

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Jembatan merupakan suatu penyebrangan dari desa satu ke desa seberangnya, dimana jembatan akan menghubungkan dua daerah yang terpisah akibat adanya sungai maupun danau, oleh karena itu agar desa satu dan lainnya dapat terhubung, maka dibangun sebuah jembatan agar ekonomi di daerah tersebut berdampak positif (Siagian, *et all*, 2022:300). Bangunan jembatan pada umumnya terdiri dari enam pokok bagian, diantaranya bangunan atas, landasan atau bantalan elastomer, bangunan bawah, pondasi jembatan, oprit atau jalan pendekat, dan bangunan pengaman jembatan (Mauliana dan Saputra, 2024:35).

Beberapa faktor-faktor penyebab penurunan oprit jembatan diantaranya tanah dasar yang tidak kuat, lereng yang tinggi dan miring, faktor mutu dan metode pekerjaan (Kaliky, *et all*, 2024:105). Metode yang digunakan untuk analisis tekanan tanah lateral, dan daya dukung tanah ialah metode Rankine, dan Meyerhof. Untuk memvisualisasikan deformasi tanah secara rinci menggunakan *software plaxis*. *Plaxis* adalah program analisis geoteknik, terutama untuk analisis stabilitas dan penurunan tanah, dan mampu melakukan analisis yang dapat mendekati perilaku sebenarnya. Hasil dari pemodelan *Plaxis* akan menunjukkan bagaimana tanah disekitar oprit mengalami penurunan.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Jembatan

Jembatan merupakan suatu penyebrangan dari desa satu ke desa seberangnya, dimana jembatan akan menghubungkan dua daerah yang terpisah akibat adanya sungai maupun danau, oleh karena itu agar desa satu dan lainnya dapat terhubung, maka dibangun sebuah jembatan agar ekonomi di daerah tersebut berdampak positif (Siagian, *et all*, 2022:300).

Terdapat enam tipe utama jembatan diantaranya *beam bridges*, *cantilever bridges*, *arch bridges*, *truss bridges*, *suspension bridges*, *cable stayed bridges*.

- a. Jembatan balok (*beam bridges*) berupa balok yang didukung pada ujung-ujungnya oleh *abutment* (pangkal jembatan). Jika bentangnya panjang sering dibuat dalam beberapa bentang, dengan pilar (*pier*) sebagai penyangga diantaranya. Bentuk Jembatan balok (*beam bridges*) dapat ditunjukkan pada **Gambar 2.1** berikut :



Gambar 2.1 Jembatan Balok
(Sumber : <https://depositphotos.com>)

- b. Jembatan kantilever (*cantilever bridges*) dibangun menggunakan balok kantilever (balok terjepit) pada satu ujungnya. Biasanya jembatan ini berupa sepasang balok kantilever yang bertemu di tengah-tengah rintangan yang dilintasi. Bentuk Jembatan kantilever (*cantilever bridges*) dapat ditunjukkan pada **Gambar 2.2** berikut :



Gambar 2.2 Jembatan Kantilever

(Sumber : <https://ayumadesgd.wordpress.com/2019/03/17/jembatan/>)

- c. Jembatan lengkung/busur (*arch bridges*) merupakan jembatan dengan bentuk lengkung atau busur, dengan pangkal jembatan pada ujung-ujungnya. Berat sendiri dan beban jembatan akan diteruskan pada *abutment*. Bentuk Jembatan lengkung/busur (*arch bridges*) dapat ditunjukkan pada **Gambar 2.3** berikut :



Gambar 2.3 Jembatan Lengkung

(Sumber : <https://www.istockphoto.com>)

- d. Jembatan rangka (*truss bridges*) merupakan jembatan dengan struktur atas berupa rangka, yang biasanya dibuat dari baja. Bentuk Jembatan rangka (*truss bridges*) dapat ditunjukkan pada **Gambar 2.4** berikut :



Gambar 2.4 Jembatan Rangka
(Sumber : <https://jharwinata.blogspot.com/>)

- e. Jembatan gantung (*suspension bridges*) merupakan jembatan yang digantung menggunakan kabel. Pada jembatan modern kabel digantungkan dari Menara yang berdiri di atas pondasi dalam atau *caisson*. Bentuk Jembatan gantung (*suspension bridges*) dapat ditunjukkan pada **Gambar 2.5** berikut :



Gambar 2.5 Jembatan Gantung
(Sumber : <https://www.antaraneews.com/>)

- f. Jembatan *cable stayed* serupa dengan jembatan gantung, tetapi kabel penggantungnya langsung diikatkan pada Menara jembatan. Bentuk Jembatan *cable stayed* dapat ditunjukkan pada **Gambar 2.6** berikut :



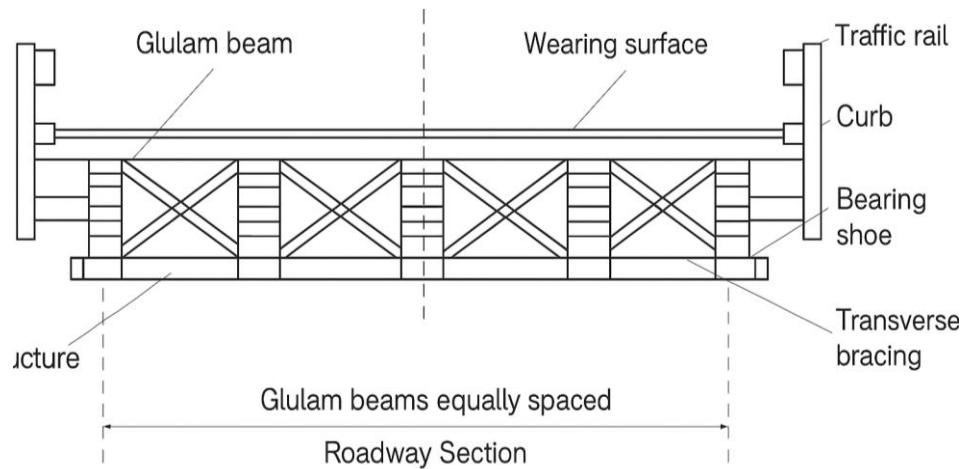
Gambar 2.6 Jembatan Cable Stayed
(Sumber : <https://selemparan.com/general/pt-gunung-raja-paksi/634>)

Jenis jembatan menurut materialnya :

a. Jembatan Kayu

Jembatan kayu merupakan jembatan dengan material yang dapat diperbaharui. Kayu adalah sumber daya alam yang pemanfaatannya akhir-akhir ini lebih banyak pada bidang industry kayu lapis, *furniture*. Dapat dikatakan sangat sedikit pemakaiannya dalam bidang jembatan secara langsung sebagai konstruksi utama. Paling tidak penggunaan kayu sebagai bekisting untuk jembatan beton (Supriyadi dan Muntohar, 2007:56).

Keuntungan kayu diantaranya ringan, biaya konstruksi murah, dapat dikerjakan dengan alat sederhana, tidak mudah korosi, dan estetik (Barker dan Pucket, 1997 dalam Supriyadi dan Muntohar, 2007:56). Bagian-bagian jembatan kayu ditunjukkan pada **Gambar 2.7** berikut:

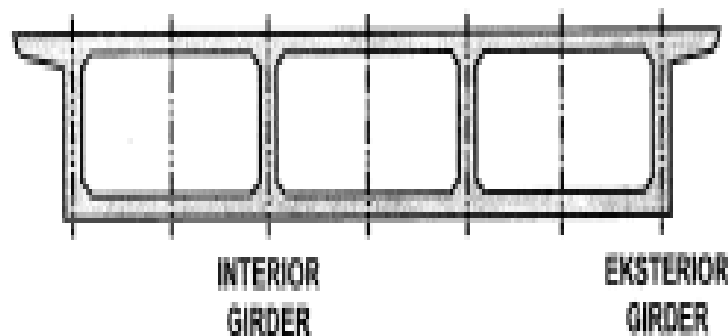


Gambar 2.7 Bagian-bagian jembatan kayu
(Sumber : Supriyadi dan Muntohar, 2007:56)

b. Jembatan beton bertulang

Beberapa jenis jembatan beton bertulang (Supriyadi dan Muntohar, 2007:67-68):

1. Jembatan slab beton bertulang, memiliki tumpuan sederhana tersusun dari pelat monolit, dengan bentang yang tidak didukung oleh gelagar atau balok melintang (*stringer*). Jembatan beton bertulang dengan tipe struktur atas berupa slab akan lebih efisien bila digunakan untuk bentang pendek.
2. Jembatan gelagar kotak, tersusun dari gelagar longitudinal dengan slab di atas dan di bawah yang berbentuk rongga (*hollow*) atau gelagar kotak. Bentang sederhana sepanjang ± 12 m menggunakan tipe ini, tetapi biasanya bentang gelagar kotak beton bertulang lebih ekonomis di $\pm 18 - 30$ m dan biasanya didesain sebagai struktur menerus di atas pilar. Tipikal penampang melintang jembatan box girder ditunjukkan pada **Gambar 2.8** berikut :



Gambar 2.8 Tipikal penampang melintang jembatan box girder
(Sumber : Supriyadi dan Muntohar, 2007:68)

3. Jembatan gelagar dek, terdiri atas gelagar utama arah longitudinal dengan slab beton membentangi diantara gelagar. Spasi gelagar longitudinal atau balok lantai dibuat sedemikian sehingga hanya cukup mampu menggunakan slab tipis, sehingga beban mati relative kecil. Jembatan gelagar dek mempunyai banyak variasi dalam desain dan fabrikasi. Salah satunya yang dibahas dalam sub bab ini adalah jembatan beton balok T.

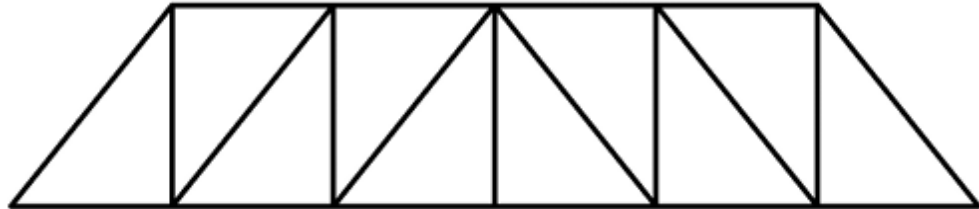
c. Jembatan baja

Struktur jembatan rangka baja terdiri dari rangkaian batang-batang baja yang dihubungkan satu dengan yang lainnya (Asiyanto, 2005 dalam Kadir, *et all*, 2021:29). Jembatan rangka (truss bridge), tersusun dari batang-batang yang dihubungkan satu sama lain dengan pelat buhul, dengan pengikat paku keling, baut atau las. Batang-batang rangka ini hanya memikul gaya dalam aksial (normal) tekan atau tarik, tidak seperti pada jembatan gelagar yang memikul gaya-gaya dalam momen lentur dan gaya lintang. Jenis-jenis jembatan rangka baja yang ditinjau seperti *Howe Truss, Pratt Truss, Warren Truss, K Truss dan Baltimore Truss* (Kadir, *et all*, 2021:29) :

1. Rangka Batang Howe

Penemu tipe rangka ini ialah William Howe tahun 1840. Tipe ini memiliki ciri batang diagonal yang miring ke arah luar dari pusat jembatan. Tipe rangka jembatan ini sering digunakan pada bentang

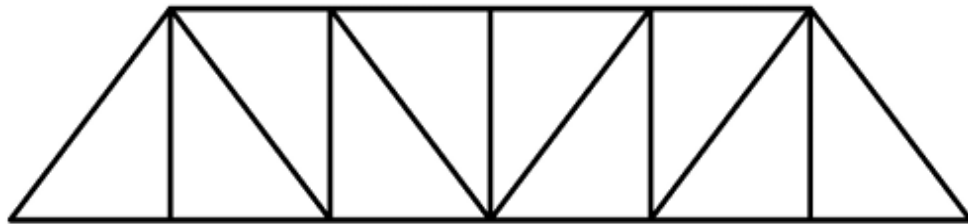
yang sedang hingga panjang. Namun, pada masa sekarang tipe ini jarang digunakan. Bentuk rangka batang howe ditunjukkan pada **Gambar 2.9** berikut :



Gambar 2.9 Rangka Batang Howe
(Sumber : AutoCAD)

2. Rangka Batang Pratt

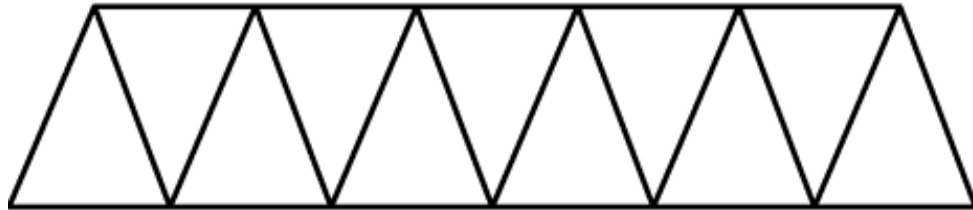
Diperkenalkan oleh Thomas dan Caleb Pratt tahun 1844. Tipe ini memiliki konfigurasi yang berlawanan dengan tipe Howe, batang diagonal miring ke arah dalam menuju pusat jembatan. Rangka batang Pratt sering untuk jembatan kereta api. Bentuk rangka batang pratt ditunjukkan pada **Gambar 2.10** berikut :



Gambar 2.10 Rangka Batang Pratt
(Sumber : AutoCAD)

3. Rangka Batang Warren

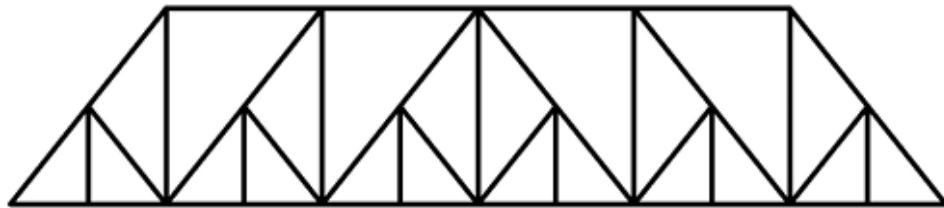
Ditemukan oleh James Warren dan Willoughby Theobald Monzani tahun 1848, rangka batang Warren memiliki pola segitiga sama sisi tanpa batang vertical. Tipe ini sering digunakan dalam konstruksi jembatan modern. Bentuk rangka batang warren ditunjukkan pada **Gambar 2.11** berikut :



Gambar 2.11 Rangka Batang Warren
(Sumber : AutoCAD)

4. Rangka Batang Baltimore

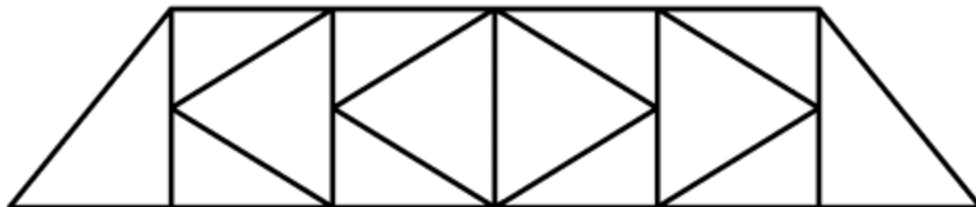
Baltimore Truss adalah pengembangan dari Pratt Truss dengan penambahan batang diagonal sekunder untuk meningkatkan kekakuan dan mengurangi lendutan pada bentang panjang. Tipe ini sering digunakan pada jembatan kereta api yang memerlukan kapasitas beban tinggi. Bentuk rangka batang baltimore ditunjukkan pada **Gambar 2.12** berikut :



Gambar 2.12 Rangka Batang Baltimore
(Sumber : AutoCAD)

5. Rangka Batang K

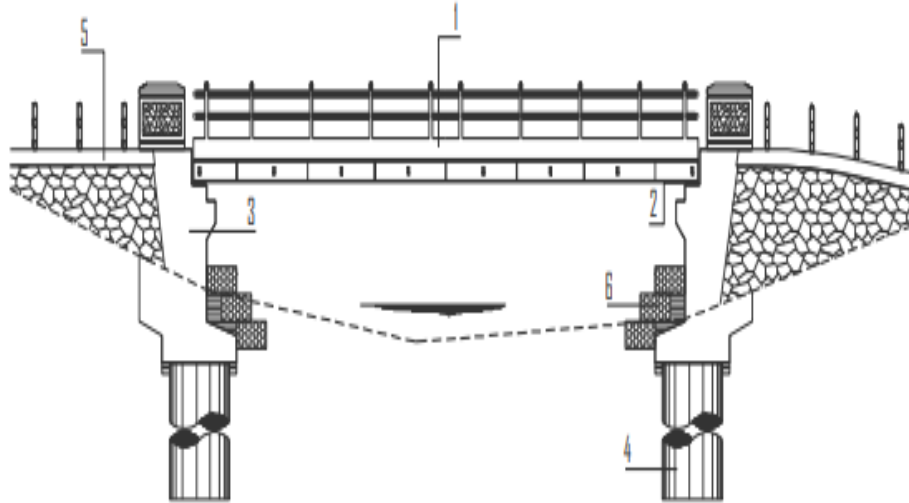
K-Truss dinamakan demikian karena konfigurasi batangnya membentuk huruf "K". Tipe ini dirancang untuk mengurangi panjang batang tekan, sehingga meningkatkan stabilitas dan efisiensi material. Bentuk rangka batang K ditunjukkan pada **Gambar 2.13** berikut :



Gambar 2.13 Rangka batang K
(Sumber : AutoCAD)

2.2.2 Struktur Jembatan

a. Jembatan Beton



Gambar 2.14 Bagian Struktur Jembatan beton
(Sumber : Mauliana dan Saputra, 2024)

Bangunan jembatan umumnya terdiri dari enam pokok bagian, seperti terlihat pada **Gambar 2.14** diatas (Mauliana dan Saputra, 2024:35-36):

1. Bangunan atas jembatan terdiri dari; balok girder memanjang, balok diafragma melintang, plat lantai kendaraan, trotoar, tiang sandaran, sandaran *railing*, *parapet*/leneng;
2. Landasan atau bantalan elastomer terletak pada pilar dan abutment, berbahan dasar karet dan baja;
3. Bangunan bawah jembatan berfungsi untuk memikul beban pada bangunan atas dan pada bangunan bawahnya sendiri untuk disalurkan kepondasi kemudian dari pondasi disalurkan ketanah. Bangunan bawah jembatan terdiri dari abutment dan pilar;
4. Pondasi jembatan berfungsi meneruskan seluruh beban jembatan kedasar tanah. Banyak tipe yang digunakan untuk pondasi jembatan seperti: Sumuran, bore pile, tiang pancang dan lain sebagainya;
5. Oprit atau jalan pendekat terletak dibelakang abutment, oleh karna itu tanah timbunan tanah dibelakang abutment dibuat sepadat mungkin agar tidak terjadi penurunan tanah dibelakang hari;

6. Bangunan pengaman jembatan merupakan bangunan yang berfungsi sebagai pengaman terhadap pengaruh sungai yang bersangkutan baik secara langsung maupun tidak langsung. Contoh bangunan pengaman jembatan ialah bronjong, pasangan batu, dan lain sebagainya.

b. Jembatan Baja

Komponen utama pada jembatan baja diantaranya rangka induk, ikatan angin, sandaran (*railing*), baut, dan dudukan jembatan. Contoh jembatan baja ditunjukkan pada **Gambar 2.15** berikut :



Gambar 2.15 Jembatan Baja
(Sumber : <https://www.cakaplah.com/>)

Rangka induk (rangka utama) merupakan struktur utama yang menahan beban dari lantai jembatan dan lalu lintas di atasnya. Ikatan angin (*Wind Bracing*) berfungsi untuk menahan gaya lateral yang disebabkan oleh angin atau beban samping lainnya. Ikatan angin biasanya dipasang secara diagonal antara elemen-elemen rangka untuk meningkatkan kekakuan struktur.

Sandaran (*Railing*) berada di sisi jembatan dan berfungsi sebagai pengaman bagi pengguna jembatan, baik pejalan kaki maupun kendaraan, untuk mencegah jatuh ke luar jembatan. Baut digunakan sebagai pengikat antara komponen-komponen baja pada jembatan. Baut memastikan sambungan antar elemen kuat dan stabil. Dudukan jembatan (*bearing*)

merupakan elemen yang menghubungkan struktur atas jembatan dengan struktur bawah (seperti pilar atau *abutment*) (Sandi, 2017:5-7).

2.2.3 Pembebanan

Menurut SNI 1725:2016 pembebanan untuk jembatan:

1. Beban Permanen

Massa setiap bagian bangunan harus dihitung berdasarkan dimensi yang tertera dalam gambar dan berat jenis bahan yang digunakan. Berat dari bagian-bagian bangunan tersebut adalah massa dikalikan dengan percepatan gravitasi (g). Percepatan gravitasi yang digunakan dalam standar ini adalah $9,81 \text{ m/detik}^2$. Besarnya kerapatan massa dan berat isi untuk berbagai macam bahan diberikan dalam **Tabel 2.1** (SNI 1725-2016).

Tabel 2.1 Berat isi untuk Beban Mati

No.	Bahan	Berat isi (kN/m^3)	Kerapatan massa (kg/m^3)
1	Lapisan permukaan beraspal (<i>bituminous wearing surfaces</i>)	22,0	2245
2	Besi tuang (<i>cast iron</i>)	71,0	7240
3	Timbunan tanah dipadatkan (<i>compacted sand, silt or clay</i>)	17,2	1755
4	Kerikil dipadatkan (<i>rolled gravel, macadam or ballast</i>)	18,8 – 22,7	1920 - 2315
5	Beban aspal (<i>asphalt concrete</i>)	22,0	2245
6	Beton ringan (<i>low density</i>)	12,25 – 25,0	1250 – 2000
7	Beton $f'c < 35 \text{ Mpa}$	22,0 – 25,0	2320
	$35 < f'c < 105 \text{ Mpa}$	$22 + 0,022 f'c$	$2240 + 2,29f'c$
8	Baja (<i>steel</i>)	78,5	7850
9	Kayu (ringan)	7,8	800
10	Kayu keras	11,0	1125

Sumber : (SNI 1725-2016)

Pengambilan kerapatan massa yang besar, aman untuk suatu keadaan batas akan tetapi tidak untuk keadaan yang lainnya. Untuk mengatasi hal tersebut dapat digunakan faktor beban terkurangi. Akan tetapi, apabila kerapatan massa diambil dari suatu jajaran nilai, dan nilai yang sebenarnya tidak bisa ditentukan dengan tepat, perencana harus memilih di antara nilai tersebut yang memberikan keadaan yang paling kritis.

Beban mati jembatan merupakan kumpulan berat setiap komponen struktural dan non struktural. Setiap komponen ini harus dianggap sebagai suatu kesatuan aksi yang tidak terpisahkan pada waktu menerapkan faktor beban normal dan faktor beban terkurangi. Perencana jembatan harus menggunakan keahliannya di dalam menentukan komponen komponen tersebut.

2. Beban mati sendiri (MS)

Berat sendiri adalah berat bagian tersebut dan elemen-elemen struktural lain yang dipikulnya, termasuk dalam hal ini adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural, ditambah dengan elemen nonstruktural yang dianggap tetap. Adapun faktor beban yang digunakan untuk berat sendiri dapat dilihat pada **Tabel 2.2** (SNI 1725-2016).

Tabel 2.2 Faktor beban untuk berat sendiri

Tipe Beban	Faktor Beban (γ_{MS})			
	Keadaan Batas Layan (γ_{MS}^S)		Keadaan Batas Ultimit (γ_{MS}^U)	
Tetap	Bahan		Biasa	Terkurangi
	Baja	1,00	1,10	0,90
	Aluminium	1,00	1,10	0,90
	Beton Pracetak	1,00	1,20	0,85
	Beton dicor di tempat	1,00	1,30	0,75
	Kayu	1,00	1,40	0,70

Sumber : (SNI 1725-2016)

3. Beban mati tambahan (MA)

Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen nonstruktural, dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan. Dalam hal tertentu, nilai faktor beban mati tambahan yang berbeda dengan ketentuan pada **Tabel 2.3** boleh digunakan dengan persetujuan instansi yang berwenang. Hal ini bisa dilakukan apabila instansi tersebut melakukan pengawasan terhadap beban mati tambahan pada jembatan, sehingga tidak dilampaui selama umur jembatan (SNI 1725-2016). Faktor beban untuk beban mati tambahan ditunjukkan pada **Tabel 2.3** berikut :

Tabel 2.3 Faktor beban untuk beban mati tambahan

Tipe Beban	Faktor Beban (γ_{MA})			
	Keadaan Batas Layan (γ_{MA}^S)		Keadaan Batas Ultimit (γ_{MA}^U)	
Tetap	Bahan		Biasa	Terkurangi
	Umum	1,00 ⁽¹⁾	2,00	0,70
	Khusus (terawasi)	1,00	1,40	0,80
Catatan ⁽¹⁾ : Faktor beban layan sebesar 1,3 digunakan untuk berat utilitas				

Sumber : (SNI 1725-2016)

Semua jembatan harus direncanakan untuk bisa memikul beban tambahan yang berupa aspal beton setebal 50 mm untuk pelapisan kembali di kemudian hari kecuali ditentukan lain oleh instansi yang berwenang. Lapisan ini harus ditambahkan pada lapisan permukaan yang tercantum dalam gambar rencana.

Pengaruh dari alat pelengkap dan sarana umum yang ditempatkan pada jembatan harus dihitung seakurat mungkin. Berat pipa untuk saluran air bersih, saluran air kotor dan lain lainnya harus ditinjau pada keadaan kosong dan penuh sehingga keadaan yang paling membahayakan dapat diperhitungkan.

4. Beban Tekanan Tanah (TA)

Koefisien tekanan tanah nominal harus dihitung berdasarkan sifat-sifat tanah. Sifat-sifat tanah (kepadatan, kadar kelembaban, kohesi sudut

geser dalam dan lain sebagainya) harus diperoleh berdasarkan hasil pengukuran dan pengujian tanah baik di lapangan ataupun laboratorium. Bila tidak diperoleh data yang cukup maka karakteristik tanah dapat ditentukan sesuai dengan ketentuan pada pasal ini. Tekanan tanah lateral mempunyai hubungan yang tidak linier dengan sifat-sifat bahan tanah. Tekanan tanah lateral pada keadaan batas daya layan dihitung berdasarkan nilai nominal dari γ_s , c , dan ϕ_f .

Tekanan tanah lateral pada keadaan batas kekuatan dihitung dengan menggunakan nilai nominal dari γ_s dan nilai rencana dari c serta ϕ_f . Nilai-nilai rencana dari c serta ϕ_f diperoleh dari nilai nominal dengan menggunakan faktor reduksi kekuatan. Kemudian tekanan tanah lateral yang diperoleh masih berupa nilai nominal dan selanjutnya harus dikalikan dengan faktor beban yang sesuai seperti yang tercantum pada **Tabel 2.4** berikut :

Tabel 2.4 Faktor beban akibat tekanan tanah

Tipe beban	Faktor beban (γ_{TA})			
	Kondisi Batas Layan (γ_{TA}^S)		Kondisi Batas Ultimit (γ_{TA}^U)	
	Tekanan tanah		Biasa	Terkurangi
Tetap	Tekanan tanah vertical	1,00	1,25	0,80
	Tekanan tanah lateral			
	- Aktif	1,00	1,25	0,80
	- Pasif	1,00	1,40	0,70
	- Diam	1,00	(1)	
Catatan ⁽¹⁾ : Tekanan tanah lateral dalam keadaan diam biasanya tidak diperhitungkan pada keadaan batas ultimit.				

Sumber : (SNI 1725-2016)

Tanah di belakang dinding penahan biasanya mendapatkan beban tambahan yang bekerja apabila beban lalu lintas bekerja pada bagian daerah keruntuhan aktif teoritis. Besarnya beban tambahan ini adalah setara dengan tanah setebal 0,7 m yang bekerja secara merata pada bagian tanah yang dilewati oleh beban lalu lintas tersebut. Beban tambahan ini hanya diterapkan

untuk menghitung tekanan tanah dalam arah lateral saja, dan faktor beban yang digunakan harus sama seperti yang telah ditentukan dalam menghitung tekanan tanah arah lateral. Faktor pengaruh pengurangan dari beban tambahan ini tidak perlu diperhitungkan.

Tekanan tanah lateral dalam keadaan diam umumnya tidak diperhitungkan pada keadaan batas kekuatan. Apabila keadaan demikian timbul, maka faktor beban untuk keadaan batas kekuatan yang digunakan untuk menghitung nilai rencana dari tekanan tanah dalam keadaan diam harus sama seperti untuk tekanan tanah dalam keadaan aktif. Faktor beban pada keadaan batas daya layan untuk tekanan tanah dalam keadaan diam adalah 1,0, tetapi harus hati-hati dalam pemilihan nilai nominal yang memadai pada waktu menghitung tekanan tanah.

5. Pengaruh tetap pelaksanaan

Pengaruh tetap pelaksanaan adalah beban yang disebabkan oleh metode dan urutan pelaksanaan pekerjaan jembatan. Beban ini biasanya mempunyai kaitan dengan aksi-aksi lainnya, seperti pra-penegangan dan berat sendiri. Dalam hal ini, pengaruh faktor ini tetap harus dikombinasikan dengan aksi-aksi tersebut dengan faktor beban yang sesuai.

Bila pengaruh tetap yang terjadi tidak begitu terkait dengan aksi rencana lainnya, maka pengaruh tersebut harus dimaksudkan dalam batas daya layan dan batas ultimit menggunakan faktor beban sesuai dengan **Tabel 2.5** berikut :

Tabel 2.5 Faktor beban akibat pengaruh pelaksanaan

Tipe beban	Faktor beban (γ_{PL})		
	Keadaan Batas Layan (γ_{PL}^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{PL}^U)	
		Biasa	Terkurangi
Tetap	1,00	1,00	1,00

Sumber : (SNI 1725-2016)

6. Beban lajur D (TD)

Beban lajur "D" terdiri atas beban terbagi rata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT) seperti terlihat dalam **Gambar 2.16**.

Adapun faktor beban yang digunakan untuk beban lajur "D" seperti pada **Tabel 2.6** berikut :

Tabel 2.6 Faktor beban untuk beban lajur "D"

Tipe Beban	Jembatan	Faktor Beban (γ_{TD})	
		Keadaan Batas Layan (γ_{TD}^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{TD}^U)
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks Girder Baja	1,00	2,00

Sumber : (SNI 1725-2016)

Beban terbagi rata (BTR) mempunyai intensitas q kPa dengan besaran q tergantung pada panjang total yang dibebani L yaitu seperti berikut:

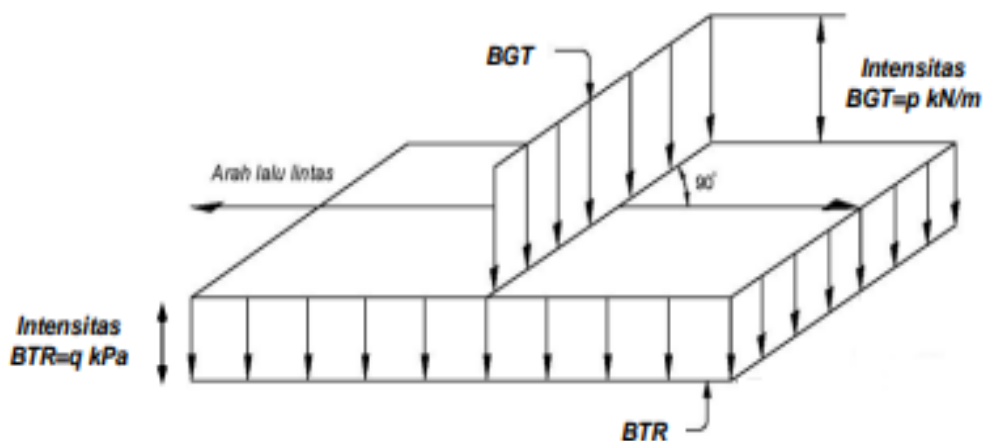
Jika $L \leq 30$ m : $q = 9,0$ kPa

Jika $L > 30$ m : $q = 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{L}\right)$ kPa

Keterangan:

q = intensitas beban terbagi rata (BTR) dalam arah memanjang jembatan (kPa)

L = panjang total jembatan yang dibebani (meter)



Gambar 2.16 Beban lajur "D"
(Sumber : SNI 1725-2016)

Beban garis terpusat (BGT) dengan intensitas p kN/m harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan. Besarnya intensitas p adalah 49,0 kN/m. Untuk mendapatkan momen lentur negatif

maksimum pada jembatan menerus, BGT kedua yang identik harus ditempatkan pada posisi dalam arah melintang jembatan pada bentang lainnya (SNI 1725-2016).

7. Beban truk T

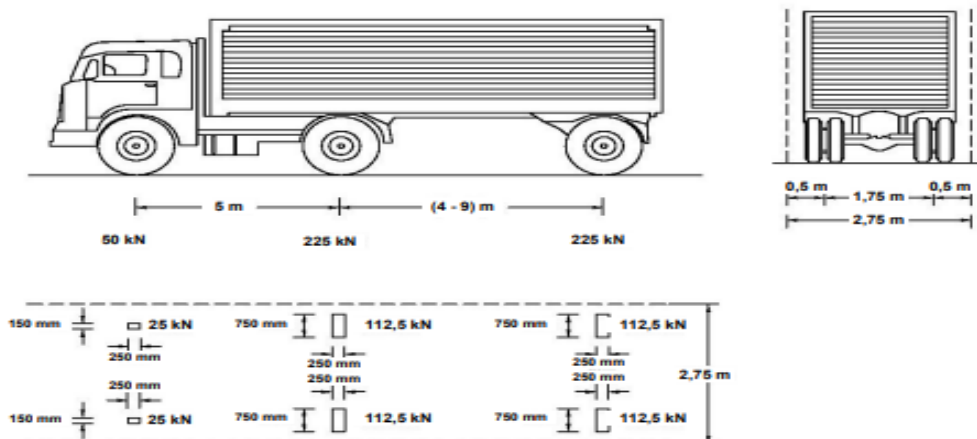
Selain beban “D”, terdapat beban lalu lintas lainnya yaitu beban truk "T". Beban truk "T" tidak dapat digunakan bersamaan dengan beban “D”. Beban truk dapat digunakan untuk perhitungan struktur lantai. Adapun faktor beban untuk beban “T” seperti terlihat pada **Tabel 2.7** berikut :

Tabel 2.7 Faktor beban untuk beban “T”

Tipe Beban	Jembatan	Faktor Beban (γ_{TT})	
		Keadaan Batas Layan (γ_{TT}^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{TT}^U)
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks Girder Baja	1,00	2,00

Sumber : (SNI 1725-2016)

Pembebanan truk "T" terdiri atas kendaraan truk *semi-trailer* yang mempunyai susunan dan berat gandar seperti terlihat dalam Gambar 2.17. Berat dari tiap-tiap gandar disebarakan menjadi 2 beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara 2 gandar tersebut bisa diubah-ubah dari 4,0 m sampai dengan 9,0 m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan (SNI 1725-2016). Pembebanan truk T ditunjukkan pada **Gambar 2.17** berikut :



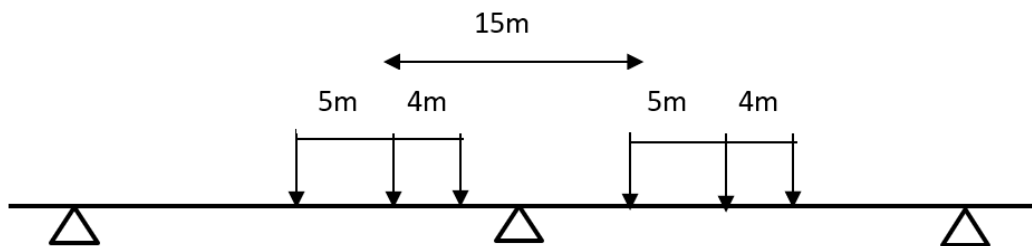
Gambar 2.17 Pembebanan truk "T" (500 kN)

(Sumber : SNI 1725-2016)

Penerapan beban hidup kendaraan Kecuali ditentukan lain, pengaruh beban hidup pada waktu menentukan momen positif harus diambil nilai yang terbesar dari :

- Pengaruh beban truk dikalikan dengan faktor beban dinamis (FBD), atau
- Pengaruh beban terdistribusi "D" dan beban garis KEL dikalikan FBD

Untuk momen negatif, beban truk dikerjakan pada dua bentang yang berdampingan dengan jarak gandar tengah truk terhadap gandar depan truk dibelakangnya adalah 15 m, dengan jarak antara gandar tengah dan gandar belakang adalah 4 m. Ditunjukkan pada **Gambar 2.18** berikut :



Gambar 2.18 Penempatan beban truk untuk kondisi momen negative

(Sumber : SNI 1725-2016)

Gandar yang tidak memberikan kontribusi pada gaya total harus diabaikan dalam perencanaan. Beban kendaraan dimuat pada masing-masing jalur masing-masing dan harus diposisikan untuk mendapatkan pengaruh yang terbesar dalam perencanaan. Beban truk harus diposisikan pada lebar jembatan sehingga sumbu roda mempunyai jarak sebagai berikut:

- Untuk perencanaan pelat kantilever : 250 mm dari tepi parapet atau railing, dan
 - Untuk perencanaan komponen lainnya : 1000 mm dari masing-masing sumbu terluar roda truk. Kecuali ditentukan lain, panjang lajur rencana atau sebagian dari panjang lajur rencana harus dibebani dengan beban terdistribusi "D".
8. Faktor beban dinamis (FBD)

Faktor Beban Dinamis (FBD) merupakan hasil interaksi antara kendaraan yang bergerak dan jembatan. Besarnya FBD tergantung pada frekuensi dasar dari suspensi kendaraan, biasanya antara 2 Hz sampai 5 Hz untuk kendaraan berat, dan frekuensi dari getaran lentur jembatan. Untuk perencanaan, FBD dinyatakan sebagai beban statis ekuivalen (SNI 1725-2016).

Besarnya BGT dari pembebanan lajur "D" dan beban roda dari Pembebanan Truk "T" harus cukup untuk memberikan terjadinya interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan dengan dikali FBD. Besarnya nilai tambah dinyatakan dalam fraksi dari beban statis. FBD ini diterapkan pada keadaan batas daya layan dan batas ultimit. BTR dari pembebanan lajur "D" tidak dikali dengan FBD. Untuk pembebanan "D": FBD merupakan fungsi panjang bentang ekuivalen seperti tercantum dalam **Gambar 2.19**. Untuk bentang tunggal panjang bentang ekuivalen diambil sama dengan panjang bentang sebenarnya. Untuk bentang menerus panjang bentang ekuivalen LE diberikan dengan rumus:

$$L_E = \sqrt{L_{AV} + L_{max}} B \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan :

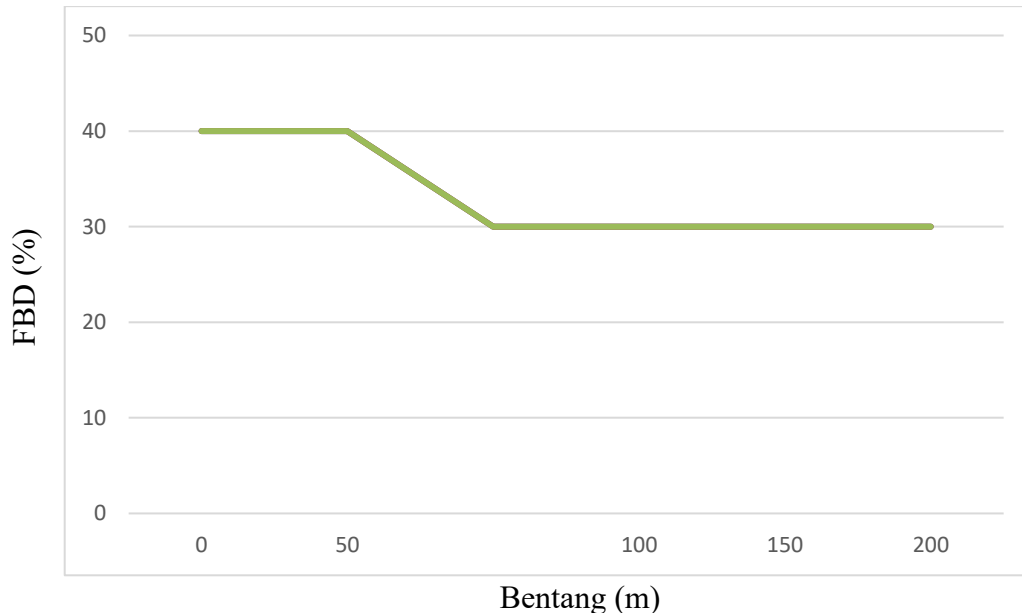
L_{AV} = panjang bentang rata-rata dari kelompok bentang yang disambungkan secara menerus

L_{max} = panjang bentang maksimum dalam kelompok bentang yang disambungkan secara menerus

Untuk pembebanan truk "T", FBD diambil 30%. Nilai FBD yang dihitung digunakan pada seluruh bagian bangunan yang berada di atas permukaan tanah. Untuk bagian bangunan bawah dan fondasi yang berada di bawah garis permukaan, nilai FBD harus diambil sebagai peralihan linier dari nilai pada garis permukaan tanah sampai nol pada kedalaman 2 m. Untuk bangunan yang terkubur, seperti halnya gorong-gorong dan struktur baja-tanah, nilai FBD jangan diambil kurang dari 40% untuk kedalaman nol dan jangan kurang dari 10% untuk kedalaman 2 m. Untuk kedalaman antara bisa diinterpolasi linier. Nilai FBD yang digunakan untuk kedalaman yang dipilih

harus diterapkan untuk bangunan seutuhnya (SNI 1725-2016). Faktor beban dinamis untuk beban T untuk pembebanan lajur “D” ditunjukkan pada

Gambar 2.19 berikut :



Gambar 2.19 Faktor beban dinamis untuk beban T untuk pembebanan lajur “D”
(Sumber : SNI 1725-2016)

9. Gaya rem (TB)

Gaya rem harus diambil yang terbesar dari :

- 25% dari berat gandar truk desain atau,
- 5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata BTR

Gaya rem tersebut harus ditempatkan di semua lajur rencana yang dimuati dan yang berisi lalu lintas dengan arah yang sama. Gaya ini harus diasumsikan untuk bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm diatas permukaan jalan pada masing masing arah longitudinal dan dipilih yang paling menentukan. Untuk jembatan yang dimasa depan akan dirubah menjadi satu arah, maka semua lajur rencana harus dibebani secara simultan pada saat menghitung besarnya gaya rem. Faktor kepadatan lajur berlaku untuk menghitung gaya rem, ditunjukkan pada **Tabel 2.8** berikut :

Tabel 2.8 Faktor Kepadatan lajur (m)

Jumlah lajur yang dibebani	Faktor kepadatan lajur
1	1,2
≥ 2	1

Sumber : (SNI 1725-2016)

10. Gaya Sentrifugal (TR)

Untuk tujuan menghitung gaya radial atau efek guling dari beban roda, pengaruh gaya sentrifugal pada beban hidup harus diambil sebagai hasil kali dari berat gandar truk rencana dengan faktor C sebagai berikut:

$$C = f \frac{v^2}{gR_l} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

v adalah kecepatan rencana jalan raya (m/detik)

f adalah factor dengan nilai 4/3 untuk kombinasi beban selain keadaan batas fatik dan 1,0 untuk keadaan batas fatik

g adalah percepatan gravitasi : 9,8 (m/detik²)

R_l adalah jari-jari kelengkungan lajur lalu lintas (m)

Kecepatan rencana jalan raya harus diambil tidak kurang dari nilai yang ditentukan dalam Perencanaan Geometrik Jalan Bina Marga. Faktor kepadatan lajur Tabel 2.8 berlaku pada waktu menghitung gaya sentrifugal. Gaya sentrifugal harus diberlakukan secara horizontal pada jarak ketinggian 1800 mm diatas permukaan jalan. Dalam hal ini, perencana harus menyediakan mekanisme untuk meneruskan gaya sentrifugal dari permukaan jembatan menuju struktur bawah jembatan. Pengaruh superelevasi yang mengurangi momen guling akibat gaya sentrifugal akibat beban roda dapat dipertimbangkan dalam perencanaan.

11. Beban pejalan kaki

Semua komponen trotoar yang lebih lebar dari 600 mm harus direncanakan untuk memikul beban pejalan kaki dengan intensitas 5 kPa dan dianggap bekerja secara bersamaan dengan beban kendaraan pada masing-

masing lajur kendaraan. Jika trotoar dapat dinaiki maka beban pejalan kaki tidak perlu dianggap bekerja secara bersamaan dengan beban kendaraan. Jika ada kemungkinan trotoar berubah fungsi di masa depan menjadi lajur kendaraan, maka beban hidup kendaraan harus diterapkan pada jarak 250 mm dari tepi dalam parapet untuk perencanaan komponen jembatan lainnya. Dalam hal ini, faktor beban dinamis tidak perlu dipertimbangkan (SNI 1725-2016).

12. Beban akibat tumbukan kendaraan

Tumbukan kendaraan dengan jembatan tidak perlu ditinjau jika struktur jembatan sudah dilindungi dengan salah satu pelindung sebagai berikut :

- a. Tanggul;
- b. Palang independen setinggi 1370 mm yang tahan tumbukan dipasang pada permukaan tanah dalam jarak 3000 mm dari bagian jembatan yang ingin dilindungi; atau
- c. Parapet dengan tinggi 1070 mm dipasang minimal 3000 mm dari bagian jembatan yang ingin dilindungi.

Struktur maupun bentuk palang atau penghalang tersebut diatas harus direncanakan agar mampu menahan beban tumbukan setara Uji Level 5 (SNI 1725-2016).

13. Beban Fatik

Beban fatik merupakan satu beban truk dengan tiga gandar, dimana jarak gandar tengah dan gandar belakang merupakan jarak konstan sebesar 5000 mm. Faktor beban dinamis harus digunakan dalam menghitung beban fatik. Frekuensi beban fatik harus diambil sebesar Lalu Lintas Harian (LHR) untuk satu lajur lalu lintas rencana. Frekuensi ini harus digunakan untuk semua komponen jembatan, juga untuk komponen jembatan yang memikul jumlah truk yang lebih sedikit. Jika tidak ada informasi yang lebih akurat, maka perencana dapat menentukan jumlah truk harian rata-rata untuk satu jalur sebesar:

$$LHR_{SL} = p_t \times LHR \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan :

LHR adalah jumlah truk rata-rata per hari satu arah selama umur rencana

LHR_{SL} adalah jumlah truk rata-rata per hari dalam satu lajur selama umur rencana

p_t adalah fraksi truk dalam satu lajur sesuai **Tabel 2.9**

Tabel 2.9 Fraksi lalu lintas truk dalam satu lajur (p)

Jumlah lajur truk	P_t
1	1,00
2	0,85
3 atau lebih	0,80

Sumber : (SNI 1725-2016)

Bila tidak terdapat informasi yang akurat mengenai lalu lintas harian rata-rata, maka dapat digunakan LHR berdasarkan klasifikasi jalan sesuai dengan **Tabel 2.10** berikut :

Tabel 2.10 LHR berdasarkan klasifikasi jalan

Kelas Fungsional		Kelas Rencana		
		Tipe I : kelas	Tipe II	
			LHR	kelas
Primer	Arteri	I	Semua lalu lintas	I
	Kolektor	II	≥ 10.000	I
< 10.000			II	
Sekunder	Arteri	II	≥ 20.000	I
			< 20.000	II
	Kolektor	NA	≥ 6.000	II
			< 6.000	III
	Lokal	NA	≥ 500	III
			< 500	IV

Sumber : (SNI 1725-2016)

14. Penurunan (ES)

Jembatan harus direncanakan untuk bisa menahan terjadinya penurunan yang diperkirakan, termasuk perbedaan penurunan, sebagai aksi daya layan. Pengaruh penurunan dapat dikurangi dengan adanya rangkai dan interaksi pada struktur tanah. Faktor beban untuk penurunan dapat digunakan sesuai dengan **Tabel 2.11** berikut :

Tabel 2.11 Faktor Akibat Penurunan

Tipe Beban	Faktor Beban (γ_{ES})	
	Keadaan Batas Layan (γ_{ES}^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{ES}^U)
Permanen	1,00	N/A

Sumber : (SNI 1725-2016)

Penurunan dapat diperkirakan dari pengujian yang dilakukan terhadap lapisan tanah. Apabila perencana memutuskan untuk tidak melakukan pengujian, tetapi besarnya penurunan diambil sebagai suatu anggapan, maka nilai anggapan tersebut merupakan batas atas dari penurunan yang bakal terjadi. Apabila nilai penurunan ini besar, perencanaan bangunan bawah dan bangunan atas jembatan harus memuat ketentuan khusus untuk mengatasi penurunan tersebut (SNI 1725-2016).

15. Gaya akibat deformasi

Gaya dalam yang terjadi karena deformasi akibat rangkai dan susut harus diperhitungkan dalam perencanaan. Selain itu pengaruh temperatur gradien harus dihitung jika diperlukan. Gaya-gaya yang terjadi akibat adanya pengekangan deformasi komponen maupun tumpuan serta deformasi pada lokasi dimana beban bekerja harus diperhitungkan dalam perencanaan.

Tabel 2.12 Temperature Jembatan rata-rata nominal

Tipe bangunan atas	Temperature jembatan rata-rata minimum (1)	Temperature jembatan rata-rata maksimum
Lantai beton di atas gelagar atau bols beton.	15°C	40°C

Lantai beton diatas gelagar, boks atau rangka baja.	15°C	40°C
Lantai pelat baja di atas gelagar, boks atau rangka baja.	15°C	40°C
CATATAN (1) Temperature jembatan rata-rata minimum bisa dikurangi 5°C untuk lokasi yang terletak pada ketinggian lebih besar dari 500 m diatas permukaan laut.		

Sumber : (SNI 1725-2016)

Deformasi akibat perubahan temperatur yang merata dapat dihitung dengan menggunakan prosedur seperti yang dijelaskan pada pasal ini. Prosedur ini dapat digunakan untuk perencanaan jembatan yang menggunakan gelagar terbuat dari beton atau baja. Rentang temperatur harus seperti yang ditentukan dalam Tabel 2.12. Perbedaan antara temperatur minimum atau temperatur maksimum dengan temperatur nominal yang diasumsikan dalam perencanaan harus digunakan untuk menghitung pengaruh akibat deformasi yang terjadi akibat perbedaan suhu tersebut. Temperatur minimum dan maksimum yang ditunjukkan dalam **Tabel 2.12** di atas harus digunakan sebagai $T_{\text{mindesign}}$ dan $T_{\text{maxdesign}}$ pada **Persamaan 2.4** berikut:

$$\Delta T = \alpha L (T_{\text{maxdesign}} - T_{\text{mindesign}}) \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan :

L adalah panjang komponen jembatan (mm)

α adalah koefisien muai temperatur (mm/mm/°C)

16. Tekanan Hirostatis dan gaya apung

Permukaan air rendah dan tinggi harus ditentukan selama umur bangunan dan digunakan untuk menghitung tekanan hidrostatik dan gaya apung. Dalam menghitung pengaruh tekanan hidrostatik, kemungkinan adanya gradien hidrolis yang melintang bangunan harus diperhitungkan. Faktor beban akibat tekanan hidrostatik dan gaya apung ditunjukkan pada **Tabel 2.13** berikut:

Tabel 2.13 Faktor beban akibat tekanan hidrostatik dan gaya apung

Tipe beban	Faktor Beban (γ_{EU})		
	Keadaan Batas Layan (γ_{EU}^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{EU}^U)	
		Biasa	Terkurangi
Transien	1,00	1,0 (1,1) ⁽¹⁾	1,0 (0,9) ⁽¹⁾
CATATAN : Angka yang ditunjukkan dalam tanda kurung digunakan untuk bangunan penahan air atau bangunan lainnya dengan gaya apung dan hidrostatik sangat dominan.			

Sumber : (SNI 1725-2016)

Bangunan penahan tanah harus direncanakan mampu menahan pengaruh total air tanah kecuali jika timbunan bisa mengalirkan air. Sistem drainase demikian bisa merupakan irisan dari timbunan yang mudah mengalirkan air di belakang dinding, dengan bagian belakang dari irisan naik dari dasar dinding pada sudut maksimum 60° arah horizontal.

Pengaruh daya apung harus ditinjau terhadap bangunan atas yang mempunyai rongga atau lobang yang memungkinkan udara terjebak, kecuali apabila ventilasi udara dipasang. Daya apung harus ditinjau bersamaan dengan gaya akibat aliran. Dalam memperkirakan pengaruh daya apung, harus ditinjau beberapa ketentuan sebagai berikut:

- a. Pengaruh daya apung pada bangunan bawah (termasuk tiang) dan beban mati bangunan atas;
- b. Syarat-syarat sistem ikatan dari bangunan atas;
- c. Syarat-syarat drainase dengan adanya rongga-rongga pada bagian dalam supaya air bisa keluar pada waktu surut.

17. Gaya gempa

Jembatan harus direncanakan agar memiliki kemungkinan kecil untuk runtuh namun dapat mengalami kerusakan yang signifikan dan gangguan terhadap pelayanan akibat gempa. Penggantian secara parsial atau lengkap pada struktur diperlukan untuk beberapa kasus. Kinerja yang lebih tinggi seperti kinerja operasional dapat ditetapkan oleh pihak yang berwenang. Beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan

berdasarkan perkalian antara koefisien respons elastik (C_{sm}) dengan berat struktur ekivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respons (R_d) dengan **Persamaan 2.5** berikut (SNI 1725-2016):

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R_d} \times W_t \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan:

E_Q = gaya gempa horizontal statis (kN)

C_{sm} = koefisien respons gempa elastis R_d adalah faktor modifikasi respons

W_t = berat total struktur terdiri dari beban mati dan beban hidup yang sesuai (kN)

Ketentuan pada standar ini berlaku untuk jembatan konvensional. Pemilik pekerjaan harus menentukan dan menyetujui ketentuan yang sesuai untuk jembatan nonkonvensional. Ketentuan ini tidak perlu digunakan untuk struktur bawah tanah, kecuali ditentukan lain oleh pemilik pekerjaan. Pengaruh gempa terhadap gorong-gorong persegi dan bangunan bawah tanah tidak perlu diperhitungkan kecuali struktur tersebut melewati patahan aktif. Pengaruh ketidakstabilan keadaan tanah (misalnya : likuifaksi, longsor, dan perpindahan patahan) terhadap fungsi jembatan harus diperhitungkan. Perhitungan pengaruh gempa terhadap jembatan termasuk beban gempa, cara analisis, peta gempa, dan detail struktur mengacu pada SNI 2833:2008 Standar perencanaan ketahanan gempa untuk jembatan.

18. Beban angin

Tekanan angin horizontal Tekanan angin yang ditentukan pada pasal ini diasumsikan disebabkan oleh angin rencana dengan kecepatan dasar (V_B) sebesar 90 hingga 126 km/jam. Beban angin harus diasumsikan terdistribusi secara merata pada permukaan yang terekspos oleh angin. Luas area yang diperhitungkan adalah luas area dari semua komponen, termasuk sistem lantai dan railing yang diambil tegak lurus terhadap arah angin. Arah ini harus divariasikan untuk mendapatkan pengaruh yang paling berbahaya terhadap struktur jembatan atau komponen-komponennya. Luasan yang tidak memberikan kontribusi dapat diabaikan dalam perencanaan. Untuk jembatan atau bagian jembatan dengan elevasi lebih tinggi dari 10000 mm diatas

permukaan tanah atau permukaan air, kecepatan angin rencana, V_{DZ} , harus dihitung dengan **Persamaan 2.6** berikut:

$$V_{DZ} = 2,5 V_0 \left(\frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left(\frac{Z}{Z_0} \right) \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan :

- V_{DZ} =kecepatan angin rencana pada elevasi rencana, Z (km/jam)
 V_{10} =kecepatan angin pada elevasi 10000 mm di atas permukaan tanah atau di atas permukaan air rencana (km/jam). Perencana dapat mengasumsikan bahwa $V_{10} = V_B = 90$ s/d 126 km/jam.
 V_B =kecepatan angin rencana yaitu 90 hingga 126 km/jam pada elevasi 1000 mm
Z =elevasi struktur diukur dari permukaan tanah atau dari permukaan air dimana beban angin dihitung ($Z > 10000$ mm)
 V_0 =kecepatan gesekan angin, yang merupakan karakteristik meteorologi, sebagaimana ditentukan dalam **Tabel 2.14**, untuk berbagai macam tipe permukaan di hulu jembatan (km/jam)
 Z_0 = panjang gesekan di hulu jembatan, yang merupakan karakteristik meteorologi, ditentukan pada Tabel 28 (mm)

Tabel 2.14 Nilai V_0 dan Z_0 untuk berbagai variasi kondisi permukaan hulu

Kondisi	Lahan Terbuka	Sub Urban	Kota
V_0 (km/jam)	13,2	17,6	19,3
Z_0 (mm)	70	1000	2500

Sumber : (SNI 1725-2016)

Beban angin pada struktur (EWs) Jika dibenarkan oleh kondisi setempat, perencana dapat menggunakan kecepatan angin rencana dasar yang berbeda untuk kombinasi pembebanan yang tidak melibatkan kondisi beban angin yang bekerja pada kendaraan. Arah angin rencana harus diasumsikan horizontal, kecuali ditentukan lain dalam Pasal Instabilitas aeroelastic. Dengan tidak adanya data yang lebih tepat, tekanan angin rencana dalam MPa dapat ditetapkan dengan menggunakan **Persamaan 2.7** berikut:

$$P_D = P_B \left(\frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2 \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan :

P_B (Mpa) adalah tekanan angin dasar seperti yang ditentukan pada **Tabel 2.15** berikut:

Tabel 2.15 Tekanan angin dasar

Komponen bangunan atas	Angin tekan (Mpa)	Angin hisap (Mpa)
Rangka, kolom, dan pelengkung	0,0024	0,0012
Balok	0,0024	N/A
Permukaan datar	0,0019	N/A

Sumber : (SNI 1725-2016)

Gaya total beban angin tidak boleh diambil kurang dari 4,4 kN/mm pada bidang tekan dan 2,2 kN/mm pada bidang hisap pada struktur rangka dan pelengkung, serta tidak kurang dari 4,4 kN/mm pada balok atau gelagar.

Beban dari struktur atas, jika angin yang bekerja tidak tegak lurus struktur, maka tekanan angin dasar P_B untuk berbagai sudut serang dapat diambil seperti yang ditentukan dalam **Tabel 2.16** dan harus dikerjakan pada titik berat dari area yang terkena beban angin. Arah sudut serang ditentukan tegak lurus terhadap arah longitudinal. Arah angin untuk perencanaan harus yang menghasilkan pengaruh yang terburuk pada komponen jembatan yang ditinjau. Tekanan angin melintang dan memanjang harus diterapkan secara bersamaan dalam perencanaan.

Tabel 2.16 Tekanan angin dasar (P_B) untuk berbagai sudut serang

Sudut serang	Rangka, kolom, dan pelengkung		Gelagar	
	Beban lateral	Beban longitudinal	Beban lateral	Beban longitudinal
Derajat	MPa	Mpa	Mpa	Mpa
0	0,0036	0,0000	0,0024	0,0000
15	0,0034	0,0006	0,0021	0,0003

30	0,0031	0,0013	0,0020	0,0006
45	0,0023	0,0020	0,0016	0,0008
60	0,0011	0,0024	0,0008	0,0009

Sumber : (SNI 1725-2016)

Gaya melintang dan longitudinal yang harus dikerjakan secara langsung pada bangunan bawah harus dihitung berdasarkan tekanan tekanan angin dasar sebesar 0,0019 MPa. Untuk angin dengan sudut serang tidak tegak lurus terhadap bangunan bawah, gaya ini harus diuraikan menjadi komponen yang bekerja tegak lurus terhadap bidang tepi dan bidang muka dari bangunan bawah. Komponen-komponen ini bekerja tegak lurus terhadap pada masing-masing permukaan yang mengalami tekanan dan perencana harus menerapkan gaya-gaya tersenut bersamaan dengan beban angin yang bekerja pada struktur atas.

Gaya angin pada kendaraan (EWI) Tekanan angin rencana harus dikerjakan baik pada struktur jembatan maupun pada kendaraan yang melintasi jembatan. Jembatan harus direncanakan memikul gaya akibat tekanan angin pada kendaraan, dimana tekanan tersebut harus diasumsikan sebagai tekanan menerus sebesar 1,46 N/mm, tegak lurus dan bekerja 1800 mm diatas permukaan jalan. Kecuali jika ditentukan didalam pasal ini, jika angin yang bekerja tidak tegak lurus struktur, maka komponen yang bekerja tegak lurus maupun paralel terhadap kendaraan untuk berbagai sudut serang dapat diambil seperti yang ditentukan dalam **Tabel 2.17** dimana arah sudut serang ditentukan tegak lurus terhadap arah permukaan kendaraan.

Tabel 2.17 *Komponen beban angin yang bekerja pada kendaraan*

Sudut	Komponen tegak lurus	Komponen Sejajar
Derajat	N/mm	N/mm
0	1,46	0,00
15	1,28	0,18
30	1,20	0,35
45	0,96	0,47

60	0,50	0,55
----	------	------

Sumber : (SNI 1725-2016)

Tekanan angin vertikal Kecuali ditentukan lain dalam Pasal Instabilitas aeroelastik, jembatan harus mampu memikul beban garis memanjang jembatan yang merepresentasikan gaya angin vertikal ke atas sebesar 9.6×10^{-4} MPa dikalikan lebar jembatan, termasuk parapet dan trotoar. Gaya ini harus ditinjau hanya untuk Keadaan Batas Kuat III dan Layan IV yang tidak melibatkan angin pada kendaraan, dan hanya ditinjau untuk kasus pembebanan dimana arah angin dianggap bekerja tegak lurus terhadap sumbu memanjang jembatan. Gaya memanjang tersebut mempunyai titik tangkap pada seperempat lebar jembatan dan bekerja secara bersamaan dengan beban angin horizontal.

Pasal Instabilitas aeroelastik Pengaruh gaya aeroelastik harus diperhitungkan dalam perencanaan jembatan dan komponen-komponennya yang rentan terhadap beban angin. Untuk tujuan pasal ini, semua jembatan dengan rasio panjang bentang terhadap lebar jembatan lebih besar dari 30 dianggap sebagai jembatan yang rentan terhadap pengaruh aeroelastik angin. Pada kasus ini, perencana juga harus meninjau kasus getaran kabel karena adanya induksi kabel dengan angin dan/atau hujan.

19. Aliran air, benda hanyutan dan tumbukan dengan batang kayu (EF)

Gaya seret nominal ultimit dan daya layan pada pilar akibat aliran air tergantung pada kecepatan air rata-rata sesuai dengan **Persamaan 2.8**. Faktor beban untuk perhitungan gaya akibat aliran air dapat digunakan sesuai dengan **Tabel 2.8**.

$$T_{EF} = 0,5 C_D V_s^2 A_d \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan :

T_{EF} = gaya seret (kN) V_s adalah kecepatan air rata-rata berdasarkan pengukuran di lapangan (m/s)

C_D = koefisien seret (lihat Tabel 2.18) A_d adalah luas proyeksi pilar tegak lurus arah aliran dengan tinggi sama dengan kedalaman aliran (lihat Gambar 2.18) (m^2)

Koefisien seret dan angkat untuk berbagai bentuk pilar ditunjukkan pada **Tabel 2.18** berikut:

Tabel 2.18 Koefisien seret (C_D) dan angkat (C_L) untuk berbagai bentuk pilar

Bentuk Pilar	Koefisien Seret (C_D)	Koefisien Angkat (C_L)
	0,8	θ C_L 0° 0 5° 0,5
	1,4	10° 0,9 20° 0,9 ≥30° 1,0
	0,7	Tidak dapat digunakan
	0,7	Tidak bisa dipakai

Sumber : (SNI 1725-2016)

Faktor beban akibat aliran air, benda hanyutan dan tumbukan dengan batang kayu ditunjukkan pada **Tabel 2.19** berikut:

Tabel 2.19 Faktor beban akibat aliran air, benda hanyutan dan tumbukan dengan batang kayu

Tipe Beban	Faktor Beban (γ_{EF})	
	Keadaan Batas Layan (γ_{EF}^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{EF}^U)
Transien	1,0	Lihat Tabel 2.9

Sumber : (SNI 1725-2016)

Periode ulang banjir untuk kecepatan rencana air ditunjukkan pada **Tabel 2.20** berikut:

Tabel 2.20 Periode Ulang Banjir Untuk Kecepatan Rencana Air

Kondisi	Periode Ulang Banjir	Faktor Beban
Daya layan – untuk semua jembatan	20 tahun	1,0

Ultimit:		
Jembatan besar dan penting ⁽¹⁾	100 tahun	2,0
Jembatan Permanen	50 tahun	1,5
Gorong-gorong ⁽²⁾	50 tahun	1,0
Jembatan Sementara	20 tahun	1,0
Catatan ⁽¹⁾ : Jembatan besar dan penting harus ditentukan oleh instansi yang berwenang.		
Catatan ⁽²⁾ : Gorong-gorong tidak mencakup bangunan drainase.		

Sumber : (SNI 1725-2016)

Apabila bangunan atas jembatan terendam, koefisien seret (C_D) yang bekerja di sekeliling bangunan atas, yang diproyeksikan tegak lurus arah aliran bisa diambil sebesar 2,2 kecuali apabila data yang lebih tepat tersedia, untuk jembatan yang terendam, gaya angkat akan meningkat dengan cara yang sama seperti pada pilar tipe dinding. Perhitungan untuk gaya gaya angkat tersebut adalah sama, kecuali bila besarnya AL diambil sebagai luas dari daerah lantai jembatan. Gaya akibat benda hanyutan dihitung menggunakan **Persamaan 2.9** berikut:

$$C_D = 1,04 \dots \dots \dots (2.9)$$

Jika tidak ada data yang lebih tepat, luas proyeksi benda hanyutan bisa dihitung seperti berikut:

- a. Untuk jembatan yang permukaan airnya terletak di bawah bangunan atas, luas benda hanyutan yang bekerja pada pilar dihitung dengan menganggap bahwa kedalaman minimum dari benda hanyutan adalah 1,2 m dibawah muka air banjir. Panjang hamparan dari benda hanyutan diambil setengahnya dari jumlah bentang yang berdekatan atau 20 m, diambil yang terkecil dari kedua nilai ini.
- b. untuk jembatan dimana bangunan atas terendam, kedalaman benda hanyutan diambil sama dengan kedalaman bangunan atas termasuk sandaran atau penghalang lalu lintas ditambah minimal 1,2 m. Kedalaman maksimum benda hanyutan boleh diambil 3 m kecuali apabila menurut pengalaman setempat menunjukkan bahwa hamparan

dari benda hanyutan dapat terakumulasi. Panjang hamparan benda hanyutan yang bekerja pada pilar diambil setengah dari jumlah bentang yang berdekatan.

Gaya akibat tumbukan dengan batang kayu dihitung dengan menganggap bahwa batang dengan massa minimum sebesar 2 ton hanyut pada kecepatan aliran rencana harus bisa ditahan dengan gaya maksimum berdasarkan lendutan elastis ekuivalen dari pilar dengan **Persamaan 2.10** berikut :

$$T_{EF} = \frac{M(V_a)^2}{d} \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan :

M adalah massa batang kayu sebesar ± 2 ton

V_a adalah kecepatan air permukaan (m/dt) pada keadaan batas yang ditinjau. Dalam hal tidak adanya penyelidikan yang terperinci mengenai bentuk diagram kecepatan di lokasi jembatan, V_a bisa diambil 1,4 kali kecepatan rata-rata V_s .

d_{ev} adalah lendutan elastis ekuivalen (m) untuk tumbukan kayu ditunjukkan pada **Tabel 2.21** berikut:

Tabel 2.21 Lendutan ekuivalen untuk tumbukan batang kayu

Tipe pilar	d_{ev}
Pilar betoon massif	0,075
Tiang beton perancah	0,150
Tiang kayu perancah	0,300

Sumber : (SNI 1725-2016)

Gaya akibat tumbukan kayu dan benda hanyutan lainnya jangan diambil secara bersamaan. Tumbukan batang kayu harus ditinjau secara bersamaan dengan gaya angkat dan gaya seret. Untuk kombinasi pembebanan, tumbukan batang kayu harus ditinjau sebagai aksi transien.

2.2.4 Klasifikasi Tanah

Umumnya, penentuan sifat-sifat tanah banyak dijumpai dalam masalah teknis yang berhubungan dengan tanah. Hasil dari penyelidikan sifat-

sifat ini kemudian dapat digunakan untuk mengevaluasi masalah-masalah tertentu seperti:

1. Penentuan penurunan bangunan, yaitu dengan menentukan kompresibilitas tanah. Dari sini, selanjutnya digunakan dalam persamaan penurunan yang didasarkan pada teori konsolidasi, misalnya teori Terzaghi.
2. Penentuan kecepatan air yang mengalir lewat benda uji guna menghitung koefisien permeabilitas. Dari sini kemudian dihubungkan dengan hukum Darcy dan jarring arus (*flownet*) untuk menentukan debit aliran yang lewat struktur tanah.
3. Untuk mengevaluasi stabilitas tanah miring, yaitu dengan menentukan kuat geser tanah. Dari sini kemudian disubstitusikan dalam rumus statika (stabilitas lereng).

Dalam banyak masalah teknis (semacam perencanaan perkerasan jalan, bendungan dalam urugan, dan lain-lainnya), pemilihan tanah-tanah ke dalam kelompok ataupun subkelompok yang menunjukkan sifat atau kelakuan yang sama akan sangat membantu. Pemilihan ini disebut *klasifikasi*. Klasifikasi tanah sangat membantu perancang dan memberikan pengarahannya melalui cara empiris yang tersedia dari hasil pengalaman yang telah lalu. Tetapi, perancang harus berhati-hati dalam penerapannya karena penyelesaian masalah stabilitas, kompresi (penurunan), aliran air yang didasarkan pada klasifikasi tanah sering menimbulkan kesalahan yang berarti (Lambe, 1979 dalam Hardiyatmo, 2002:54-55).

Kebanyakan klasifikasi tanah menggunakan indeks tipe pengujian yang sangat sederhana untuk memperoleh karakteristik tanah. Karakteristik tersebut digunakan untuk menentukan kelompok klasifikasi. Umumnya, klasifikasi tanah didasarkan atas ukuran partikel yang diperoleh dari analisis saringan (dan uji sedimentasi) dan plastisitas.

Terdapat dua sistem klasifikasi yang sering digunakan, yaitu *Unified Soil Classification system* dan AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*). Sistem-sistem ini menggunakan

sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran, batas cair, dan indeks plastisitas. Klasifikasi tanah dari Sistem *Unified* mula pertama diusulkan oleh Casagrande pada tahun 1942. Kemudian direvisi oleh kelompok teknisi dari USBR (*United State Bureau of Reclamation*). Dalam bentuk yang sekarang, system ini banyak digunakan oleh berbagai organisasi konsultan geoteknik (Hardiyatmo, 2002:55).

1. Sistem Klasifikasi Unified

Pada Sistem Unified, tanah diklasifikasikan ke dalam tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) jika kurang dari 50% lolos saringan nomer 200, dan sebagai tanah berbutir halus (lanau/lempung) jika lebih dari 50% lolos saringan nomer 200. Selanjutnya, tanah diklasifikasikan dalam sejumlah kelompok dan subkelompok yang dapat dilihat dalam Tabel 1.6. Simbol-simbol yang digunakan tersebut adalah:

G = kerikil (*gravel*)

S = pasir (*sand*)

C = lempung (*clay*)

M = lanau (*silt*)

O = lanau atau lempung organik (*organic silt or clay*)

Pt = tanah gambut dan tanah organik tinggi (*peat and highly organic soil*)

W = gradasi baik (*well-graded*)

P = gradasi buruk (*poorly-graded*)

H = plastisitas tinggi (*high-plasticity*)

L = plastisitas rendah (*low-plasticity*)

Berikut ini diterangkan cara penggunaan **Tabel 2.23**. Misalnya, dari hasil pengujian di laboratorium diperoleh data: batas plastis (*PL*) = 16%; batas cair (*LL*) = 42%, sedang dari analisis saringan diperoleh:

Tabel 2.22 Nomor Saringan dan Persentase lolos

Nomor Saringan	%Lolos
4 (4,75 mm)	100,0

10 (2,0 mm)	93,2
40 (0,42 mm)	81,0
200 (0,075 mm)	61,5

Sumber : Hary Christady Hardiyatmo, 2002, Mekanika Tanah I, Yogyakarta, Gadjah Mada University Press

Karena persentase lolos saringan nomer 200 adalah 61,5%, yang berarti lebih besar dari 50%, maka dalam **Tabel 2.23** harus digunakan kolom bawah yaitu butiran halus. Karena nilai $LL = 42\%$ (lebih kecil dari 50%), maka termasuk CL atau ML . Selanjutnya, ditentukan nilai indeks plastisnya, $PI = LL - PL$ kemudian diplot pada diagram plastisitas, sehingga akan ditemukan letak titik di atas garis A, yang menempati *zone CL*. Jadi, tanah tersebut dapat diklasifikasikan sebagai CL (lempung anorganik plastisitas rendah).

Prosedur untuk menentukan klasifikasi tanah Sistem Unified adalah sebagai berikut :

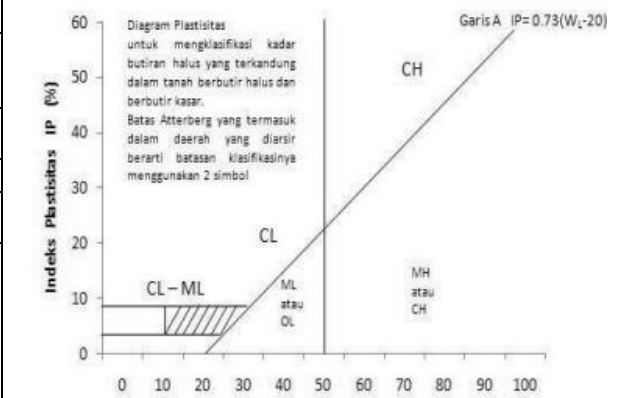
- a. Tentukan apakah tanah berupa butiran halus atau butiran kasar secara visual atau dengan cara menyaringnya dengan saringan nomer 200.
- b. Jika tanah berupa butiran kasar:
 1. Saring tanah tersebut dan gambarkan grafik distribusi butiran.
 2. Tentukan persen butiran lolos saringan nomer 4. Bila persentase butiran yang lolos kurang dari 50%, klasifikasikan tanah tersebut sebagai kerikil. Bila persen butiran yang lolos lebih dari 50%, klasifikasikan sebagai pasir.
 3. Tentukan jumlah butiran yang lolos saringan nomer 200. Jika persentase butiran yang lolos kurang dari 5%, pertimbangkan bentuk grafik distribusi butiran dengan menghitung C_u dan C_c . Jika termasuk bergradasi baik, maka klasifikasikan sebagai GW (bila kerikil) atau SW (bila pasir). Jika termasuk bergradasi buruk, klasifikasikan sebagai GP (bila kerikil) atau SP (bila pasir).

4. Jika persentase butiran tanah yang lolos saringan nomer 200 diantara 5 sampai 12%, tanah akan mempunyai symbol dobel dan mempunyai sifat keplastisan (*GW-GM*, *SW-SM*, dan sebagainya).
 5. Jika persentase butiran yang lolos saringan nomer 200 lebih besar 12%, harus dilakukan uji batas-batas Atterberg dengan menyingkirkan butiran tanah yang tinggal dalam saringan no. 40. Kemudian, dengan menggunakan diagram plastisitas, ditentukan klasifikasinya (*GM*, *GC*, *SM*, *SC*, *GM-GC* atau *SM-SC*).
- c. Jika tanah berbutir halus :
1. Kerjakan uji batas-batas Atterberg dengan menyingkirkan butiran tanah yang tinggal dalam saringan nomer 40. Jika batas cair lebih dari 50, klasifikasi sebagai H (plastisitas tinggi) dan jika kurang dari 50, klasifikasi sebagai L (plastisitas rendah).
 2. Untuk H (plastisitas tinggi), jika plot batas-batas Atterberg pada grafik plastisitas di bawah garis A, tentukan apakah tanah organik (OH) atau anorganik (MH). Jika plotnya jatuh di atas garis A, klasifikasinya sebagai CH.
 3. Untuk L (plastisitas rendah), jika plot batas-batas Atterberg pada grafik plastisitas di bawah garis A dan area yang diarsir, tentukan klasifikasi tanah tersebut sebagai organik (OL) atau anorganik (ML) berdasar warna, bau, atau perubahan batas cair dan batas plastisnya dengan mengeringkannya di dalam oven.
 4. Jika plot batas-batas Atterberg pada grafik plastisitas jatuh pada area yang diarsir, dekat dengan garis A atau nilai LL sekitar 50, gunakan symbol dobel.

Sistem klasifikasi tanah *Unified* ditunjukkan pada **Tabel 2.23** berikut:

Tabel 2.23 Sistem Klasifikasi tanah Unified

Divisi Utama		Simbol Kelompok	Nama Jenis	Nama Jenis		
Tanah berbutir kasar 50% butiran bertahan saringan no.200 (0,075 mm)	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar tertahan saringan no.4 (4,75 mm)	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	GW	Kerikil gradasi baik dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung	$Cc = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$, $Cu = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW	
			GP	Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir-kerikil atau tidak mengandung butiran halus		
		Kerikil banyak kandungan butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil pasir-lempung	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$ Bila batas Atterberg berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol	
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil pasir-lempung		
	Pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos saringan no.4 (4,75 mm)	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	SW	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	$Cc = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$, $Cu = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW	
			SP	Pasir gradasi buruk, pasir kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus		
		Kerikil banyak kandungan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$ Bila batas Atterberg berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol	
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung		
			ML	Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung		Manual untuk identifikasisecara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488
			CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, bempung berlanau, lempung kurus (<i>lean clays</i>)		
OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah					
Lanau dan lempung batas cair > 50%	MH	Lanau tak organik atau pasir halus diatomae, lanau elastis				
	CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk (<i>fat clays</i>)				
	OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi				
Tanah dengan kadar organik tinggi		Pi	Gambut (peat) dan tanah lain dengan kandunagn organik tinggi			



Sumber : Hary Christady Hardiyatmo, 2002, Mekanika Tanah I, Yogyakarta, Gadjah Mada University Press

2. Sistem Klasifikasi *AASHTO*

Sistem klasifikasi *AASHTO* (*American Association of State Highway and Transportation Officials Classification*) berguna untuk menentukan kualitas tanah untuk perencanaan timbunan jalan, *subbase* dan *subgrade*. Sistem ini terutama ditujukan untuk maksud-maksud dalam lingkup tersebut.

Sistem klasifikasi *AASHTO* membagi tanah ke dalam 8 kelompok, *A-1* sampai *A-8* termasuk sub-sub kelompok. Tanah-tanah dalam tiap kelompoknya dievaluasi terhadap indeks kelompoknya yang dihitung dengan rumus-rumus empiris. Pengujian yang digunakan adalah analisis saringan dan batas-batas Atterberg. Sistem klasifikasi *AASHTO*, dapat dilihat dalam **Tabel 2.24**.

Indeks kelompok (*group index*) (*GI*) digunakan untuk mengevaluasi lebih lanjut tanah-tanah dalam kelompoknya. Indeks kelompok dihitung dengan **Persamaan 2.11** berikut:

$$GI = (F-35)[0,2 + 0,005 (LL-40)] + 0,01 (F-15)(PI-10) \dots\dots\dots (2.11)$$

dengan

GI = indeks kelompok (*group index*)

F = persen butiran lolos saringan no. 200 (0,075 mm)

LL = batas cair

PI = indeks plastisitas

Bila nilai indeks kelompok (*GI*) semakin tinggi, maka semakin berkurang ketepatan dalam penggunaan tanahnya. Tanah granuler diklasifikasikan ke dalam klasifikasi A-1 sampai A-3. Tanah A-1 merupakan tanah granuler yang bergradasi baik, sedang A-3 adalah pasir bersih yang bergradasi buruk. Tanah A-2 termasuk tanah granuler (kurang dari 35% lolos saringan no.200), tetapi masih mengandung lanau dan lempung. Tanah berbutir halus diklasifikasikan dari A-4 sampai A-7, yaitu tanah lempung-lanau.

Perbedaan keduanya didasarkan pada batas-batas Atterberg. Sistem klasifikasi tanah AASHTO ditunjukkan pada **Tabel 2.24** berikut:

Tabel 2.24 Sistem Klasifikasi AASHTO

Klasifikasi Umum	Material Granuler (< 35% lolos saringan no.200)							Tanah-tanah lanau-lempung (< 35% lolos saringan no.200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Klasifikasi kelompok	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5/A-7-6
Analisis saringan (%lolos)											
2,00 mm (no.10)	50 maks	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,425 mm (no.40)	30 maks	50 maks	51 min	-	-	-	-	-	-	-	-
0,075 mm (no.200)	15 maks	25 maks	10 maks	35 maks	35 maks	35 maks	35 maks	36 min	36 min	36 min	36 min
Sifat fraksi lolos saringan no.40											
Batas cair (LL)	-	-	-	40 maks	41 min	40 maks	41 min	40 maks	41 min	40 maks	41 min
Indeks plastis (PI)	6 maks		Np	10 maks	10 maks	11 min	11 min	10 maks	10 maks	11 min	11 min
Indeks Kelompok (G)	0		0	0		4 maks		8 maks	12 maks	16 maks	20 maks
Tipe material yang pokok pada umumnya	Pecahan batu, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil berlanau atau berlempung dan pasir				Tanah Berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian umum sebagai dasar	Sangat baik sampai baik							Sedang sampai buruk			

Sumber : Hary Christady Hardiyatmo, 2002, Mekanika Tanah I, Yogyakarta, Gadjah Mada University Press

Catatan:

Kelompok A-7 dibagi atas A-7-5 dan A-7-6 bergantung pada batas plastisnya (PL)

Untuk PL > 30, Klasifikasinya A-7-5;

Untuk PL < 30, Klasifikasinya A-7-6, Np = nonplastis

2.2.5 Jenis-jenis Timbunan

Menurut (DPU, 2006) Timbunan atau urugan di bagi dalam 2 macam sesuai dengan maksud penggunaannya yaitu (Srihandayani dan Mazni, 2021:11):

1. Timbunan biasa, adalah timbunan atau urugan yang digunakan untuk pencapaian elevasi akhir *subgrade*. Timbunan biasa ini juga digunakan untuk penggantian material existing *subgrade* yang tidak memenuhi syarat.

- a. Timbunan yang diklasifikasikan sebagai timbunan biasa harus terdiri dari tanah yang disetujui oleh pengawas yang memenuhi syarat untuk digunakan dalam pekerjaan permanen.
 - b. Bahan yang tidak termasuk tanah yang plastisitasnya tinggi, yang diklasifikasi sebagai A-7-6 dari persyaratan (AASHTO M 145) atau sebagai CH dalam sistem klasifikasi *Unified*. Sebagai tambahan, urugan ini harus memiliki CBR yang tak kurang dari 6% setelah perendaman 4 hari bila dipadatkan 100% kepadatan kering maksimum (MDD)
 - c. Tanah yang pengembangnya tinggi yang memiliki nilai aktif lebih besar dari 1,25 bila diuji dengan (AASHTO T 258), tidak boleh digunakan sebagai bahan timbunan. Nilai aktif diatur sebagai indeks plastisitas (PI)-(AASHTO T 90) dan persentase ukuran lempung (AASHTO T 88).
2. Timbunan Pilihan, adalah timbunan atau urugan yang digunakan untuk pencapaian elevasi akhir *subgrade* yang disyaratkan pada gambar perencanaan dengan maksud khusus lainnya, misalnya mengurangi tebal lapisan pondasi bawah, untuk memperkecil gaya lateral tekanan tanah dibelakang dinding penahan tanah talud jalan. Bahan timbunan pilihan harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:
- a. Timbunan hanya boleh diklasifikasikan sebagai “timbunan pilihan” bila dihunakan pada lokasi atau untuk maksud yang telah ditentukan atau disetujui secara tertulis oleh pengawas.
 - b. Timbunan yang diklasifikasikan sebagai timbunanpilihan harus terdiri dari bahan tanah berpasir (*sandy clay*) atau padas yang memenuhi persyaratan dan sebagai tambahan harus memiliki sifat tertentu tergantung maksud penggunaannya. Dalam segala

hal, seluruh urugan pilihan harus memiliki CBR paling sedikit 10%, bila di uji sesuai dengan (AASHTO T 193).

2.2.6 Penurunan Tanah (*Sattlement*)

Istilah penurunan menunjukkan amblesnya suatu bangunan akibat kompresi dan deformasi lapisan tanah dibawah bangunan. Penurunan (*sattlement*) akan terjadi jika suatu lapisan tanah mengalami pembebanan. Penurunan juga dipengaruhi oleh sebaran tanah lunak atau lempung yang terdapat di bawah permukaan. Terjadinya penurunan tanah ketika pelapukan (*denuation*), pengendapan (*deposition*), dan pergerakan kerak bumi (*crustal movement*) (Hermansyah, 2018:3-4).

Penurunan tanah terdapat tiga jenis diantaranya penurunan segera (*immediate settlement*), penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*), dan penurunan sekunder (*secondary compression*). Penurunan segera terjadi segera setelah beban diterapkan, biasanya pada tanah pasir atau tanah berbutir halus. Penurunan konsolidasi terjadi dalam waktu yang lebih lama, terutama pada tanah lempung, akibat pengurangan kadar air dalam pori tanah. Penurunan sekunder terjadi setelah konsolidasi primer selesai, disebabkan oleh peru-bahan struktur tanah (Hermansyah, 2018:3-4).

2.2.7 Metode Analisis Tekanan Tanah (Rankine)

Untuk mengevaluasi tekanan tanah aktif dan tahanan tanah pasif, ditinjau kondisi keseimbangan batas pada suatu elemen di dalam tanah, dengan kondisi permukaan yang horizontal dan tidak ada tegangan geser pada kedua bidang vertikal maupun horizontalnya. Dianggap tanah ditahan dalam arah horizontalnya. Ketika tekanan horizontal dikurangi pada suatu nilai tertentu, kuat geser tanah pada suatu saat akan sepenuhnya berkembang dan tanah kemudian mengalami keruntuhan (Hardiyatmo, 2002:192-194). Perhitungan tanah aktif digunakan **Persamaan 2.12** berikut:

$$P_a = z \cdot \gamma \cdot K_a \dots\dots\dots (2.12)$$

Keterangan :

P_a = tekanan tanah aktif (kN/m^2)

z = kedalaman tanah (m)

γ = berat jenis tanah (kN/m^2)

K_a = koefisien tekanan aktif yang dihitung dengan **Persamaan 2.13** berikut:

$$K_a = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \dots \dots \dots (2.13)$$

dimana φ adalah sudut gesek dalam tanah yang dapat diperkirakan dari data SPT menggunakan korelasi, dengan **Persamaan 2.14** berikut:

$$\varphi = 30^\circ + 0,2 \times N_{\text{SPT}} \dots \dots \dots (2.14)$$

Tekanan pasif (P_p) dihitung menggunakan **Persamaan 2.15** berikut:

$$P_p = z \cdot \gamma \cdot K_p \dots \dots \dots (2.15)$$

P_p = tekanan tanah pasif (kN/m^2)

K_p = koefisien tekanan pasif yang dihitung dengan rumus rankine pada

Persamaan 2.16 berikut:

$$K_p = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \dots \dots \dots (2.16)$$

2.2.8 Metode Analisis Daya Dukung Tanah (Mayerhof)

Mayerhof merupakan metode untuk menghitung daya dukung tanah ultimate pada kondisi pondasi dangkal maupun dalam. Dapat digunakan pada berbagai jenis tanah (pasir, lempung) dan berbagai bentuk timbunan atau pondasi. Rumus utama untuk menghitung daya dukung ultimit (q_u) ditunjukkan pada **Persamaan 2.17** berikut (Kurniawan dan Siregar, 2023:19):

$$Q_u = Q_p + Q_s \dots \dots \dots (2.17)$$

keterangan :

Q_u = Daya dukung ultimit (kN)

Q_p = daya dukung tanah tiang (kN)

Q_s = daya dukung gesek tiang (kN)

Data hasil uji Standard Penetration Test (SPT) dapat digunakan untuk menghitung kapasitas beban daya dukung ultimit ujung tiang (Q_p). Daya dukung ujung tiang dihitung menggunakan **Persamaan 2.18** berikut:

$$Q_p = 40 + N_b + A_s \dots\dots\dots (2.18)$$

Q_p = kapasitas daya dukung batas fondasi tiang pancang (kN)

N_b = nilai rata-rata SPT di ujung tiang

A_s = luas penampang (m^2)

Daya dukung gesek tiang dihitung menggunakan **Persamaan 2.19** berikut:

$$Q_s = N_{spt} \times A_s \dots\dots\dots (2.19)$$

Luas penampang dihitung menggunakan **Persamaan 2.20** berikut:

$$A_s = \pi \cdot D \cdot \Delta L \dots\dots\dots (2.20)$$

Keterangan:

Q_s = daya dukung gesek tiang (kN)

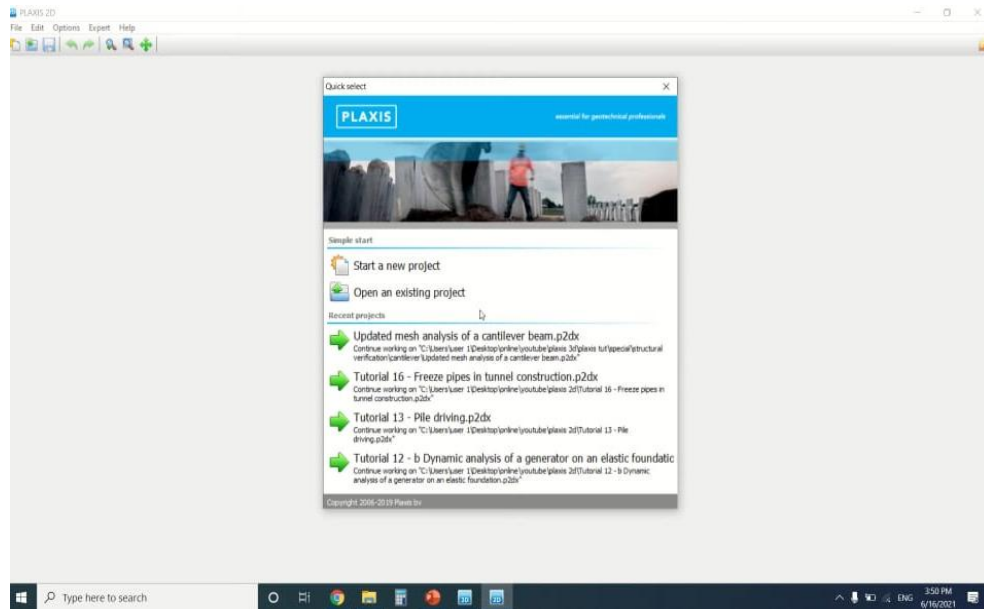
$\Pi = 3,14$ (cm)

D = diameter fondasi (cm)

ΔL = bentang kedalaman fondasi (m)

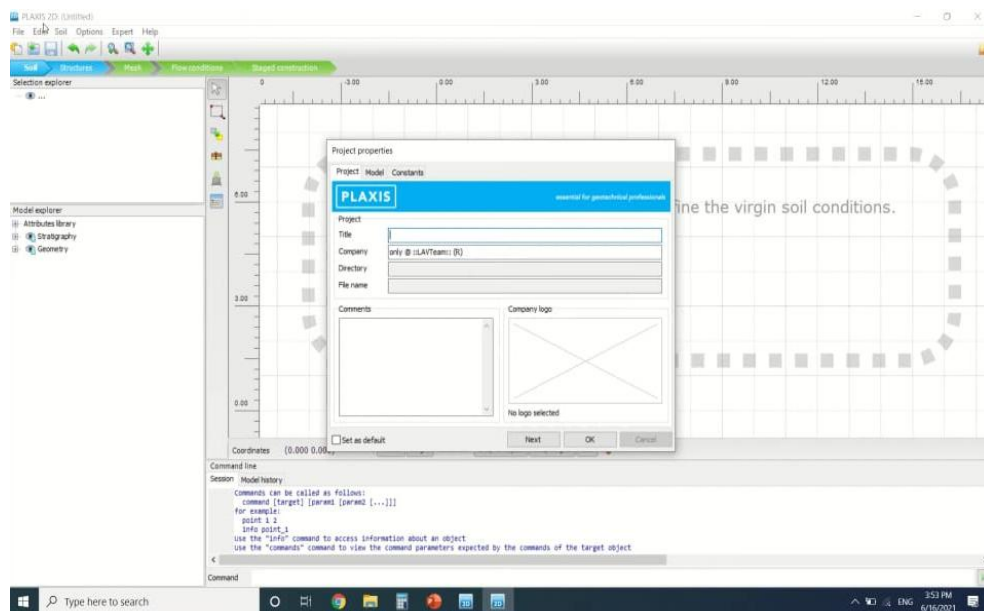
2.2.9 Standart Penetration Test (SPT)

SPT (*standard penetration test*) adalah metoda pengujian di lapangan dengan memasukkan (memancangkan) sebuah *Split Spoon Sampler* (tabung pengambilan contoh tanah yang dapat dibuka dalam arah memanjang) dengan diameter 50 mm dan panjang 500 mm. *Split spoon sample* dimasukkan (dipancangkan) ke dalam tanah pada bagian dasar dari sebuah lubang bor. Uji *Standard Penetration Test* (SPT) dilakukan pada setiap lubang bor teknik dengan interval pengujian setiap 2,0 m. Pada uji SPT, indikasi tanah keras diartikan sebagai lapisan tanah dengan nilai SPT di atas 50 pukulan / 30,0 cm sebanyak 3 (tiga) kali pada 3 (tiga) kedalaman berturut turut. Prinsip pelaksanaan uji penetrasi standar (SPT) yaitu dengan memukul sebuah tabung standar kedalam lubang bor sedalam 450 mm menggunakan palu 63,5 kg yang jatuh bebas dari ketinggian 760 mm. Yang dihitung adalah jumlah pukulan untuk melakukan penetrasi sedalam 150 mm. Jumlah yang digunakan adalah pada penetrasi sedalam 300 mm terakhir. Skema urutan uji penetrasi standar (SPT) ditunjukkan pada **Gambar 2.21** berikut:



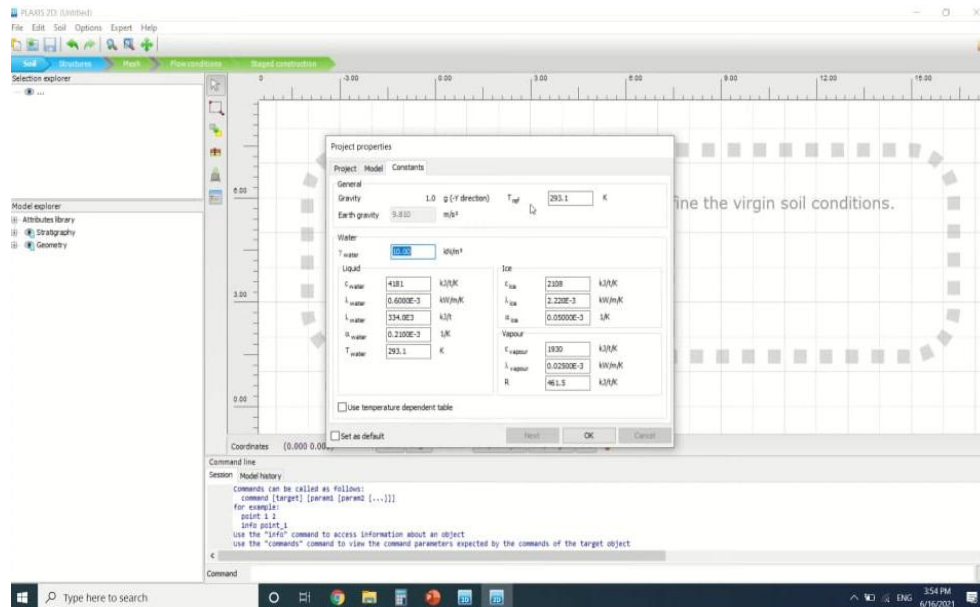
Gambar 2.21 Tampilan Setelah Software dibuka
(Sumber : Plaxis 2D tutorial manual)

Tampilan memberi judul pada *project* yang akan dikerjakan pada *software Plaxis* ditunjukkan pada **Gambar 2.22** berikut:



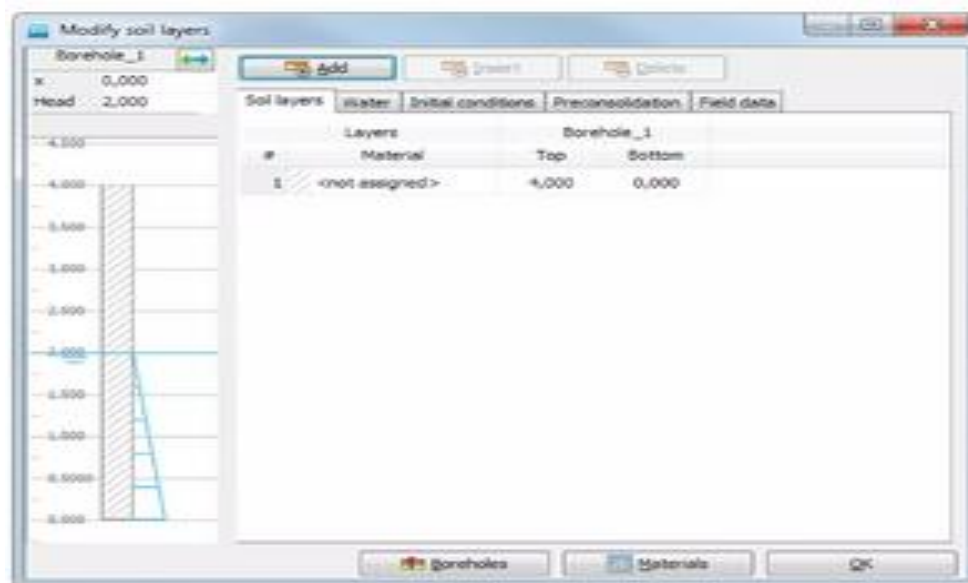
Gambar 2.22 Memberi judul
(Sumber : Plaxis 2D tutorial manual)

Tampilan penentuan satuan pada *software Plaxis* ditunjukkan pada **Gambar 2.23** berikut:



Gambar 2.23 Satuan
(Sumber : *Plaxis 2D tutorial manual*)

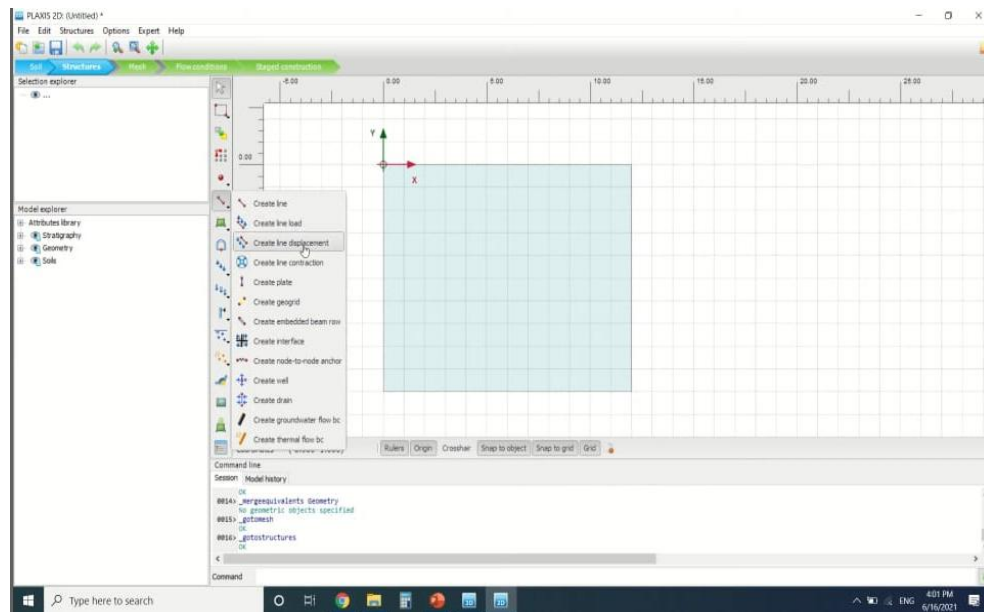
Tampilan untuk memodifikasi lapisan tanah pada *software Plaxis* ditunjukkan pada **Gambar 2.24** berikut:



Gambar 2.24 Modify soil layers

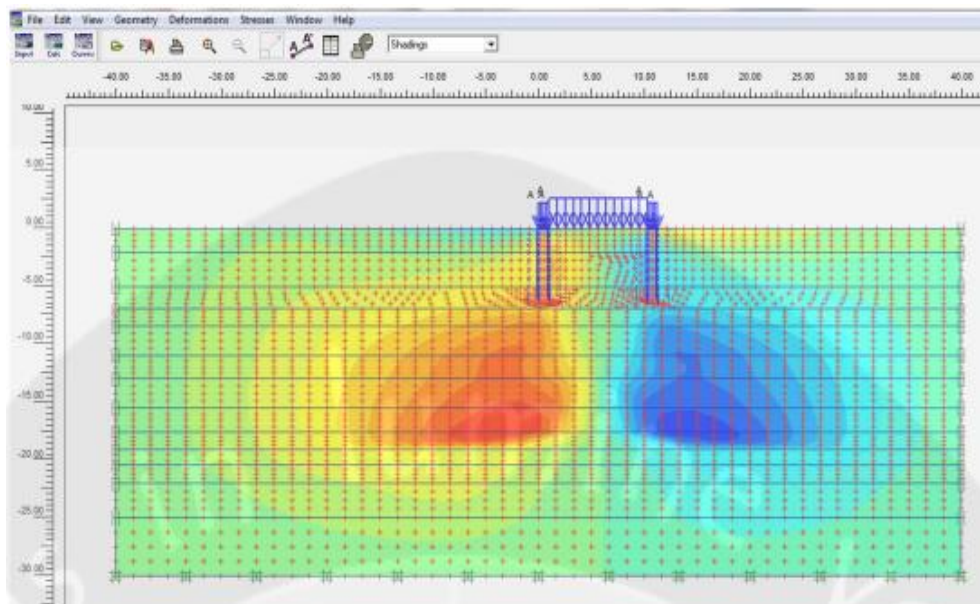
(Sumber : *Plaxis 2D tutorial manual*)

Tampilan memodelkan bangunan atau lapisan tanah pada *software Plaxis* ditunjukkan pada **Gambar 2.25** berikut:



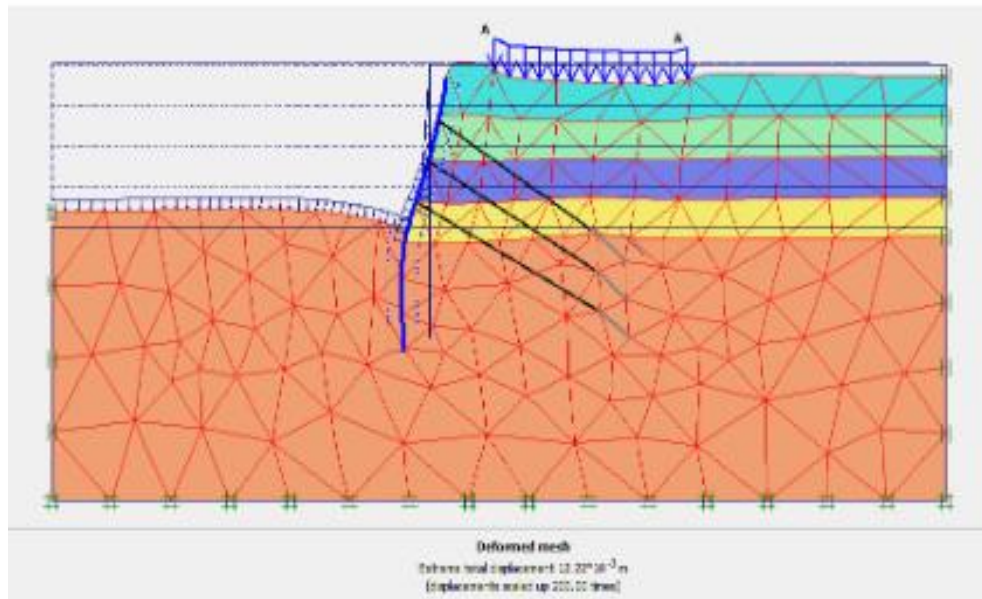
Gambar 2.25 Permodelan Bangunan
(Sumber : *Plaxis 2D tutorial manual*)

Contoh tampilan *output* tanah yang tidak mengalami deformasi ditunjukkan pada **Gambar 2.26** berikut:



Gambar 2.26 Contoh Tampilan Output tanah yang tidak mengalami deformasi
(Sumber : Suni,2014:6)

Contoh tampilan *output* tanah yang mengalami deformasi ditunjukkan pada **Gambar 2.27** berikut:



Gambar 2.27 Contoh Tampilan Output tanah yang mengalami deformasi
(Sumber : Kurokawa dan Makarim, 2018:186)

2.2.11 Solusi Penurunan (Ambblas) Timbunan Pada Oprit Jembatan

Beberapa solusi perbaikan pada permasalahan penurunan (ambblas) pada oprit jembatan :

a. Prefabricated Vertical Drain (PVD)

PVD (*Prefabricated Vertical Drain*) merupakan salah satu metode perbaikan tanah dengan meningkatkan sifat-sifat atau parameter tanah (properties) dengan memberikan saluran atau system drainase buatan yang dipasangkan searah vertical pada tanah lunak, sehingga diharapkan dapat memperpendek waktu proses konsolidasi primer tanah lempung (Zaki, *et all*, 2021:32).

b. Perkuatan Tanah Dengan *Geotextile*

Geotextile merupakan salah satu jenis bahan *geosynthesis* yang paling luas penggunaannya dalam bidang Teknik sipil. salah satunya adalah penggunaan pada timbunan. pada perencanaannya perlu memperhatikan kekuatan tarik dari bahan dalam menerima dan memikul gaya geser saat terjadi kelongsoran (Rahman, *et all*, 2021:2).

Seperti pada perkuatan oprit jembatan kali jubang jalan tol Pejangan-Brebes Timur direncanakan alternatif perkuatan menggunakan geotekstil. Menurut Wulandari dan Tjandra (2015), penggunaan nilai kuat Tarik geotekstil yang optimum sangat mempengaruhi nilai factor keamanan dari timbunan jalan (Fitri, 2021:38).

c. Material Ringan Mortar Busa Sebagai Timbunan Oprit

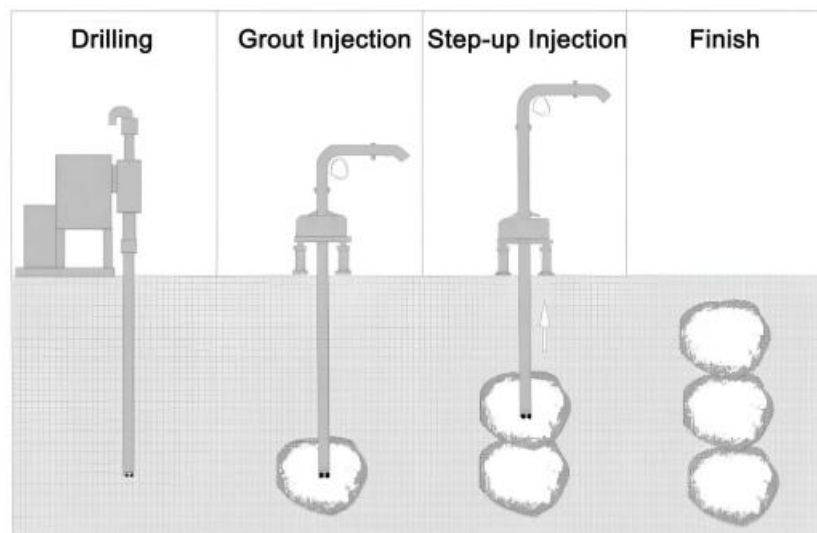
Material ringan mortar busa (*foamed mortar light weight materials*) merupakan campuran komposisi air, semen, agregat halus dan bibit busa (*foam*) dengan perbandingan yang bervariasi tergantung dari target nilai kuat tekan yang akan dicapai. Kelebihan material ringan mortar busa ini selain mempunyai nilai densitas yang rendah juga implementasi penerapannya sama dengan beton pada umumnya yaitu tanpa adanya proses pemadatan atau mengeras sehingga sudah menjadikan memadat sendiri. Dengan terjadinya proses pengerasan maka kuat tekannya akan meningkat dan tidak terjadi tekanan tanah aktif atau penambahan beban lateral (Wicaksono dan Iqbal, 2020:89).

d. *Sheet Pile*

Sheet pile dapat membantu mengurangi penurunan timbunan dengan mencegah perpindahan lateral tanah dan meningkatkan stabilitas keseluruhan oprit jembatan. Keunggulan penggunaan *sheet pile* ialah mencegah deformasi lateral tanah di sekitar oprit jembatan, memperkuat tanah dibelakang *abutment* sehingga mengurangi risiko penurunan (Wicaksono dan Iqbal, 2020:90).

e. *Compaction Grouting* (Grouting Pematatan)

Compaction Grouting ialah Teknik perbaikan tanah yang sangat berhasil, terutama ketika tanah tidak memiliki kepadatan yang dibutuhkan. Prosedur ini memerlukan penyuntikkan campuran grouting tertentu ke dalam tanah di area yang sesuai untuk memperbaiki struktur tanah. Grouting yang biasa digunakan biasanya berupa zat semen atau poliuretan yang mengeras setelah di suntikkan ke dalam tanah, sehingga menghasilkan lapisan bawah tanah yang lebih padat (Bhuiyan et al., 2024 :53). Implementasi grouting pematatan ditunjukkan pada **Gambar 2.28** berikut:



Gambar 2.28 Implementasi Grouting Pematatan
(Sumber : Bhuiyan et al., 2024 :54)

Compaction Grouting sangat berguna untuk permasalahan penurunan tanah , dan memberikan dukungan structural pada tanah lunak atau gembur. *Compaction Grouting* sering digunakan pada proyek stabilisasi structural seperti jembatan, dan dinding penahan tanah. *Compaction Grouting* merupakan metode hanya menyebabkan sedikit kerusakan pada konstruksi, hal ini menjadikannya alternatif yang baik untuk perbaikan tanah di area perkotaan (Bhuiyan et al., 2024 :54).

Penyebaran grout pada metode ini *compaction grouting* membentuk bola grout dengan radius 5 kaki atau 1,5 meter dari titik injeksi (Berry, 2000). Perencanaan teknis *grouting*, dengan radius 6,5 meter dari pusat. Dari radius 6,5 meter ini secara efektif membentuk panjang bentang sebesar 13 meter. Penetapan radius ini bertujuan untuk menciptakan lapisan kedap air dan memutus jalur aliran air bawah tanah (Sheng Ren *et al.*, 2022:5). Volume *grouting* pada metode *compaction grouting* dikendalikan secara ketat, volume injeksi berada pada kisaran 30 hingga 60 liter per menit, sehingga dianggap optimal (ASCE, 2007:5-6).

Pada buku *Chemical Grouting and Soil Stabilization*, grout disuntikkan ke dalam tanah melalui pipa vertikal hingga mencapai kedalaman tertentu. Karena pipa *grouting* berbentuk silinder dan aliran grout mengikuti arah vertical lubang bor, maka dilakukan pendekatan bentuk silinder untuk menghitung diameter pipa *grouting* (Karol, 2003). Pendekatan ini menggunakan rumus volume silinder :

$$D_{\text{pipa}} = 2 \times \sqrt{\frac{V}{\pi \times H}} \dots\dots\dots 2.21$$

Keterangan : D: Diameter pipa (mm)

V: Volume grout per injeksi (m³)

H: Kedalaman *Grouting* (m)

Salah satu pendekatan dalam pelaksanaan *grouting* adalah hingga mencapai lapisan tanah keras. Kedalaman tanah keras dapat dilihat pada grafik uji SPT. Hal ini bertujuan agar grout tertambat stabil, karena pada lapisan tanah keras memiliki daya dukung tanah tinggi (Peter *et al.*, 2015).

Material grout yang umum digunakan dalam pekerjaan Teknik sipil adalah grout berbasis semen yang bersifat non-shrink atau tidak menyusut. Berdasarkan lembar data teknis resmi dari PT. Sika Indonesia (2024), produk SikaGrout-215 merupakan produk grout non-shrink

berbahan dasar semen yang memiliki waktu kerja yang diperpanjang agar sesuai dengan kondisi suhu lokal. Produk ini digunakan dalam berbagai aplikasi konstruksi, diantaranya:

1. Pemasangan ankur
2. Perletakkan alas mesin
3. Dudukan bearing pad jembatan
4. Penyambungan elemen pracetak beton
5. Aplikasi dry pack
6. Pengisi celah, dan rongga
7. Perbaikan beton metode grouting

SikaGrout-215 memiliki beberapa karakteristik teknis unggul diantaranya kuat tekan tinggi (67 Mpa pada umur 28 hari), tidak menyusut, mengalir sangat baik, cepat mengeras, dan ramah lingkungan. Produk SikaGrout-215 juga telah memenuhi standar internasional seperti ASTM C-1107 dan CRD-D 621, yang menetapkan standar untuk bahan grout.