisi yang telah ditetapkan dapat mengabaikan kebutuhan pelat injak atau tidak.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pelat Injak

Pelat injak adalah bagian dari bangunan bawah suatu jembatan yang berfungsi untuk menyalurkan beban yang diterima di atasnya menuju tanah di bawah dan juga mencegah terjadinya penurunan tanah serta terjadinya defleksi yang terjadi pada permukaan jalan.

2.2 Pembebanan Struktur

1. Beban Hidup

Pembebanan yang digunakan untuk beban hidup adalah beban truk dan beban rem. Untuk beban truk menggunakan beban standar roda gandar 225 kN. Beban rem yang bekerja adalah beban rem pada arah horizontal, sehingga beban rem dikalikan dengan jarak pusat beban truk yaitu 1,8 m dan menghasilkan gaya momen akibat beban rem. Untuk beban truk memiliki Faktor Beban Dinamis (FBD) yang diambil 40% sesuai dengan panjang pelat yang digunakan.

2. Beban Mati Tambahan (SIDL)

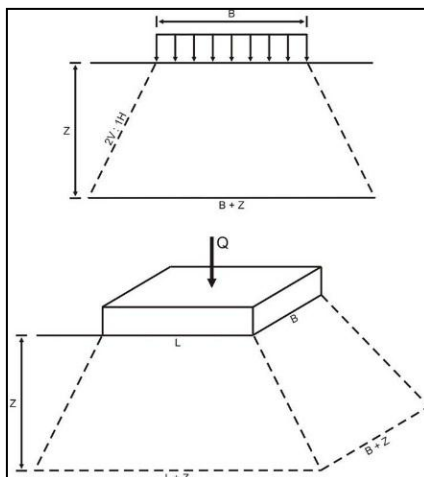
Beban-beban SIDL yang digunakan ialah beban akibat hujan dan beban aspal yang masing-masing memiliki tinggi genangan untuk hujan 10 cm dan tebal aspal yang digunakan 10 cm.

3. Beban Mati

Beban mati yang digunakan ialah beban pelat injak sendiri yang dihitung secara otomatis oleh perangkat lunak SAP2000.

2.3 Distribusi Pembebanan

Salah satu cara pendekatan kasar yang sangat sederhana untuk menghitung tambahan tegangan akibat beban di permukaan diusulkan oleh Boussinesq dalam buku karya Santoso, B. (1998), yaitu dengan membuat garis penyebaran beban 2V:1H (2 vertikal : 1 horizontal) seperti pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Distribusi tegangan dalam tanah dengan metode 2V:1H

2.4 Pengaruh Beban Timbunan Terhadap Struktur

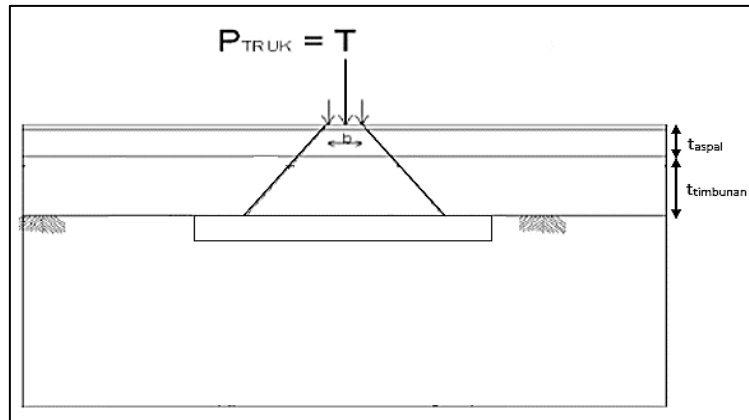
Menurut penelitian Orton, S. (2013), seperti pada **Gambar 2**, efek beban hidup di *box culvert* umumnya berkurang dengan ketebalan timbunan tanah. Selain itu, efek dari beban hidup mungkin hampir dapat diabaikan dibandingkan dengan beban mati ketika tanah yang signifikan ditempatkan di atas puncak *box*. Titik di mana dapat mengabaikan efek beban hidup dapat diambil sebagai mana efek beban hidup kurang dari 5% dari total beban. Kemungkinan lain yang dapat terjadi adalah di mana beban hidup kurang dari 10% dari beban mati.



Gambar 2. Pengujian struktur dengan beban hidup truk (Sumber: Orton, S., 2013)

2.5 Distribusi Beban Truk

Beban hidup dinamis akan didistribusikan ke dalam struktur di bawah sesuai dengan kedalaman tanah atau media lain di atas struktur yang ditinjau seperti pada **Gambar 3**.



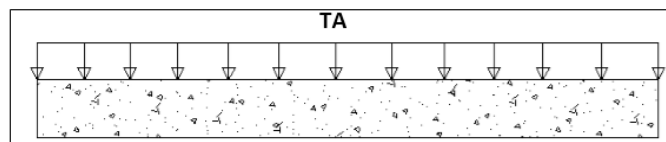
Gambar 3. Distribusi beban dinamis pada pelat injak

Beban hidup pada lantai jembatan berupa beban roda ganda oleh truk (beban T) yang akan ditambah dengan faktor beban dinamis (T_{eff}) pada **Persamaan 1**.

$$T_{eff} = \frac{2 * T}{E_{eff}} * (1 + FBD) \quad \dots(1)$$

halmana:

- T_{eff} = distribusi beban dinamis [kN/m²],
- T = beban efektif pada roda ganda truk [kN],
- E_{eff} = lebar efektif kendaraan [m],
- FBD = faktor beban dinamis.



Gambar 4. Hasil distribusi beban dinamis

Beban dinamis yang bekerja (T_{eff}) pada **Persamaan 2.a** merupakan beban pada permukaan, untuk mendistribusikannya seperti pada **Gambar 4**, maka beban dinamis tersebut dibagi dengan tinggi timbunan yang digunakan (w) pada **Persamaan 2.b**.

$$TA = \frac{T_{eff}}{w} \quad \dots(2.a)$$

$$w = b + 2 * (t_{timbunan} + t_{aspal}) \quad \dots(2.b)$$

halmana:

- TA = beban tanah [kN/m],
- T_{eff} = distribusi beban dinamis [kN/m²],
- w = tinggi timbunan [m],
- b = lebar roda kendaraan [m].

2.6 Daya Dukung Tanah

Analisis daya dukung dalam Das, B. M. (2007), memberikan pengaruh faktor bentuk fondasi persegi seperti pada **Persamaan 3**.

$$q_u = 1,3cN_c + D_f\gamma N_q + 0,4\gamma BN_\gamma \quad \dots(3)$$

halmana:

- q_u = daya dukung ultimit pada fondasi [kN/m²],
- c = kohesi tanah [kN/m²],
- D_f = kedalaman fondasi [m],
- γ = berat volume tanah [kN/m³],
- B = lebar fondasi [m],
- N_c, N_q, N_γ = faktor daya dukung Terzaghi.

Tabel 1. Faktor Daya Dukung Terzaghi Berdasarkan Nilai ϕ

ϕ [°]	N_c	N_q	N_γ	ϕ [°]	N_c	N_q	N_γ	ϕ [°]	N_c	N_q	N_γ
0	5,70	1,00	0,00	11	10,16	2,98	0,69	22	20,27	9,19	5,09
1	6,00	1,10	0,01	12	10,76	3,29	0,85	23	21,75	10,23	6,00
2	6,30	1,22	0,04	13	11,41	3,63	1,04	24	23,36	11,40	7,08
3	6,62	1,35	0,06	14	12,11	4,02	1,26	25	25,13	12,72	8,34
4	6,97	1,49	0,10	15	12,86	4,45	1,52	26	27,09	14,21	9,84
5	7,34	1,64	0,14	16	13,68	4,92	1,82	27	29,24	15,90	11,60
6	7,733	1,81	0,20	17	14,60	5,54	2,18	28	31,61	17,81	13,70
7	8,15	2,00	0,27	18	15,12	6,04	2,59	29	34,24	19,98	16,18
8	8,60	2,21	0,35	19	16,57	6,70	3,07	30	37,16	22,46	19,13
9	9,09	2,44	0,44	20	17,69	7,44	3,64	31	40,41	25,28	22,65
10	9,61	2,69	0,56	21	18,92	8,26	4,31	32	44,04	28,52	26,87

(Sumber: Das, B. M., 2007)

2.6 Modulus Kekakuan Tanah Dasar (k_s)

Menurut Bowles, J. E. (1997), nilai k_s dapat dihitung berdasarkan nilai kapasitas daya dukung tanah q_a pada **Persamaan 4**.

$$k_s = 40 * SF * q_a \quad \dots(4)$$

halmana:

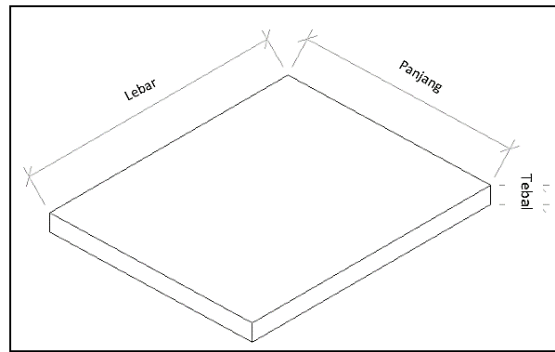
- k_s = modulus kekakuan tanah [kN/m³],
- q_a = daya dukung tanah [kN/m²],
- SF = faktor keamanan.

Persamaan ini didasarkan pada alasan bahwa q_a adalah tekanan tanah ultimit dibagi oleh faktor keamanan (*safety factor*) SF . Biasanya SF diambil sama dengan 3 (tiga).

3. METODOLOGI PENELITIAN

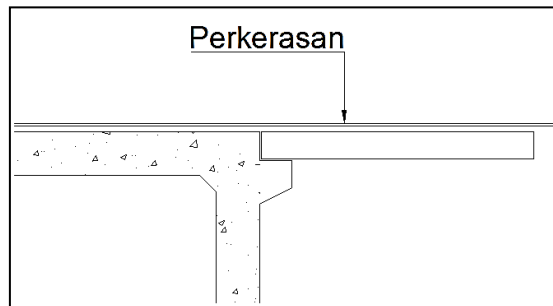
3.1 Pemodelan Struktur

Pemodelan yang dilakukan pada **Gambar 5** memiliki variasi panjang yaitu 5 m, 6 m, dan 7 m. Variasi tebal pelat yang digunakan yaitu 30 cm, 35 cm dan 40 cm. Untuk lebar pelat mengikuti lebar jalan yang ditetapkan yaitu 7 m dan tidak memiliki variasi lebar pelat.

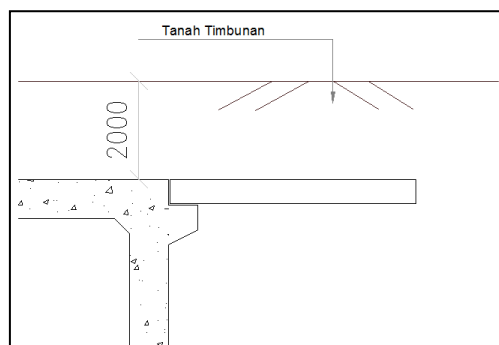


Gambar 5. Bentuk pelat injak yang digunakan

Kondisi pelat yang ditinjau memiliki 2 keadaan yaitu kondisi 1 pelat injak pada keadaan normal dan tanpa timbunan di atasnya seperti pada **Gambar 6** dan kondisi 2 pelat injak tertimbun oleh tanah timbunan setinggi 2 seperti pada **Gambar 7**.

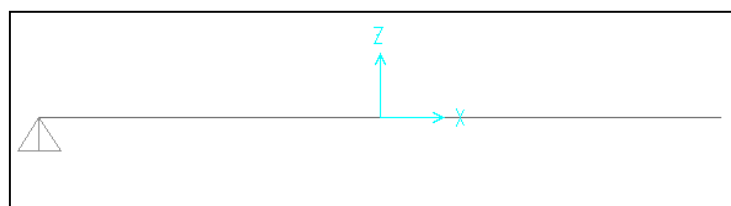


Gambar 6. Kondisi 1 pelat injak tanpa timbunan

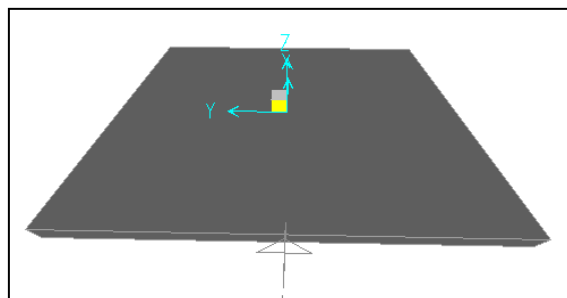


Gambar 7. Kondisi 2 pelat injak dengan timbunan 2 m

Pemodelan yang dilakukan menggunakan pemodelan 2D dengan tipe struktur yang digunakan adalah *beam*. Pemodelan *frame* dengan tampilan struktur 2D seperti pada **Gambar 8** dan tampilan 3D seperti pada **Gambar 9**.



Gambar 8. Tampilan 2D model pada perangkat lunak SAP2000



Gambar 9. Tampilan 3D model pada perangkat lunak SAP2000

3.2 Input Beban

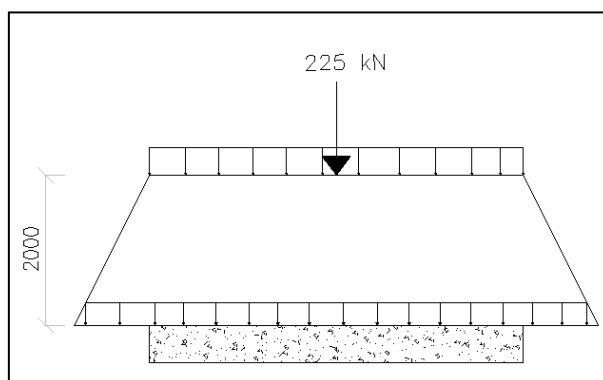
Beban-belan yang bekerja adalah beban hidup yang meliputi beban truk dan beban rem, beban mati tambahan (SIDL) meliputi beban hujan dan beban aspal serta beban mati pelat injak. Intensitas beban yang digunakan sesuai dengan Badan Standarisasi Nasional (2016). Untuk beban truk adalah 315 kN yang telah ditambahkan oleh faktor beban dinamis, sedangkan beban rem diambil 5% dari beban truk rencana ditambah dengan beban lajur terbagi rata (BTR). Untuk beban SIDL digunakan beban hujan dengan berat jenis air 9,81 kN/m³ dan berat jenis aspal yang digunakan 22,4 kN/m³. Beban SIDL tersebut didistribusikan sesuai dengan panjang pelat yang digunakan. Beban mati dihitung secara otomatis menggunakan perangkat lunak SAP2000.

3.3 Input Nilai Kekakuan Tanah (*Spring Stiffness*)

Daya dukung tanah sangat berpengaruh terhadap suatu kekakuan tanah, semakin besar nilai daya dukung suatu tanah maka kekakuannya pun akan semakin besar. Daya dukung tanah yang digunakan menggunakan persamaan fondasi persegi pada **Persamaan 3**. Setelah mendapat nilai daya dukung tanah selanjutnya mencari nilai k_s (modulus kekakuan tanah) menggunakan pendekatan nilai k_s sesuai **Persamaan 4**. Nilai k_s dikalikan dengan luas penampang dan di-*input* pada perangkat lunak SAP2000 sebagai kekakuan tumpuan pegas arah vertikal atau *spring stiffness* (k_{sv}).

3.4 Distribusi Beban Akibat Timbunan

Kondisi 2 pada pemodelan **Gambar 10** terdapat tanah timbunan dan beban yang bekerja harus didistribusikan pada strutur pelat injak di bawahnya. Beban truk (T) memiliki intensitas sebesar 225 kN ditambah Faktor Beban Dinamis (FBD) sebesar 40% dengan pemodelan beban terpusat.



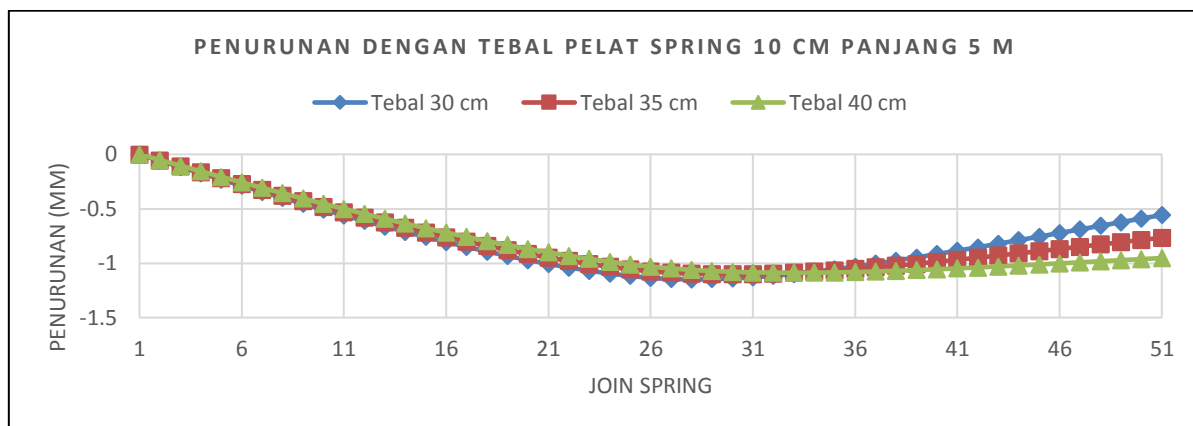
Gambar 10. Intensitas beban truk pada pelat injak

Tegangan tanah efektif akibat truk (T_{eff}) pada kedalaman 2 m menggunakan **Persamaan 1** dan mendapatkan nilai T_{eff} sebesar 229,09 kN/m². Lebar kontak roda adalah sebesar 0,75 cm

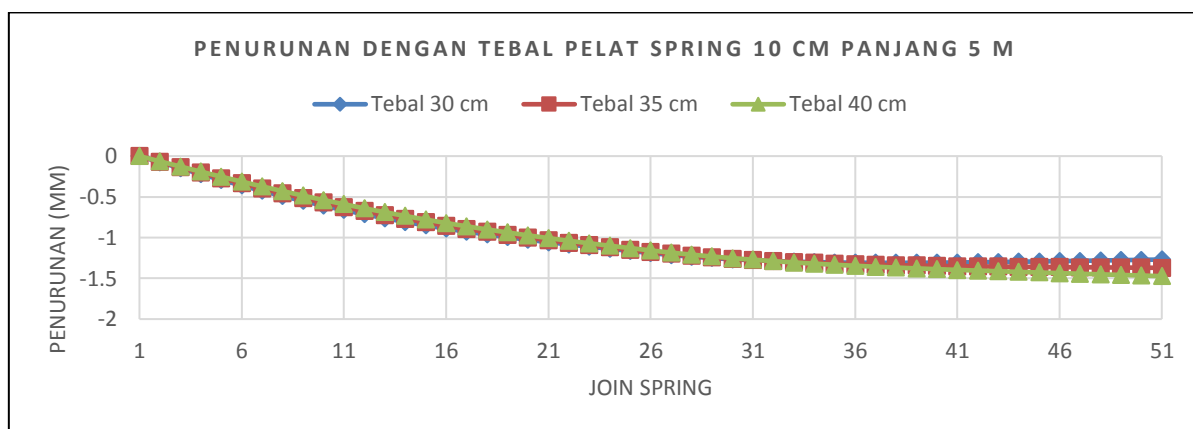
dan tebal aspal 10 cm sehingga nilai beban merata untuk beban hidup truk (TA) sebesar 46,281 kN/m. Beban rem pada kondisi pelat tertimbun memiliki nilai lengan momen yang besar yaitu 3,8 m. Beban-beban rem yang dari tiap masing-masing panjang pelat yang diperoleh adalah 102,6 kN-m, 114,7 kN-m dan 126,54 kN-m.

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Hasil dari analisis yang telah dilakukan menunjukkan nilai lendutan, nilai momen, dan nilai geser maksimum. Hasil grafik lendutan pada **Gambar 11** dan kondisi 2 pada **Gambar 12** adalah lendutan yang terjadi pada panjang pelat 5 m.

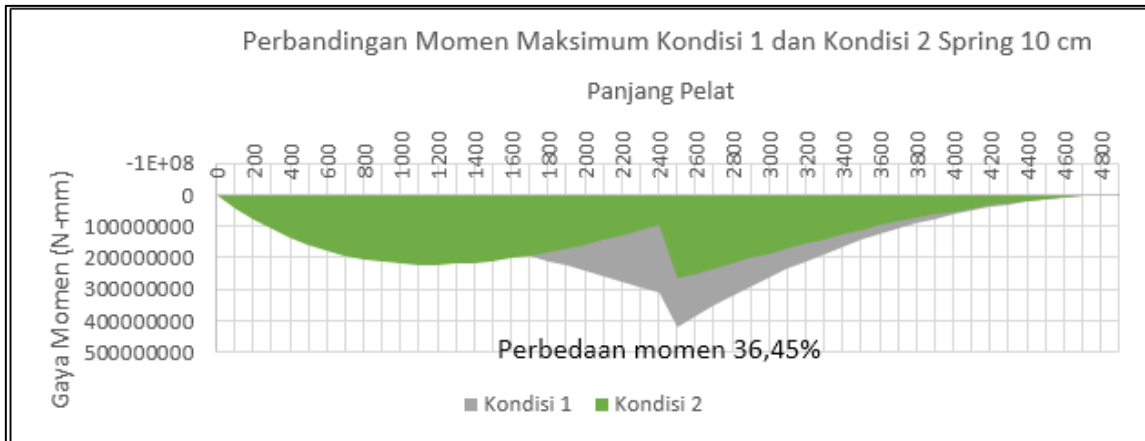


Gambar 11. Lendutan pada kondisi 1



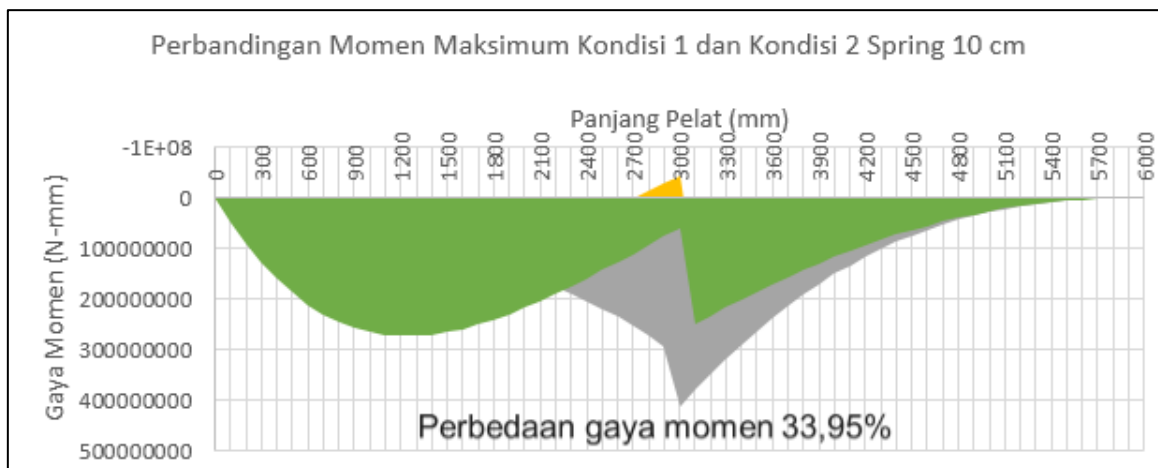
Gambar 12. Lendutan pada kondisi 2

Perbandingan hasil momen maksimum pada setiap kondisi untuk pelat 5 m seperti pada **Gambar 13**.



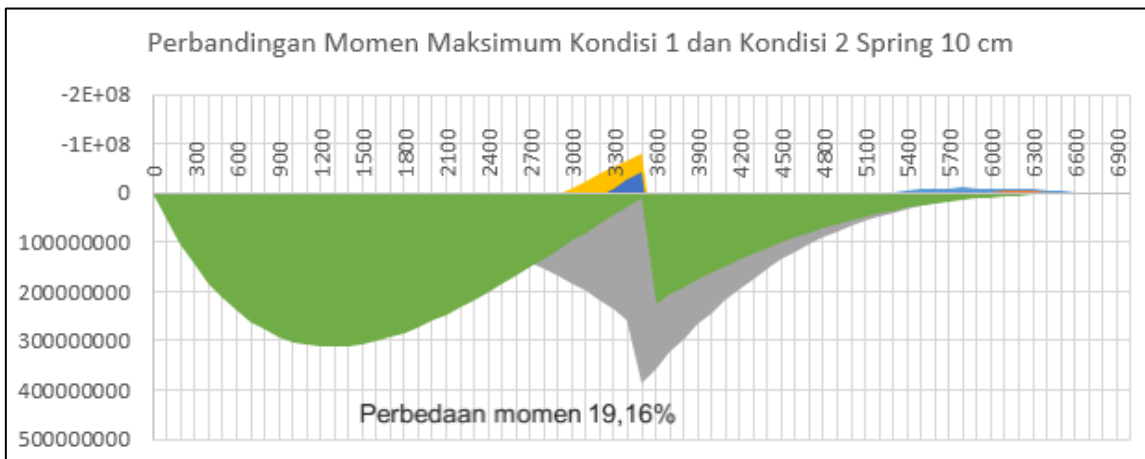
Gambar 13. Momen maksimum pada panjang pelat 5 m

Perbandingan hasil momen maksimum pada setiap kondisi untuk pelat 6 m seperti pada **Gambar 14.**



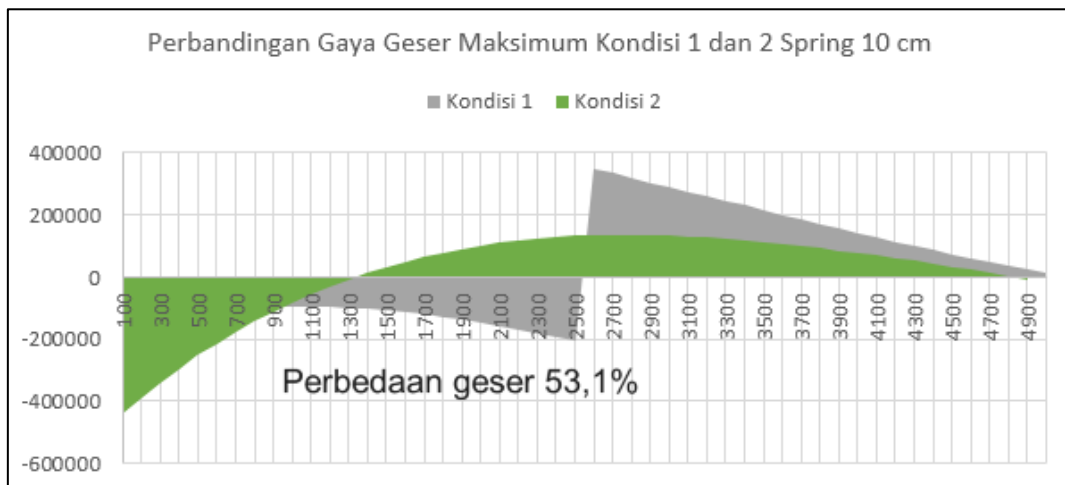
Gambar 14. Momen maksimum pada panjang pelat 6 m

Perbandingan hasil momen maksimum pada setiap kondisi untuk pelat 7 m seperti pada **Gambar 15.**



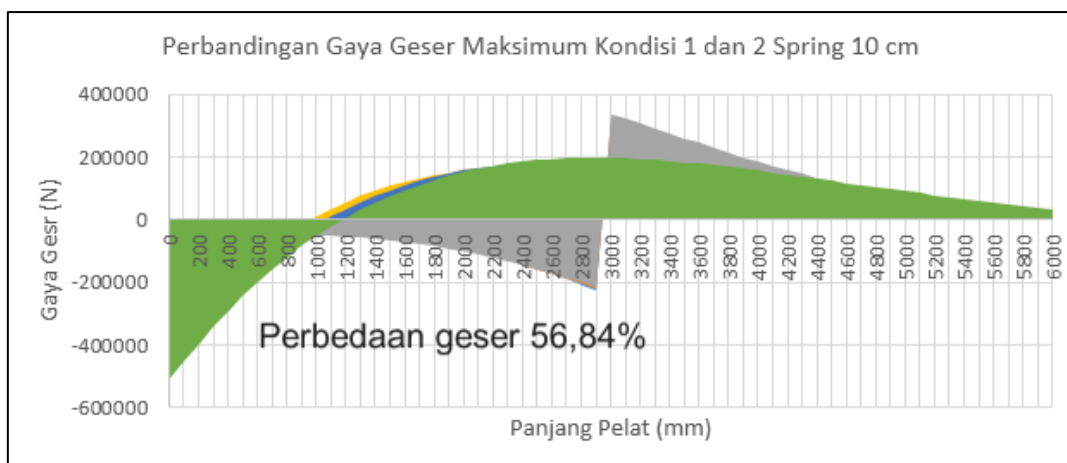
Gambar 15. Momen maksimum pada panjang pelat 7 m

Perbandingan gaya geser maksimum pada setiap kondisi untuk pelat 5 m pada **Gambar 16**.



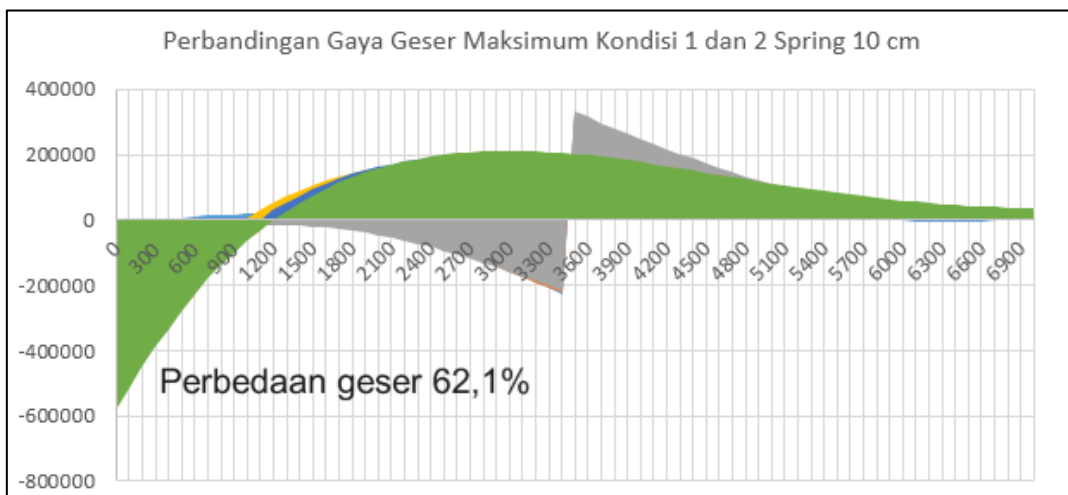
Gambar 16. Gaya geser maksimum pada panjang pelat 5 m

Perbandingan gaya geser maksimum pada setiap kondisi untuk pelat 6 m pada **Gambar 17**.



Gambar 17. Gaya geser maksimum pada panjang pelat 6 m

Perbandingan gaya geser maksimum pada setiap kondisi untuk pelat 7 m pada **Gambar 18**.



Gambar 18. Gaya geser maksimum pada panjang pelat 7 m

Perbandingan lendutan dari hasil analisis diperoleh lendutan paling besar terjadi pada kondisi 2 pada panjang pelat 5 m dan tebal 30 cm dengan nilai lendutan adalah 1,486 mm dan kondisi 1 sebesar 1,148 mm pada panjang dan tebal pelat yang sama. Beban SIDL yang lebih besar pada kondisi 2 mempengaruhi nilai lendutan sehingga lebih besar dibandingkan kondisi 1. Pada penelitian lendutan akan semakin berkurang seiring bertambahnya tebal pelat injak.

Momen maksimum yang terjadi pada kondisi 1 cenderung lebih besar dibandingkan pada kondisi 2 yaitu 422.111.234 N-mm, sedangkan pada kondisi 2 momen yang terjadi adalah 309.883.187,1 N-mm. Pada kondisi 2 momen negatif akan semakin bertambah seiring dengan bertambah panjang pelat dan semakin tipis tebal pelat yang digunakan. Momen negatif masing-masing 40.374.274 N-mm dan 80.576.381 N-mm, terjadi pada pelat dengan panjang 7 m dan tebal 30 cm.

Gaya geser terbesar untuk masing-masing kondisi adalah 259.634,6 N dan 583.885 N. Gaya geser untuk kondisi 2 cenderung lebih besar pada setiap penambahan panjang pelat.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan dengan kondisi dan dimensi pelat injak yang telah ditetapkan. Hasil analisis yang diperoleh adalah sebagai berikut:

1. Lendutan maksimum yang terjadi cenderung lebih besar di kondisi 2, karena beban terpengaruh oleh beban timbunan yang cukup besar. Hasil lendutan untuk kondisi 1 adalah 1,148 mm dan untuk kondisi 2 adalah 1,486 mm.
2. Momen maksimum yang terjadi nilainya akan semakin membesar seiring dengan pertambahan panjang pelat injak. Momen pada kondisi 2 cenderung lebih kecil daripada kondisi 2 dengan persentase perbedaan terbesar 36,45%.
3. Perbedaan gaya geser yang terjadi antara dua kondisi memiliki perbedaan terbesar adalah 62,1%. Nilai tersebut terjadi pada pelat dengan panjang 7 m dan tebal 40 cm.

Berdasarkan hasil analisis untuk daya dukung dan kekakuan tanah yang terjadi adalah sebagai berikut:

1. Daya dukung dari tanah dasar yang digunakan akan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya panjang pelat injak yang digunakan. Daya dukung tanah pada kondisi 2 lebih besar karena berada di bawah suatu timbunan sehingga cenderung lebih kaku dibandingkan kondisi 1.
2. Terjadi reduksi beban untuk beban hidup truk pada kondisi 2 sebesar kurang lebih 16,72% dari beban truk pada kondisi 1, akibat adanya timbunan tanah setinggi 2 m yang mereduksi beban hidup truk.

DAFTAR RUJUKAN

- Badan Standarisasi Nasional. (2016). *SNI 1725-2016 tentang Pembebanan untuk Jembatan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Bowles, J. E. (1997). *Foundation Analysis and Design* (5 ed.). Singapore: The McGraw-Hill. New York.
- Das, B. M. (2007). *Principles of Foundation Engineering* (7 ed.). Stamford: Global Engineering.
- Orton, Sarah. (2015). Live Load Effect in Reinforced Concrete Box Culvert Under Soil Fill. *J. Bridge Eng*, 20(11), 04015003-1-04015003-9.
- Santoso, B. (1998). *Dasar Mekanika Tanah*. Jakarta: Gunadarma.