

BAB IV

HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini akan dibahas mengenai hasil analisis pemodelan perkerasan kaku diatas tanah ekspansif yang dilakukan dengan menggunakan program SAP2000. Analisis ini menggunakan input data kondisi fisik tanah yang diteliti sebelumnya melalui pengujian terhadap tanah asli oleh Dwi Ratna Nur Farokha,2011 yaitu tanah lempung yang diambil dari daerah Paron, Kabupaten Ngawi Jawa Timur, akan diperoleh hasil yang meliputi besarnya gaya-gaya dalam, tegangan, regangan dan lendutan yang terjadi pada perkerasan jalan di atas tanah ekspansif.

Berdasarkan hasil pengamatan kondisi jalan di lapangan didapatkan kondisi eksisting perkerasan jalan dapat dilihat pada **Gambar 4.1** Kondisi Eksisting Perkerasan Jalan Ruas Paron-Ngawi seperti dibawah ini:



Gambar 4.1 Kondisi Eksisting Perkerasan Jalan Ruas Paron-Ngawi

4.1 Data Kondisi Tanah

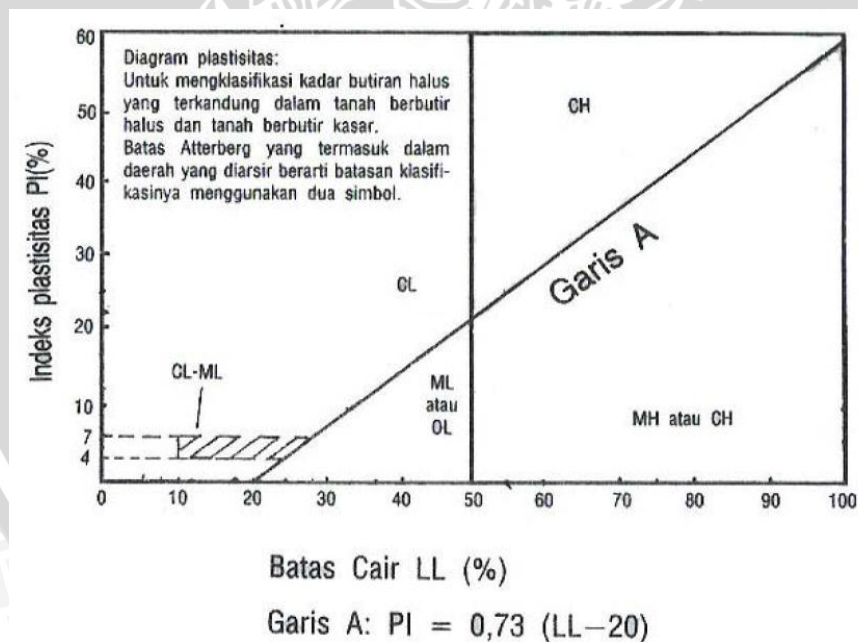
Dari penelitian melalui pengujian yang dilakukan oleh DwiRatna Nur Farokha, 2011 terhadap tanah asli di dapatkan data rekondisi tanah ekspansif dari Paron Ngawi sebagai berikut

- a. Analisis saringan didapatkan prosentase distribusi butiran sebagai berikut:
 - Pasir sebesar 2,25 %
 - Lanau sebesar 31,5 %
 - Lempung sebesar 66,051 %
- b. Berat jenis tanah (Gs) sebesar 2,66

- c. Kadar Air sebesar 40,552 %
- d. Berat Isi Tanah (Density) sebesar 1,11 gr/cm³
- e. Angka Pori Sebesar 58,24 %
- f. Batas-batas Konsistensi didapatkan
 - LL = 103,887 %
 - PL = 47,527 %
 - IP = LL – PL
= 103.887 - 47.527
= 56.3605 %
 - SL = 8,992 %
- g. Pengembangan bebas (Free Swell) yang terjadi sebesar 185%
- h. Kadar Air Optimum (OMC) sebesar 30,169%
- i. CBR yang terjadi sebesar 6,869%

4.2 Identifikasi Jenis Tanah Ekspansif dari Jalan Ruas Paron Kabupaten Ngawi

a. Berdasarkan Klasifikasi Tanah Sistem Unified



Gambar 4.2 Grafik Klasifikasi Tanah Sistem *Unified*

Berdasarkan gambar 4.2 klasifikasi tanah sistem Unified diatas, dengan nilai LL yang diperoleh yaitu sebesar 103.887 %, maka $PI = 0,73 (103.887 - 47.527) =$

56.3605%, sehingga tanah lempung dari daerah Paron Kabupaten Ngawi ini tergolong tanah MH atau OH (lempung organik).

b. Berdasarkan Sistem Kalsifikasi Tanah AASHTO

Tabel - 6.9 : KLASIFIKASI TANAH BERDASARKAN AASHTO
(The American Association of State Highway and Transportation Officials)

KLASIFIKASI UMUM	BAHAN BERBUTIR KASAR 35 % atau kurang lewat ayakan No. 200							BAHAN BERBUTIR HALUS 35 % atau lebih lewat ayakan No. 200			
	A — 1		A — 3	A — 2				A — 4	A — 5	A — 6	A — 7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Analisis (#) ayakan (% lolos) No. 10 No. 40 No. 200	50 maks 30 maks 15 maks	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Sifat fraksi yang lewat # No. 40 : Batas cair Indeks Plastisitas	_____	_____	_____	40 maks 10 maks	41 min 10 maks	40 maks 11 min	41 min 11 min	40 maks 10 maks	40 min 10 maks	40 maks 11 min	41 min 11 min
Jenis Umum	Fragmen batuan kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil atau pasir lanauan atau lempungan				Tanah lanauan		Tanah lempungan	
Tingkat umum sebagai tanah dasar	Sangat baik sampai baik						Cukup sampai buruk				

*Catatan : Indeks Plastisitas untuk subkelompok A — 7 — 5 < LL — 30, sedangkan
Indeks Plastisitas untuk subkelompok A — 7 — 6 > LL — 30.*

Gambar 4.3 Grafik Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO

Berdasarkan sistem klasifikasi tanah AASHTO dengan nilai $F = 97.55\%$;
 $LL = 103.887\%$; dan $PI = 56.365\%$, maka:

$$GI = (F-35)(0.2+0.005(LL-40))+(0.01(F-15)(PI-10))$$

$$= 70.761\%$$

Sehingga berdasarkan **Gambar 4.3** Grafik Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO tanah lempung ekspansif ini tergolong kelompok A-7-5 yaitu Tanah lempung yang lebih bersifat plastis dan mempunyai sifat perubahan yang cukup besar.

c. Berdasarkan Batas-Batas Atterberg

Berdasarkan terhadap batas-batas atterberg terdapat beberapa parameter dalam penentuan jenis tanah, dengan data yang telah diperoleh yaitu :

$$LL = 103.887 \%$$

$$PL = 47.527 \%$$

$$IP = 56.3605 \%$$

$$SL = 8,992 \%$$

Probable Swell = 185 %

Tabel 4.1 Kriteria Tanah Ekspansif Berdasarkan Linear Shrinkage dan Shrinkage Limit

Sumber : Altmeyer (1955) dala Altmeyer (1955)

Linear Shrinkage	SL (%)	Probable Swell	Degree Of Ekspansion
< 5	> 12	< 0,5	Non Critical
5 – 8	10 – 12	0,5 – 1,5	Marginal
> 8	< 12	> 1,5	Critical

Dan untuk mengetahui jenis tanah dari daerah Paron Kabupaten Ngawi ini, sesuai dengan **Tabel 4.1** diatas dengan hasil penelitian yang diperoleh yaitu SL sebesar 8,992 % dengan Potensi mengembang (*Probable Swell*) sebesar 1,85 maka tanah dari daerah Paron Kabupaten Ngawi ini tergolong dalam tanah ekspansif tingkat kritis.

Tabel 4.2 Kriteria Tanah Ekspansif Berdasarkan IP dan SL

Plasticity Index (%)	Shrinkage Limit (%)	Degree Of Ekspansion
< 12	< 15	Low
12 – 23	15 – 30	Medium
23 - 30	30 – 40	High
> 30	> 40	Very High

Sumber : Raman (1967)

Berdasarkan **Tabel 4.2** dengan nilai Indeks Plastis yang diperoleh dalam penelitian yaitu sebesar 56,3605 % maka tanah dari daerah Paron Kabupaten Ngawi ini tergolong tanah ekspansif tingkat sangat tinggi (*Very high*), namun menurut Raman tanah dengan SL 8,992% tergolong tanah ekspansif tingkat rendah, hal tersebut bertolak belakang dengan Altmeyer yang menyatakan kebalikannya.

Tabel 4.3 Kriteria Pengembangan Berdasarkan IP

Plasticity Index (%)	Swelling Potensial
0 – 15	Low
10 – 35	Medium
10 – 35	High
> 35	Very High

Sumber : Chen (1988)

Sama halnya dengan Raman, menurut **Tabel 4.3** Kriteria Pengembangan Berdasarkan IP, tanah dengan nilai Indeks Plastis sebesar 56,3605 % > 35 % tergolong dalam tanah ekspansif dengan potensi mengembang yang sangat tinggi.

d. Berdasarkan uji klasifikasi teknik

Berdasarkan uji klasifikasi teknik terdapat beberapa parameter untuk menentukan jenis suatu tanah.

Tabel 4.4 Hubungan Aktifitas dan Kandungan Mineral

Mineral	Aktifitas
Kaolinite	0,33 – 0,46
Illite	0,99
Montmorillonite (Ca)	1,5
Montmorillonite (Na)	7,2

Sumber : Skempton (1953)

Berdasarkan **Tabel 4.4** Hubungan Aktifitas dan Kandungan Mineral, data yang telah diperoleh maka tanah dari daerah Paron Kabupaten Ngawi dapat dikategorikan sebagai berikut :

- Aktifitas (A) = $\frac{\text{Indeks Plastisitas}}{C-10} = \frac{56,36053}{66,051-10} = 1,0055$

Dimana: C = prosentase lempung dengan diameter butiran < 0,002 mm

Dari data di atas tanah dari daerah Paron Kabupaten Ngawi ini tergolong tanah ekspansif dengan kandungan Illite.

Tabel 4.5 Klasifikasi Tanah Ekspansif Berdasarkan Kadar Colloid

Data Indeks Properties			% Total Volume Change	Degree Of Ekspansion
Colloid (<0,00 mm)	LiquidLimit (%)	Standart Penetration		
> 15	> 35	< 11	> 30	Very High
20 – 13	25 – 41	7 – 12	20 – 30	High
13 – 23	15 -28	10 – 16	10 – 20	Medium
< 15	< 28	> 15	< 10	Low

Sumber : Holtz & Gibbs (1956)

Berdasarkan **Tabel 4.5** Klasifikasi Tanah Ekspansif Berdasarkan Kadar Colloid Sesuai data yang telah didapatkan dalam penelitian yaitu besarnya colloid < 0,002mm

adalah 66,051% > 15%, batas cair (LL) sebesar 103.887 % >35 %, serta perubahan volume sebesar 180% > 30% maka tanah dari daerah Paron Kabupaten Ngawi ini tergolong tanah ekspansif tingkat sangat tinggi.

Tabel 4.6 Klasifikasi Tanah Ekspansif Berdasarkan % Lolos Sarangan No. 200 dan Batas Cair

Laboratory And Field Data			% Total Volume Change	Degree Of Ekspansion
Persen Passing No. 200	LiquidLimit (%)	Standart Penetration		
> 95	> 65	> 30	> 10	Very High
60 – 95	40 – 60	20– 30	3 – 10	High
30 – 60	30 - 40	10 – 20	1 – 5	Medium
< 30	< 30	< 20	< 1	Low

Sumber : Chen (1965) dalam Chen (1988)

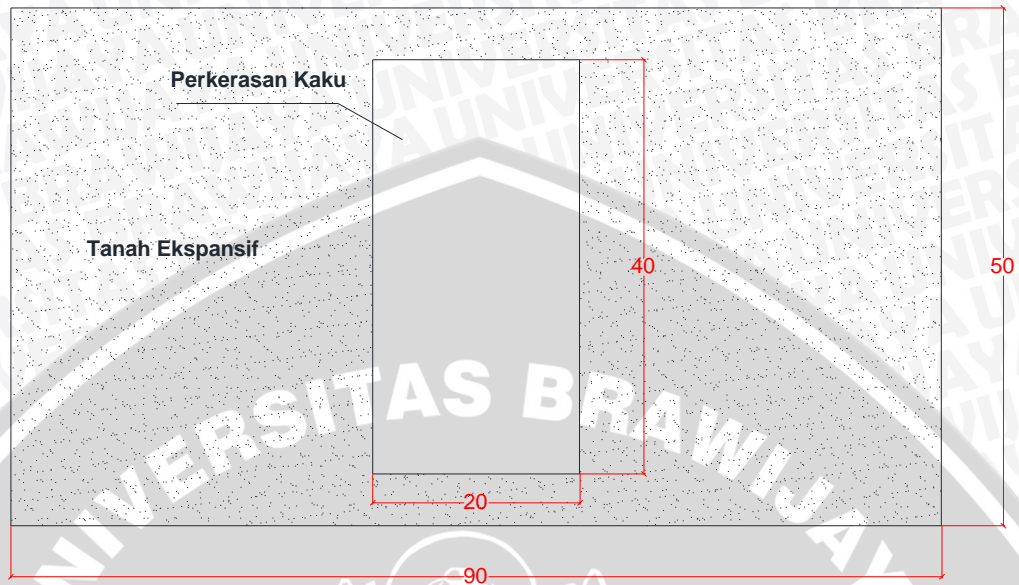
Dari hasil penelitian yang telah didapatkan, jumlah prosentase tanah lolos saringan 200 adalah sebesar 97,55 % > 95 %, dengan nilai batas cair (LL) sebesar 103.887 % > 30 %, serta perubahan volume sebesar 180% > 10%, maka menurut ketentuan Chen pada **Tabel 4.6** Klasifikasi Tanah Ekspansif Berdasarkan % Lolos Sarangan No. 200 dan Batas Cair diatas tanah dari daerah Paron Kabupaten Ngawi ini tergolong dalam tanah ekspansif tingkat sangat tinggi.

Dari beberapa ulasan di atas tentang klasifikasi tanah dengan beberapa parameter yang telah ditentukan oleh para ahli, maka dapat disimpulkan bahwa tanah lempung ekspansif dari daerah Paron Kabupaten Ngawi Jawa Timur ini merupakan tanah lempung ekspansif dengan tingkat ekspansif yang sangat tinggi dengan potensi pengembangan yang sangat tinggi pula.

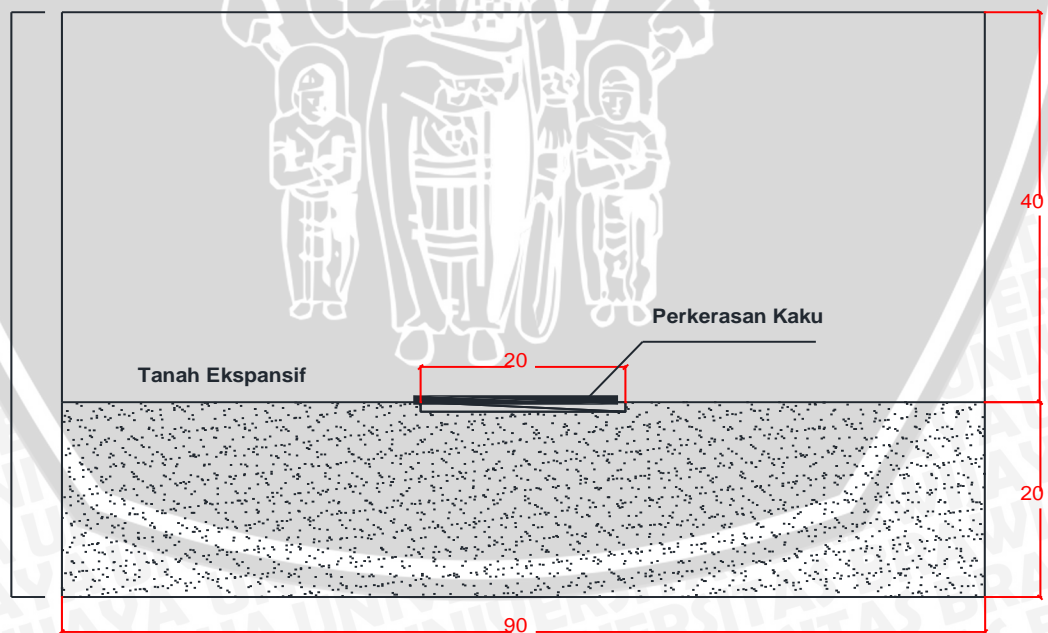
4. 3 Pemodelan Desain Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) diatas tanah ekspansif

Pemodelan Desain perkerasan jalan dengan perkerasan kaku yang digunakan untuk ruas jalan Paron Ngawi, berupa perkerasan kaku (Rigid Pavement). Pekerjaan perkerasan ini terdiri dari lapisan perkerasan beton tebal 20 cm, dan untuk kondisi tanah yang digunakan sebagai pondasi bawah (*subgrade*) adalah jenis tanah yang bersifat terganggu (*disturb soil*).

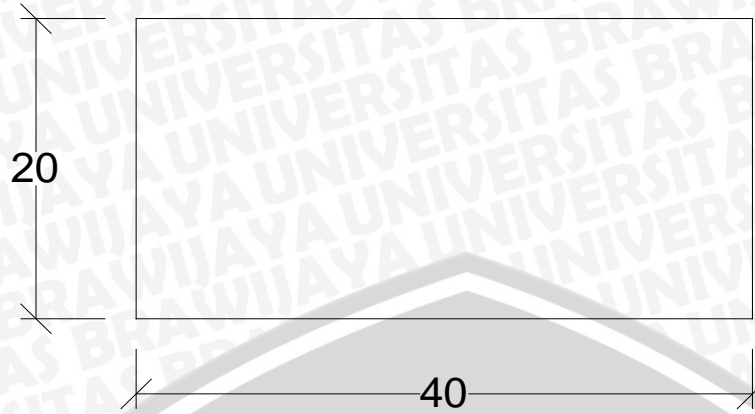
Pemodelan desain perkerasan kaku diatas tanah ekspansif yang digunakan ada 2 macam desain seperti yang terlihat pada **Gambar 4.4** dan **Gambar 4.5** dibawah ini,



Gambar 4.4 Tampak atas penempatan model dalam box



Gambar 4.5 tampak samping penempatan model dalam box

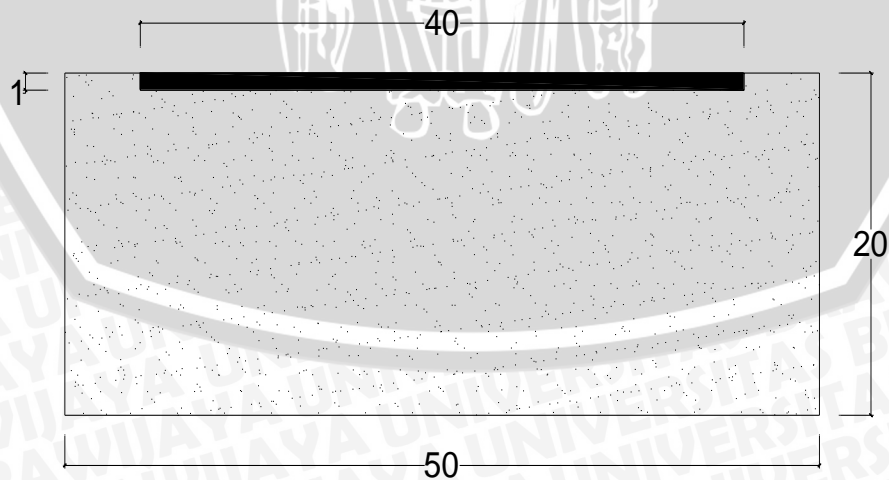


Gambar 4.6 Tampak atas model perkerasan kaku



Gambar 4.7 Tampak samping model perkerasan kaku

Pemodelan system struktur tanah dan perkerasan dimodelkan dalam bentuk 2 dimensi, seperti yang terlihat pada **Gambar 4.8** Potongan Melintang Pemodelan Desain Perkerasan Kaku diatas tanah ekspansif .Tanah dimodelkan sebagai elemen plane strain. Pemodelan system struktur tanah dan perkerasan menggunakan program SAP-2000.



Gambar 4.8 Potongan Melintang Pemodelan Desain Perkerasan Kaku diatas tanah ekspansif

4.4 Analisis Desain Perkerasan Kaku diatas tanah ekspansif pada ruas jalan

Paron-Ngawi

Sebelum menganalisis desain perkerasan diatas tanah ekspansif menggunakan SAP-2000, perlu dianalisis terlebih dahulu data kondisi Struktur Subgrade Jalan dan data kondisi perkerasan kaku diatasnya.

4.4.1 Parameter Analisis Struktur Tanah Dasar(Subgrade)

4.4.1.1 Berat Jenis (G_s) Tanah

Menurut *Bowles (1998)*, besarnya nilai berat jenis tanah yang didasarkan menurut jenis tanahnya disajikan pada Tabel. 4.7 Berat Jenis Tanah (G_s), sebagai berikut :

Jenis Tanah	G_s (gr/cm ³)
Kerikil	2,65-2,68
Pasir	2,65-2,68
Lanau organik	2,62-2,68
Lempung Organik	2,58-2,65
Lempung Anorganik	2,68-2,75

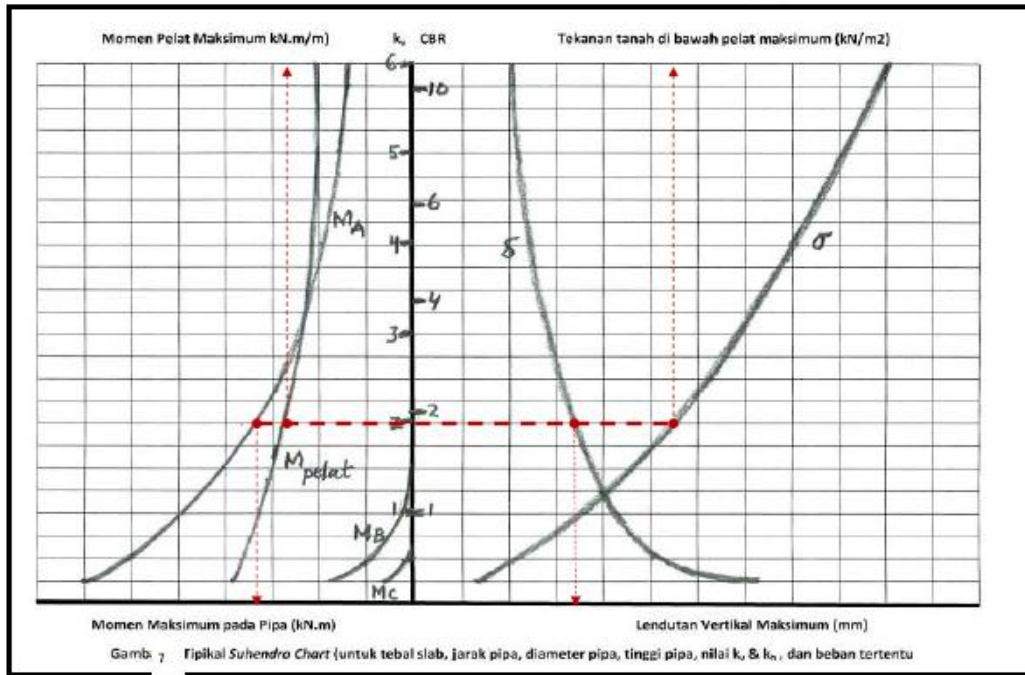
Sumber : *Bowles, 1998.*

Tabel 4.7 Berat Jenis Tanah (G_s)

Dari data karakteristik tanah ruas jalan Paron Ngawi diketahui bahwa jenis tanah dasarnya berupa lempung Organik dengan nilai G_s 2,66 gr/cm³. Jika nilai tersebut diplotkan pada tabel diatas maka jenis tanah dasarnya berupa lempung organik.

4.4.1.2 Modulus Reaksi Tanah Dasar (K_s)

Koefisien *Modulus of Subgrade Reaction* (k_s) yang digunakan untuk analisis struktur perkerasan dapat dihitung berdasarkan nilai CBR tanah dasarnya. Menurut *Suhendro*, nilai k_s dapat ditentukan berdasarkan data CBR tanah karena antara k_s dan CBR terdapat korelasi nonlinier pada tipikal *Suhendro Charts* yang disajikan pada **Gambar 4.9** Tipikal *Suhendro Charts* dibawah ini :



Gambar 4.9 Tipikal Suhendro Charts (Suhendro,2008)

Dari data karakteristik tanah ruas jalan Paron Ngawi diketahui bahwa nilai data CBR adalah 6,869 % sehingga jika nilai itu diplotkan ke Suhendro Charts maka didapat ksv (Modulus reaksi tanah dasar vertikal) sebesar 4,75 Kg/cm³.

4.4.1.3 Modulus Elastisitas Tanah (Es)

Nilai modulus elastisitas tanah dapat diukur dari korelasi antara modulus resilient tanah dasar dengan CBR yaitu sebagai berikut :

$$\text{MR tanah dasar (MPa)} = 10 \times \text{CBR}(\%) = 10 \times 6,869 = 68,69 \text{ MPa.}$$

Sehingga besarnya nilai modulus elastisitas tanahnya adalah 68,69 MPa atau setara dengan $68,69/0,084 = 817,74 \text{ kg/cm}^2$

4.4.1.4 Angka Poisson's Ratio (u)

Menurut Bowles (1998), besarnya nilai Poisson's Ratio (u) berdasarkan jenis tanahnya disajikan pada Tabel. 4.8Jangkauan Nilai Banding Poisson Ratio sebagai berikut :

Tabel. 4.8 Jangkauan Nilai Banding *Poisson's Ratio*

Jenis Tanah	ν
Lempung Jenuh	0,40-0,50
Lempung Tak Jenuh	0,10-0,30
Lempung Berpasir	0,2-0,30
Lanau	0,30-0,35
Pasir (padat) Pasir berkerikil	0,10-1,00
Biasa dipakai	0,30-0,40
Batuan	0,10-0,40
Tanah Lulur	0,10-0,30
E_s	0,36
Beton	0,15

Sumber : Bowles, 1998.

Dari data karakteristik tanah ruas jalan Paron Ngawi diketahui bahwa jenis tanah dasarnya berupa Lempung organik. Sehingga nilai ν berdasarkan pada tabel diatas terletak pada *range* nilai 0,40-0,50. Untuk analisis struktur perkerasan ditentukan besarnya nilai ν diambil rata-rata sebesar 0,45.

4.4.1.5 Daya Dukung Tanah Ultimit (q_u)

Daya dukung tanah ultimate dapat dihitung berdasarkan rumus pendekatan yang diberikan oleh J.E. Bowles dengan rumus sebagai berikut :

Dari data K_s diketahui bahwa nilai K_s adalah 4,75 kg/cm³, sehingga nilai daya dukung tanahnya dapat dihitung sebagai berikut :

$$K_s = 40 \times q_u$$

$$q_u = K_s / 40$$

$$= 4,75 / 40$$

$$= 0,119 \text{ kg/cm}^2$$

Dari perhitungan diatas diketahui bahwa besarnya Daya Dukung Tanah 0,119 kg/cm²

4.4.1.6 Lendutan Ijin (δ)

Lendutan maksimal yang diijinkan terjadi pada struktur perkerasan yang berada diatas subgrade dapat dihitung dengan rumus :

Dari data K_s diketahui bahwa nilai q_u adalah 0,119 kg/cm² dan K_s adalah 4,75 kg/cm³, sehingga nilai lendutan yang diijinkan terjadi adalah :

$$\delta = q_u / K_s = 0,119 / 4,75 = 0,025 \text{ cm}$$

Jadi lendutan yang diijinkan terjadi pada struktur perkerasan yang terletak diatas tanah dasar adalah maksimal 0,025 cm. Dari uraian di atas dapat disimpulkan pada **Tabel. 4.9** Hasil Uji properties tanah dasar adalah sebagai berikut:

Tabel. 4.9 Hasil Uji properties tanah dasar

Data	Hasil Uji
Berat Jenis	$2,66 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^3$
Modulus Elastisitas	$817,74 \text{ kg/cm}^3$
Poisson Ratio	0,45
Koefisien Ekspansi Thermal	$9,9 \times 10^{-6} \text{ kg/c-GTRR55m}^2$
Modulus Geser	$E/ 2(1+\nu) = 281,979 \text{ kg/cm}^2$

4.4.2 Parameter Analisis Struktur Perkerasan Kaku

Untuk perkerasan kaku di buat model perkerasan berbentuk kubus yang berukuran $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}$ dan diuji di Laboratorium Struktur Jurusan Teknik Sipil, Universitas Brawijaya. Pengujian pada beton dilakukan dengan usia beton 28 hari. Dari pengujian tersebut didapatkan:

1. Berat Beton = $264 \text{ gr} = 0,264 \text{ kg}$
2. Volume Beton = $5 \times 5 \times 5 = 125 \text{ cm}^3$
3. Luas Permukaan = $5 \times 5 = 25 \text{ cm}^2$

4.4.2.1 Berat Jenis Struktur Perkerasan.

Berat Jenis suatu material didapat dengan cara mengukur langsung benda tersebut. Untuk menghitung berat jenis digunakan rumus:

$$\begin{aligned} B_j &= \text{Berat/ Volume} \\ &= 0,264/ 125 \\ &= 2,112 \times 10^{-3} \text{ kg} \end{aligned}$$

4.4.2.2 Modulus Elastisitas E.

Pada tahun 1676 Robert Hooke menyatakan bahwa semakin besar nilai tegangan suatu benda maka akan semakin besar juga nilai tekanannya karena tegangan dan tekanan itu berbanding lurus, pernyataan Hooke itu sekarang dikenal dengan sebutan Hukum Hooke (*Hooke's Law*) [2, hal 92]. Secara matematik, pernyataan Hooke tersebut dapat ditulis sebagai berikut:

$$\sigma = E \cdot \epsilon$$

dimana: σ = Nilai tegangan (Pa)
 E = Modulus Elastisitas (Pa)
 ϵ = Nilai Regangan (mm/mm)

Pada umumnya elemen struktur didesain agar deformasinya kecil, dan hanya bergerak pada daerah garis lurus pada diagram σ . Pada daerah ini, tegangan berbanding lurus dengan regangan $\sigma = E \cdot \epsilon$. Persamaan ini disebut : hukum Hook. (Robert Hook, 1635-1703). Koefisien E disebut modulus elastisitas disebut juga modulus Young (Thomas Young, 1773 – 1829). Karena tanpa satuan, maka satuan E sama dengan satuan σ . Kekuatan suatu material dipengaruhi oleh paduannya, perlakuan panas, dan proses manufacturing, tetapi modulus elastisitas material selalu tetap. Modulus elastisitas atau modulus young atau young's modulus (E) menyatakan kekakuan (stiffness) bahan.

Dalam pengujian beton ini Modulus Elastisitas dihitung dengan menggunakan rumus:

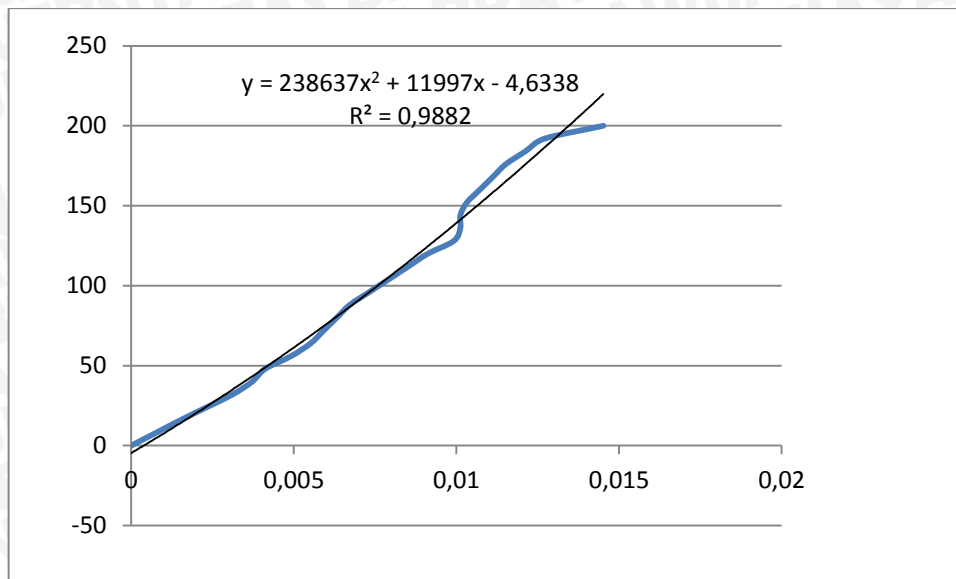
$$E = \Delta f'_c / \Delta \epsilon$$

Dimana: f'_c = Mutu beton
 ϵ = Regangan

contoh perhitungan:

$$\begin{aligned} \rightarrow f'_c &= P / A \\ &= 50 \text{ kN} / 25 \text{ cm}^2 \\ &= 2 \text{ kN/cm}^2 \\ &= 200 \text{ kg/cm}^2 \\ \epsilon &= \Delta L / L \\ &= (5 - 0,0169) / 0,0169 \\ &= 294,858 \end{aligned}$$

Dari penelitian yang dilakukan di Laboratorium Struktur Universitas Brawijaya didapatkan Grafik hubungan antara f'_c dan ϵ seperti pada **Gambar 4.11** Grafik hubungan antara f'_c dan ϵ dibawah ini.



Gambar 4.10 Grafik hubungan antara f'_c dan ϵ

Dari grafik hubungan antara f'_c dan ϵ di dapatkan Elastisitas Perkerasan di hitung elastisitas perkerasan dengan cara interpolasi, yaitu mengambil persamaan interpolasi yang didapatkan dari $0,05 f'_c$ dan $0,33 f'_c$.

$$\begin{aligned} 0,05 f'_c &= 0,05 \times 200 = 10 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 10 \text{ kg/cm}^2 \times 25 \text{ cm}^2 \\ &= 250 \text{ kg} = 2,5 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,33 f'_c &= 0,33 \times 200 = 66 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 66 \text{ kg/cm}^2 \times 25 \text{ cm}^2 \\ &= 1650 \text{ kg} = 16,5 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dari Grafik didapatkan

Jika Gaya (P) = 2,5 kN maka $f'_c = 16$ dan $\epsilon = 0,00152$

Jika Gaya (P) = 16,5 kN maka $f'_c = 64$ dan $\epsilon = 0,00552$

Sehingga jika di interpolasi,

$$\begin{aligned} E &= (64-16)/(0,00552-0,00152) \\ &= 12000 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

4.4.2.3 Poisson's Ratio.

Nilai poisson's Ratio perkerasan kaku dapat dilihat pada **Tabel 4.10** Nilai Poisson's Ratio material dibawah ini:

Tabel 4.10 Nilai Poisson's Ratio material

material	poisson's ratio
rubber	~ 0.50
gold	0.42
saturated clay	0.40–0.50
magnesium	0.35
titanium	0.34
copper	0.33
aluminium-alloy	0.33
clay	0.30–0.45
stainless steel	0.30–0.31
steel	0.27–0.30
cast iron	0.21–0.26
sand	0.20–0.45
concrete	0.20
glass	0.18–0.3
foam	0.10–0.40
cork	~ 0.00
auxetics	negative

Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa nilai poisson's ratio untuk perkerasan beton adalah 0,2.

Dari uraian di atas dapat disimpulkan pada **Tabel 4.11** Hasil Uji properties perkerasan kaku adalah sebagai berikut:

Tabel 4.11 Hasil Uji properties perkerasan kaku

Data	Hasil Uji
Berat Jenis	$2,112 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^3$
Modulus Elastisitas	12000 kg/cm^2
Poisson Ratio	0,2
Koefisien Ekspansi Thermal	$9,9 \times 10^{-6} \text{ kg/cm}^2$
Modulus Geser	$E/2(1+\nu) = 4975 \text{ kg/cm}^2$

4.4.3 Data Umum Analisis Struktur dengan Program SAP-2000

Analisis struktur dengan program SAP-2000 dapat dipakai untuk menganalisis struktur perkerasan jalan diatas tanah ekspansif. Program SAP-2000 dapat menghitung besaran tegangan dan lendutan yang terjadi pada struktur perkerasan jalan diatas tanah ekspansif akibat beban yang bekerja diatas struktur perkerasan. Hasil keluaran analisis SAP-2000 dapat dipakai sebagai dasar untuk menentukan kelayakan dari desain struktur perkerasan berdasarkan nilai-nilai tegangan dan lendutan yang dihasilkan dari suatu struktur perkerasan. Data-data umum mengenai analisis struktur dengan SAP-2000 selengkapnya dapat dilihat pada **Tabel 4.12** Data Umum Analisis Struktur Program SAP-2000 di bawah ini:

Tabel 4.12 Data Umum Analisis Struktur Program SAP-2000

No	Keterangan	Program SAP-2000
1	Data masukan	a. Berat jenis struktur
		b. Massa jenis struktur
		c. Modulus Elastisitas
		d. Poisson's Ratio
		e. Koefisien Ekspansi Termal
		f. Modulus Geser
		g. Dimensi Struktur
		h. Pembebanan
2	Pemodelan Struktur	Pemodelan 2 dimensi
3	Data Keluaran	a. Momen
		b. Tegangan
		c. Lendutan

Berdasarkan **Tabel 4.12** diketahui bahwa untuk analisis program yang menggunakan SAP-2000 diperlukan data masukan mengenai material struktur. Hal itu menunjukkan bahwa analisis struktur dengan SAP-2000 mengakomodasi tentang besaran fisik material struktur. Data keluaran yang dihasilkan dari program SAP-2000 tidak hanya menghitung besaran momen saja namun juga menghasilkan besaran-besaran tegangan, lendutan, dan gambaran mengenai bentuk deformasi struktur. Hal itu

menunjukkan bahwa analisis struktur dengan SAP-2000 akan memberikan hasil keluaran yang lengkap mengenai perilaku struktur yang dianalisis.

4.5 Analisis Struktur Perkerasan kaku di atas tanah Ekspansif dengan SAP-2000

a. Data property material Beton

Data-data yang diperlukan untuk analisis desain struktur perkerasan kaku diatas tanah ekspansif pada lapisan perkerasan beton adalah:

1. Berat jenis $= 2,112 \times 10^{-3} \text{ Kg/cm}^3$
2. Modulus Elastisitas $= 12000 \text{ Kg/cm}^2$
3. Angka *Poisson's Ratio* $= 0,2$
4. Modulus Geser $= 5000 \text{ Kg/cm}^2$
5. Koefisien *Thermal expansion* $= 9,9 \times 10^{-6} \text{ Kg/cm}^2$

b. Data property material Tanah Dasar

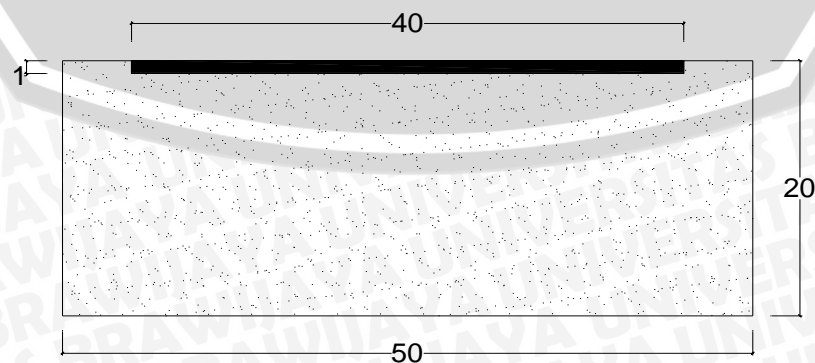
Data-data yang diperlukan untuk analisis desain struktur perkerasan kaku diatas tanah ekspansif pada lapisan tanah dasar adalah:

1. Berat jenis $= 2,66 \times 10^{-3} \text{ Kg/cm}^3$
2. Modulus Elastisitas $= 817,74 \text{ Kg/cm}^2$
3. Angka *Poisson's Ratio* $= 0,45$
4. Modulus Geser $= 281,979 \text{ Kg/cm}^2$
5. Koefisien *Thermal expansion* $= 1,17 \times 10^{-5} \text{ Kg/cm}^2$

c. Pemodelan Desain

Data dimensi desain struktur lapisan beton

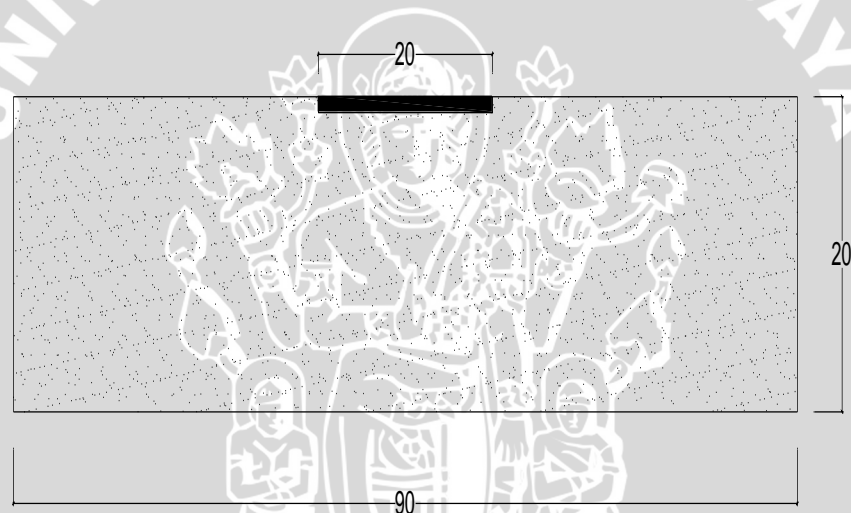
1. Model 1 (Potongan Melintang)



Gambar 4.11 Potongan Melintang Pemodelan pada Box

- Panjang total tanah dan perkerasan = 50 cm
 - Panjang Perkerasan Beton = 40 cm
 - Tebal Perkerasan Beton = 1 cm
 - Pajang Lapisan tanah = 50 cm
 - Tebal lapisan Tanah = 20 cm
 - Modulus Reaksi Tanah Dasar = 4,75 Kg/cm³
 - Pembebanan =
1. Awal (tepi kiri) perkerasan
 2. Tengah perkerasan
 3. Akhir (tepi kanan) perkerasan

2. Model (Potongan Memanjang)

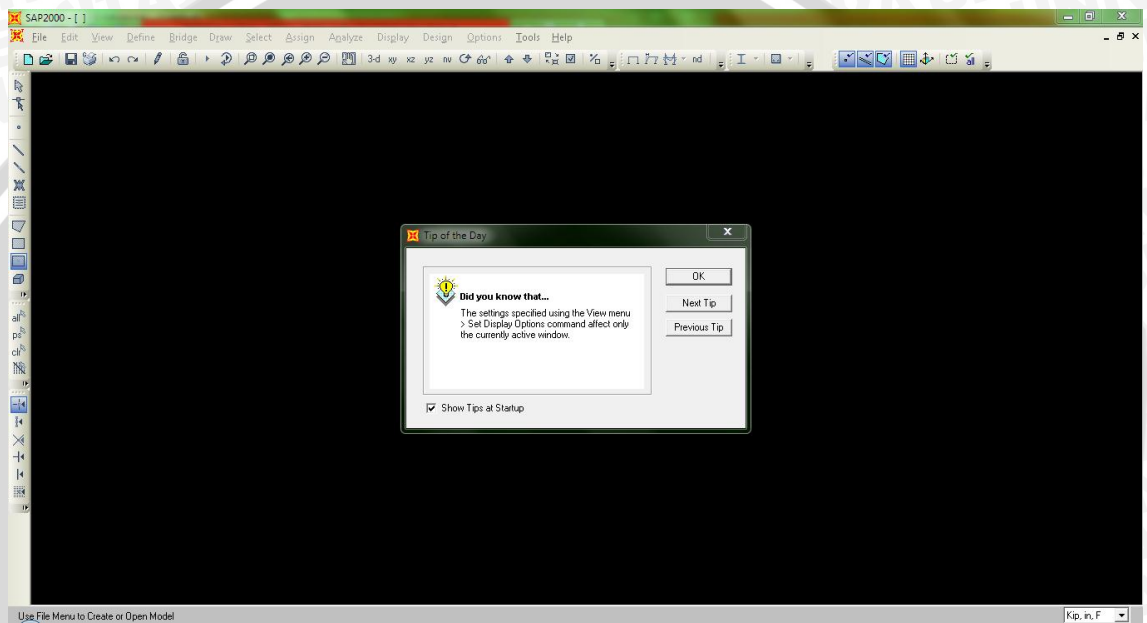


Gambar 4.12 Potongan Memanjang Pemodelan pada Box

- Panjang total tanah dan perkerasan = 90 cm
- Panjang Perkerasan Beton = 20 cm
- Tebal Perkerasan Beton = 1 cm
- Pajang Lapisan tanah = 90 cm
- Tebal lapisan Tanah = 20 cm
- Modulus Reaksi Tanah Dasar = 4,75 Kg/cm³
- Pembebanan = di tengah perkerasan

Untuk pembebanan pada pemodelan di gunakan beban vertical 3,75 Kg yang sudah diskala. Berat beban vertical tersebut berangkatdari penelitian yang dilakukan oleh Winda Sekar Putri,2012.

Sebelum memulai analisis pemodelan desain perkerasan kaku diatas tanah ekspansif, langkah-langkah yang dilakukan terlebih dahulu adalah mempersiapkan program SAP2000 pada computer. Kemudian pilih program SAP2000 pada desktop , dan selanjutnya SAP2000 akan menampilkan jendela SAP2000 seperti dibawah ini.



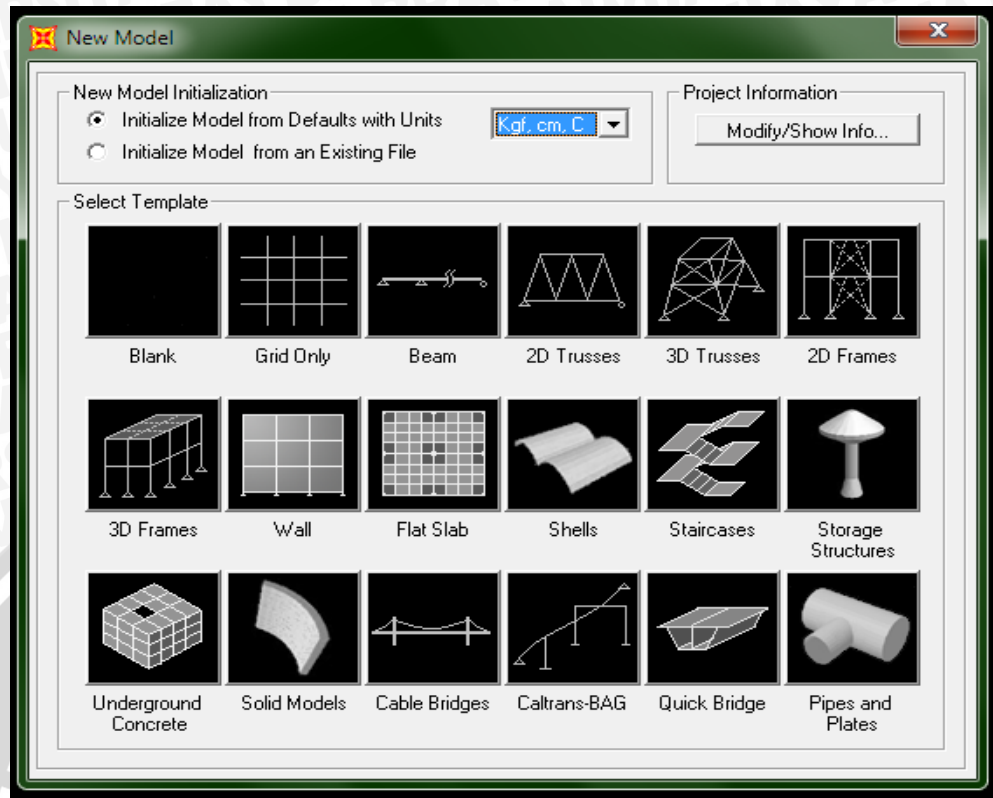
Gambar 4.13 Potongan Melintang Pemodelan pada Box

4.5.1 Input Model

Sebelum melakukan input model yang harus dilakukan adalah menganalisis secara manual data-data yang didapatkan dari hasil uji di laboratorium.

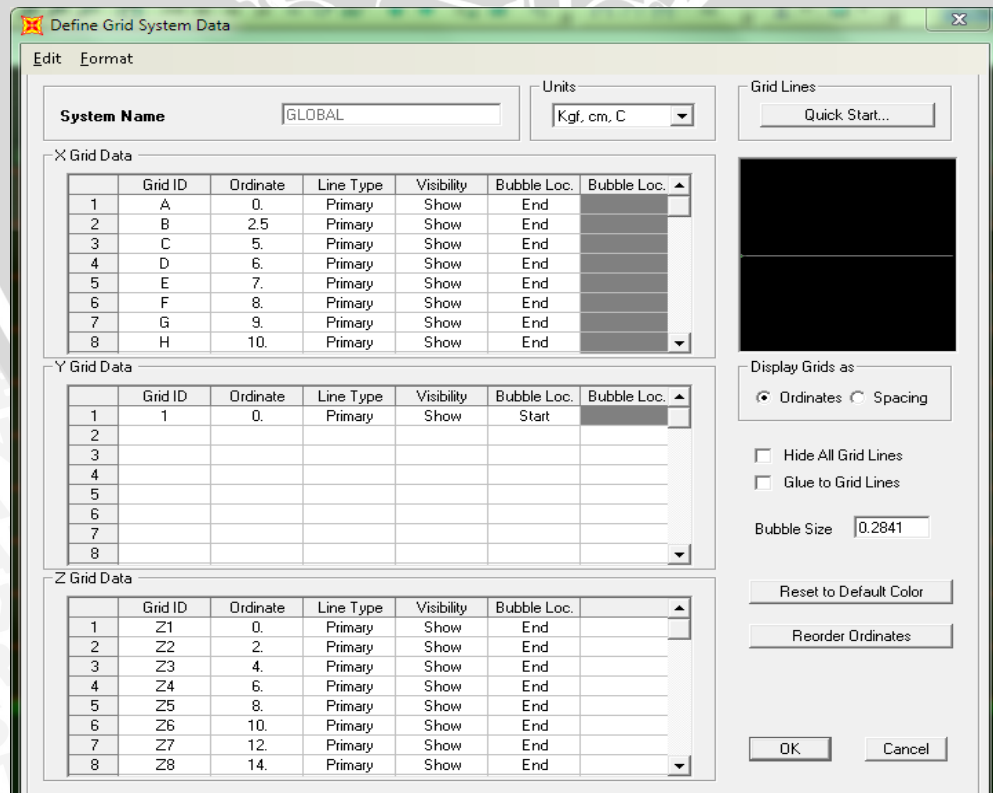
a. Memulai Membuat file baru

Dalam pembuatan file baru di program SAP2000, penyusun menggunakan satuan Kgf, cm, C dan *wall* sebagai pemodelannya.



Gambar 4.14 Menentukan satuan dan model

Setelah menentukan model template dan satuan, langkah berikutnya adalah menentukan jumlah spasi antar grid di arah sumbu X dan Z untuk mempermudah menggambar model struktur.



Gambar 4.15 Menentukan Grid

b. Mendefinisikan Tipe Bahan

Sebelum mendefinisikan tipe bahan pastikan tampilan sudah pada bidang XZ (2 dimensi). tipe bahan/material yang dipilih untuk tanah yaitu tipe *other*, dan untuk material perkerasan kaku adalah tipe *concrete*. Data yang akan dimasukkan ke *material property data* yaitu hasil dari analisis laboratorium yang telah dilakukan.

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: PERKERASAN KAKU

Material Type: Concrete

Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 2.112E-03

Mass per Unit Volume: 2.154E-06

Units: Kgf, cm, C

Isotropic Property Data

Modulus of Elasticity, E: 11940.

Poisson's Ratio, U: 0.2

Coefficient of Thermal Expansion, A: 9.900E-06

Shear Modulus, G: 4975.

Other Properties for Concrete Materials

Specified Concrete Compressive Strength, f'c: 281.2279

Lightweight Concrete

Shear Strength Reduction Factor: [Empty Field]

Switch To Advanced Property Display

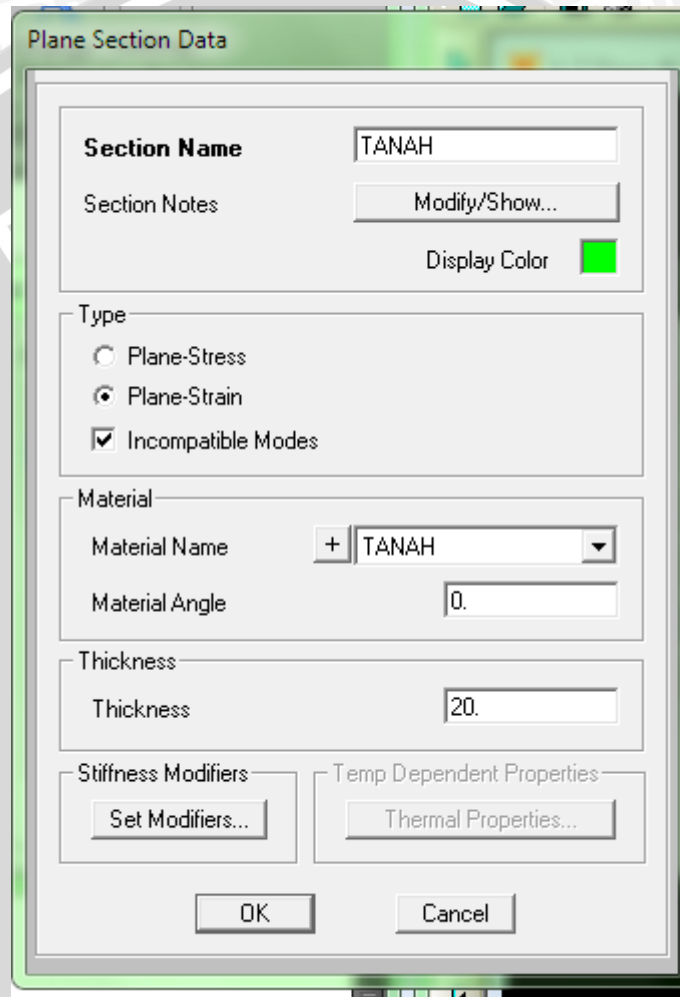
OK Cancel

Gambar 4.16 Material Properti Data

Untuk menentukan property data tanah yang lebih rinci (untuk mengisi nilai massa jenis tanah) maka klik pada *Switch To Advanced Property display*


c. Mendefinisikan Penampang Elemen Struktur

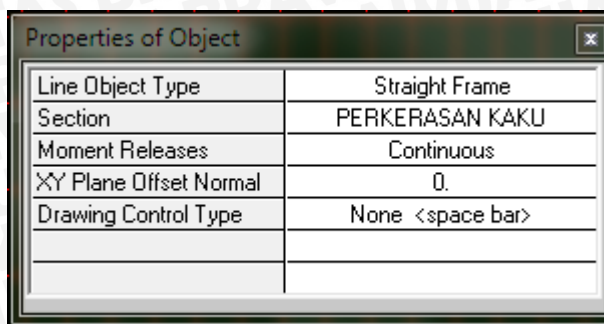
Di dalam mendefinisikan elemen struktur penulis menggunakan plane-strain sebagai tipenya dan jarak antar grid minimal 1 cm dan maksimal 2.5 cm. adapun cara memasukkan data seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 4.17 Plane section data

d. Menggambar Model Struktur

Menggambar model struktur harus sama seperti yang telah dimodelkan di laboratorium, yaitu model yang telah diskala 1:20. Langkah awal yang dilakukan adalah dengan memilih toolbar  atau dengan memilih *Drew > Drew poly area*. Kemudian sesuaikan dengan pola yang sudah dibentuk dari awal. klik tombol esc setelah selesai menggambar.



Gambar 4.18 Menggambar model struktur

e. Menentukan Tumpuan pada Model

Tumpuan adalah tempat bersandarnya konstruksi dan tempat bekerjanya reaksi. Jenis tumpuan berpengaruh terhadap jenis konstruksi, sebab setiap jenis tumpuan mempunyai karakteristik sendiri. Dalam pembahasan ini penyusun menentukan tumpuan jepit untuk bagian atau tepi bawah desain, dan tumpuan rol untuk bagian sisi tepi kanan dan kiri desain. Adapun cara untuk memasukkan tumpuan dalam SAP2000 yaitu klik pada semua joint yang akan diberi tumpuan lalu pilih *assign > joint > restraints*, lalu pilih tumpuan yang akan digunakan, seperti pada **Gambar 4.19** *Joint Restraints*.

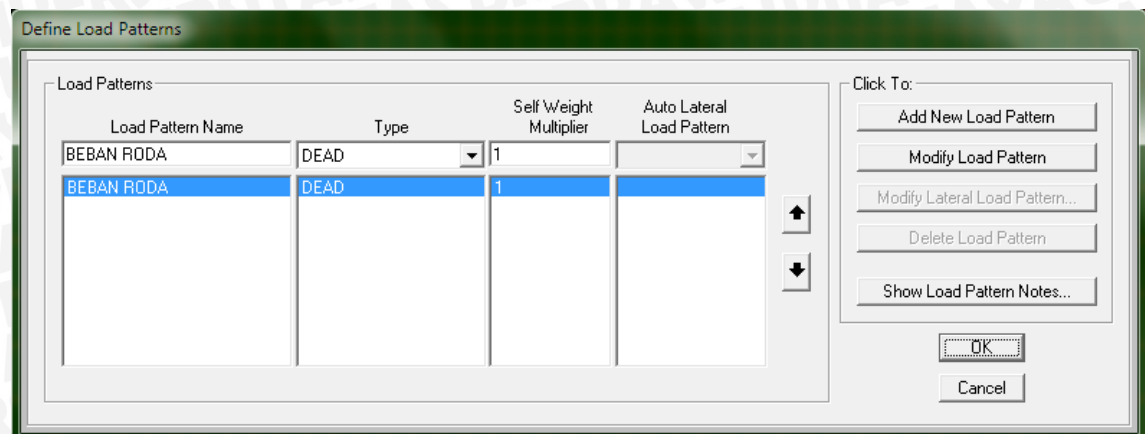


Gambar 4.19 *Joint Restraints*

f. Mendefinisikan tipe beban

Mendefinisikan tipe beban untuk analisis desain ini pada SAP2000 sangatlah penting untuk proses selanjutnya. Cara mendefinisikan tipe beban pertama kali dengan cara klik *define > load case* kemudian isikan load name dan type

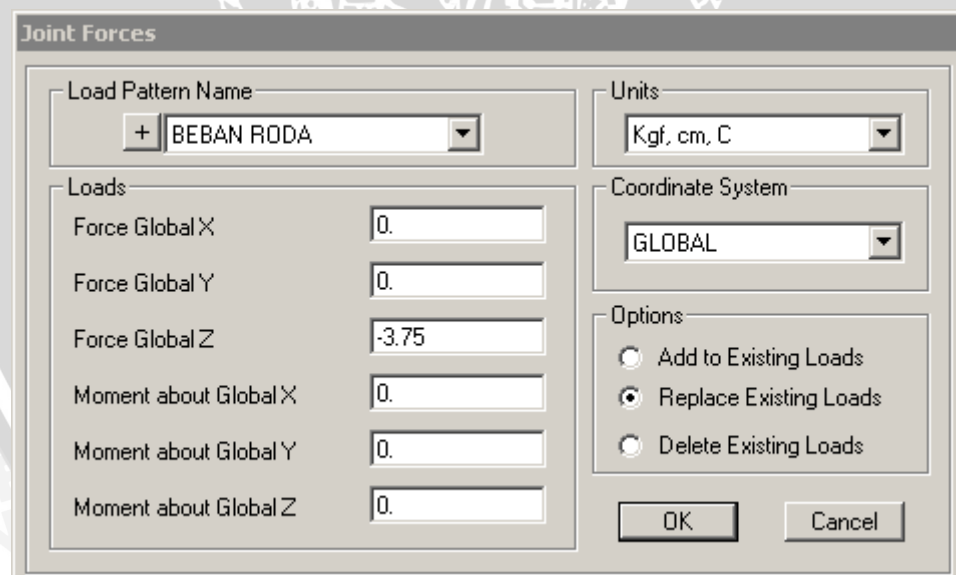
seperti pada **Gambar 4.20** Mendefinisikan tipe bahan.



Gambar 4.20 Mendefinisikan tipe bahan

- g. Mendefinisikan pola pembebanan

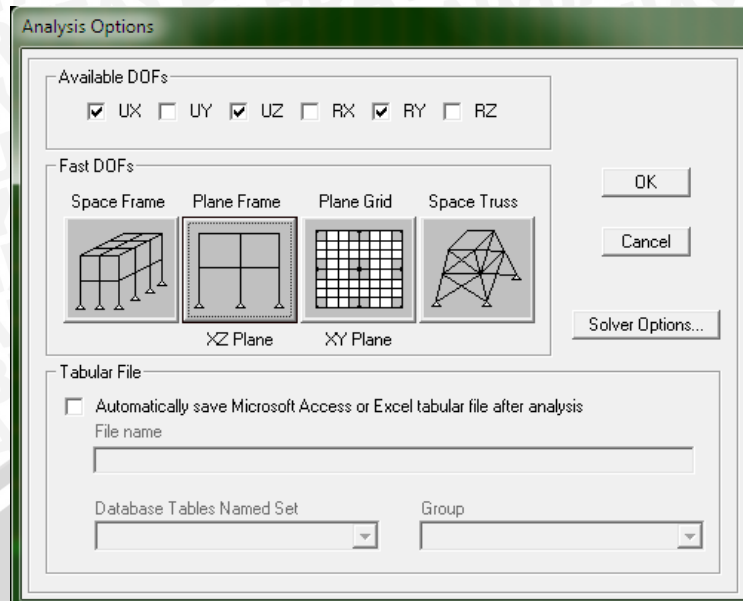
Cara mendefinisikan pola pembebanan yaitu pilih menu *Define > Join pattern*. Pada kotak dialog muncul ubah nama pada isian lalu klik change pattern name. Kemudian pilih join yang akan di bebani, setelah itu *klik assign > join patterns* lalu pada kotak dialog isikan sesuai dengan beban yang direncanakan, seperti pada **Gambar 4.21 Joint Forces**.



Gambar 4.21 Joint Forces

- h. Menentukan tipe analisis (Plane Strain 2D)

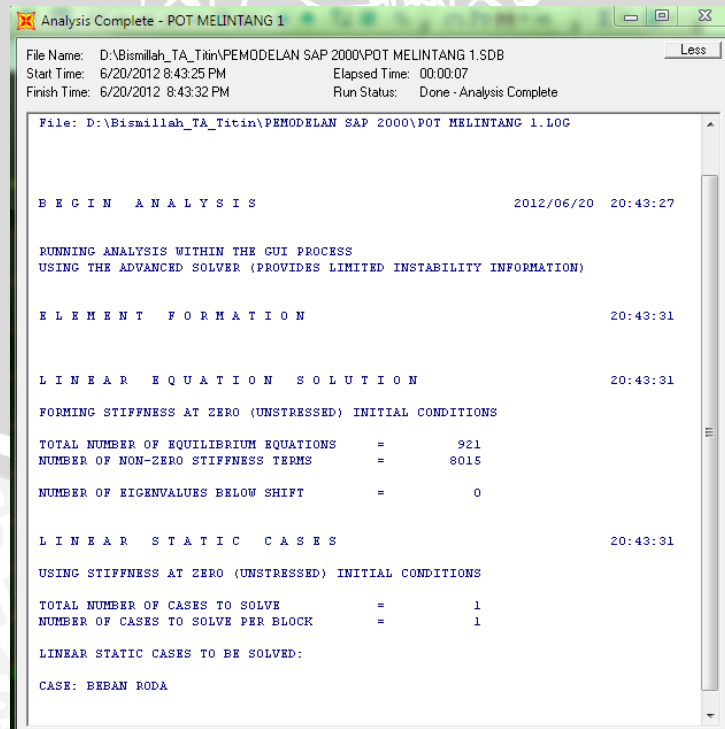
Pada tahap menentukan tipe analisis penulis menggunakan Plane Strain-2d untuk menganalisis desain perkerasan kaku pada tanah ekspansif. Pilih menu *Analysis > set analysis Options* setelah muncul dialog box pilih *Plane Frame (XZ Plane)* seperti pada **Gambar 4.22** Menentukan Tipe Analisis.



Gambar 4.22 Menentukan Tipe Analisis

i. Melakukan Analisis

Pilih menu *Analysis > Run Analysis* setelah muncul dialog box pada set *Set Analysis Cases to Run* pilih MODAL pada *Case Name* kemudian klik tombol *Run/Do Not Run Case* lalu klik *Run Now*. Setelah mengklik *run now* akan muncul seperti pada **Gambar 4.23** Analisis Data.



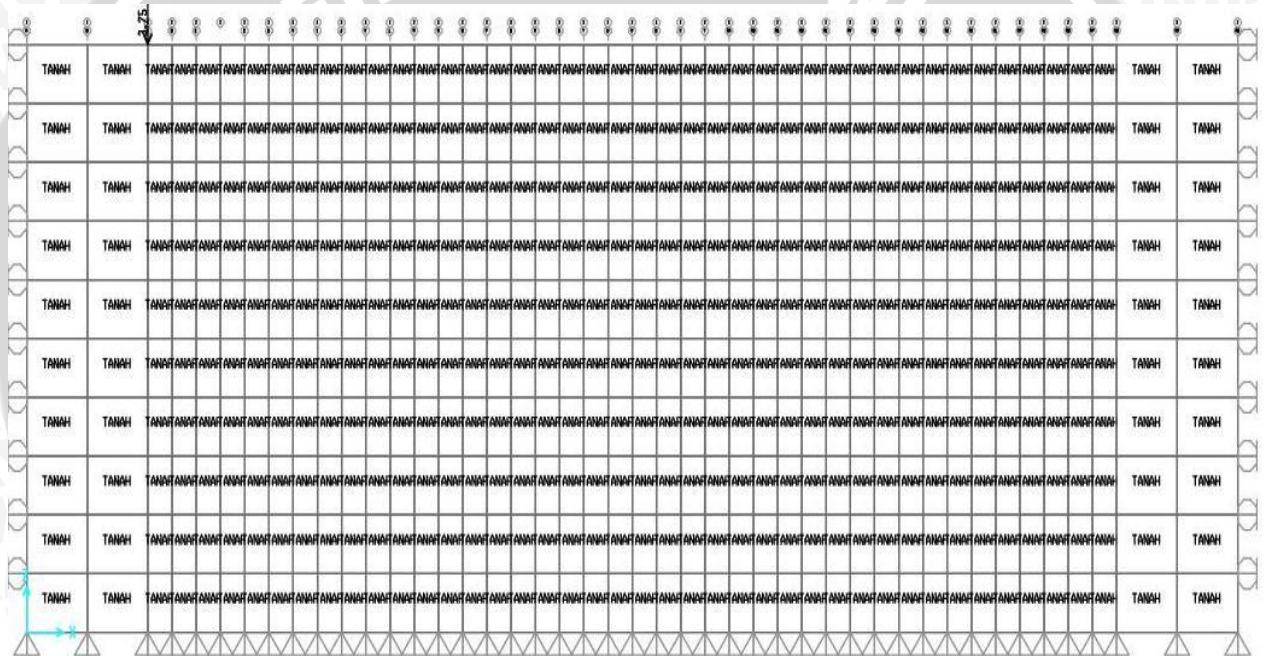
Gambar 4.23 Analisis Data

4.5.1 Output Model

Data output merupakan data hasil running analisis dari hasil input data-data yang telah kita masukan.

4.5.1.1 Hasil dan Evaluasi Analisis Desain Pemodelan Perkerasan Kaku diatas tanah Ekspansif pada SAP2000

Setelah di gambar pada SAP2000 didapatkan model perkerasan kaku diatas tanah ekspansif yang dipotong secara melintang seperti pada **Gambar 4.24** Pemodelan Potongan Melintang Beban Awal pada SAP 2000. Untuk lebih jelasnya detail pemodelan potongan melintang dan potongan memanjang dapat dilihat pada **Lampiran 1** dan **Lampiran 2**.



Gambar 4.24 Pemodelan Potongan Melintang Beban Awal pada SAP 2000

Setelah Analisis dijalankan (*Run Analysis*) pada potongan melintang yang di bebani di awal (tepi kiri) muncul dialog box seperti **Gambar 4.25** hasil analisis potongan melintang beban awal (tepi kiri) perkerasan

```

Analysis Complete - POT MELINTANG 1
File Name: D:\Bismillah_TA_Titin\PEMODELAN SAP 2000\POT MELINTANG 1.SDB
Start Time: 6/20/2012 8:43:25 PM Elapsed Time: 00:00:07
Finish Time: 6/20/2012 8:43:32 PM Run Status: Done - Analysis Complete

SAP2000 v14.2.2 Advanced (Analysis Build 8851/32)
File: D:\Bismillah_TA_Titin\PEMODELAN SAP 2000\POT MELINTANG 1.LOG

B E G I N   A N A L Y S I S                               2012/06/20  20:43:27

RUNNING ANALYSIS WITHIN THE GUI PROCESS
USING THE ADVANCED SOLVER (PROVIDES LIMITED INSTABILITY INFORMATION)

E L E M E N T   F O R M A T I O N                               20:43:31

L I N E A R   E Q U A T I O N   S O L U T I O N                 20:43:31

FORMING STIFFNESS AT ZERO (UNSTRESSED) INITIAL CONDITIONS

TOTAL NUMBER OF EQUILIBRIUM EQUATIONS      =          921
NUMBER OF NON-ZERO STIFFNESS TERMS        =          8015

NUMBER OF EIGENVALUES BELOW SHIFT         =              0

L I N E A R   S T A T I C   C A S E S                         20:43:31

USING STIFFNESS AT ZERO (UNSTRESSED) INITIAL CONDITIONS

TOTAL NUMBER OF CASES TO SOLVE             =              1
NUMBER OF CASES TO SOLVE PER BLOCK        =              1

LINEAR STATIC CASES TO BE SOLVED:

CASE: BEBAN RODA

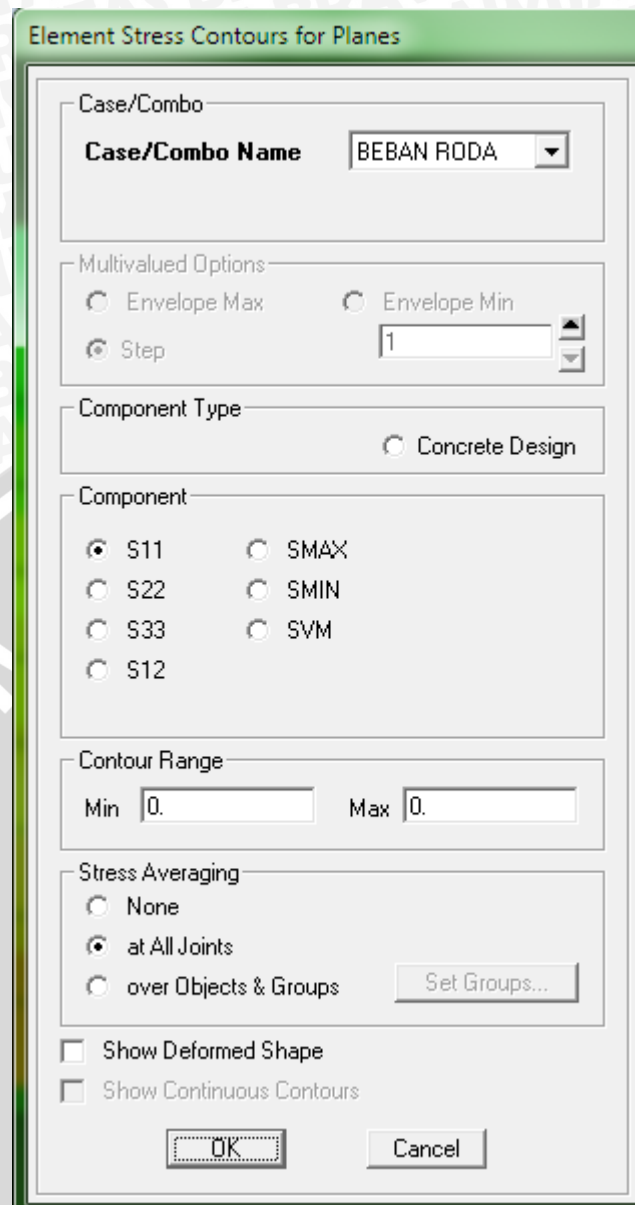
.....
A N A L Y S I S   C O M P L E T E                               2012/06/20  20:43:31

```

Gambar 4.25 Hasil analisis potongan melintang beban awal (tepi kiri) perkerasan.

Untuk menampilkan gaya/ tegangan yang terjadi pada desain pilih menu *display* > *show forces* > *planes*. Berikutnya pilih tipe tegangan yang akan dilihat seperti pada

Gambar 4.26 Menampilkan Gaya dan Tegangan:



Gambar 4.26 Menampilkan Gaya dan Tegangan.

Berikutnya pilih tegangan yang akan dilihat pada component S11 (tegangan pada arah X), S22 (tegangan pada arah Y), S33 (tegangan pada arah Z), S12 (tegangan geser yang dikarenakan beban sendiri). Untuk pemodelan ini yang dipilih adalah S33 yang menunjukkan tegangan pada arah Z (vertical).

1. Momen

- Potongan Melintang Beban Awal (Tepi Kiri Perkerasan)

Untuk analisis momen perkerasan kaku pada tanah ekspansif yang di bebani di awal perkerasan, nilai momen yang terjadi pada perkerasan dapat

dilihat pada **Tabel 4.13**. Detail pemodelan perkerasan kaku pada tanah ekspansif dapat dilihat pada **Lampiran 1**.

Tabel 4.13 Nilai Momen Potongan Melintang Beban Tepi Kiri Perkerasan

TABLE: Element Forces – Frames							
Frame	Station	P	M3	FrameElem	Y	I	Tegangan
Text	cm	Kgf	Kgf-cm	Text	cm	cm4	Kg/cm2
1	0	0.15	-4E-15	1-1	0.5	3.333	0.000
1	1	0.15	-0.89	1-1	0.5	3.333	-0.134
1	1	-0.08	-0.89	1-2	0.5	3.333	-0.134
1	2	-0.08	-0.93	1-2	0.5	3.333	-0.140
1	2	0.048	-0.93	1-3	0.5	3.333	-0.140
1	3	0.048	-0.76	1-3	0.5	3.333	-0.114
1	3	0.087	-0.76	1-4	0.5	3.333	-0.114
1	4	0.087	-0.55	1-4	0.5	3.333	-0.083
1	4	0.14	-0.55	1-5	0.5	3.333	-0.083
1	5	0.14	-0.38	1-5	0.5	3.333	-0.057
1	5	0.16	-0.38	1-6	0.5	3.333	-0.057
1	6	0.16	-0.25	1-6	0.5	3.333	-0.038
1	6	0.17	-0.25	1-7	0.5	3.333	-0.038
1	7	0.17	-0.17	1-7	0.5	3.333	-0.026
1	7	0.17	-0.17	1-8	0.5	3.333	-0.026
1	8	0.17	-0.12	1-8	0.5	3.333	-0.018
1	8	0.16	-0.12	1-9	0.5	3.333	-0.018
1	9	0.16	-0.0858	1-9	0.5	3.333	-0.013
1	9	0.15	-0.0858	1-10	0.5	3.333	-0.013
1	10	0.15	-0.0662	1-10	0.5	3.333	-0.010
1	10	0.13	-0.0662	1-11	0.5	3.333	-0.010
1	11	0.13	-0.054	1-11	0.5	3.333	-0.008
1	11	0.12	-0.054	1-12	0.5	3.333	-0.008
1	12	0.12	-0.0457	1-12	0.5	3.333	-0.007
1	12	0.097	-0.0457	1-13	0.5	3.333	-0.007
1	13	0.097	-0.0396	1-13	0.5	3.333	-0.006
1	13	0.077	-0.0396	1-14	0.5	3.333	-0.006
1	14	0.077	-0.0347	1-14	0.5	3.333	-0.005
1	14	0.057	-0.0347	1-15	0.5	3.333	-0.005
1	15	0.057	-0.0305	1-15	0.5	3.333	-0.005
1	15	0.036	-0.0305	1-16	0.5	3.333	-0.005
1	16	0.036	-0.0267	1-16	0.5	3.333	-0.004
1	16	0.015	-0.0267	1-17	0.5	3.333	-0.004
1	17	0.015	-0.0234	1-17	0.5	3.333	-0.004

Tabel 4.13 Nilai Momen Potongan Melintang Beban Tepi Kiri
Perkerasan (lanjutan)

TABLE: Element Forces – Frames							
Frame	Station	P	M3	FrameElem	Y	I	Tegangan
Text	cm	Kgf	Kgf-cm	Text	cm	cm4	Kg/cm2
1	17	-0.01	-0.0234	1-18	0.5	3.333	-0.004
1	18	-0.01	-0.0203	1-18	0.5	3.333	-0.003
1	18	-0.03	-0.0203	1-19	0.5	3.333	-0.003
1	19	-0.03	-0.0175	1-19	0.5	3.333	-0.003
1	19	-0.05	-0.0175	1-20	0.5	3.333	-0.003
1	20	-0.05	-0.0151	1-20	0.5	3.333	-0.002
1	20	-0.07	-0.0151	1-21	0.5	3.333	-0.002
1	21	-0.07	-0.0128	1-21	0.5	3.333	-0.002
1	21	-0.08	-0.0128	1-22	0.5	3.333	-0.002
1	22	-0.08	-0.0108	1-22	0.5	3.333	-0.002
1	22	-0.1	-0.0108	1-23	0.5	3.333	-0.002
1	23	-0.1	-0.009	1-23	0.5	3.333	-0.001
1	23	-0.12	-0.009	1-24	0.5	3.333	-0.001
1	24	-0.12	-0.0074	1-24	0.5	3.333	-0.001
1	24	-0.13	-0.0074	1-25	0.5	3.333	-0.001
1	25	-0.13	-0.0059	1-25	0.5	3.333	-0.001
1	25	-0.14	-0.0059	1-26	0.5	3.333	-0.001
1	26	-0.14	-0.0045	1-26	0.5	3.333	-0.001
1	26	-0.15	-0.0045	1-27	0.5	3.333	-0.001
1	27	-0.15	-0.0032	1-27	0.5	3.333	0.000
1	27	-0.16	-0.0032	1-28	0.5	3.333	0.000
1	28	-0.16	-0.0019	1-28	0.5	3.333	0.000
1	28	-0.17	-0.0019	1-29	0.5	3.333	0.000
1	29	-0.17	-0.0006	1-29	0.5	3.333	0.000
1	29	-0.18	-0.0006	1-30	0.5	3.333	0.000
1	30	-0.18	0.0008	1-30	0.5	3.333	0.000
1	30	-0.19	0.0008	1-31	0.5	3.333	0.000
1	31	-0.19	0.0025	1-31	0.5	3.333	0.000
1	31	-0.19	0.0025	1-32	0.5	3.333	0.000
1	32	-0.19	0.0047	1-32	0.5	3.333	0.001
1	32	-0.19	0.0047	1-33	0.5	3.333	0.001
1	33	-0.19	0.0075	1-33	0.5	3.333	0.001
1	33	-0.19	0.0075	1-34	0.5	3.333	0.001
1	34	-0.19	0.0112	1-34	0.5	3.333	0.002
1	34	-0.19	0.0112	1-35	0.5	3.333	0.002
1	35	-0.19	0.0161	1-35	0.5	3.333	0.002

Tabel 4.13 Nilai Momen Potongan Melintang Beban Tepi Kiri Perkerasan
(lanjutan)

TABLE: Element Forces – Frames							
Frame	Station	P	M3	FrameElem	Y	I	Tegangan
Text	cm	Kgf	Kgf-cm	Text	cm	cm4	Kg/cm2
1	35	-0.18	0.0161	1-36	0.5	3.333	0.002
1	36	-0.18	0.0221	1-36	0.5	3.333	0.003
1	36	-0.17	0.0221	1-37	0.5	3.333	0.003
1	37	-0.17	0.0283	1-37	0.5	3.333	0.004
1	37	-0.16	0.0283	1-38	0.5	3.333	0.004
1	38	-0.16	0.0318	1-38	0.5	3.333	0.005
1	38	-0.13	0.0318	1-39	0.5	3.333	0.005
1	39	-0.13	0.0285	1-39	0.5	3.333	0.004
1	39	-0.12	0.0285	1-40	0.5	3.333	0.004
1	40	-0.12	1E-15	1-40	0.5	3.333	0.000

Dari nilai momen pada setiap titik join pada perkerasan kaku yang dibebani di awal perkerasan menunjukkan nilai tegangan pada perkerasan yang nilainya lebih kecil dari nilai kuat tarik perkerasan (beton) yang nilainya 20 Kg/cm². Sehingga pada perkerasan kaku yang kondisi tanah di bawahnya ekspansif dari daerah paron tidak terjadi keretakan.

- Potongan Melintang Beban ditengah (Tengah Perkerasan)

Untuk analisis momen perkerasan kaku pada tanah ekspansif yang di bebani di awal perkerasan, nilai momen yang terjadi pada perkerasan dapat dilihat pada **Tabel 4.14** Nilai Momen Potongan Melintang Beban Tengah dibawah ini.

Tabel 4.14 Nilai Momen Potongan Melintang Beban Tengah Perkerasan

TABLE: Element Forces – Frames							
Frame	Station	P	M3	FrameElem	Y	I	Tegangan
Text	cm	Kgf	Kgf-cm	Text	cm	cm4	Kg/cm2
1	0	0.00056	0	1-1	0.5	3.333	0.000
1	1	0.00056	0.01853	1-1	0.5	3.333	0.003
1	1	0.003846	0.01853	1-2	0.5	3.333	0.003
1	2	0.003846	0.01898	1-2	0.5	3.333	0.003
1	2	0.01006	0.01898	1-3	0.5	3.333	0.003
1	3	0.01006	0.01138	1-3	0.5	3.333	0.002
1	3	0.01785	0.01138	1-4	0.5	3.333	0.002
1	4	0.01785	0.001362	1-4	0.5	3.333	0.000

Tabel 4.14 Nilai Momen Potongan Melintang Beban Tengah Perkerasan (lanjutan)

TABLE: Element Forces – Frames							
Frame	Station	P	M3	FrameElem	Y	I	Tegangan
Text	cm	Kgf	Kgf-cm	Text	cm	cm ⁴	Kg/cm ²
1	4	0.02736	0.001362	1-5	0.5	3.333	0.000
1	5	0.02736	-0.008816	1-5	0.5	3.333	-0.001
1	5	0.03802	-0.008816	1-6	0.5	3.333	-0.001
1	6	0.03802	-0.01858	1-6	0.5	3.333	-0.003
1	6	0.04939	-0.01858	1-7	0.5	3.333	-0.003
1	7	0.04939	-0.02835	1-7	0.5	3.333	-0.004
1	7	0.06089	-0.02835	1-8	0.5	3.333	-0.004
1	8	0.06089	-0.03912	1-8	0.5	3.333	-0.006
1	8	0.07195	-0.03912	1-9	0.5	3.333	-0.006
1	9	0.07195	-0.05238	1-9	0.5	3.333	-0.008
1	9	0.0819	-0.05238	1-10	0.5	3.333	-0.008
1	10	0.0819	-0.07015	1-10	0.5	3.333	-0.011
1	10	0.08998	-0.07015	1-11	0.5	3.333	-0.011
1	11	0.08998	-0.09496	1-11	0.5	3.333	-0.014
1	11	0.09527	-0.09496	1-12	0.5	3.333	-0.014
1	12	0.09527	-0.13	1-12	0.5	3.333	-0.020
1	12	0.09667	-0.13	1-13	0.5	3.333	-0.020
1	13	0.09667	-0.18	1-13	0.5	3.333	-0.027
1	13	0.09307	-0.18	1-14	0.5	3.333	-0.027
1	14	0.09307	-0.23	1-14	0.5	3.333	-0.035
1	14	0.0832	-0.23	1-15	0.5	3.333	-0.035
1	15	0.0832	-0.29	1-15	0.5	3.333	-0.044
1	15	0.06722	-0.29	1-16	0.5	3.333	-0.044
1	16	0.06722	-0.31	1-16	0.5	3.333	-0.047
1	16	0.04537	-0.31	1-17	0.5	3.333	-0.047
1	17	0.04537	-0.25	1-17	0.5	3.333	-0.038
1	17	0.02609	-0.25	1-18	0.5	3.333	-0.038
1	18	0.02609	0.03034	1-18	0.5	3.333	0.005
1	18	0.01253	0.03034	1-19	0.5	3.333	0.005
1	19	0.01253	0.71	1-19	0.5	3.333	0.107
1	19	0.0531	0.71	1-20	0.5	3.333	0.107
1	20	0.0531	2.1	1-20	0.5	3.333	0.315
1	20	0.0531	2.1	1-21	0.5	3.333	0.315
1	21	0.0531	0.71	1-21	0.5	3.333	0.107
1	21	0.01253	0.71	1-22	0.5	3.333	0.107
1	22	0.01253	0.03034	1-22	0.5	3.333	0.005
1	22	0.02609	0.03034	1-23	0.5	3.333	0.005
1	23	0.02609	-0.25	1-23	0.5	3.333	-0.038
1	23	0.04537	-0.25	1-24	0.5	3.333	-0.038

Tabel 4.14 Nilai Momen Potongan Melintang Beban Tengah Perkerasan (lanjutan)

TABLE: Element Forces – Frames							
Frame	Station	P	M3	FrameElem	Y	I	Tegangan
Text	cm	Kgf	Kgf-cm	Text	cm	cm4	Kg/cm2
1	24	0.04537	-0.31	1-24	0.5	3.333	-0.047
1	24	0.06722	-0.31	1-25	0.5	3.333	-0.047
1	25	0.06722	-0.29	1-25	0.5	3.333	-0.044
1	25	0.0832	-0.29	1-26	0.5	3.333	-0.044
1	26	0.0832	-0.23	1-26	0.5	3.333	-0.035
1	26	0.09307	-0.23	1-27	0.5	3.333	-0.035
1	27	0.09307	-0.18	1-27	0.5	3.333	-0.027
1	27	0.09667	-0.18	1-28	0.5	3.333	-0.027
1	28	0.09667	-0.13	1-28	0.5	3.333	-0.020
1	28	0.09527	-0.13	1-29	0.5	3.333	-0.020
1	29	0.09527	-0.09496	1-29	0.5	3.333	-0.014
1	29	0.08998	-0.09496	1-30	0.5	3.333	-0.014
1	30	0.08998	-0.07015	1-30	0.5	3.333	-0.011
1	30	0.0819	-0.07015	1-31	0.5	3.333	-0.011
1	31	0.0819	-0.05238	1-31	0.5	3.333	-0.008
1	31	0.07195	-0.05238	1-32	0.5	3.333	-0.008
1	32	0.07195	-0.03912	1-32	0.5	3.333	-0.006
1	32	0.06089	-0.03912	1-33	0.5	3.333	-0.006
1	33	0.06089	-0.02835	1-33	0.5	3.333	-0.004
1	33	0.04939	-0.02835	1-34	0.5	3.333	-0.004
1	34	0.04939	-0.01858	1-34	0.5	3.333	-0.003
1	34	0.03802	-0.01858	1-35	0.5	3.333	-0.003
1	35	0.03802	-0.008816	1-35	0.5	3.333	-0.001
1	35	0.02736	-0.008816	1-36	0.5	3.333	-0.001
1	36	0.02736	0.001362	1-36	0.5	3.333	0.000
1	36	0.01785	0.001362	1-37	0.5	3.333	0.000
1	37	0.01785	0.01138	1-37	0.5	3.333	0.002
1	37	0.01006	0.01138	1-38	0.5	3.333	0.002
1	38	0.01006	0.01898	1-38	0.5	3.333	0.003
1	38	0.003846	0.01898	1-39	0.5	3.333	0.003
1	39	0.003846	0.01853	1-39	0.5	3.333	0.003
1	39	0.00056	0.01853	1-40	0.5	3.333	0.003
1	40	0.00056	-2.17E-15	1-40	0.5	3.333	0.000

Dari nilai momen pada setiap titik join pada perkerasan kaku yang dibebani di tengah perkerasan menunjukkan nilai tegangan pada perkerasan yang nilainya lebih kecil dari nilai kuat tarik perkerasan (beton) yang nilainya 20 Kg/cm². Sehingga pada perkerasan kaku yang kondisi tanah di bawahnya ekspansif dari daerah paron tidak terjadi keretakan.

- Potongan Melintang Beban akhir (Tepi kanan Perkerasan)

Untuk analisis momen perkerasan kaku pada tanah ekspansif yang di bebani di akhir perkerasan, nilai momen yang terjadi pada perkerasan dapat dilihat pada **Tabel 4.15** Nilai Momen Potongan Melintang Beban Akhir dibawah ini.

Tabel 4.15 Nilai Momen Potongan Melintang Beban Tepi Kanan Perkerasan

TABLE: Element Forces – Frames							
Frame	Station	P	M3	FrameElem	Y	I	Tegangan
Text	cm	Kgf	Kgf-cm	Text	cm	cm ⁴	Kg/cm ²
1	0	-0.12	0	1-1	0.5	3.333	0
1	1	-0.12	0.0285	1-1	0.5	3.333	0.0043
1	1	-0.13	0.0285	1-2	0.5	3.333	0.0043
1	2	-0.13	0.0318	1-2	0.5	3.333	0.0048
1	2	-0.16	0.0318	1-3	0.5	3.333	0.0048
1	3	-0.16	0.0283	1-3	0.5	3.333	0.0042
1	3	-0.17	0.0283	1-4	0.5	3.333	0.0042
1	4	-0.17	0.0221	1-4	0.5	3.333	0.0033
1	4	-0.18	0.0221	1-5	0.5	3.333	0.0033
1	5	-0.18	0.0161	1-5	0.5	3.333	0.0024
1	5	-0.19	0.0161	1-6	0.5	3.333	0.0024
1	6	-0.19	0.0112	1-6	0.5	3.333	0.0017
1	6	-0.19	0.0112	1-7	0.5	3.333	0.0017
1	7	-0.19	0.0075	1-7	0.5	3.333	0.0011
1	7	-0.19	0.0075	1-8	0.5	3.333	0.0011
1	8	-0.19	0.0047	1-8	0.5	3.333	0.0007
1	8	-0.19	0.0047	1-9	0.5	3.333	0.0007
1	9	-0.19	0.0025	1-9	0.5	3.333	0.0004
1	9	-0.19	0.0025	1-10	0.5	3.333	0.0004
1	10	-0.19	0.0008	1-10	0.5	3.333	0.0001
1	10	-0.18	0.0008	1-11	0.5	3.333	0.0001
1	11	-0.18	-6E-04	1-11	0.5	3.333	-0.0001
1	11	-0.17	-6E-04	1-12	0.5	3.333	-0.0001
1	12	-0.17	-0.002	1-12	0.5	3.333	-0.0003
1	12	-0.16	-0.002	1-13	0.5	3.333	-0.0003
1	13	-0.16	-0.003	1-13	0.5	3.333	-0.0005
1	13	-0.15	-0.003	1-14	0.5	3.333	-0.0005
1	14	-0.15	-0.005	1-14	0.5	3.333	-0.0007
1	14	-0.14	-0.005	1-15	0.5	3.333	-0.0007
1	15	-0.14	-0.006	1-15	0.5	3.333	-0.0009
1	15	-0.13	-0.006	1-16	0.5	3.333	-0.0009

Tabel 4.15 Nilai Momen Potongan Melintang Beban Tepi Kanan Perkerasan
(lanjutan)

TABLE: Element Forces - Frames							
Frame	Station	P	M3	FrameElem	Y	I	Tegangan
Text	cm	Kgf	Kgf-cm	Text	cm	cm4	Kg/cm2
1	16	-0.13	-0.007	1-16	0.5	3.333	-0.0011
1	16	-0.12	-0.007	1-17	0.5	3.333	-0.0011
1	17	-0.12	-0.009	1-17	0.5	3.333	-0.0014
1	17	-0.1	-0.009	1-18	0.5	3.333	-0.0014
1	18	-0.1	-0.011	1-18	0.5	3.333	-0.0016
1	18	-0.083	-0.011	1-19	0.5	3.333	-0.0016
1	19	-0.083	-0.013	1-19	0.5	3.333	-0.0019
1	19	-0.065	-0.013	1-20	0.5	3.333	-0.0019
1	20	-0.065	-0.015	1-20	0.5	3.333	-0.0023
1	20	-0.046	-0.015	1-21	0.5	3.333	-0.0023
1	21	-0.046	-0.018	1-21	0.5	3.333	-0.0026
1	21	-0.027	-0.018	1-22	0.5	3.333	-0.0026
1	22	-0.027	-0.02	1-22	0.5	3.333	-0.0030
1	22	-0.006	-0.02	1-23	0.5	3.333	-0.0030
1	23	-0.006	-0.023	1-23	0.5	3.333	-0.0035
1	23	0.0146	-0.023	1-24	0.5	3.333	-0.0035
1	24	0.0146	-0.027	1-24	0.5	3.333	-0.0040
1	24	0.0356	-0.027	1-25	0.5	3.333	-0.0040
1	25	0.0356	-0.03	1-25	0.5	3.333	-0.0046
1	25	0.0566	-0.03	1-26	0.5	3.333	-0.0046
1	26	0.0566	-0.035	1-26	0.5	3.333	-0.0052
1	26	0.0773	-0.035	1-27	0.5	3.333	-0.0052
1	27	0.0773	-0.04	1-27	0.5	3.333	-0.0059
1	27	0.0973	-0.04	1-28	0.5	3.333	-0.0059
1	28	0.0973	-0.046	1-28	0.5	3.333	-0.0069
1	28	0.12	-0.046	1-29	0.5	3.333	-0.0069
1	29	0.12	-0.054	1-29	0.5	3.333	-0.0081
1	29	0.13	-0.054	1-30	0.5	3.333	-0.0081
1	30	0.13	-0.066	1-30	0.5	3.333	-0.0099
1	30	0.15	-0.066	1-31	0.5	3.333	-0.0099
1	31	0.15	-0.086	1-31	0.5	3.333	-0.0129
1	31	0.16	-0.086	1-32	0.5	3.333	-0.0129
1	32	0.16	-0.12	1-32	0.5	3.333	-0.0180
1	32	0.17	-0.12	1-33	0.5	3.333	-0.0180
1	33	0.17	-0.17	1-33	0.5	3.333	-0.0255
1	33	0.17	-0.17	1-34	0.5	3.333	-0.0255
1	34	0.17	-0.25	1-34	0.5	3.333	-0.0375

Tabel 4.15 Nilai Momen Potongan Melintang Beban Tepi Kanan Perkerasan (lanjutan)

TABLE: Element Forces - Frames							
Frame	Station	P	M3	FrameElem	Y	I	Tegangan
Text	cm	Kgf	Kgf-cm	Text	cm	cm4	Kg/cm2
1	34	0.16	-0.25	1-35	0.5	3.333	-0.0375
1	35	0.16	-0.38	1-35	0.5	3.333	-0.0570
1	35	0.14	-0.38	1-36	0.5	3.333	-0.0570
1	36	0.14	-0.55	1-36	0.5	3.333	-0.0825
1	36	0.0874	-0.55	1-37	0.5	3.333	-0.0825
1	37	0.0874	-0.76	1-37	0.5	3.333	-0.1140
1	37	0.0475	-0.76	1-38	0.5	3.333	-0.1140
1	38	0.0475	-0.93	1-38	0.5	3.333	-0.1395
1	38	-0.081	-0.93	1-39	0.5	3.333	-0.1395
1	39	-0.081	-0.89	1-39	0.5	3.333	-0.1335
1	39	0.15	-0.89	1-40	0.5	3.333	-0.1335
1	40	0.15	-4E-16	1-40	0.5	3.333	0.0000

Dari nilai momen pada setiap titik join pada perkerasan kaku yang dibebani di tengah perkerasan menunjukkan nilai tegangan pada perkerasan yang nilainya lebih kecil dari nilai kuat tarik perkerasan (beton) yang nilainya 20 Kg/cm². Sehingga pada perkerasan kaku yang kondisi tanah di bawahnya ekspansif dari daerah paron tidak terjadi keretakan

- Potongan Memanjang

Untuk analisis momen perkerasan kaku pada tanah ekspansif yang di bebani di tengah perkerasan, nilai momen yang terjadi pada perkerasan dapat dilihat pada **Tabel 4.16** Nilai Momen Potongan Memanjang. Detail pemodelan pada SAP2000 dapat dilihat pada **Lampiran 2**.

Tabel 4.16 Nilai Momen Potongan Memanjang

TABLE: Element Forces - Frames							
Frame	Station	P	MOMEN	FrameElem	Y	I	Tegangan
Text	cm	Kgf	Kgf-cm	Text	cm	cm4	Kg/cm2
1	0	0.017	-0.004	1-1	0.5	1.667	-0.0013
1	1.3	0.017	-0.005	1-1	0.5	1.667	-0.0014
1	1.3	0.008	-0.01	1-2	0.5	1.667	-0.0031
1	2.6	0.008	-0.009	1-2	0.5	1.667	-0.0028
1	2.6	-0.01	-0.011	1-3	0.5	1.667	-0.0032
1	3.9	-0.01	-0.01	1-3	0.5	1.667	-0.003

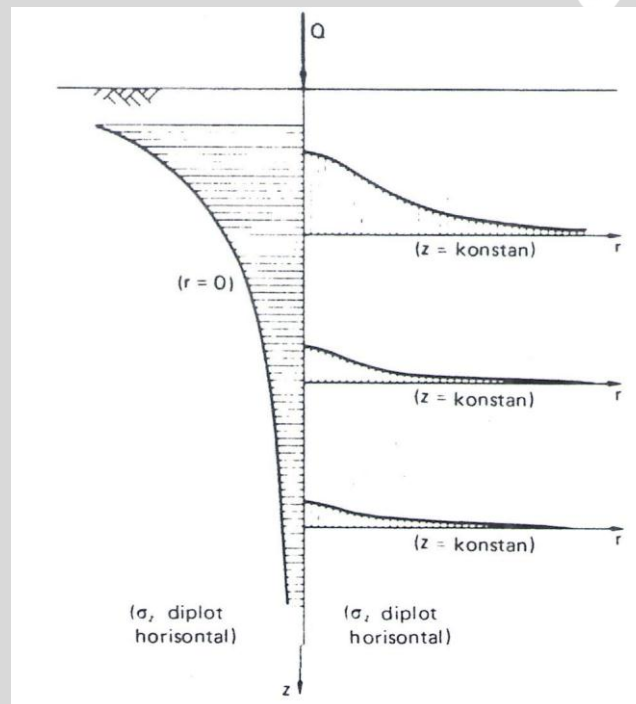
Tabel 4.16 Nilai Momen Potongan Memanjang (lanjutan)

TABLE: Element Forces - Frames							
Frame	Station	P	MOMEN	FrameElem	Y	I	Tegangan
Text	cm	Kgf	Kgf-cm	Text	cm	cm4	Kg/cm2
1	3.9	-0.07	-0.038	1-4	0.5	1.667	-0.0113
1	5.2	-0.07	-0.057	1-4	0.5	1.667	-0.017
1	5.2	-0.19	-0.045	1-5	0.5	1.667	-0.0134
1	6.5	-0.19	0.16	1-5	0.5	1.667	0.04799
1	6.5	-0.2	0.16	1-6	0.5	1.667	0.04799
1	7.5	-0.2	-0.027	1-6	0.5	1.667	-0.0081
1	7.5	-0.1	-0.045	1-7	0.5	1.667	-0.0136
1	8.5	-0.1	-0.046	1-7	0.5	1.667	-0.0137
1	8.5	-0.04	-0.022	1-8	0.5	1.667	-0.0066
1	9.5	-0.04	-0.019	1-8	0.5	1.667	-0.0056
1	9.5	-0.03	-0.016	1-9	0.5	1.667	-0.0048
1	10.5	-0.03	-0.016	1-9	0.5	1.667	-0.0048
1	10.5	-0.04	-0.019	1-10	0.5	1.667	-0.0056
1	11.5	-0.04	-0.022	1-10	0.5	1.667	-0.0066
1	11.5	-0.1	-0.046	1-11	0.5	1.667	-0.0137
1	12.5	-0.1	-0.045	1-11	0.5	1.667	-0.0136
1	12.5	-0.2	-0.027	1-12	0.5	1.667	-0.0081
1	13.5	-0.2	0.16	1-12	0.5	1.667	0.04799
1	13.5	-0.19	0.16	1-13	0.5	1.667	0.04799
1	14.8	-0.19	-0.045	1-13	0.5	1.667	-0.0134
1	14.8	-0.07	-0.057	1-14	0.5	1.667	-0.017
1	16.1	-0.07	-0.038	1-14	0.5	1.667	-0.0113
1	16.1	-0.01	-0.01	1-15	0.5	1.667	-0.003
1	17.4	-0.01	-0.011	1-15	0.5	1.667	-0.0032
1	17.4	0.008	-0.009	1-16	0.5	1.667	-0.0028
1	18.7	0.008	-0.01	1-16	0.5	1.667	-0.0031
1	18.7	0.017	-0.005	1-17	0.5	1.667	-0.0014
1	20	0.017	-0.004	1-17	0.5	1.667	-0.0013

Dari nilai momen pada setiap titik join pada perkerasan kaku yang dibebani di tengah perkerasan pada potongan memanjang menunjukkan nilai tegangan pada perkerasan yang nilainya lebih kecil dari nilai kuat tarik perkerasan (beton) yang nilainya 20 Kg/cm². Sehingga pada perkerasan kaku yang kondisi tanah di bawahnya ekspansif dari daerah paron tidak terjadi keretakan

2. Tegangan

Dari persamaan-persamaan *Boussinesq* dikatakan bahwa pemberian beban vertical yang terpusat kepada permukaan horizontal dari sembarang “tubuh” padat akan menghasilkan tegangan-tegangan vertical pada setiap bidang-bidang horizontal didalam tubuh tersebut. Jelaslah, tanpa melalui perhitungan, terlihat bahwa intensitas tekanan vertical pada setiap penampang horizontal melalui tanah yang mengalami pembebanan akan berkurang, mulai dari maksimum di titik yang terletak langsung di bawah beban dan menjadi nol di titik yang terjauh dari titik tersebut. Teori elastis tersebut tergambarakan pada **Gambar 4.26** Variasi Tegangan Vertikal Akibat Beban Titik berikut ini.



Gambar 4.26 Variasi Tegangan Vertikal Akibat Beban Titik

- Potongan Melintang Beban Awal (Tepi Kiri Perkerasan)

Pada potongan melintang yang diberi beban di awal (tepi kiri) perkerasan di dapatkan gaya/ tegangan seperti pada **Tabel 4.17** dibawah ini. Pada tabel ditunjukkan nilai tegangan tanah dasar yang terjadi tepat pada tanah bawah pembebanan. Gambar detail penomoran joint, penomoran area, dan tegangan

yang dimodelkan pada SAP2000 dapat dilihat pada **Lampiran 1, Lampiran 3,** dan **Lampiran 5.**

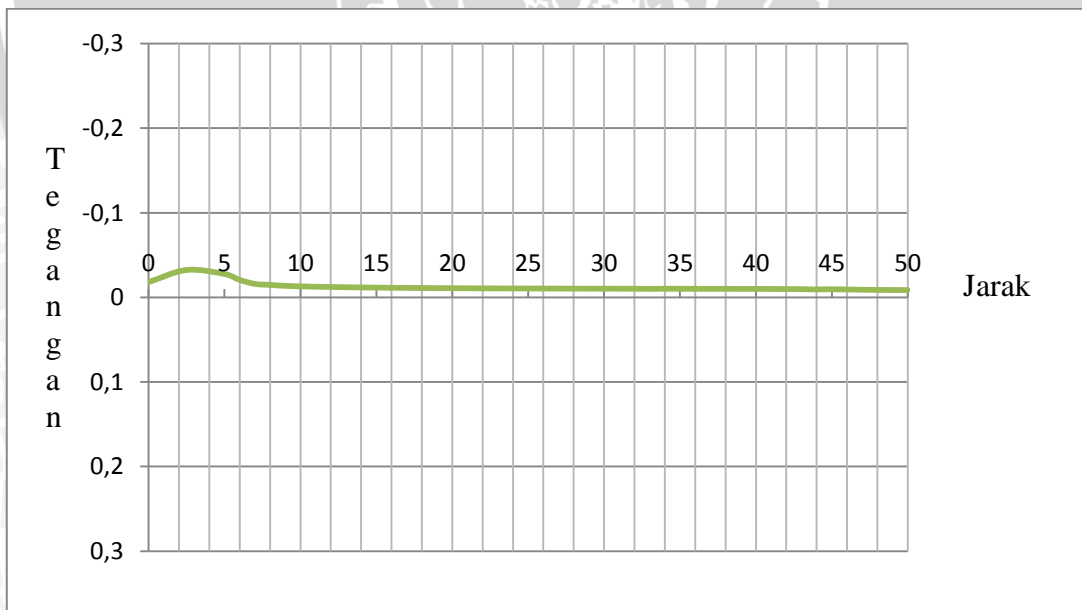
Tabel 4.17 Nilai Tegangan pada tanah dasar pada Tepi Kiri Perkerasan
Diplot Horisontal

Jarak cm	Area	Joint	Tegangan Kgf/cm ²
0	449	512	-0.01814
2.5	459	526	-0.03245
5	469	537	-0.02767
6	479	548	-0.02066
7	489	559	-0.016
8	499	570	-0.01478
9	509	581	-0.01364
10	519	592	-0.01312
11	529	603	-0.01265
12	539	614	-0.01232
13	549	625	-0.01203
14	559	636	-0.01179
15	569	647	-0.01158
16	579	658	-0.0114
17	589	669	-0.01124
18	599	680	-0.01111
19	609	691	-0.01099
20	619	702	-0.01089
21	629	713	-0.0108
22	639	724	-0.01072
23	649	735	-0.01065
24	659	746	-0.01059
25	669	757	-0.01054
26	679	768	-0.01049
27	689	779	-0.01044
28	699	790	-0.0104
29	709	801	-0.01036
30	719	812	-0.01033
31	729	823	-0.01029
32	739	834	-0.01026
33	739	835	-0.01011
34	749	845	-0.01023
35	759	856	-0.01021
36	769	867	-0.01018

Tabel 4.17 Nilai Tegangan pada tanah dasar Tepi Kiri Perkerasan Diplot Horizontal (lanjutan)

Jarak cm	Area	Joint	Tegangan Kgf/cm ²
37	779	878	-0.01015
38	789	889	-0.01012
39	799	900	-0.01009
40	809	911	-0.01004
41	819	922	-0.00998
42	829	933	-0.00986
43	839	944	-0.00979
44	849	955	-0.00936
45	859	966	-0.00964
47.5	869	977	-0.00893
50	879	988	-0.0087

Berdasarkan **Tabel 4.17** dapat diketahui nilai tegangan tanah yang terjadi akibat pembebanan pada awal perkerasan, nilai dari tegangan tanah pada tabel tersebut yang di ambil 1 garis horizontal diplotkan pada grafik seperti pada **Gambar 4.27** Variasi Tegangan Vertikal akibat beban titik di awal perkerasan pada tanah ekspansif dibawah ini:



Gambar 4.27 Variasi Tegangan Vertikal akibat beban titik di awal perkerasan pada tanah ekspansif

Evaluasi dari diagram tegangan diatas apabila dibandingkan dengan dengan teori elastis seperti pada **Gambar 4.26** yang menunjukkan variasi tegangan vertical

akibat beban titik, nilai tegangan pada tanah dasar sesuai dengan teori elastis tersebut, dimana tegangan maksimum terletak tepat di bawah letak pembebanan di atasnya terjadi.

- Potongan Melintang Beban Tengah Perkerasan

Pada potongan melintang yang diberi beban di awal (tepi kiri) perkerasan di dapatkan gaya/ tegangan seperti pada **Tabel 4.18** dibawah ini. Pada tabel ditunjukkan nilai tegangan tanah dasar yang terjadi tepat pada tanah bawah pembebanan. Gambar detail penomoran joint, penomoran area, dan tegangan yang dimodelkan pada SAP2000 dapat dilihat pada **Lampiran 1, Lampiran 3, dan Lampiran 6.**

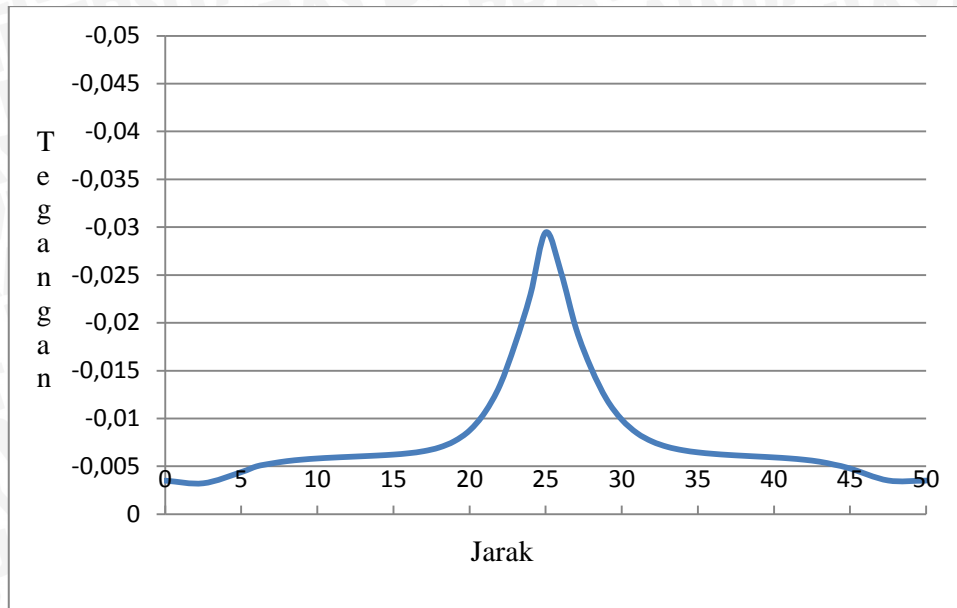
Tabel 4.18 Nilai Tegangan pada tanah dasar Beban Tengah Perkerasan
Diplot Horisontal

Jarak cm	Area	Joint	Tegangan Kgf/cm ²
0	450	515	-0.00351
2.5	450	514	-0.00323
5	460	527	-0.0044
6	470	538	-0.00499
7	480	549	-0.0053
8	490	560	-0.00554
9	500	571	-0.0057
10	510	582	-0.00582
11	520	593	-0.00591
12	530	604	-0.00599
13	540	615	-0.00606
14	550	626	-0.00613
15	560	637	-0.00623
16	570	648	-0.00637
17	580	659	-0.00659
18	590	670	-0.00697
19	600	681	-0.00763
20	610	692	-0.00875
21	620	703	-0.01062
22	630	714	-0.01349
23	640	725	-0.01781

Tabel 4.18 Nilai Tegangan pada tanah dasar
Beban Tengah Perkerasan Diplot Horizontal
(lanjutan)

Jarak cm	Area	Joint	Tegangan Kgf/cm ²
24	650	736	-0.02295
25	660	747	-0.02945
26	670	758	-0.02532
27	680	769	-0.01938
28	690	780	-0.01522
29	700	791	-0.01202
30	710	802	-0.00989
31	720	813	-0.00848
32	730	824	-0.00759
33	740	835	-0.00703
34	750	846	-0.00669
35	760	857	-0.00646
36	770	868	-0.00631
37	780	879	-0.00619
38	790	890	-0.0061
39	800	901	-0.00602
40	810	912	-0.00593
41	820	923	-0.00583
42	830	934	-0.00569
43	840	945	-0.00548
44	850	956	-0.00516
45	860	967	-0.00478
47.5	870	978	-0.00352
50	880	989	-0.00351

Berdasarkan **Tabel 4.18** dapat diketahui nilai tegangan tanah yang terjadi akibat pembebanan pada awal perkerasan. nilai dari tegangan tanah pada tabel tersebut yang di ambil 1 garis horizontal diplotkan pada grafik seperti pada **Gambar 4.28** Variasi Tegangan Vertikal akibat beban titik di awal perkerasan pada tanah ekspansif dibawah ini:



Gambar 4.28 Variasi Tegangan Vertikal akibat beban titik di tengah perkerasan pada tanah ekspansif

Evaluasi dari diagram tegangan diatas apabila dibandingkan dengan dengan teori elastis seperti pada **Gambar 4.26** yang menunjukkan variasi tegangan vertical akibat beban titik, nilai tegangan pada tanah dasar sesuai dengan teori elastis tersebut, dimana tegangan maksimum terletak tepat di bawah letak pembebanan diatasnya terjadi.

- Potongan Melintang Beban akhir (tepi kanan) Perkerasan

Pada potongan melintang yang diberi beban di awal (tepi kiri) perkerasan di dapatkan gaya/ tegangan seperti pada **Tabel 4.19** dibawah ini. Pada tabel ditunjukkan nilai tegangan tanah dasar yang terjadi tepat pada tanah bawah pembebanan. Gambar detail penomoran join, penomoran area, dan tegangan yang dimodelkan pada SAP2000 dapat dilihat pada **Lampiran 1, Lampiran 3, dan Lampiran 7.**

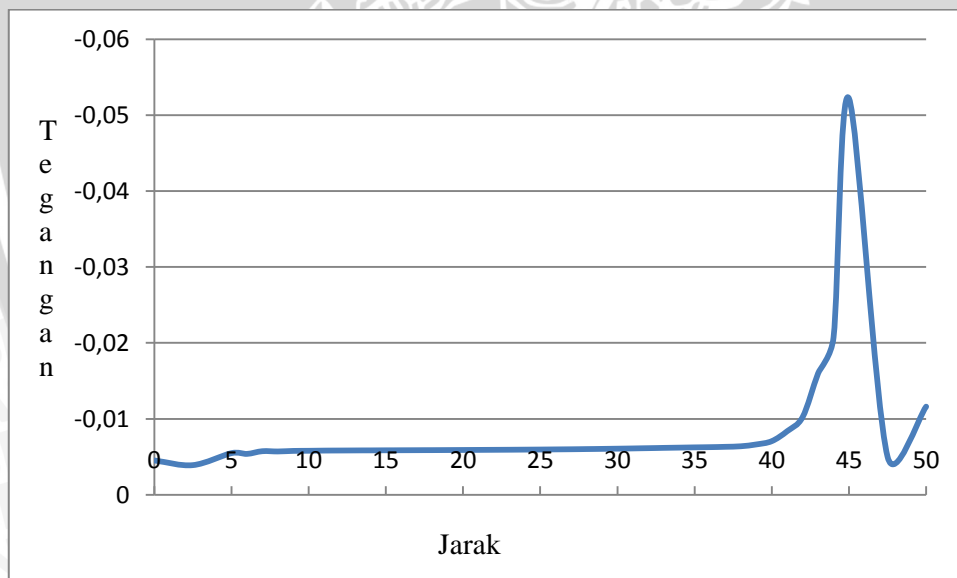
Tabel 4.19 Nilai Tegangan pada tanah dasar Beban Tepi Kanan Perkerasan
Diploot Horisontal

Jarak	Area	Joint	Tegangan
cm			Kgf/cm²
0	450	515	-0.00452
2.5	450	514	-0.00391
5	460	527	-0.00549
6	470	538	-0.00539
7	480	549	-0.00574
8	490	560	-0.0057
9	500	571	-0.00578
10	510	582	-0.0058
11	520	593	-0.00582
12	530	604	-0.00583
13	540	615	-0.00584
14	550	626	-0.00585
15	560	637	-0.00586
16	570	648	-0.00587
17	580	659	-0.00587
18	590	670	-0.00588
19	600	681	-0.00589
20	610	692	-0.0059
21	620	703	-0.00591
22	630	714	-0.00592
23	640	725	-0.00593
24	650	736	-0.00595
25	660	747	-0.00596
26	670	758	-0.00598
27	680	769	-0.006
28	690	780	-0.00602
29	700	791	-0.00605
30	710	802	-0.00607
31	720	813	-0.00611
32	730	824	-0.00614
33	740	835	-0.00618
34	750	846	-0.00621
35	760	857	-0.00624
36	770	868	-0.00627
37	780	879	-0.00632
38	790	890	-0.00639
39	800	901	-0.00663
40	810	912	-0.00706

Tabel 4.19 Nilai Tegangan pada tanah dasar
Beban Tepi Kanan Perkerasan Diplot
Horizontal (lanjutan)

Jarak cm	Area	Joint	Tegangan Kgf/cm ²
41	820	923	-0.00838
42	830	934	-0.01024
43	840	945	-0.01599
44	850	956	-0.02072
45	860	967	-0.05219
47.5	870	978	-0.00501
50	880	989	-0.01161

Berdasarkan **Tabel 4.19** dapat diketahui nilai tegangan tanah yang terjadi akibat pembebanan pada awal perkerasan. Nilai dari tegangan tanah pada tabel tersebut yang di ambil 1 garis horizontal diplotkan pada grafik seperti pada **Gambar 4.29** Variasi Tegangan Vertikal akibat beban titik di awal perkerasan pada tanah ekspansif dibawah ini:



Gambar 4.29 Variasi Tegangan Vertikal akibat beban titik di akhir perkerasan pada tanah ekspansif

Evaluasi dari diagram tegangan diatas apabila dibandingkan dengan dengan teori elastis seperti pada **Gambar 4.26** yang menunjukkan variasi tegangan vertical akibat beban titik, nilai tegangan pada tanah dasar sesuai dengan teori elastis

tersebut, dimana tegangan maksimum terletak tepat di bawah letak pembebanan di atasnya terjadi.

- Potongan Memanjang

Pada potongan melintang yang diberi beban di awal (tepi kiri) perkerasan di dapatkan gaya/ tegangan seperti pada **Tabel 4.20** dibawah ini. Pada tabel ditunjukkan nilai tegangan tanah dasar yang terjadi tepat pada tanah bawah pembebanan. Gambar detail penomoran joint, penomoran area, dan tegangan yang dimodelkan pada SAP2000 dapat dilihat pada **Lampiran 2, Lampiran 4, dan Lampiran 8.**

Tabel 4.20 Nilai Tegangan pada tanah dasar

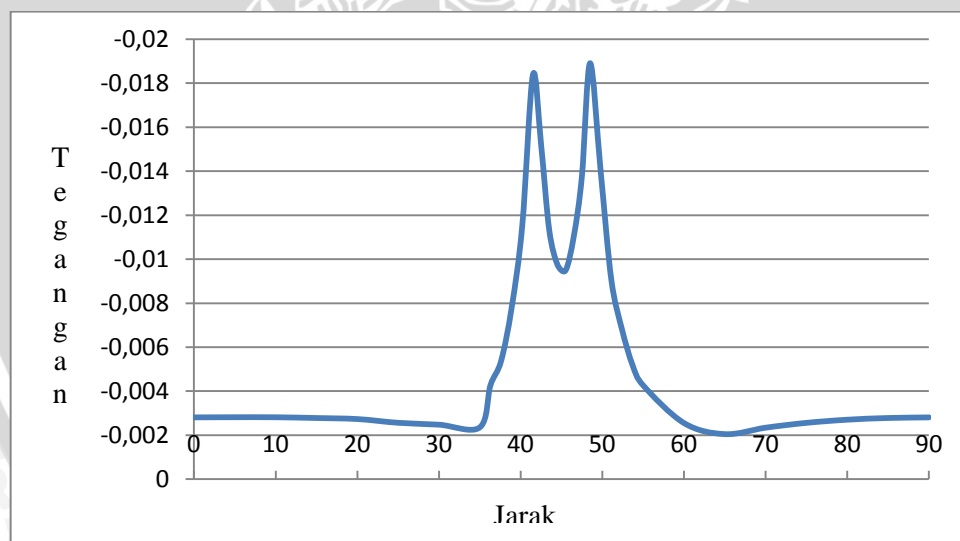
Diplot Horizontal

Jarak cm	Area	Joint	Tegangan Kgf/cm ²
0	320	372	-0.002809
5	320	371	-0.002816
10	330	384	-0.002814
15	340	395	-0.00278
20	350	406	-0.002733
25	360	417	-0.002563
30	370	428	-0.002477
35	380	439	-0.002356
36.3	390	450	-0.004271
37.6	400	461	-0.005369
38.9	410	472	-0.007806
40.2	420	483	-0.01155
41.5	430	494	-0.01838
42.5	440	505	-0.01521
43.5	450	516	-0.01131
44.5	460	527	-0.009754
45.5	470	538	-0.00949
46.5	480	549	-0.01103
47.5	490	560	-0.01378
48.5	500	571	-0.01891
49.8	510	582	-0.01398
51.1	520	593	-0.009065
52.4	530	604	-0.006818
53.7	540	615	-0.005185
55	550	626	-0.004264

Tabel 4.20 Nilai Tegangan pada tanah dasar Diplot Horisontal (lanjutan)

Jarak cm	Area	Joint	Tegangan Kgf/cm ²
60	560	637	-0.002551
65	570	648	-0.002047
70	580	659	-0.002341
75	590	670	-0.00256
80	600	681	-0.002704
85	610	692	-0.002781
90	620	703	-0.002809

Berdasarkan **Tabel 4.20** dapat diketahui nilai tegangan tanah yang terjadi akibat pembebanan pada awal perkerasan. Nilai dari tegangan tanah pada tabel tersebut yang di ambil 1 garis horizontal diplotkan pada grafik seperti pada **Gambar 4.29** Variasi Tegangan Vertikal akibat beban titik di awal perkerasan pada tanah ekspansif dibawah ini.



Gambar 4.30 Variasi Tegangan Vertikal akibat beban titik di akhir perkerasan pada tanah ekspansif

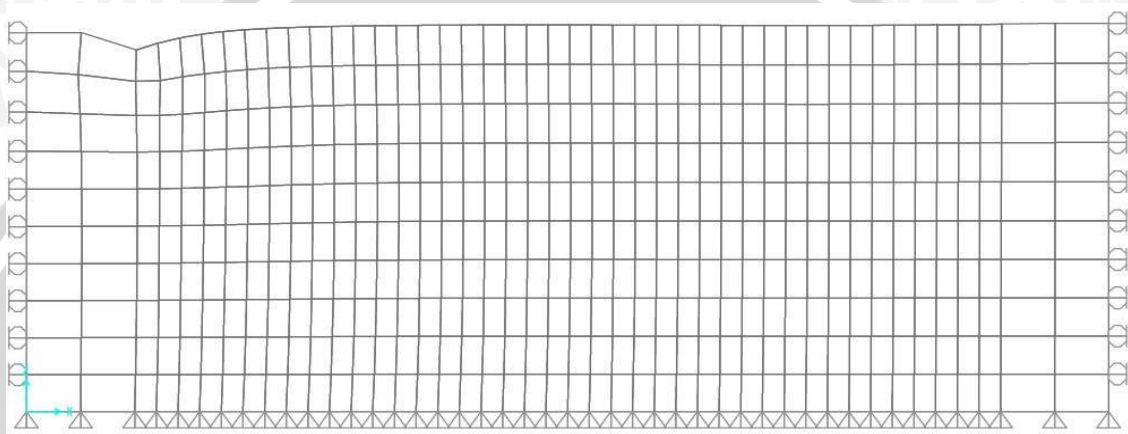
Evaluasi dari diagram tegangan diatas apabila dibandingkan dengan dengan teori elastis seperti pada **Gambar 4.26** yang menunjukkan variasi tegangan vertical akibat beban titik, nilai tegangan pada tanah dasar sesuai dengan teori elastis tersebut, dimana tegangan maksimum terletak tepat di bawah letak pembebanan diatasnya terjadi.

Hasil dari tegangan di setiap joint secara lengkap dapat dilihat pada **Lampiran 9**.

3. Lentutan

Pola Lentutan yang terjadi pada perkerasan dan tanah dasar dapat dilihat pada **Gambar 4.31** sampai dengan **Gambar 4.34** yang menunjukkan perbedaan lentutan dari setiap pembebanan yang dilakukan diatas perkerasan kaku pada tanah ekspansif. Penomeran setiap joint dapat dilihat pada **Lampiran 1 dan Lampiran 2**.

- Lentutan pada awal pembebanan (tepi kiri) perkerasan.



Gambar 4.31 Pola Lentutan pada Tepi Kiri pembebanan

Dari gambar di atas besarnya nilai lentutan yang terjadi pada pemodelan struktur perkerasan kaku pada tanah ekspansif pada potongan melintang karena beban awal selengkapnya dapat dilihat pada **Lampiran 10**. Nilai lentutan pada permukaan pemodelan dapat dilihat pada **Tabel 4.21** Nilai Lentutan pada Awal Pembebanan seperti dibawah ini:

Tabel 4.21 Tabel Nilai Lentutan pada Tepi Kiri Pembebanan

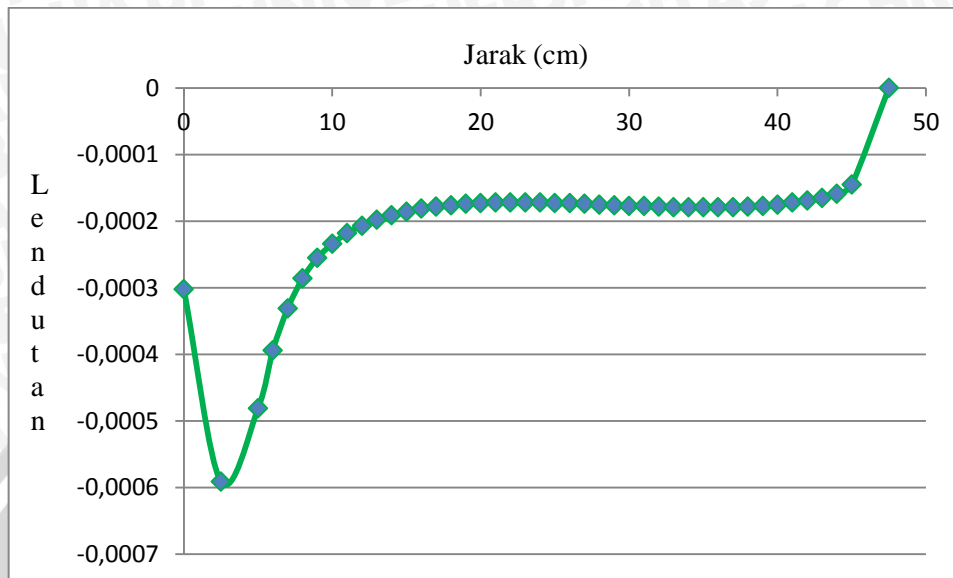
TABLE: Joint Displacements		
No	Joint	U3
1	516	-0.000302
2	517	0
3	528	-0.000591
4	539	-0.000481
5	550	-0.000394
6	561	-0.000331
7	572	-0.000286
8	583	-0.000255
9	594	-0.000234
10	605	-0.000218
11	616	-0.000207

Tabel 4.21 Tabel Nilai
Lendutan pada Tepi Kiri
Pembebanan (lanjutan)

TABLE: Joint Displacements		
No	Joint	U3
12	627	-0.000198
13	638	-0.000191
14	649	-0.000186
15	660	-0.000181
16	671	-0.000178
17	682	-0.000176
18	693	-0.000174
19	704	-0.000173
20	715	-0.000172
21	726	-0.000172
22	737	-0.000172
23	748	-0.000172
24	759	-0.000173
25	770	-0.000173
26	781	-0.000174
27	792	-0.000175
28	803	-0.000176
29	814	-0.000177
30	825	-0.000177
31	836	-0.000178
32	847	-0.000179
33	858	-0.000179
34	869	-0.000179
35	880	-0.000179
36	891	-0.000179
37	902	-0.000178
38	913	-0.000177
39	924	-0.000175
40	935	-0.000172
41	946	-0.000169
42	957	-0.000165
43	968	-0.000159
44	979	-0.000145
45	990	0

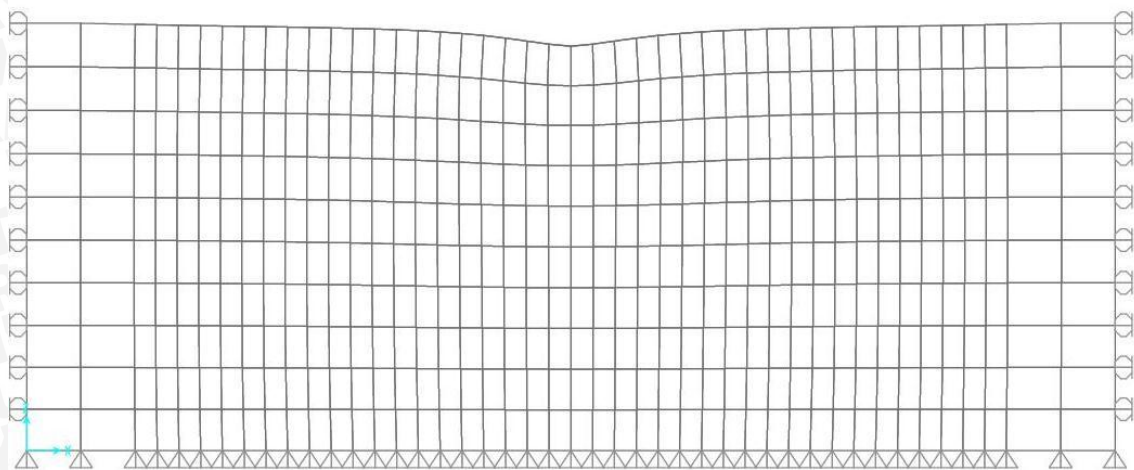
Berdasarkan **Tabel 4.21** diketahui bahwa lendutan yang terjadi pada permukaan pemodelan perkerasan kaku pada tanah ekspansif bervariasi mulai -0.000145 cm sampai

maksimum -0.000591 cm. Pola lendutan yang terjadi pada join-join diatas dapat dilihat pada **Gambar 4.32** Pola Diagram Lendutan pada Pembebanan Awal di bawah ini:



Gambar 4.32 Pola Diagram Lendutan pada pembebanan Tepi Kiri

- Lendutan pada pembebanan ditengah perkerasan



Gambar 4.33 Pola Lendutan pada pembebanan di tengah perkerasan

Dari **Gambar 4.33** Pola Lendutan pada pembebanan di tengah perkerasan di atas besarnya nilai lendutan yang terjadi pada pemodelan struktur perkerasan kaku pada tanah ekspansif pada potongan melintang karena beban ditengah perkerasan selengkapnya dapat dilihat pada **Lampiran 10**. Nilai lendutan pada permukaan

pemodelan dapat dilihat pada **Tabel 4.22** Nilai Lendutan pada Pembebanan di tengah Perkerasan seperti dibawah ini:

Tabel 4.22 Tabel Nilai Lendutan pada Pembebanan di tengah Perkerasan

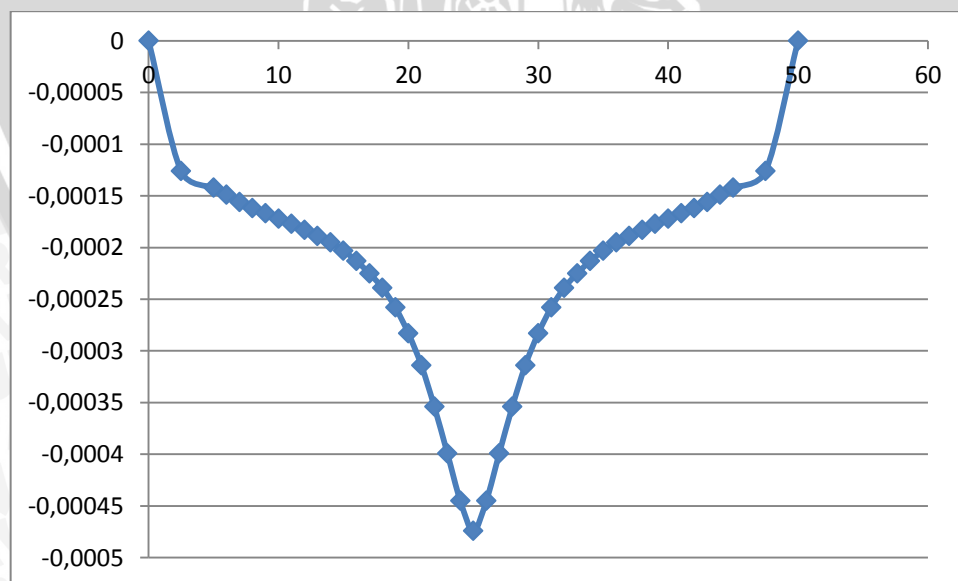
TABLE: Joint Displacements		
No	Joint	U3
	Text	cm
1	516	-0.000126
2	517	0
3	528	-0.000142
4	539	-0.000149
5	550	-0.000156
6	561	-0.000162
7	572	-0.000167
8	583	-0.000172
9	594	-0.000177
10	605	-0.000183
11	616	-0.000189
12	627	-0.000195
13	638	-0.000203
14	649	-0.000213
15	660	-0.000225
16	671	-0.000239
17	682	-0.000258
18	693	-0.000283
19	704	-0.000314
20	715	-0.000354
21	726	-0.000399
22	737	-0.000445
23	748	-0.000474
24	759	-0.000445
25	770	-0.000399
26	781	-0.000354
27	792	-0.000314
28	803	-0.000283
29	814	-0.000258
30	825	-0.000239
31	836	-0.000225
32	847	-0.000213
33	858	-0.000203
34	869	-0.000195

Tabel 4.22 Tabel Nilai

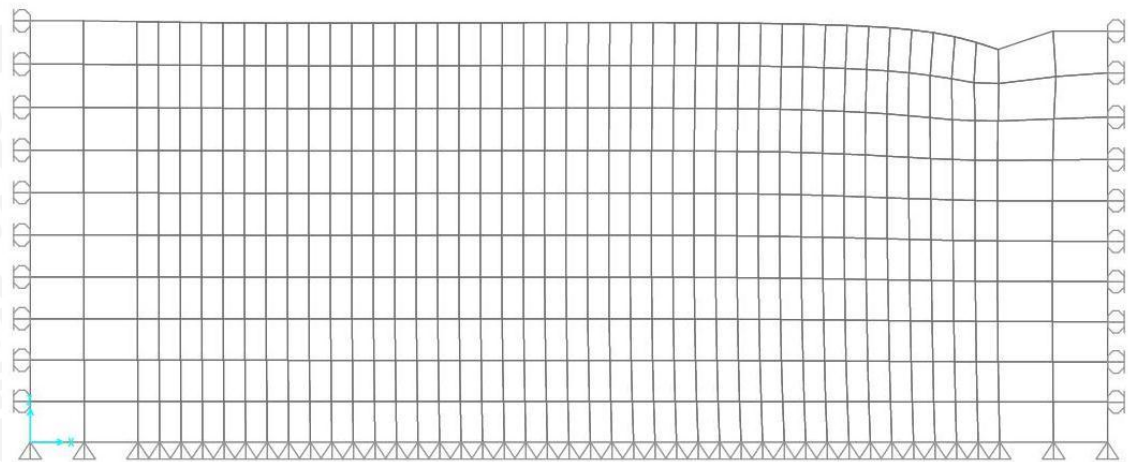
Lendutan pada Pembebanan di
tengah Perkerasan (lanjutan)

No	Joint Text	U3 cm
35	880	-0.000189
36	891	-0.000183
37	902	-0.000177
38	913	-0.000172
39	924	-0.000167
40	936	0
41	946	-0.000156
42	957	-0.000149
43	968	-0.000142
44	979	-0.000126
45	990	0

Berdasarkan **Tabel 4.22** diketahui bahwa lendutan yang terjadi pada permukaan pemodelan perkerasan kaku pada tanah ekspansif bervariasi mulai -0.000126 cm sampai maksimum -0.000445 cm. Pola lendutan yang terjadi pada join-join diatas dapat dilihat pada **Gambar 4.34** Pola Diagram Lendutan pada Pembebanan di tengah perkerasan seperti di bawah ini:

**Gambar 4.34** Pola Diagram Lendutan pada Pembebanan di tengah perkerasan

- Lendutan pada pembebanan akhir (tepi kanan) perkerasan



Gambar 4.35 Pola Lendutan pada Teipi Kanan Pembebanan

Dari **Gambar 4.35** Pola Lendutan pada akhir pembebanan di atas besarnya nilai lendutan yang terjadi pada pemodelan struktur perkerasan kaku pada tanah ekspansif pada potongan melintang karena beban awal selengkapnya dapat dilihat pada **Lampiran 10**. Nilai lendutan pada permukaan pemodelan dapat dilihat pada **Tabel 4.23** Nilai Lendutan pada Pembebanan Akhir seperti dibawah ini:

Tabel 4.23 Tabel Nilai Lendutan pada Pembebanan Akhir

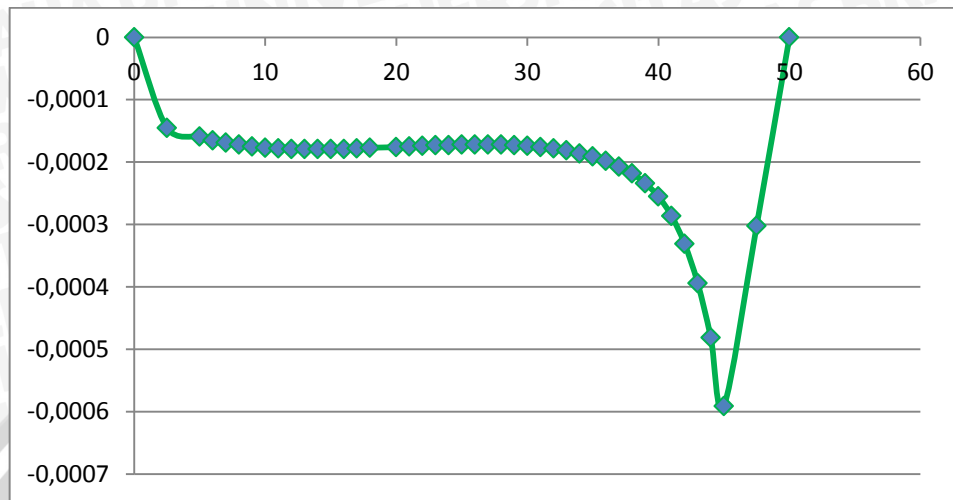
TABLE: Joint Displacements		
No	Joint	U3
	Text	cm
1	516	-0.000145
2	517	0
3	528	-0.000159
4	539	-0.000165
5	550	-0.000169
6	561	-0.000172
7	572	-0.000175
8	583	-0.000177
9	594	-0.000178
10	603	-0.000168
11	604	-0.000175
12	605	-0.000179
13	616	-0.000179
14	627	-0.000179
15	638	-0.000179
16	649	-0.000179

Tabel 4.23 Tabel Nilai Lendutan
pada Pembebanan Akhir
(lanjutan)

No	Joint Text	U3 cm
17	660	-0.000178
18	671	-0.000177
20	682	-0.000177
21	693	-0.000176
22	704	-0.000175
23	715	-0.000174
24	726	-0.000173
25	737	-0.000173
26	748	-0.000172
27	759	-0.000172
28	770	-0.000172
29	781	-0.000172
30	792	-0.000173
31	803	-0.000174
32	814	-0.000176
33	825	-0.000178
34	836	-0.000181
35	847	-0.000186
36	858	-0.000191
37	869	-0.000198
38	880	-0.000207
39	891	-0.000218
40	902	-0.000234
41	913	-0.000255
42	924	-0.000286
43	935	-0.000331
44	946	-0.000394
45	957	-0.000481
46	968	-0.000591
47	979	-0.000302
48	990	0

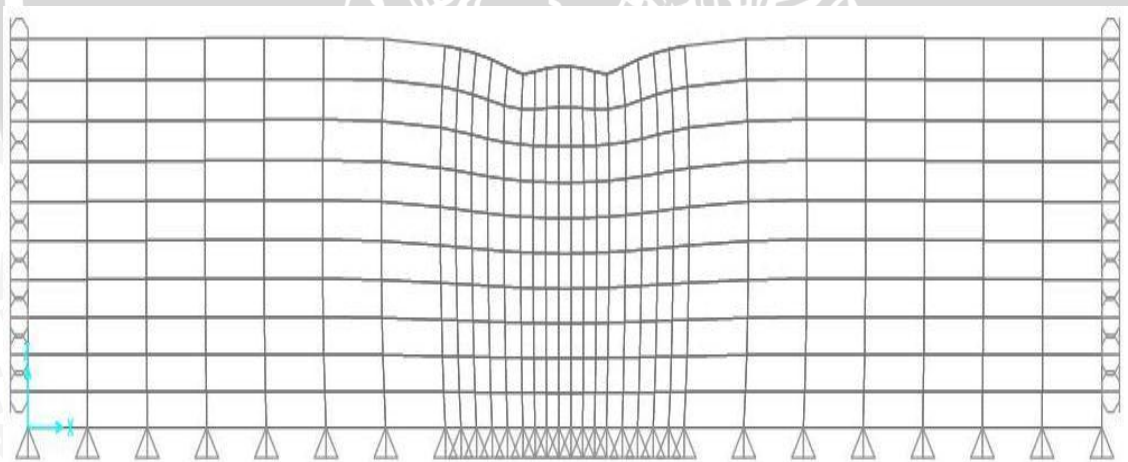
Berdasarkan **Tabel 4.23** diketahui bahwa lendutan yang terjadi pada permukaan pemodelan perkerasan kaku pada tanah ekspansif bervariasi mulai -0.000145 cm sampai maksimum -0.000591 cm. Pola lendutan yang terjadi pada join-join diatas dapat dilihat

pada **Gambar 4.36** Pola Diagram Lendutan pada Pembebanan Akhir (tepi kanan) perkerasan seperti di bawah ini:



Gambar 4.36 Pola Diagram Lendutan pada Pembebanan Akhir (tepi kanan) perkerasan

- Lendutan pada pembebanan potongan memanjang



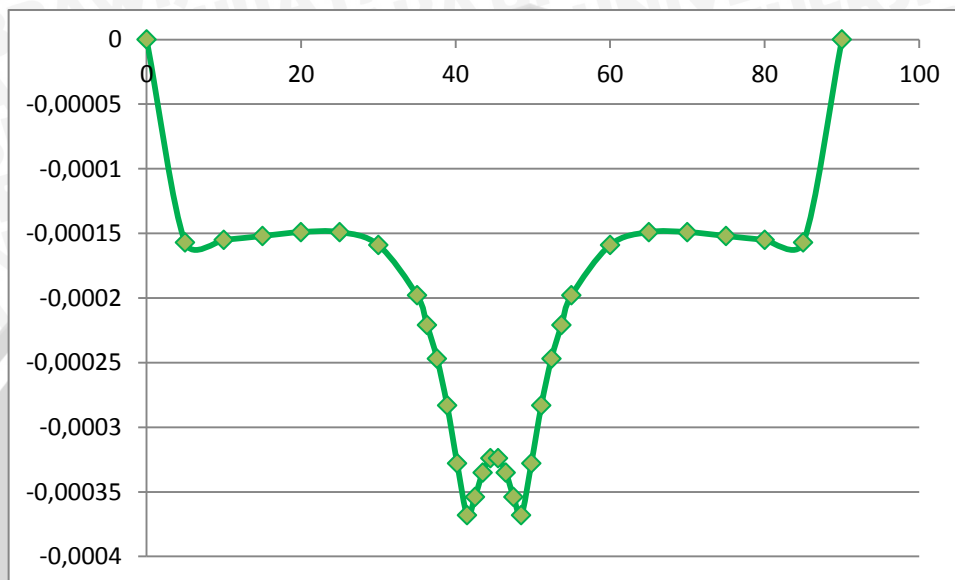
Gambar 4.37 Pola Lendutan pada pembebanan pada potongan memanjang

Dari **Gambar 4.37** Pola Lendutan pada pembebanan pada potongan memanjang di atas besarnya nilai lendutan yang terjadi pada pemodelan struktur perkerasan kaku pada tanah ekspansif pada potongan melintang karena beban awal selengkapnya dapat dilihat pada **Lampiran 10**. Nilai lendutan pada permukaan pemodelan dapat dilihat pada **Tabel 4.24** Nilai Lendutan pada potongan memanjang seperti dibawah ini:

Tabel 4.24 Tabel Nilai Lendutan pada potongan memanjang

TABLE: Joint Displacements		
No	Joint	U3
	Text	cm
1	373	-0.000157
2	374	0
3	385	-0.000155
4	396	-0.000152
5	407	-0.000149
6	418	-0.000149
7	429	-0.000159
8	440	-0.000198
9	451	-0.000221
10	462	-0.000247
11	473	-0.000283
12	484	-0.000328
13	495	-0.000368
14	506	-0.000354
15	517	-0.000335
16	528	-0.000324
17	539	-0.000324
18	550	-0.000335
19	561	-0.000354
20	572	-0.000368
21	583	-0.000328
22	594	-0.000283
23	605	-0.000247
24	616	-0.000221
25	627	-0.000198
26	638	-0.000159
27	649	-0.000149
28	660	-0.000149
29	671	-0.000152
30	682	-0.000155
31	693	-0.000157
32	704	0

Berdasarkan **Tabel 4.24** diketahui bahwa lendutan yang terjadi pada permukaan pemodelan perkerasan kaku pada tanah ekspansif bervariasi mulai -0.000145 cm sampai maksimum -0.000591 cm. Pola lendutan yang terjadi pada join-join diatas dapat dilihat pada **Gambar 4.38** Pola Diagram Lendutan pada Potongan Memanjang di bawah ini:



Gambar 4.38 Pola Diagram Lendutan pada Potongan Memanjang