

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Analisis Numerik Kuat Dukung Fondasi Tiang Tunggal

Penerapan metode numerik untuk memperoleh parameter geoteknik yang dianalisa ulang, berguna untuk desain proyek di bidang teknik sipil dasar. Setelah dikalibrasi, metodologi ini dapat digunakan lebih lanjut dalam analisis parametrik lainnya pada geometri tiang yang berbeda-beda di lapangan, sehingga dapat mengoptimalkan desain fondasi (Anjos, 2006). Prakoso (2011) telah melakukan penelitian tentang analisis balik pada hasil uji pembebanan (*loading test*) tiang pancang pada tanah lempung-lanau untuk menentukan nilai Modulus Young dan kohesi tanah. Dalam penelitian ini data geoteknik berasal dari uji sondir atau CPT, sehingga didapat nilai Modulus Young dan kohesi berdasarkan korelasi tahanan ujung tiang. Pemodelan dilakukan pada dua buah tiang pancang secara numerik menggunakan Plaxis 2D dengan panjang tiang 5,5 m dan 11,5 m. Setelah didapatkan hasil numerik kemudian dibandingkan dengan hasil lapangan dengan cara analisis balik. Berdasarkan hasil uji pembebanan ternyata kapasitas dukung tiang ultimit sudah terlampaui. Hasil penting lainnya dari penelitian ini adalah hasil sondir yang dinormalisasi memberikan dasar yang lebih baik untuk

Hariato (2007) telah melakukan kajian tentang daya dukung fondasi tiang bor dengan menggunakan *software* SHAFT1 dan uji beban statis. Dalam kajian ini dicari perbedaan-perbedaan yang terjadi pada daya dukung fondasi kemudian dianalisis dan dievaluasi permasalahan yang terjadi dalam menentukan daya dukung ultimit. Dalam penelitian ini data tanah yang digunakan adalah lokasi BH-3 dan BH-5 dimana telah dilakukan pengeboran sedalam ± 50 meter. Parameter-parameter tanah yang digunakan adalah kuat geser tanah tak terdrainase, alpha, beta, N-SPT. Data uji beban statis didapatkan dari tiang uji TP-4 dan tiang TP-5 yang mana menjadi objek analisis dan evaluasi menggunakan *software* SHAFT1. Perhitungan daya dukung fondasi tiang bor pada *software* SHAFT1 didasarkan konsep penjumlahan tahanan ultimit ujung tiang ditambah dengan tahanan selimut tiang dari masing-masing lapisan tanah. Hasil dari *software* SHAFT1 berupa daya dukung ultimit tiang bor dan data beban dan penurunan sehingga dapat dijadikan kurva. Kemudian hasil uji beban statis dan hasil *software* SHAFT1 dibandingkan nilai kapasitas dukung tiang ultimitnya. Ketidaksamaan hasil antara kedua metode di atas akan dievaluasi penyebabnya berdasarkan perubahan diameter lubang bor. Nilai daya dukung ultimit yang diperoleh SHAFT1 lebih kecil dari uji beban statis, ketidaksamaan ini disebabkan ketidakseragaman diameter sepanjang tiang.

B. Analisis Numerik Kuat Dukung Fondasi Tiang Kelompok

Rizaldi (2010) melakukan penelitian tentang kapasitas dukung tiang bor dan perilaku tiang dengan metode statis dan numerik. Dalam menentukan beban yang bekerja pada fondasi dilakukan dahulu analisis struktur jembatan dengan bantuan program SAP 2000. Pada analisis kapasitas dukung tiang bor diperlukan data tanah yang terdiri dari hasil uji laboratorium sampel tanah dan uji SPT. Analisis secara statis membandingkan kapasitas dukung tiang bor untuk diameter 0,7 m dan 0,8 m. Sedangkan untuk analisis *finite element method* (FEM) membandingkan perilaku gaya dan deformasi dengan model eksisting 72 tiang,

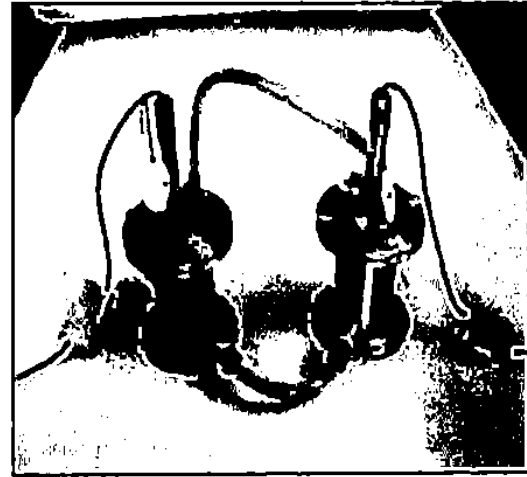
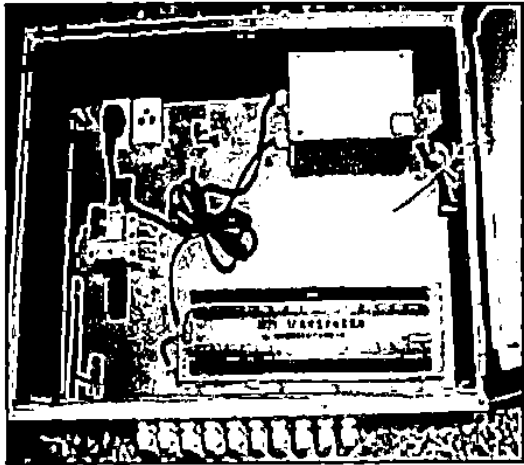
statik pada tiang diameter 0,7 m dan 0,8 m, didapatkan hasil semakin besar diameter maka kapasitas dukung tiang tunggal maupun kelompok akan semakin meningkat namun untuk penurunan (*settlement*) hasilnya selisihnya tidak signifikan. Penyederhanaan kelompok tiang mengakibatkan beban yang diterima tiang tunggal menjadi lebih besar sehingga gaya dalam dan penurunan pun semakin besar. Hasil analisis metode static dan analisis kelompok fondasi tiang dengan program Plaxis 3D Foundation didapatkan korelasi hasil yaitu berupa penurunan. Kelompok tiang 4, 9, dan kelompok 15 berturut-turut sebesar 0,094 m, 0,076 m, 0,071 m. Sedangkan penurunan pada kelompok tiang 72 dengan metode Vesic sebesar 0,287 m.

Zhang dkk (2000) melakukan penelitian tentang analisis deformasi yang terjadi pada kelompok tiang pancang setelah diberikan beban aksial dan lateral dengan kasus konstruksi lepas pantai (*off shore*). Perhitungan deformasi dilakukan secara numerik, dengan menggunakan program APPRAF (Analysis of Piles and Piled RAft Foundation). Pemodelan fondasi tiang terdiri dari tiang pancang yang tertancap pada lapisan-lapisan tanah dan bagian atasnya beserta *pile cap* tidak menyentuh tanah dikarenakan struktur lepas pantai. Yang menjadi parameter analisis adalah sebagai berikut : a) *Pile spacing ratio* (S/D) dengan nilai praktis 2,5~8. b) *Pile slenderness ratio* (L_{cm}/D) dengan nilai praktis 10~100. c) *Pile-soil stiffness ratio* ($K_{ps} = E_p/E_s$) dengan nilai praktis 100~10000. d) *Cap-soil stiffness ratio* ($K_{cs} = E_c/E_s$) dengan nilai praktis 100~10000. Hasil dari perhitungan analisis kemudian dilakukan perbandingan untuk mendapatkan hubungan Pengaruh modulus tanah dan tiang pancang terhadap perpindahan tiang dan Pengaruh modulus *pile cap* perpindahan tiang. Metode ini dapat digunakan untuk menganalisis perilaku dari fondasi tiang kelompok ber-*pile-cap* terhadap beban vertikal dan horizontal juga momen untuk segala arah.

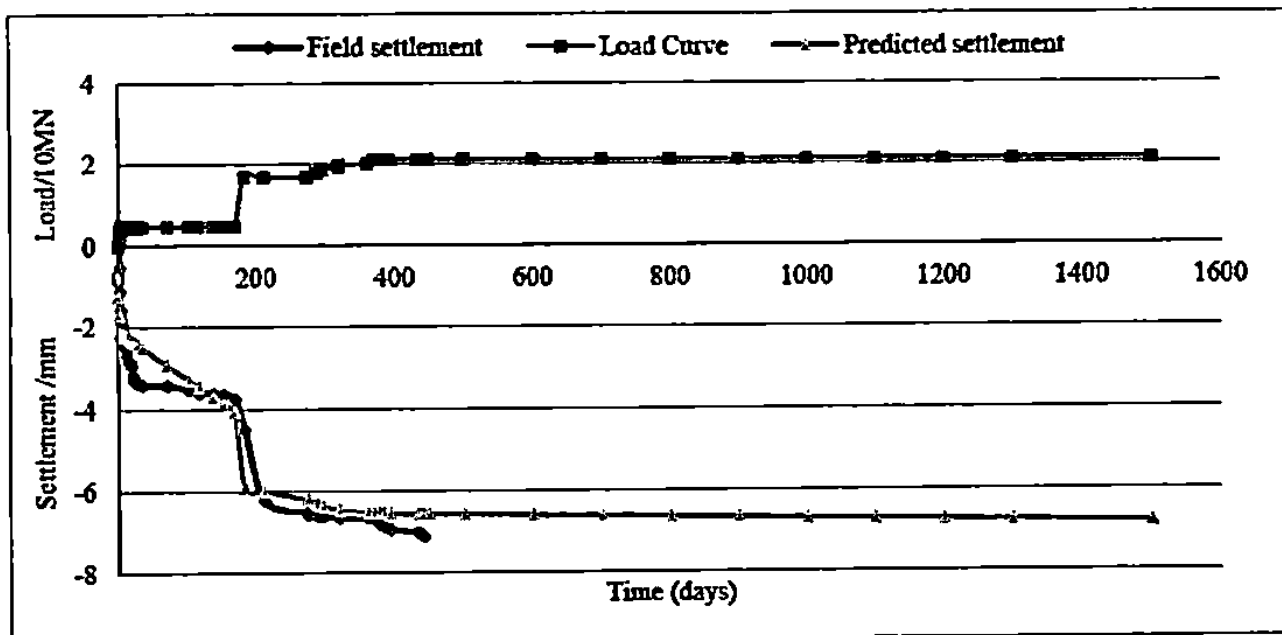
Analisis balik (*back analysis*) dapat mewakili prosedur praktis untuk mengkalibrasi model numerik untuk fondasi dalam. Masalah pertama yang terpecahkan menunjukkan bahwa ketika berurusan dengan fondasi tiang kelompok, parameter-parameter yang didapatkan dari interpretasi aksisimetris dari *loading*

(Tosini dkk., 2010). Said dkk (2009) telah melakukan penelitian analisis elemen hingga (FEM) aksisimetris pada uji pembebanan (*loading test*), pendekatan yang dilakukan adalah melalui pemilihan parameter mekanik untuk *interface* antara tiang pancang dan tanah. Pemodelan *interface* menggunakan model MEPI 2D dimana didasarkan pada keruntuhan Mohr-Coulomb. Pemodelan tiang pancang menggunakan *Imperial College Pile (ICP)* dengan berdiameter $D = 0,102$ m dan panjang $L_p = 7,4$ m. Selanjutnya adalah simulasi numerik untuk menentukan *mesh* elemen hingga dan kondisi sekitar dengan menggunakan *software* CESAR-LCPC. Pada saat fase perhitungan perlu dilakukan persiapan geostatika dan pengaruh pemasangan, kemudian diakshiri dengan simulasi uji pembebanan. Pemodelan konstitutif *interface* tergambar jelas terutama dalam kaitannya dengan pemodelan volumetrik antarmuka menggunakan pemodelan *deviatoric hardening soil*. Gesekan pada lapisan antarmuka tergambar jelas secara numeric dan kurva *load-settlement* secara baik dihasilkan oleh pemodelan numerik dan terlihat menjanjikan.

Aziz (2012) melakukan penelitian tentang penurunan tiang pada pilar jembatan rel kereta Beijing-Shanghai dengan membandingkan hasil pengujian lapangan dengan metode elemen hingga. Hasil lapangan didapatkan dari pengamatan penurunan fondasi otomatis (*Automatic remote monitor system*) selama 18 bulan (lihat Gambar 2.3). Tanah yang berada di *worksite* DK 124 berjenis lanau dimana pilar menerima beban 2109,61 ton sedangkan tanah yang berada pada *worksite* DK 152 berjenis Lempung berlanau dimana pilar menerima beban 1502,4 ton. Didapatkan hasil penurunan total yang dihitung dengan analisis elemen hingga yang dimodifikasi pada pilar DK124 adalah 13,71 mm dan pada pilar DK 152 sebesar 13,5 mm. Setelah dibandingkan dengan hasil lapangan nilainya sangat mendekati yaitu mencapai 9 mm (Gambar 2.4), dibawah batas izin. Sehingga analisis elemen hingga dalam *Plaxis 3D Foundation* dengan modifikasi baru tidak hanya memberikan estimasi yang cermat namun juga



Gambar 2.3 Alat perekam penurunan pilar otomatis, *Automatic remote monitor system*(kiri), *Connected settlement liquid level settlement gauge* (kanan)
(Aziz, 2012)



Gambar 2.4 kurva penurunan vs waktu antara hasil lapangan dengan prediksi

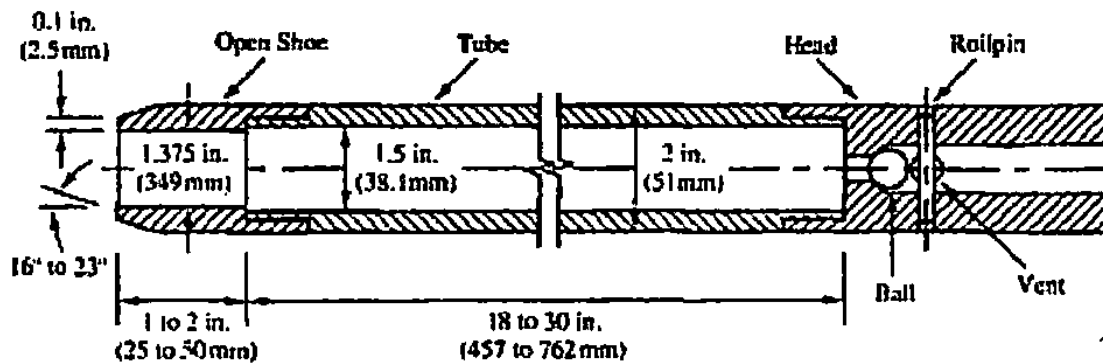
... (Aziz, 2012)

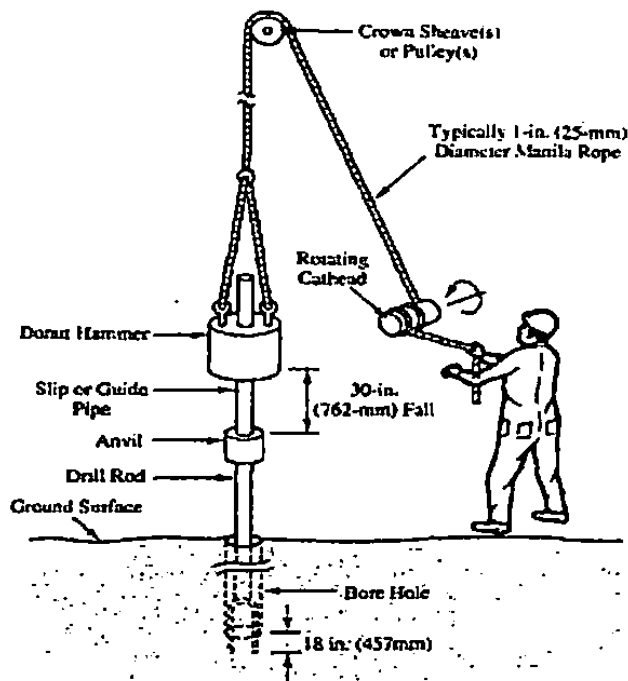
BAB III

LANDASAN TEORI

A. Uji Penetrasi Standar

Uji penetrasi standar atau *Standard Penetration Test (SPT)* merupakan uji penetrasi dinamis yang digunakan untuk mengetahui nilai kekuatan tanah. Prinsip kerjanya adalah dengan memasukan alat yang dinamakan “*split spoon tube*” (Gambar 3.1) ke tanah pada dasar lubang bor dengan memakai beban penumbuk yang beratnya 140 pond (63 kg) yang dijatuhkan dari ketinggian 30 inchi (76,2 cm). Setelah “*split spoon tube*” ini dimasukan 6 inchi (15,2 cm), jumlah pukulan dihitung untuk memasukan 1 *foot* (12 inchi) (30,48 cm) berikutnya (Gambar 3.2). Jumlah pukulan ini disebut dengan nilai N dengan satuan pukulan/kaki (blows/foot) yang biasa dituliskan sebagai N-SPT. Tanah dinyatakan keras jika nilai N-SPT > 40 (Coduto, 2001).





Gambar 3.2 Pelaksanaan penyelidikan SPT (Coduto, 2001)

B. Parameter Sifat-Sifat Fisika dan Mekanika tanah

Dalam mendesain struktur geoteknik seperti fondasi, diperlukan data tanah yang dapat mempresentasikan kondisi tanah di lapangan. Data yang diperlukan dapat berupa data pengujian laboratorium dan hasil pengujian di lapangan untuk menentukan sifat-sifat fisika yang meliputi ukuran partikel tanah, berat jenis, batas-batas konsistensi, berat volume, dan kadar air, serta sifat-sifat mekanika tanah berupa kuat geser tanah. Pengambilan contoh tanah dan pengujian laboratorium tidak dilakukan pada seluruh lokasi melainkan di tempat-tempat yang memungkinkan dan dianggap mewakili lokasi keseluruhan. Kelengkapan data dalam penyelidikan lapangan menentukan dalam perencanaan, tetapi tidak semua data dapat diperoleh dengan lengkap. Hal tersebut terkait dengan masalah biaya pengambilan sampel atau kendala nonteknis yang terjadi di lapangan. Dalam kondisi ini, perencana dapat mengambil asumsi yang

diperoleh dari korelasi empiris yang telah dilakukan oleh ahli-ahli geoteknik dan mengacu pada pemahaman mekanika tanah yang baik (Carter & Bentley, 1991).

1. Berat jenis (G_s)

Berat jenis merupakan nilai yang tidak bersatuan (*non-dimensional values*). Nilai berat jenis suatu tanah akan sangat bervariasi tergantung pada material penyusunnya, namun secara umum tanah mempunyai berat jenis antara 2,6 dan 2,8. Berdasarkan pengalaman pada permasalahan geoteknik, berat jenis tanah yang biasa diambil sebesar 2,7. Beberapa nilai berat jenis untuk tipikal tanah diberikan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Nilai berat jenis untuk tipikal tanah (Muntohar, 2009)

Jenis Tanah	Rentang Nilai Berat jenis, G_s
Kerikil	2,65 – 2,68
Pasir	2,65 – 2,68
Lanau	2,66 – 2,7
Lempung	2,68 – 2,8
Gambut	1,25 – 1,80

2. Berat volume tanah

Dalam geoteknik, berat volume sangat diperlukan dalam perhitungan kondisi tanah, biasanya digunakan dalam analisis fondasi untuk menghitung tekanan tanah. Dalam penyelidikan tanah laboratorium biasanya didapat nilai berat volume total dan berat volume kering. Tabel 3.2 menunjukkan tipikal nilai berat volume kering pada beberapa jenis tanah.

Tabel 3.2 Tipikal nilai angka pori, kadar air, berat volume kering untuk beberapa jenis tanah (Muntohar, 2009)

Jenis Tanah	Angka pori, e	Kadar air pada kondisi jenuh, w (%)	Berat volume kering, γ_d (kN/m^3)
Pasir lepas seragam	0,8	30	14,5
Pasir padat seragam	0,45	16	18
Pasir berlanau lepas	0,65	25	16
Pasir berlanau padat	0,4	15	12

Lempung keras	0,6	21	17
Lempung lunak	0,9 - 1,4	30 - 50	11,5 - 14,5
Lempung lunak organik	2,5 - 3,2	90 - 170	6 - 8

Untuk menghitung berat volume jenuh air tanah dapat berdasarkan nilai berat jenis (G_s) dan angka pori (e) dengan menggunakan persamaan 3.1.

$$\gamma_{sat} = \frac{(G_s + e)\gamma_w}{1 + e} \quad (3.1)$$

Adapun angka pori (e) didapatkan dari persamaan 3.2.

$$e = wG_s \quad (3.2)$$

dengan :

γ_{sat} = berat volume jenuh, kN/m^3

γ_w = berat volume air, kN/m^3

G_s = berat jenis tanah

e = angka pori

w = kadar air

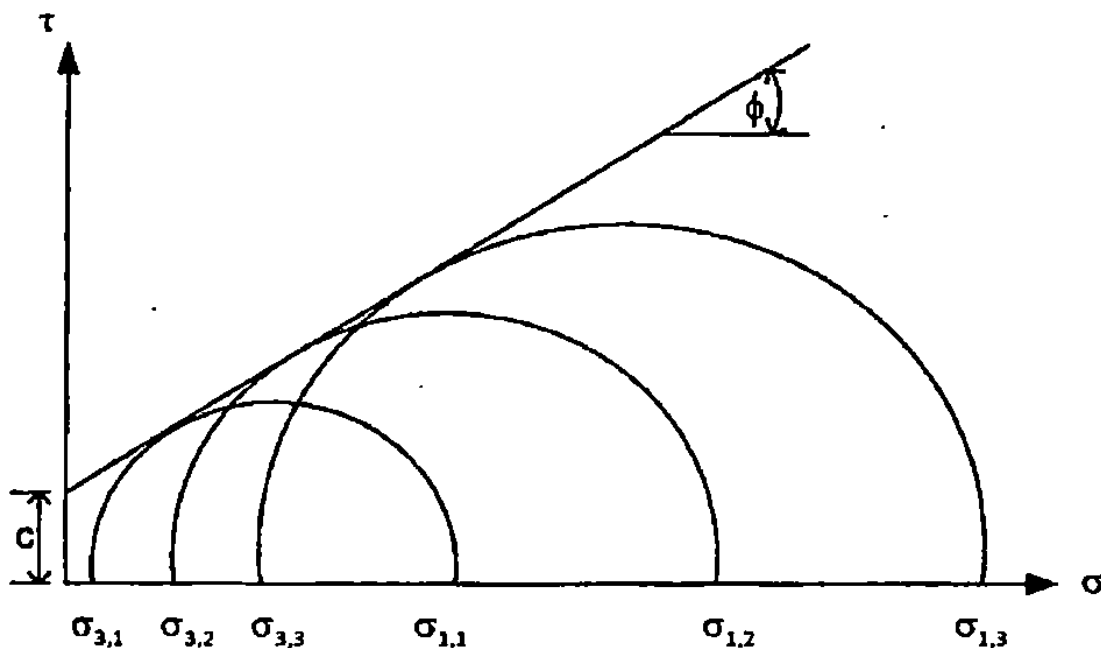
3. Kuat Geser Tanah

Perumusan dan teori tentang kekuatan geser tanah pertama kali dikembangkan oleh Coulomb pada tahun 1776. Besarnya kohesi tanah (c) dianggap konstan dan tidak tergantung dari besarnya tekanan luar yang bekerja, sedangkan nilai sudut geser-dalam tanah bervariasi tergantung dari besarnya tekanan normal yang bekerja pada permukaan geser. Mohr, pada tahun 1900, menyatakan bahwa keruntuhan suatu material disebabkan oleh kombinasi kritis antara tekanan normal dan tekanan geser, bukan hanya karena tekanan normal atau tekanan geser sendiri-sendiri. Oleh karena itu menurut Mohr, keruntuhan (*failure*) tanah terjadi jika kombinasi tekanan normal dan geser melebihi kekuatan tanah. Tempat kedudukan dari kombinasi tekanan normal dan geser maksimum yang menyebabkan keruntuhan dipresentasikan sebagai lingkaran yang kemudian dikenal dengan lingkaran Mohr (Gambar 3.3). Berdasarkan pendekatan yang dikemukakan oleh Coulomb dan teori yang dikembangkan oleh Mohr maka

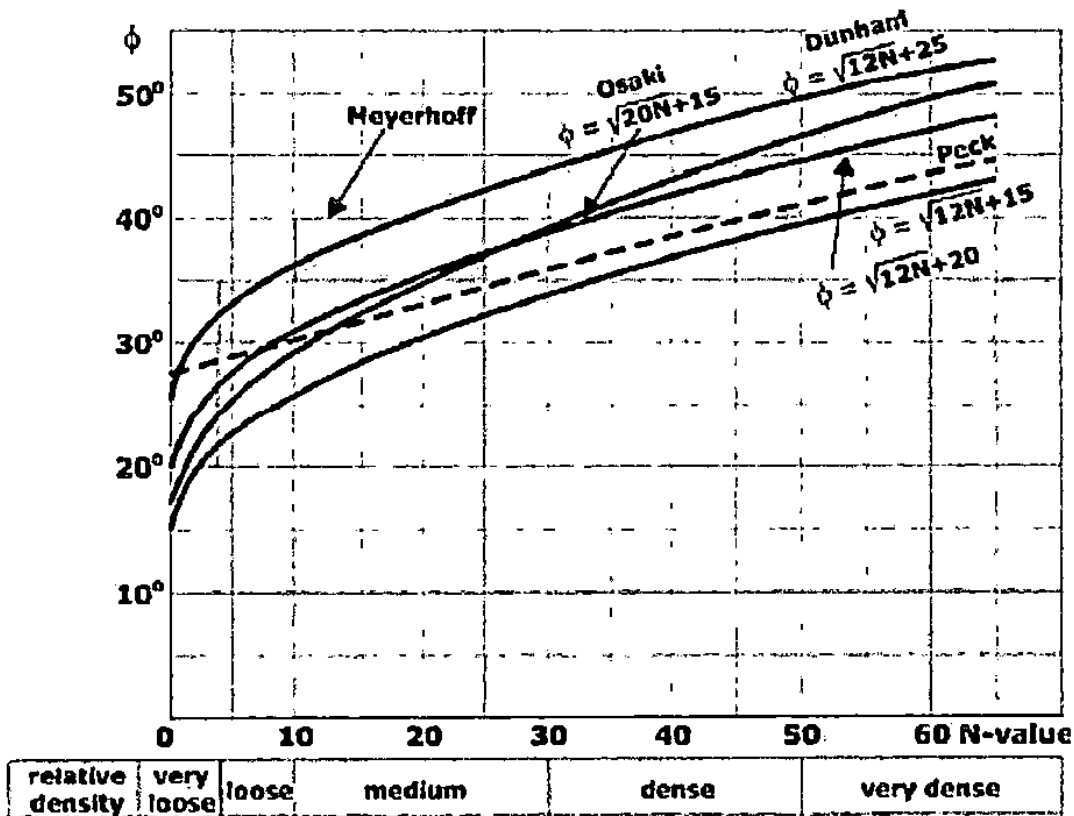
persamaan linear, yang disebut criteria keruntuhan Mohr-Coulomb (Mohr-Coulomb *failure criteria*)(Budi,2011). Perumusan kekuatan geser tanah dinyatakan dalam persamaan (3.3)

$$\tau_f = c + \sigma_n \tan \phi \quad (3.3)$$

Parameter-parameter kuat geser tanah untuk keperluan analisis geoteknik umumnya ditentukan dari hasil penyelidikan tanah lapangan dan laboratorium. Pada kondisi dimana hasil pengujian yang berhubungan tidak tersedia atau parameter tanah sulit untuk diukur secara langsung, maka parameter-parameter tanah dapat ditentukan berdasarkan engineering judgement maupun berdasarkan korelasi antar parameter-parameter tanah (Bowles, 1988; Carter & Bentley, 1991). Korelasi acuan untuk penentuan parameter kuat geser tanah dapat dilihat dalam Gambar 3.4.



Gambar 3.4. Korelasi acuan untuk penentuan parameter kuat geser tanah



Gambar 3.4 Korelasi antara N-SPT dan sudut gesek internal tanah (Carter & Bentley, 1991)

Untuk tanah yang tidak berkohesi (pasir dan lanau), nilai N berkorelasi dengan tingkat kepadatan- tanah dan sudut gesek internal tanah (ϕ). Tabel 3.3 menyajikan perkiraan nilai sudut gesek internal tanah berdasarkan nilai N-SPT. Sedangkan Tabel 3.4 menyajikan Korelasi antara kerapatan relatif (D_r) dan sudut geser dalam(ϕ) dengan nilai N_{60} -SPT untuk tanah pasir

Tabel 3.3 Korelasi N-SPT dengan ϕ (DPU, 1992)

Tingkat Kepadatan Tanah	Nilai N-SPT	Sudut Geser Dalam Tanah (ϕ)
Sangat Lepas	< 4	< 30°
Lepas	4 - 10	30° - 35°
Agak Padat	11 - 30	36° - 40°
Padat	31 - 50	41° - 45°
Sangat Padat/keras	> 50	> 45°

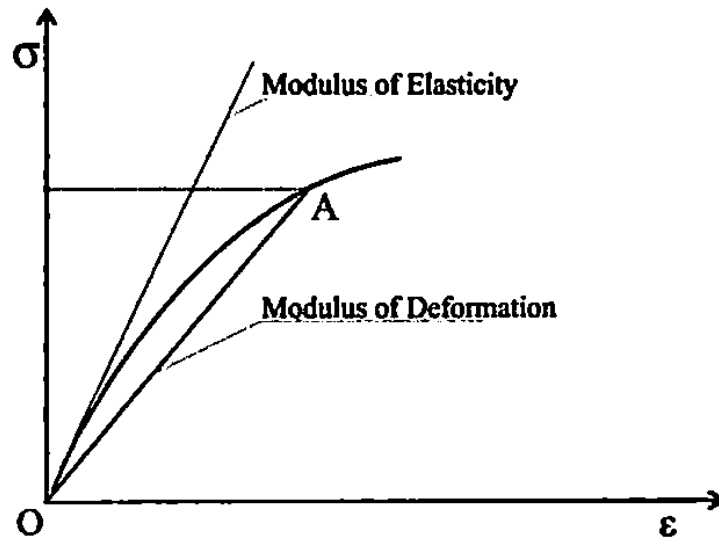
Tabel 3.4 Korelasi antara kerapatan relatif (D_r) dan sudut geser dalam (ϕ) dengan nilai N_{70} -SPT untuk tanah pasir (Bowles, 1988)

Deskripsi	Tingkat Kepadatan				
	Sangat lepas (<i>very loose</i>)	Lepas (<i>loose</i>)	Medium	Padat (<i>dense</i>)	Sangat padat (<i>very dense</i>)
Kerapatan relatif, D_r (%)	0 – 15	15 – 35	35 – 65	65 – 85	> 85
SPT N_{60} : halus	1 – 2	3 – 6	7 – 15	16 – 30	>40
: medium	2 – 3	4 – 7	8 – 20	21 – 40	>45
: kasar	3 – 6	5 – 9	10 – 25	26 – 45	
ϕ : halus	26 – 28	28 – 30	30 – 34	33 – 38	
: medium	27 – 28	30 – 32	32 – 36	36 – 42	<50
: kasar	28 – 30	30 – 34	33 – 40	40 – 50	
γ_b (kN/m^3)	11 - 16	14 - 18	17 - 20	17 - 22	20 - 23

4. Estimasi Nilai Modulus Elastisitas Tanah

Nilai modulus young menunjukkan besarnya nilai elastisitas tanah yang merupakan perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadap regangan (Gambar 3.5). Briaud (2001) menyebutkan bahwa modulus elastisitas tanah adalah salah satu parameter yang sangat sulit untuk dapat diperkirakan karena dipengaruhi oleh banyak faktor. Secara umum, nilai modulus elastisitas untuk berbagai jenis tanah diberikan pada Tabel 3.5. Selain itu, nilai modulus elastisitas (E_s) secara empiris dapat ditentukan dari jenis tanah dan nilai N -SPT atau nilai sondir seperti terlihat pada Tabel 3.6.

Parameter lain terkait dengan modulus elastisitas adalah angka poisson (*poisson ratio*). Angka poisson didefinisikan sebagai rasio regangan aksial



Gambar 3. 5 Penentuan nilai modulus elastisitas tanah (Bowles, 1991)

Tabel 3.5 Modulus elastisitas tanah berdasarkan jenis tanah (Bowles, 1988)

Jenis Tanah	Modulus Elastisitas, E_s (MPa)
Lempung :	
Sangat lunak	2 – 15
Lunak	5 – 25
Sedang	15 – 50
Keras	50 – 100
Berpasir	25 – 250
Pasir :	
Berlanau	5 – 20
Tidak padat	10 – 25
Padat	50 – 81
Pasir dan kerikil	
Padat	50 – 150
Tidak padat	100 – 200
Lanau	2 – 20
Butiran Lepas	15 – 60
Serpihan	150 – 5000

Tabel 3.6 Korelasi Modulus Elastisitas (E_s) dengan nilai N-SPT (Bowles, 1991)

Jenis Tanah	N-SPT (Nilai E_s dalam kPa)	CPT (E_s dalam satuan q_c)
Pasir (lepas sampai medium)	$E_s = 500 (N_{55} + 15)$ $E_s = (1500 \text{ s/d } 22000) \ln N_{55}$ $E_u = (15000 \text{ s/d } 22000 \log N_{55})$	$E_s = 2 \text{ sampai } 4 q_c$ $E_s = (1 + 2D_r) q_c$
Pasir (jenuh)	$E_s = 250 (N_{55} + 15)$	
Pasir (pasir padat)	$E_s = 18000 + 750 N_{55}$	$E_s = 6 \text{ s/d } 30 q_c$
Pasir kerikil dan kerikil	$E_s = 1200 (N_{55} + 6)$ $E_s = 600 (N_{55} + 6) \text{ untuk } N_{55} \leq 15$ $E_s = 600 (N_{55} + 6) + 2000 \text{ untuk } N_{55} \geq 15$	
Lempung berpasir	$E_s = 320 (N_{55} + 15)$	$E_s = 3 \text{ s/d } 6 q_c$
Pasir lanau	$E_s = 300 (N_{55} + 6)$	$E_s = 1 \text{ s/d } 2 q_c$
Lempung lunak		$E_s = 3 \text{ s/d } 8 q_c$

Tabel 3.7 Angka *poisson* (Bowles, 1988)

Jenis Tanah	Angka <i>Poisson</i> (ν)
Lempung jenuh	0,4 – 0,5
Lempung tak jenuh	0,1 – 0,3
Lempung berpasir	0,2 – 0,3
Lanau	0,3 – 0,35
Pasir berkerikil	0,1 – 1,00
Pasir yang sering digunakan	0,3 – 0,4
Batu (tergantung tipenya)	0,1 – 0,4
Butiran lepas	0,1 – 0,3

C. Pembebanan Jembatan Jalan Raya

1. Macam pembebanan

Berdasarkan pedoman Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan yang dikeluarkan oleh Departemen Pekerjaan Umum (DPU, 1992), macam pembebanan yang digunakan adalah sebagai berikut :

a. Beban Sendiri (M_s)

Beban sendiri dari jembatan adalah berat dari bagian tersebut dan elemen-elemen struktural lain yang dipikulnya.

Tabel 3.8 Berat volume untuk beban mati (DPU, 1992)

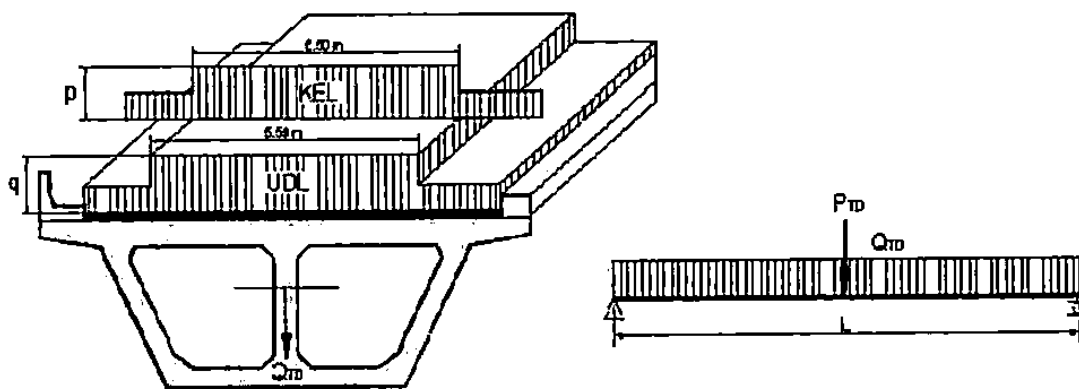
Bahan	Berat Volume (kN/m^3)	Rapat Massa (kg/m^3)
Campuran alumunium	26.7	2720
Lapisan permukaan beraspal	22.0	2240
Besi tuang	71.0	7200
Timbunan tanah dipadatkan	17.2	1760
Kerikil dipadatkan	18.8-22.7	1920-2320
Aspal beton	22.0	2240
Beton ringan	12.25-19.6	1250-2000
Beton	22.0-25.0	2240-2560
Beton prategang	25.0-26.0	2560-2640
Beton bertulang	23.5-25.5	2400-2600
Timbale	111	11400
Lempung lepas	12.5	1280
Batu pasangan	23.5	2400
Pasir kering	15.7-17.2	1600-1760
Pasir basah	18.0-18.8	1840-1920
Lumpur lunak	17.2	1760
Baja	77.0	7850
Kayu (ringan)	7.8	800
Kayu (keras)	11.0	1120
Air murni	9.8	1000
Air garam	10.0	1025
Besi tempa	75.5	7680

b. Beban Mati Tambahan (M_A)

Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen non struktural, dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan. Yang termasuk beban mati tambahan diantaranya adalah lapisan perkerasan, air hujan, dan tiang utilitas.

c. Beban lalu lintas (Q_{TD}/P_{TD})

Beban lajur terdiri dari beban terbagi merata (*uniformly distributed load*) yang disingkat *UDL*, dan beban garis (*knife edge load*) yang ditulis dengan *KEL*. *KEL* mempunyai intensitas $P = 44 \text{ kN/m}$. Prinsip pembebanan *UDL* dan *KEL* seperti dilihat pada Gambar 3.6.



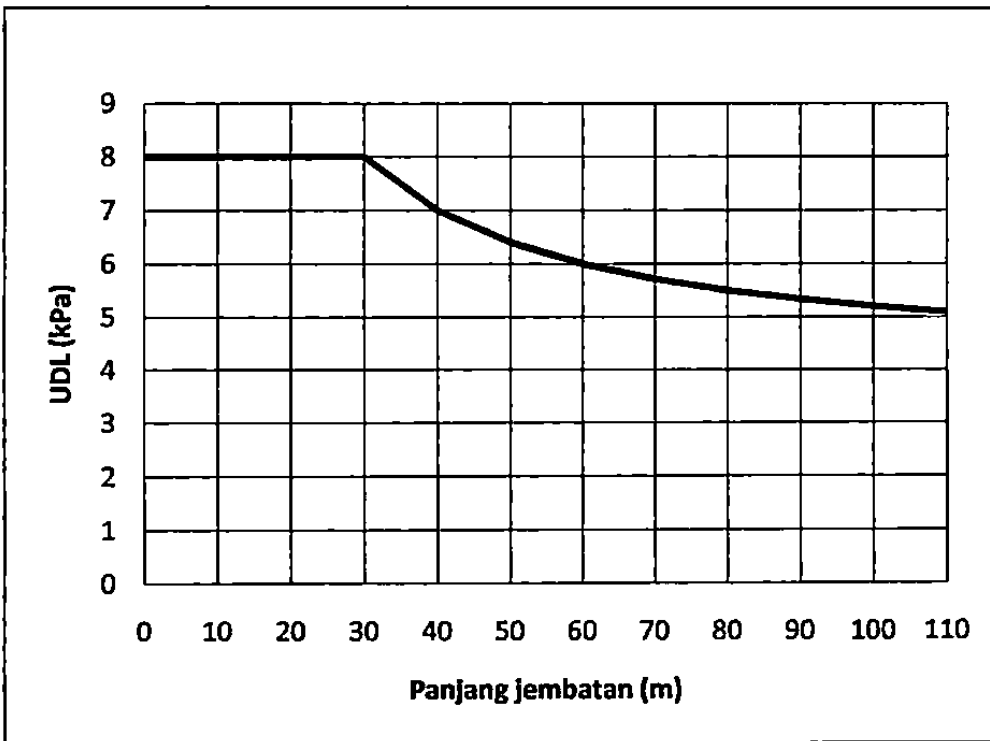
Gambar 3.6 Distribusi beban lalu lintas UDL dan KEL

UDL mempunyai intensitas q (kPa) yang besarnya tergantung pada panjang total (L) yang dibebani dan dinyatakan dengan persamaan 3.3a dan 3.3b. atau Gambar 3.7.

$$q = 8,0 \text{ kPa} \quad \text{untuk } L \leq 30 \text{ m} \quad (3.4a)$$

$$q = 8,0 \times (0,5 + 15/L) \text{ kPa} \quad \text{untuk } L > 30 \text{ m} \quad (3.4b)$$

dan beban *UDL* dituliskan seperti persamaan 3.4.



Gambar 3.7 Grafik besar UDL berdasarkan panjang jembatan

Untuk beban garis (*KEL*) diperlukan adanya faktor beban dinamis (*dynamic load allowance /DLA*), dengan ketentuan seperti dalam persamaan 3.5a hingga 3.5c.

$$DLA = 0,4 \quad \text{untuk } L \leq 50 \text{ m} \quad (3.6a)$$

$$DLA = 0,4 - 0,0025 \times (L-50) \quad \text{untuk } 50 < L < 90 \text{ m} \quad (3.6b)$$

$$DLA = 0,3 \quad \text{untuk } L \geq 90 \text{ m} \quad (3.6c)$$

Dan beban akibat beban dinamik dirumuskan dalam persamaan 3.7b.

$$P' = (5,5 \times P) + ((B-5,5) \times P \times 50\%) \quad (3.7a)$$

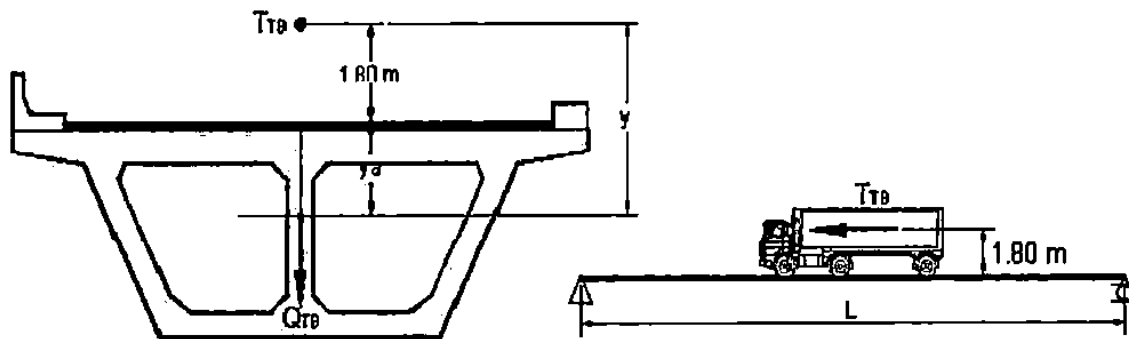
$$P_{TD} = (1 + DLA) \times P' \quad (3.7b)$$

d. Gaya Rem (T_{TB})

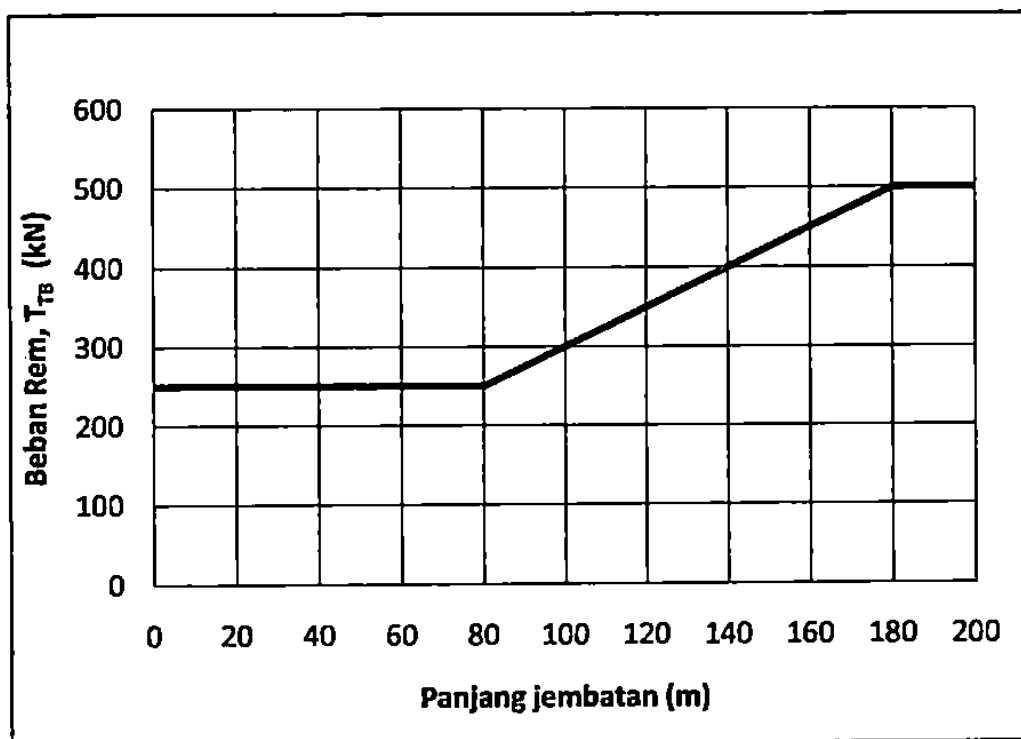
Pengaruh pengereman dari lalu-lintas diperhitungkan sebagai gaya dalam arah memanjang, dan dianggap bekerja pada jarak 1,8 m di atas permukaan lantai jembatan (Gambar 3.8). Besarnya gaya rem arah memanjang jembatan tergantung panjang total jembatan (L_t) seperti

$$T_{TB} = 250 + 2,5 \times (L_t - 80) \text{ kN} \quad \text{untuk } 80 < L_t < 180 \text{ m} \quad (3.8b)$$

$$T_{TB} = 500 \text{ kN} \quad \text{untuk } L_t \geq 180 \text{ m} \quad (3.8c)$$



Gambar 3.8 Skema beban rem pada jembatan



Gambar 3.9 Grafik besar beban rem berdasarkan panjang jembatan

e. Beban Gempa (T_{EQ})

Pengaruh gempa bumi pada jembatan dihitung senilai dengan suatu gaya horizontal pada konstruksi akibat beban mati konstruksi yang ditinjau.

Dengan demikian, beban gempa dapat dinyatakan dalam persamaan 3.9a

dengan :

- T_{EQ} = gaya geser dasar total pada arah yang ditinjau (kN)
- I = faktor kepentingan (lihat Tabel 3.9)
- S = faktor tipe struktur yang berhubungan dengan kapasitas (lihat Tabel 3.10)
- K_h = penyerapan energy gempa (daktalitas) dari struktur jembatan
- W_{TP} = berat total bangunan yang mempengaruhi percepatan gempa, diambil sebagai beban mati dan beban mati tambahan
- C = koefisien geser dasar untuk wilayah gempa, waktu getar (T) dan kondisi setempat yang sesuai (lihat Gambar 3.10 dan 3.11)

Tabel 3.9 Faktor kepentingan I (DPU, 1992)

Klasifikasi	Harga I minimum
Jembatan yang memuat lebih dari 2000 kendaraan/hari, jembatan pada jalan raya utama atau arteri dan jembatan dimana tidak ada rute alternative.	1,2
Seluruh jembatan permanen lainnya dimana rute alternative tersedia, tidak termasuk jembatan yang direncanakan untuk mengurangi pembebanan lalu lintas	1,0
Jembatan sementara (misal: bailey) dan jembatan yang digunakan untuk pembebanan lalu lintas.	0,8

Tabel 3.10 Faktor tipe struktur S (DPU, 1992)

Tipe Jembatan	Jembatan dengan daerah sendi beton bertulang atau baja	Jembatan dengan daerah sendi beton prategang	
		Prategang Parsial	Prategang Penuh
Tipe A	1,0 F	1,15 F	1,3 F
Tipe B	1,0 F	1,15 F	1,3 F
Tipe C	3,0	3,0	3,0

Dengan catatan :

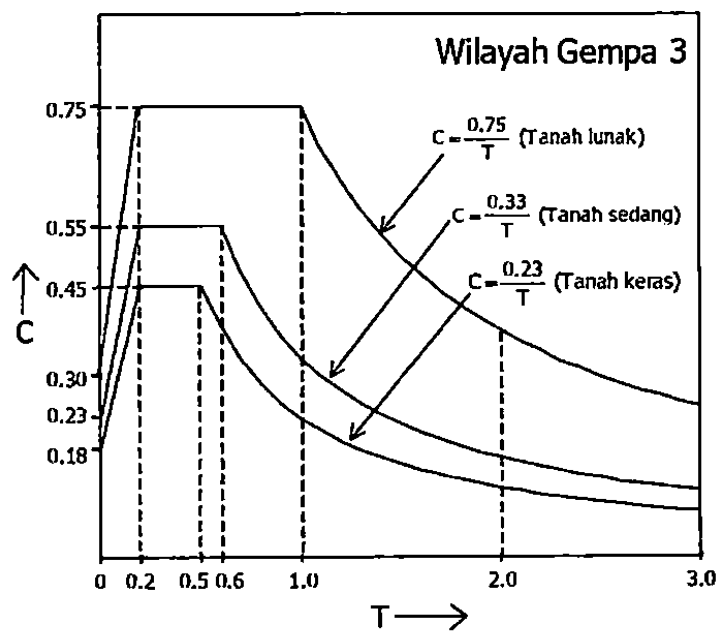
$F = \text{Faktor perangkaan} = 1,25 - 0,025n$

$n = \text{Jumlah sendi plastis yang menahan deformasi arah lateral pada masing-masing bagian monolit dari jembatan yang berdiri sendiri-sendiri}$

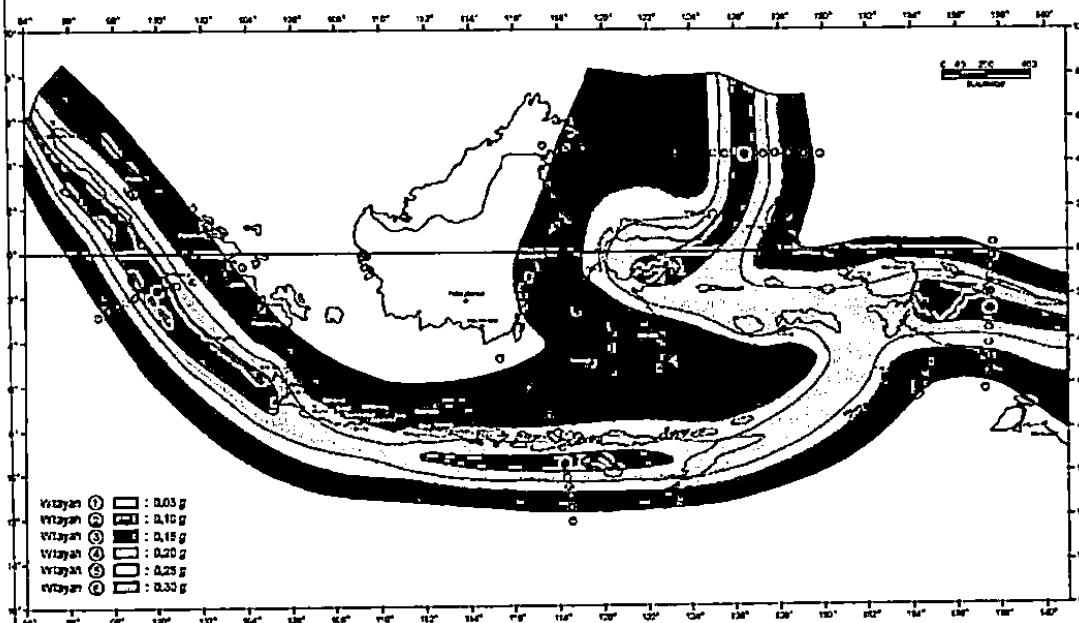
Tipe A adalah jembatan duktail (bangunan atas bersatu dengan bangunan bawah)

Tipe B adalah jembatan duktail (bangunan atas terpisah dengan bangunan bawah)

Tipe C adalah jembatan tidak duktail (tanpa sendi plastis)



Gambar 3.10 Koefisien geser dasar pada tiap wilayah gempa (DPU, 1992)



Waktu getar struktur dihitung dengan Rumus Rayleigh seperti persamaan 3.10.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{W_{TP}}{g \times K_p}} \quad (3.10)$$

dimana

$$K_p = \frac{3EI_c}{h^3} \quad (3.11)$$

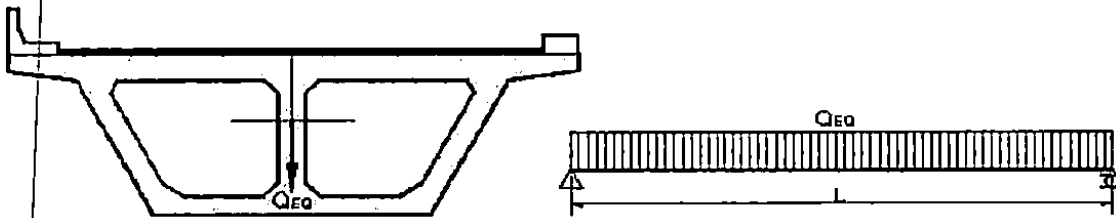
dengan pengertian

- T = waktu getar dalam detik untuk freebody pilar dengan derajat kebebasan tunggal pada jembatan bentang sederhana,
- g = percepatan gravitasi (m/dt^2),
- W_{TP} = berat total nominal bangunan atas termasuk beban mati tambahan ditambah setengah berat dari pilar (bila perlu diperhitungkan) (kN),
- K_p = kekakuan gabungan sebagai gaya horizontal yang diperlukan untuk menimbulkan satu satuan lendutan pada bagian atas pilar (kN/m)
- E = modulus elastisitas beton (kPa),
- I_c = momen Inersia struktur (m^4),
- h = tinggi struktur (m).

f. Beban vertikal statis ekivalen (Q_{EQ})

Untuk perencanaan perletakan dan sambungan, gaya gempa vertikal dihitung menggunakan percepatan vertikal (ke atas atau ke bawah) sebesar $0,1g$, yang bekerja secara bersamaan dengan gaya horizontal yang dihitung

- L = Panjang bentang jembatan (m),
 g = percepatan gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$),
 W_{TP} = berat total nominal bangunan atas termasuk beban mati tambahan ditambah setengah berat dari pilar (bila perlu diperhitungkan) (kN),



Gambar 3.42 Beban gempa vertikal merata

g. Beban Angin (T_{EW})

Pengaruh beban angin pada jembatan ditinjau berdasarkan bekerjanya beban angin horisontal terbagi rata pada bidang vertikal jembatan, dalam arah tegak lurus sumbu memanjang jembatan.

1) Gaya angin yang bekerja pada jembatan

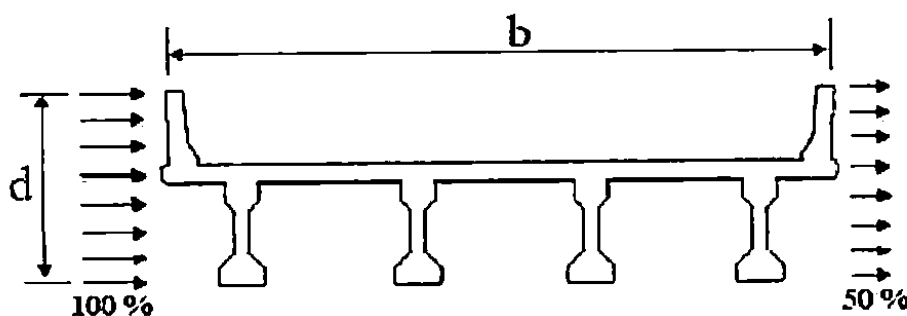
Distribusi beban angin yang bekerja pada jembatan diilustrasikan pada Gambar 3.13. Besarnya beban akibat gaya angin yang bekerja pada struktur dihitung dengan persamaan 3.13.

$$T_{EW} = 0,0006 C_w (V_w)^2 d \quad (\text{kN/m}) \quad (3.13)$$

dengan :

C_w = Koefisien seret (lihat Tabel 3.11)

V_w = Kecepatan angin rencana (lihat Tabel 3.12)



Tabel 3. 11 Koefisien seret C_w (DPU, 1992)

Bidang yang ditekan angin	C_w
Bangunan atas	
$b/d = 1,0$	2,1
$b/d = 2,0$	1,5
$b/d \geq 6,0$	1,25
Kendaraan	1,2

Keterangan:
 b = lebar keseluruhan jembatan dihitung dari sisi luar sandaran
 d = tinggi bangunan atas, termasuk tinggi bagian sandaran
Untuk harga antara b/d bias diinterpolasi linier.

Tabel 3. 12 Kecepatan angin rencana V_w (DPU, 1992)

Keadaan Batas	Lokasi	
	Sampai 5 km dari pantai	> 5 km dari pantai
Daya layan	30 m/s	25 m/s
Ultimit	35 m/s	30 m/s

2) Gaya angin pada kendaraan

Beban garis merata tambahan arah horisontal pada bidang vertikal terdistribusi menjadi beban merata vertikal (V_a). Bidang vertikal yang ditiup angin merupakan bidang samping kendaraan dengan tinggi 2 m di atas lantai kendaraan. Gaya angin diberikan oleh persamaan 3.14.

$$T_{EW} = 0,0012 C_w (V_a)^2 \quad (\text{kN/m}) \quad (3.14)$$

dimana

$$V_a = 0,5 \times (h/x) \times T_{EW} \quad (3.14)$$

dengan :

V_a = beban angin vertical merata (kN/m)

h = tinggi bidang vertical (kendaraan) (m)

2. Mekanisme Pembebanan

Beban-beban jembatan akan dijadikan data masukan (*input*) sebagai gaya luar untuk memperoleh gaya-gaya dalam (*internal forces*) jembatan. Beban-beban yang bekerja pada jembatan dikombinasikan sedemikian menghasilkan kondisi batas yang masih wajar. Kondisi beban secara umum didasarkan pada keadaan batas daya layan dan keadaan batas ultimit. Kombinasi beban umumnya didasarkan kepada beberapa kemungkinan yang berbeda dari aksi yang bekerja secara bersamaan. Aksi rencana ditentukan dari aksi nominal yaitu mengalikan aksi nominal dengan faktor beban yang memadai. Seluruh pengaruh aksi rencana harus mengambil faktor beban yang sama, apakah itu biasa atau terkurangi. Sehingga akan dicari hasil analisis yang paling kritis diantara kombinasi-kombinasi yang ada. Tabel 3.13 menyajikan panduan kombinasi beban pada jembatan. Penjelasan beban-beban yang bekerja disajikan pada Tabel 3.14.

Tabel 3.13 Kombinasi beban umum untuk keadaan batas kelayanan dan ultimit (DPU, 1992)

Aksi	Kelayanan						Ultimit					
Aksi Permanen : Berat sendiri Beban mati tambahan Susut rangkai Pratekan Pengaruh beban tetap pelaksanaan Tekanan tanah penurunan	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Aksi Transien : Beban lajur "D" atau beban truk "T"	X	O	O	O	O		X	O	O	O	O	
Gaya rem atau gaya sentrifugal	X	O	O	O	O		X	O	O	O		
Beban pejalan kaki		X						X				
Gesekan perletakan	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O		O
Pengaruh suhu	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O		
Aliran/hanyutan/ batang kayu / dan hidrostatik / apung	O		O	X	O	O			X			
Beban angin			O	O	X	O	O			X		
Aksi khusus : Gempa												X
Beban tumbukan												
Pengaruh getaran	X	X										
Beban pelaksanaan						X						X

"X" berarti beban yang selalu aktif
"O" berarti beban yang boleh dikombinasi
dengan beban aktif tunggal atau seperti ditunjukkan

Tabel 3.14 Tipe aksi rencana (DPU, 1992)

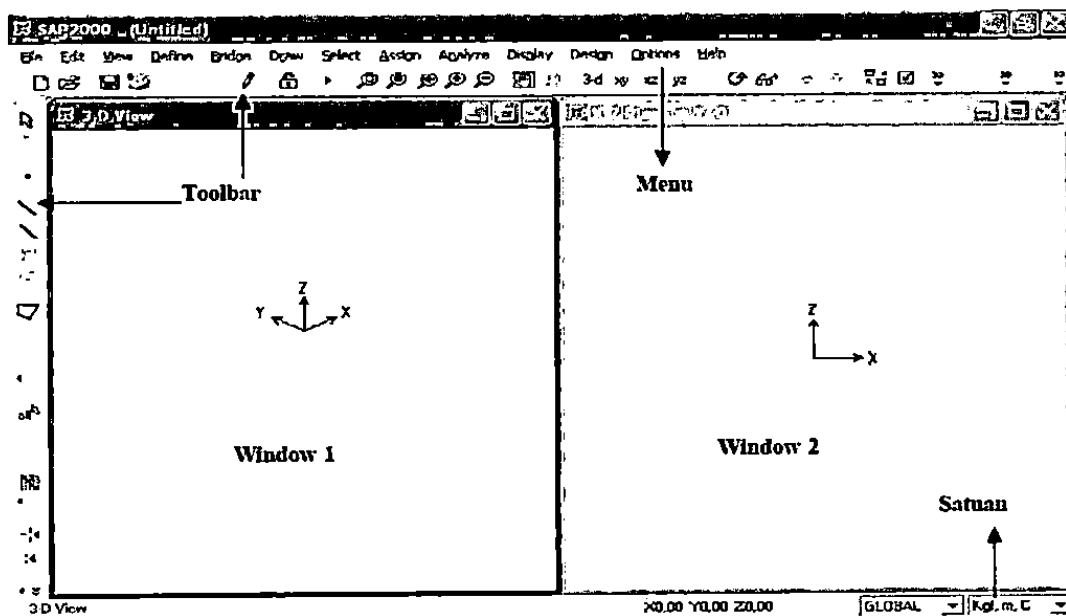
Aksi Tetap		Aksi Transien	
Nama	Simbol	Nama	Simbol
Berat sendiri	P_{MS}	Beban lajur "D"	T_{TD}
Beban mati tambahan	P_{MA}	Beban truk "T"	T_{TT}
Penyusutan/rangkak	P_{SR}	Gaya rem	T_{TB}
Prategang	P_{PR}	Gaya sentrifugal	T_{TR}
Pengaruh pelaksanaan tetap	P_{PL}	Beban pejalan kaki	T_{TP}
Tekanan tanah	P_{TA}	Beban tumbukan	T_{TC}
Penurunan	P_{ES}	Beban angin	T_{EW}
		Gempa	T_{EQ}
		Getaran	T_{VI}
		Gesekan pada perletakan	T_{BF}
		Pengaruh temperatur	T_{ET}
		Arus/hanyutan/tumbukan	T_{EF}
		Hidro/daya apung	T_{EU}
		Beban pelaksannann	T_{CL}

D. Pemodelan Struktur dengan SAP 2000

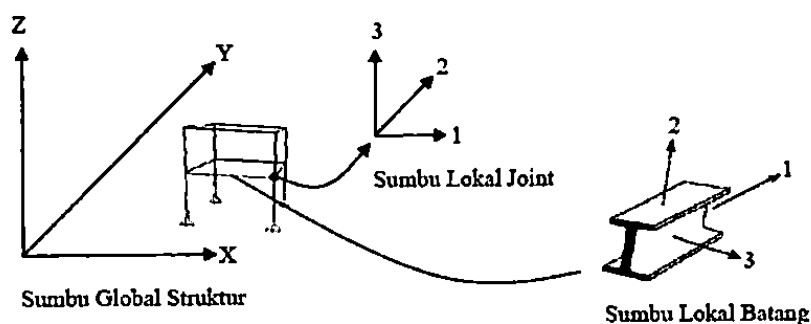
SAP 2000 merupakan salah satu program komputer untuk melakukan analisis dan desain struktur. Analisis struktur adalah proses untuk mengetahui gaya dalam pada model struktur yang dikenai gaya luar tertentu (bisa berupa beban tetap/sementara, momen, displacement, perubahan suhu dan lain-lain). Semua gaya luar yang bekerja pada struktur dimodelkan dan dianalisis untuk mengetahui gaya dalam berupa momen (lentur, puntir), gaya lintang, gaya normal dan lain-lain (retakan, tekuk dan sebagainya). Desain struktur adalah proses yang dilakukan sebagai tindak lanjut dari proses analisis struktur. Gaya dalam yang ada harus mampu ditahan oleh elemen struktur yang direncanakan. Proses desain struktur dipengaruhi oleh jenis dan kualitas material (baik baja, beton atau material yang lain) dan dimensi/penampang material. Semakin besar gaya dalam yang timbul, pada umumnya membutuhkan kualitas material yang lebih baik dan dimensi/penampang yang lebih besar. Dengan kata lain, kualitas dan dimensi material berbanding lurus dengan gaya dalam yang timbul. Hasil desain struktur dalam struktur beton adalah kebutuhan tulangan lentur, tulangan geser dan

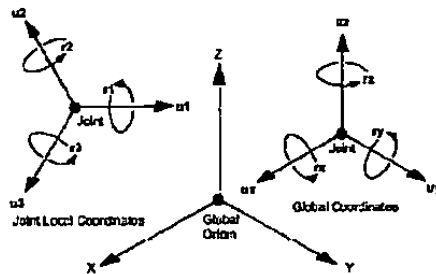
Secara umum proses analisis struktur menggunakan program SAP 2000 melalui tahapan berikut :

1. Rencana dan penggambaran model struktur
2. Penentuan beban yang bekerja sesuai dengan model rencana. (Jumlah beban dan nilai beban yang timbul tergantung dari model yang kita rencanakan)
3. Dimensi penampang rencana (dimensi ini menentukan kekakuan system struktur dan juga sangat tergantung dari model direncanakan).
4. Analisis struktur atau analisis mekanika teknik (hasil analisis ini dipengaruhi oleh model, pembebanan / gaya luar dan rancangan penampang).
5. Gambar gaya dalam (bidang momen, gaya lintang, gaya normal dan momen punter) yang bekerja.



Gambar 3.5 Tampilan menu SAP 2000 versi 14 (Modul SAP2000 v.11)





Gambar 3. 7 Deformasi dan gaya-gaya pada nodal (Modul SAP2000 v.11)

Menu Bridge Wizard pada program SAP 2000 versi 11 atau 14 menyediakan panduan langkah-demi-langkah melalui proses pemodelan menggunakan utilitas pembuat model jembatan SAP2000. Utilitas pembuat model jembatan (*The Bridge Modeler Utility*) menjadikan proses lebih cepat dan lebih mudah digunakan ketika mendesain jembatan yang kompleks. Berikut adalah langkah-langkah mendesain jembatan dengan menu *Bridge Wizard* (Gambar 3.17) :

Bridge Modeler Wizard

Bridge Modeler

Currently Defined Items

- Layout Lines
- Material Properties
- Frame Section Properties
- Link Properties
- Deck Sections
- Diaphragms
- Restrainers
- Bearings
- Foundation Springs
- Abutments
- Bents
- Temperature Gradients
- Bridge Objects
- Parametric Variations
- Lanes
- Vehicles
- Vehicle Classes
- Response Spectrum Functions
- Time History Functions
- Load Patterns
- Load Case

Step 1: Introduction

The bridge wizard walks you through all of the steps required to create a bridge object model in Sap2000. As shown in the summary table below:

- Step 2 defines the bridge layout line, that is, the horizontal and vertical alignment of the bridge.
- Step 3 defines basic properties and step 4 defines bridge-specific properties.
- Steps 5 through 7 define the bridge object and make all of its associated assignments
- Step 8 creates an object-based model from the bridge object definition.
- Steps 9 through 13 define analysis items and parameters including lanes, vehicles, load cases and desired output items.

Summary Table

Step	Item	Description	Note
1		Introduction	
2		Layout Line	Required
3		Basic Properties	
	3.1	Materials	Required
	3.2	Frame Sections	
	3.3	Links	Advanced
4		Bridge Component Properties	
	4.1	Deck Sections	Required
	4.2	Diaphragms	
	4.3	Restrainers	
	4.4	Bearings	Required
	4.5	Foundation Springs	Required
	4.6	Abutments	Required

Form Layout

Step: 1

Close Wizard

Fungsinya adalah untuk menentukan garis acuan geometri jalan secara horisontal dan vertikal. Garis acuan dapat dibuat lurus maupun melengkung.

2. Deck Section

Fungsinya adalah untuk menentukan dimensi rencana penampang jembatan. Pada Bridge wizard ini dapat menentukan macam-macam dek berjenis girder boks (*box girder*), balok beton (*concrete beam*) dan balok baja (*steel beam section*).

3. Abutment Definition

Fungsinya untuk menentukan perletakan di ujung jembatan.

4. Bent Definition

Fungsinya untuk menentukan geometri dan sifat penampang dari balok tepi tekuk (*the bent cap beam*) dan kolom tekuk (*the bent columns*). Dan juga untuk menentukan kondisi perletakan.

5. Diaphragm Definition

Fungsinya untuk mendefinisikan sifat penampang vertikal pada seluruh bentang jembatan. Penampang diafragma bisa berupa beton solid, baja X, V atau ikatan angin K, atau balok baja tunggal. Properti diafragma beton solid hanya berlaku pada penampang jembatan beton.

6. Hinge Definition

Fungsinya untuk menentukan sifat engsel (*expansion joints*) dan pengekangan

7. Parametric Variation

Fungsinya untuk menentukan variasi dari penampang dek sepanjang jembatan. Sehingga ketebalan dek bisa dibuat berubah (parabolik, melengkung) atau tetap (linier)

8. Bridge Object Definition

Fungsinya untuk menentukan objek jembatan mulai dari bentang, variasi penampang, jenis perletakan, diafragma, superelevasi, dan penentuan tendon.

9. *Update Linked Model*

Fungsinya untuk memperbarui (*update*) model jembatan.

10. *Lane Definition*

Fungsinya untuk menentukan kasus analisis tipe beban berjalan.

11. *Vehicle Definition*

Fungsinya untuk menentukan beban hidup dari kendaraan.

12. *Analysis Case*

Untuk menentukan kasus saat analisis.

13. *Bridge Response*

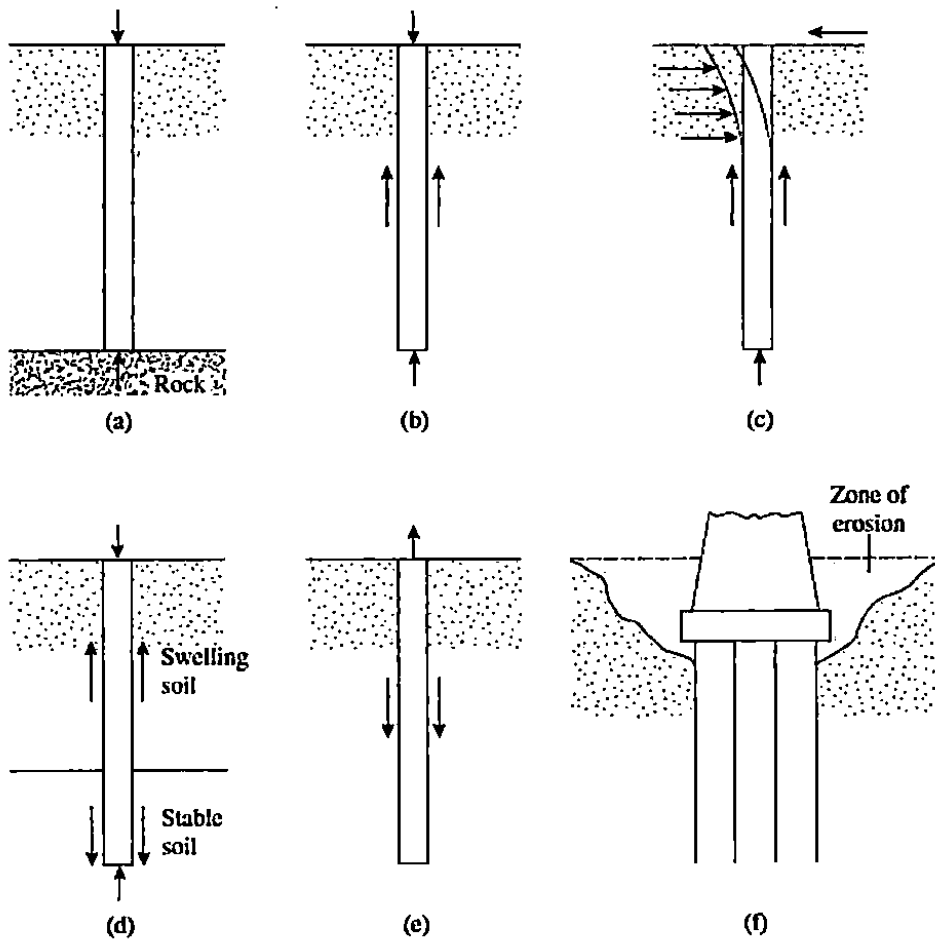
Fungsinya untuk memungkinkan para insinyur secara eksplisit menentukan hasil analisis dari kasus analisis beban bergerak.

E. Fondasi Tiang Bor

Fondasi merupakan struktur bawah yang berfungsi untuk meneruskan beban dari struktur atas kepada lapisan tanah pendukungnya. Fondasi sangat menentukan kestabilan dan kekokohan struktur bangunan yang ada di atasnya. Fondasi tiang bor, merupakan fondasi yang dikonstruksikan dengan cara membuat sebuah lubang bor dengan diameter tertentu hingga kedalaman yang diinginkan. Umumnya tulangan yang telah dirangkai kemudian dimasukkan ke dalam lubang bor tersebut dan diikuti dengan pengisian material beton ke dalam lubang bor tersebut (Rahardjo, 2005).

Berikut ini adalah beberapa kondisi dimana suatu struktur membutuhkan fondasi tiang (lihat Gambar 3.18) :

- a. Ketika satu atau lebih lapisan tanah bersifat tanah lunak maka beban tiang disalurkan pada tanah keras (*bedrock*).
- b. Ketika tidak menemukan tanah keras pada kedalaman yang wajar di bawah permukaan tanah, beban disalurkan secara bertahap melalui tahanan gesek.
- c. Ketika menerima gaya horizontal fondasi tiang menahan dengan lenturan,



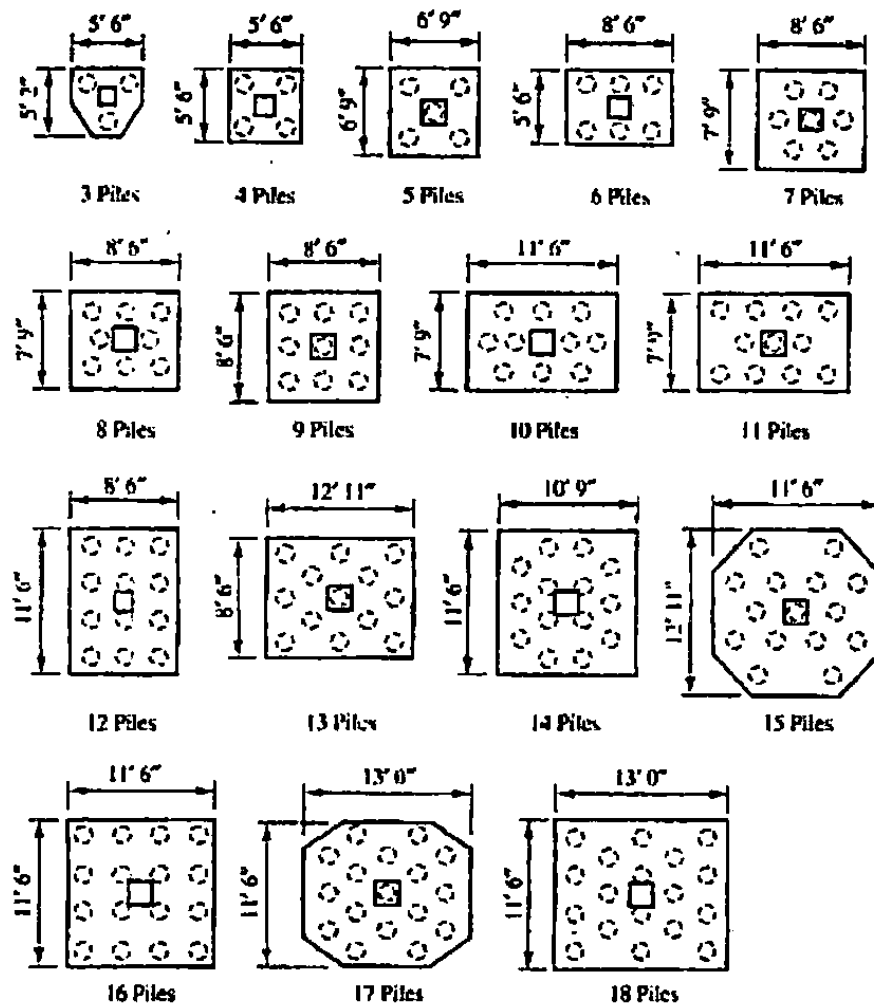
Gambar 3. 18 Mekanisme pembebanan (Das, 2011)

- d. Ketika fondasi dangkal didirikan di tanah ekspansif yang beresiko terhadap penurunan, maka fondasi tiang menjadi alternatif karena dapat diperpanjang sampai pada lapisan tanah yang stabil
- e. Tiang bisa digunakan untuk menahan gaya angkat (*uplift*) pada fondasi struktur-struktur yang dikenakan gaya angkat seperti menara, anjungan lepas pantai dan dasar basement.
- f. Tiang digunakan pada abutmen dan pilar untuk menghindari penurunan kapasitas dukung akibat erosi tanah (Vesic, 1977).

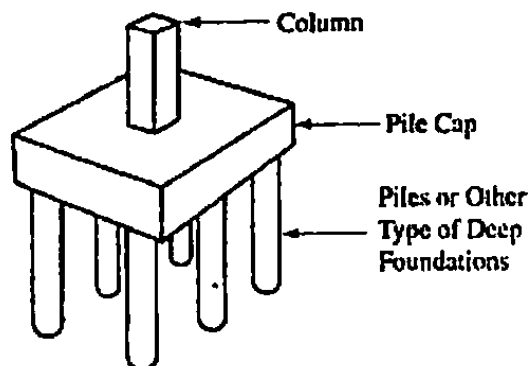
1. Susunan fondasi tiang grup

Jarak antara tiang pancang di dalam grup tiang sangat mempengaruhi perhitungan kapasitas daya dukung dari grup fondasi tiang. Untuk bekerja sebagai grup tiang, jarak antara tiang (S) biasanya mengikuti peraturan-

beberapa tipikal penyusunan tiang kelompok. Tiang-tiang tersebut dihubungkan menjadi suatu kelompok yang monolit dengan kepala tiang (*pile cap*) seperti Gambar 3.20.

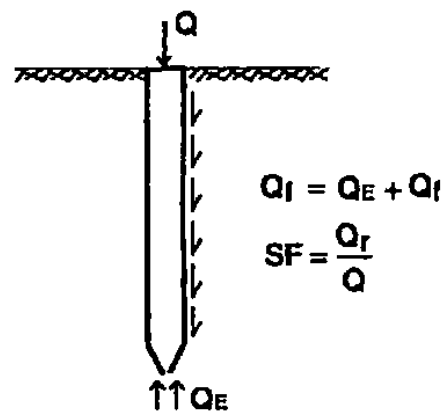


Gambar 3.19 Tipikal konfigurasi tiang (Coduto, 2011)



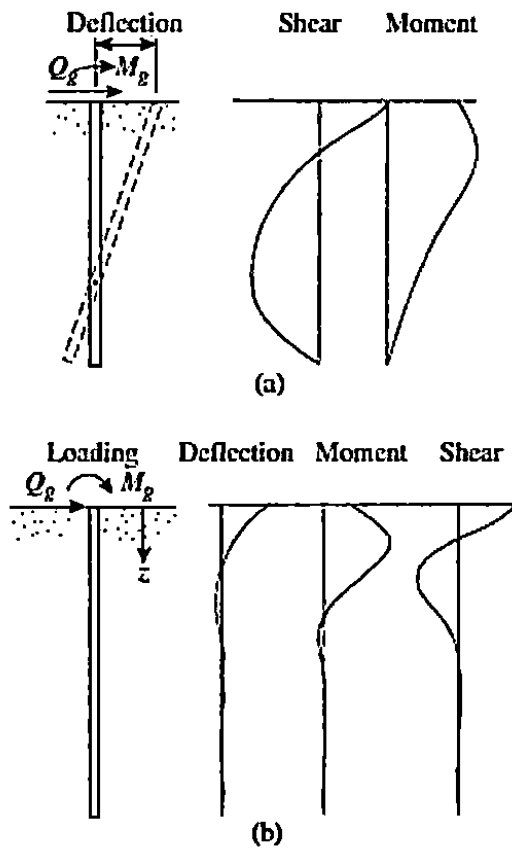
2. Mekanisme Penyaluran Beban

Fondasi tiang mengalihkan beban yang diterima kepada tanah melalui dua mekanisme, yaitu berupa gesekan selimut dan tahanan ujung. Kedua komponen daya dukung tersebut ditunjukkan dalam Gambar 3.21. Gesekan selimut diperoleh sebagai akibat adhesi atau perlawanan geseran antara selimut tiang dengan tanah di sekelilingnya, sedangkan tahanan ujung timbul karena desakan ujung fondasi terhadap tanah.

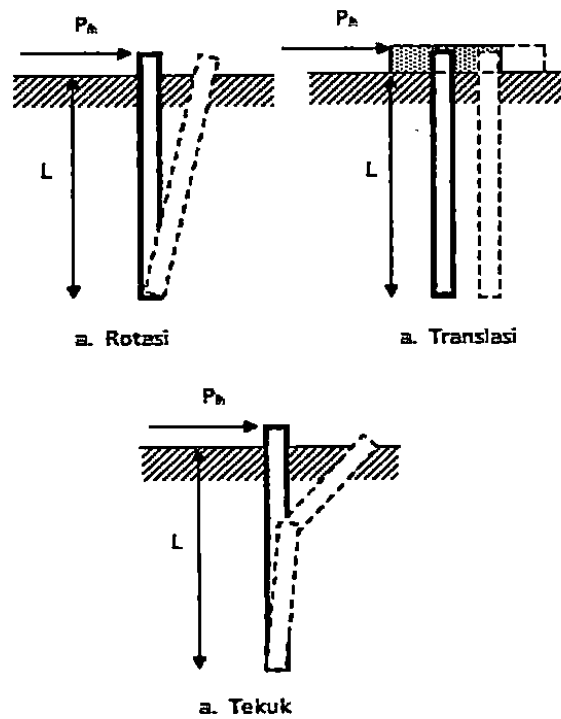


Gambar 3.21 Transfer gaya vertikal pada fondasi tiang (Pradoto, 1997)

Akibat beban yang bekerja pada arah lateral, fondasi akan mengalami perpindahan atau deformasi dan menghasilkan perilaku gaya-gaya dalam pada fondasi berupa gaya geser dan momen lentur. Masing-masing perpindahan dan gaya-gaya dalam akan bergantung pada panjang tiang seperti diilustrasikan pada Gambar 3.22. Selanjutnya, dari gaya-gaya dalam yang terjadi dapat diketahui mekanisme keruntuhan dengan memperhatikan tipe tiang berdasarkan kekakuannya yang dapat dibedakan menjadi : (a) rotasi, untuk tiang pendek (Gambar 3.23a), (b) translasi, untuk tiang pendek (Gambar 3.23b), (c) rotasi pada daerah dimana momen lentur maksimum



Gambar 3. 22 Perilaku Gaya dan Perpindahan (a) tiang pendek (b) tiang panjang (Das, 2011)

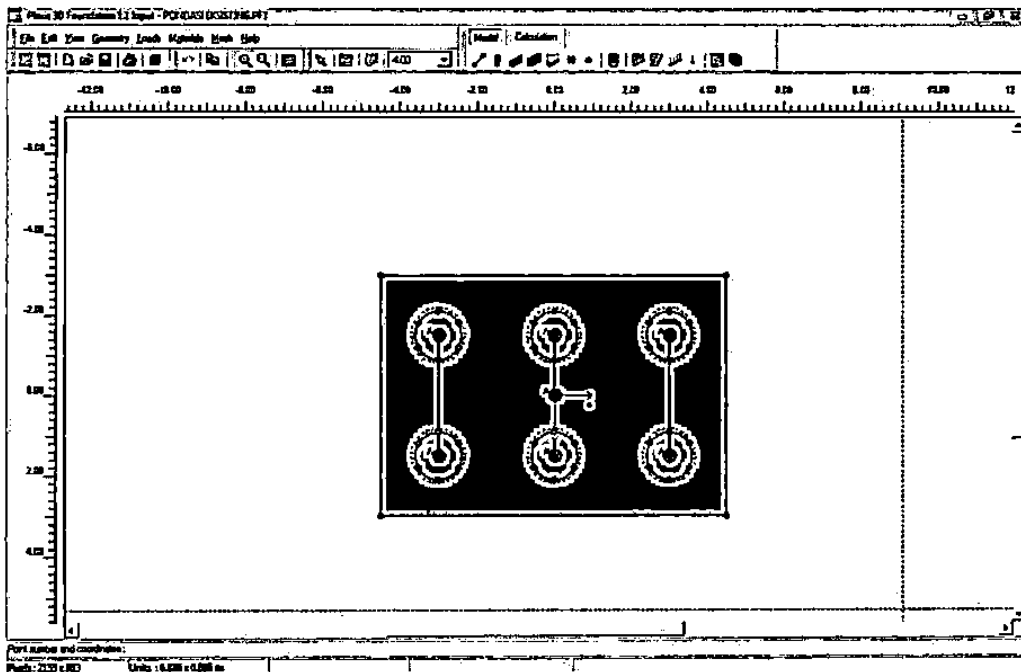


F. Pemodelan PLAXIS 3D Foundation

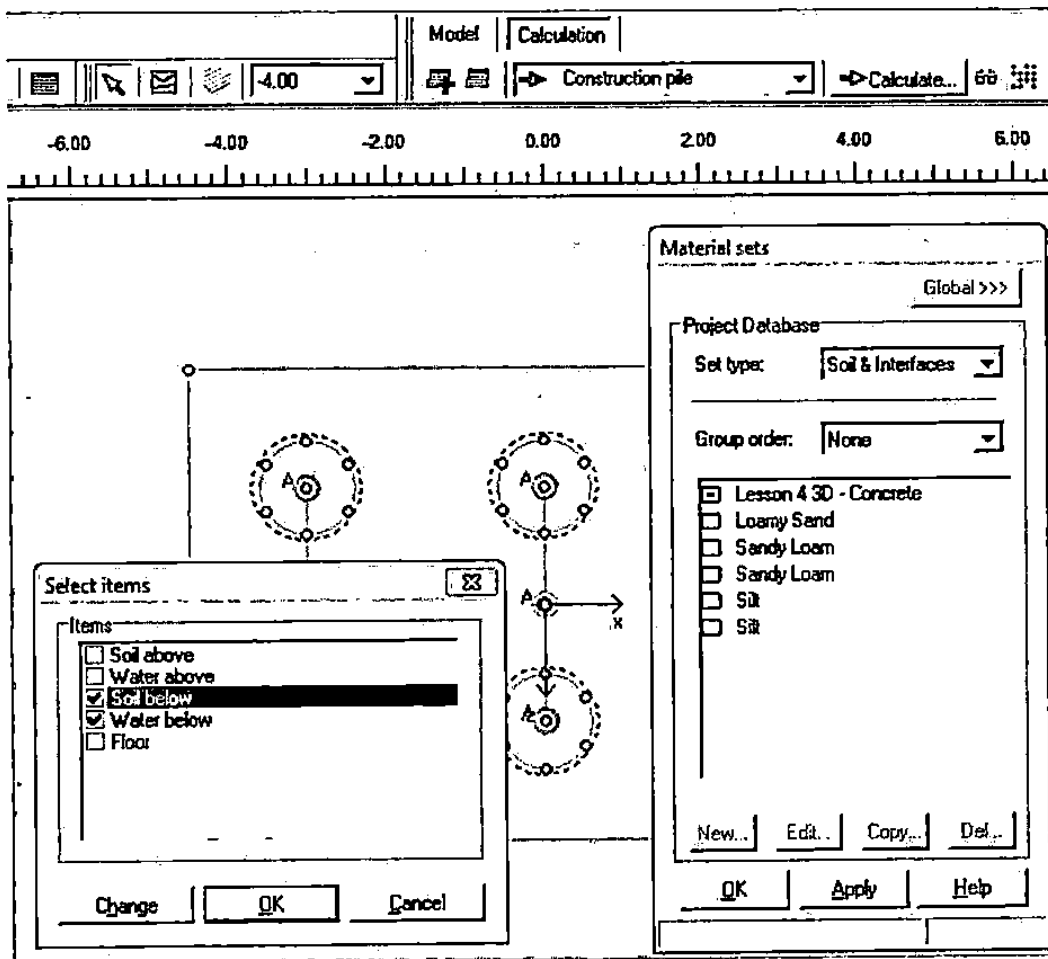
PLAXIS (*Finite Element Code For Soil and Rock Analysis*) merupakan suatu rangkuman program elemen hingga yang telah dikembangkan untuk menganalisa deformasi dan stabilitas geoteknik dalam perencanaan-perencanaan sipil. Berdasarkan prosedur input data yang sederhana, mampu menciptakan perhitungan elemen hingga yang kompleks dan menyediakan fasilitas output tampilan secara detail berupa hasil-hasil perhitungan. Dalam penelitian ini data yang dibutuhkan adalah mengenai nilai-nilai parameter pada tanah yang didapat dari hasil penyelidikan tanah yaitu tanah yang akan dianalisa adalah tanah yang diperoleh dari lapangan. Data-data tersebut akan digunakan sebagai input, dalam program PLAXIS antara lain nilai parameter tanah antara lain γ_{dry} , γ_{wet} , kohesi, modulus elastisitas tanah, *poisson ratio*, dan sebagainya (Rizaldi, 2010)

a. Input data

Program *Plaxis 3D Foundation* terdiri dari dua mode yaitu mode *model* (Gambar 3.24) dan mode *calculation* (Gambar 3.25). Mode *model* berisi semua fasilitas untuk membuat dan memodifikasi model geometri dan untuk menghasilkan *mesh* elemen secara 2D dan 3D. Perhitungan berisi semua fasilitas untuk mendefinisikan tahapan perhitungan yang mewakili berbagai tahap konstruksi dan pembebanan termasuk kondisi awal analisis elemen hingga



Gambar 3.24 Tampilan *Input* dari Plaxis 3D Foundation untuk mode *Model*




Gambar 3.25 Tampilan *Input* dari Plaxis 3D Foundation untuk mode *Calculation*

b. Geometry model

Untuk menghasilkan model elemen hingga 3D dimulai dengan pembuatan model geometri. Model geometri adalah terdiri dari *bore hole* dan bidang kerja horizontal (*x-z planes*). Bidang kerja digunakan untuk membuat geometri garis dan struktur. Lubang bor (*bore holes*) digunakan untuk mendefinisikan statigrafi tanah lokal, permukaan bawah tanah dan distribusi tekanan tanah. Model geometri terdiri dari :

1. *Work plaes* 

2. *Point and lines* 


3. *Beams* 

4. *Floors* 

5. *Walls* 

6. *Piles* 

7. *Springs* 

8. *Line fixitises* 

9. *Bore holes* 

c. Pembebanan

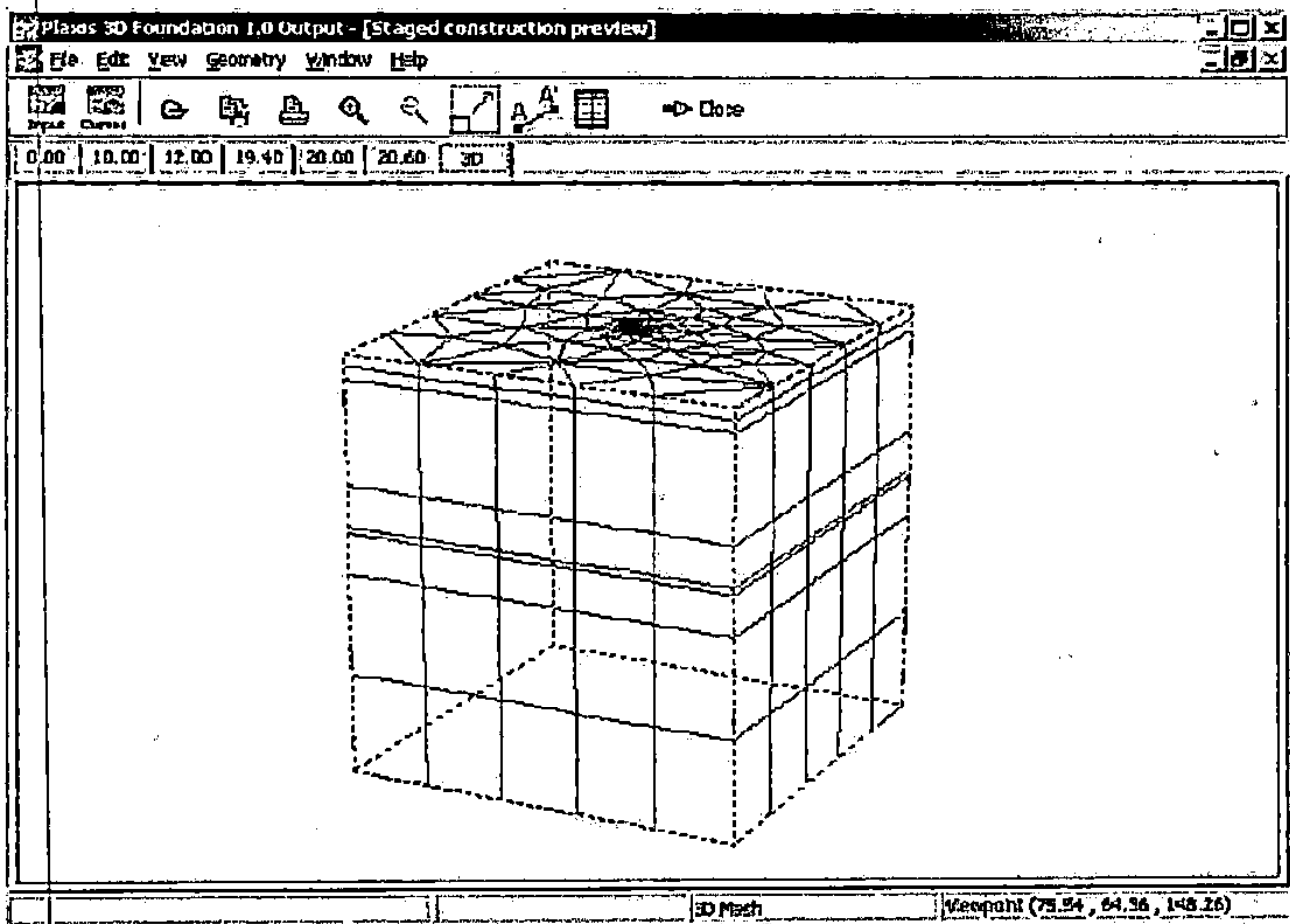
Pembebanan akan diberikan pada model geometri. Bentuk pembebanan pada Plaxis 3D Foundation terdiri dari beban garis, beban titik, beban merata vertikal, dan beban merata horizontal. Beban momen tidak dapat dimasukkan dalam program ini.

d. Sifat material

Material perlu didefinisikan baik itu pada tanah maupun pada tanah. Bagi lapisan tanah berbeda-beda jenis maka sifat material akan berbeda. Tanah harus ditentukan model perilaku tanah, parameter tanah, *interface*. Begitu juga

e. *Mesh*

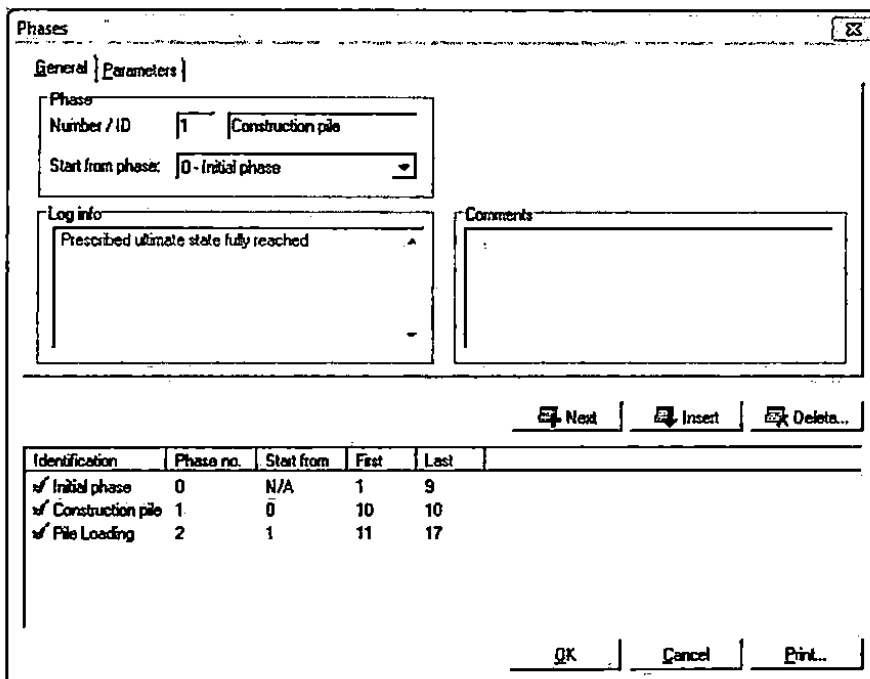
Pemodelan selesai ditandai dengan *mesh* baik pada tanah maupun pada struktur. *Mesh* berupa jaring segitiga secara 2D dan 3D (lihat Gambar 3.26).



Gambar 2.26 Hasil *mesh* 3D

f. Perhitungan (*calculation*)

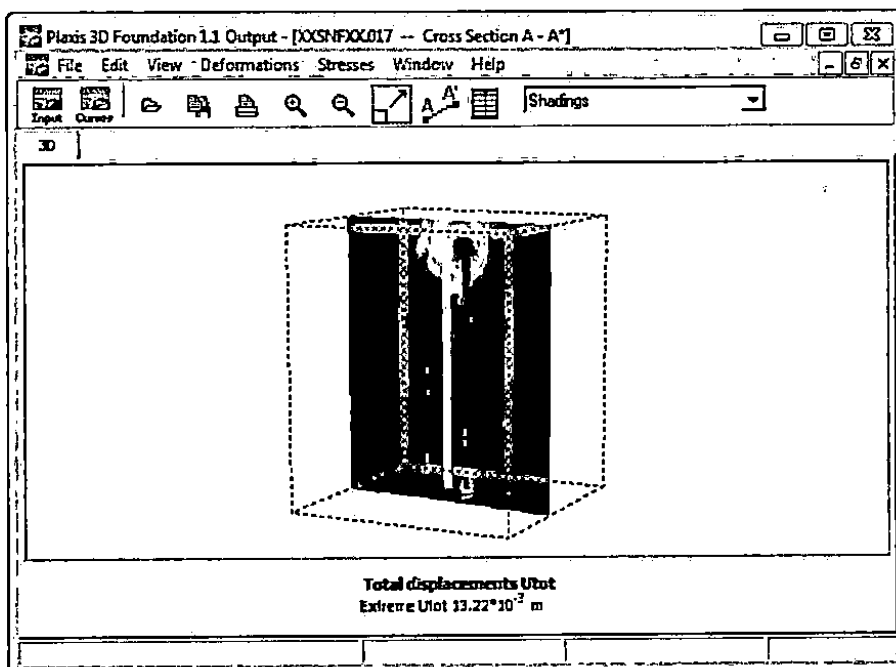
Perhitungan merupakan tahap akhir dari analisis secara komputasi. Perhitungan dilakukan secara otomatis secara numerik untuk mendapatkan nilai gaya-gaya, deformasi, dan tegangan tanah. Sebelum melakukan *running* perlu dilakukan terlebih dahulu tahapan tahapan perhitungan (Gambar 3.27)



Gambar 3.27 Menentukan tahapan perhitungan

g. Output

Data output merupakan hasil dari analisis program PLAXIS ini berupa hasil perhitungan elemen hingga terdiri dari deformasi dan tegangan yang ditampilkan dalam bentuk tabel maupun kurva. Menu pilihan pada Output seperti disajikan pada Gambar 3.28.



Gambar 3.28 Tampilan output hasil analisis