

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut (Das, 1995).

Tanah menduduki peran yang sangat vital dalam sebuah konstruksi bangunan. Tanah berguna sebagai bahan bangunan dalam berbagai macam pekerjaan teknik sipil. Fungsi paling utama dari tanah adalah sebagai pendukung pondasi dari sebuah bangunan. Fungsi tanah sebagai pendukung pondasi bangunan memerlukan kondisi tanah yang stabil, sehingga jika ada sifat tanah yang kurang mampu dalam mendukung konstruksi di atasnya, maka harus diperbaiki terlebih dahulu agar mencapai daya dukung tanah yang diperlukan.

Menurut Bowles (1989), tanah adalah campuran partikel-partikel yang terdiri dari salah satu atau seluruh jenis berikut:

1. Berangkal (*boulders*), merupakan potongan batu yang besar, biasanya lebih besar dari 250 mm sampai 300 mm. Untuk kisaran antara 150 mm sampai 250 mm, fragmen batuan ini disebut kerakal (*cobbles*);
2. Kerikil (*gravel*), partikel bantuan yang berukuran 5 mm sampai 150 mm;
3. Pasir (*sand*), partikel batuan yang berukuran 0,074 mm sampai 5 mm, berkisar dari kasar (3-5 mm) sampai halus (kurang dari 1 mm);
4. Lanau (*silt*), partikel batuan berukuran dari 0,002 mm sampai 0,074 mm. lanau dan lempung dalam jumlah besar ditemukan dalam deposit yang disedimentasikan ke dalam danau atau di dekat garis pantai pada muara sungai;
5. Lempung (*clay*), partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm. partikel-partikel ini merupakan sumber utama dari kohesi pada tanah yang kohesif; ataupun

6. Koloid (*colloids*), partikel mineral yang "diam" yang berukuran lebih kecil dari 0,001 mm.

2.2 Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah adalah pengelompokan berbagai jenis tanah ke dalam kelompok yang sesuai dengan karakteristiknya. Sistem klasifikasi ini menjelaskan secara singkat sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi namun tidak ada yang benar-benar memberikan penjelasan yang tegas mengenai kemungkinan pemakaiannya (Das, 1995).

Tujuan klasifikasi tanah adalah untuk menentukan kesesuaian terhadap pemakaian tertentu, serta untuk menentukan kesesuaian terhadap pemakaian tertentu, serta untuk menginformasikan tentang keadaan tanah dari suatu daerah kepada daerah lainnya dalam bentuk berupa data dasar, seperti karakteristik pemadatan, kekuatan tanah, berat isi, dan sebagainya (Bowles, 1989)

2.2.1 Klasifikasi Tanah Berdasarkan *Unified System*

Sistem klasifikasi tanah ini yang paling banyak dipakai untuk pekerjaan Teknik Pondasi seperti untuk bendungan, bangunan dan konstruksi yang sejenis. Sistem ini biasa digunakan untuk desain lapangan udara dan untuk spesifikasi pekerjaan tanah untuk jalan. Klasifikasi berdasarkan *Unified System* (Das. Braja. M, 1988), tanah dikelompokkan menjadi:

1. Tanah butir kasar (*coarse-grained-soil*) yaitu tanah kerikil dan pasir dimana kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan no. 200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal G atau S. G adalah untuk kerikil (*gravel*) atau tanah berkerikil, dan S adalah untuk pasir (*sand*) atau tanah berpasir; dan
2. Tanah berbutir halus (*fine-grained-soil*) yaitu tanah dimana lebih dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan no. 200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal M untuk lanau (*silt*) anorganik, C untuk lempung (*clay*) anorganik, dan O untuk lanau organik dan lempung organik. Simbol PT digunakan untuk tanah gambut (*peat*), *muck*, dan tanah-tanah lain dengan kadar organik yang tinggi.

Tanah berbutir kasar ditandai dengan simbol kelompok seperti GW, GP, GM, GC, SW, SP, SM, dan SC. Untuk klasifikasi yang benar, perlu memperhatikan faktor-faktor berikut ini:

1. Prosentase butiran yang lolos ayakan no. 200 (fraksi halus);
2. Prosentase fraksi kasar yang lolos ayakan no. 40;
3. Koefisien keseragaman (*Uniformity coefficient, Cu*) dan koefisien gradasi (*gradation coefficient, Cc*) untuk tanah dimana 0 – 12% lolos ayakan no. 200; dan
4. Batas cair (*LL*) dan Indeks Plastisitas (*PI*) bagian tanah yang lolos ayakan no. 40 (untuk tanah dimana 5% atau lebih lolos ayakan no. 200).

Selanjutnya tanah diklasifikasikan dalam sejumlah kelompok dan sub kelompok seperti terlihat pada Tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1 Simbol Klasifikasi Tanah berdasarkan *Unified System*

Jenis Tanah	Simbol	Sub Kelompok	Simbol
Kerikil	G	Gradasi Baik	W
		Gradasi Buruk	P
Pasir	S	Berlanau	M
		Berlempung	C
Lanau	M	LL < 50%	L
Lempung	C		
Organik	O		
Gambut	PT	LL > 50%	H

*) Sumber: Bowles (1991)

2.2.2 Klasifikasi Tanah Berdasarkan *American Association Of State Highway and Transporting Official (AAHSTO)*

Sistem ini mengklasifikasikan tanah kedalam delapan kelompok, A-1 sampai A-8, namun kelompok tanah A-8 tidak diperlihatkan tetapi merupakan gambut atau rawa yang ditentukan berdasarkan klasifikasi visual, dan pada awalnya membutuhkan data-data sebagai berikut:

1. Analisis ukuran butiran;
2. Batas cair dan batas plastis dan *PI* yang dihitung;
3. Batas susut;

4. Ekvivalen kelembaban lapangan, kadar lembab maksimum dimana satu tetes air yang dijatuhkan pada suatu permukaan yang kecil tidak segera diserap oleh permukaan tanah itu; dan
5. Ekvivalen kelembaban sentrifugal, sebuah percobaan untuk mengukur kapasitas tanah dalam menahan air.

Klasifikasi tanah untuk jalan raya menurut *American Association Of State Highway and Transporting Official* dan Bowles (1991) dapat dilihat pada Tabel 2.2 dan Tabel 2.3 berikut.

Tabel 2.2 Klasifikasi Tanah untuk Jalan Raya

Klasifikasi Umum	Tanah Berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)						
	A-1		A-3	A-2			
Klasifikasi Kelompok	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Analisa Saringan (% lolos)							
No. 10	Maks 50						
No. 40	Maks 30	Maks 50	Maks 51				
No. 200	Maks 15	Maks 25	Maks 10	Maks 35	Maks 36	Maks 37	Maks 38
Sifat fraksi yang lolos ayakan No. 40							
Batas cair (LL)				Maks 40	Min 41	Maks 40	Maks 41
Indeks Plastisitas (PI)		Maks 6	NP	Maks 10	Maks 10	Min 11	Min 11
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil, dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung			
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Baik sekali sampai baik						

*) Sumber: AAHSTO

Tabel 2.3 Klasifikasi Tanah untuk Jalan Raya

Klasifikasi Umum	Tanah Berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)			
	A-4	A-5	A-6	A-7
Klasifikasi Kelompok				A-7-5 A-7-6
Analisa saringan (% lolos)				
No. 10				
No. 40				

Klasifikasi Umum	Tanah Berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)			
No. 200	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36
Sifat fraksi yang lolos No. 4				
Batas cair (LL)	Maks 40	Min 41	Maks 40	Min 41
Indeks Plastisitas (PI)	Maks 10	Maks 10	Min 11	Min 11
Tipe material yang paling dominan	Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa sampai jelek			

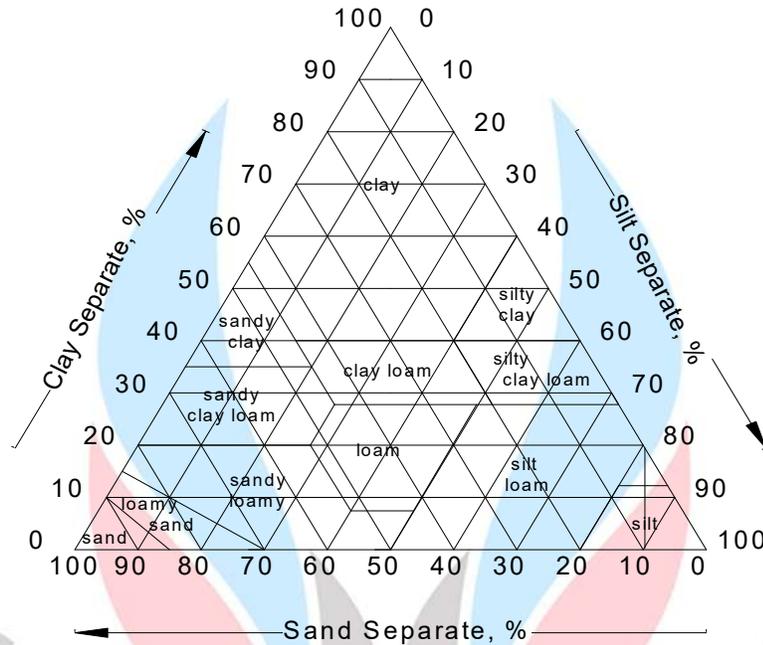
*) Sumber: Bowles (1991)

2.2.3 Klasifikasi Tanah Berdasarkan *United States Department of Agriculture (USDA)*

Sistem klasifikasi tanah berdasarkan tekstur dikembangkan oleh Departemen Pertanian Amerika dan klasifikasi internasional yang dikembangkan oleh Atterberg. Tekstur tanah dipengaruhi oleh ukuran tiap-tiap butir yang ada di dalam tanah. Pada umumnya tanah asli merupakan campuran dari butir-butir yang mempunyai ukuran yang berbeda-beda. Sistem ini relatif sederhana karena hanya didasarkan pada sistem distribusi ukuran butiran tanah yang membagi tanah dalam beberapa kelompok, yaitu:

- Pasir : Butiran dengan diameter 2,0 – 0,005 mm.
- Lanau : Butiran dengan diameter 0,005 – 0,002 mm.
- Lempung : Butiran dengan diameter lebih kecil dari 0,02 mm.

Klasifikasi tanah berdasarkan *United States Department of Agriculture (USDA)* dapat dilihat pada Gambar 2.1 berikut:



Gambar 2.1 Klasifikasi Berdasarkan Tanah Berdasarkan USDA
(Sumber: Das, 1993)

2.3 Tanah Lunak

Menurut Panduan Geoteknik 1, 2001 penggunaan istilah “tanah lunak” berkaitan dengan tanah-tanah yang jika tidak dikenali dan diselidiki secara teliti dapat menyebabkan masalah ketidakstabilan dan penurunan jangka panjang yang tidak dapat ditolerir, tanah tersebut mempunyai kuat geser yang rendah dan kompresibilitas yang tinggi. Adapun salah satu tipe tanah yang termasuk dalam jenis tanah lunak adalah gambut dan lempung lunak.

Pengertian tanah lunak menurut Rachlan (1986) dan Bina Marga (1999) adalah tanah yang umumnya terdiri dari tanah lempung termasuk material pondasi yang sangat jelek karena kadar air yang tinggi, permeabilitas rendah dan sangat *compressible* dan tanah yang secara visual dapat ditembus dengan ibu jari minimum sedalam ± 25 mm, atau mempunyai kuat geser 40 kPa berdasarkan uji geser baling lapangan. Sedangkam menurut Seotjiono (2008) dan Pasaribu (2008), tanah lunak adalah tanah yang bersifat lemah, secara alamiah terbentuk dari proses pengendapan sebagai lapisan *alluvial*, biasanya terdapat di dataran *alluvial*, yang sangat kompresif dan kuat gesernya rendah, yang mana kuat geser *undrained* lapangan kurang dari 40 kPa dan kompresibilitas tinggi.

Tanah gambut (*peat*) termasuk tanah organik, secara visual terlihat sebagai massa berserat mengandung kayu, biasanya berwarna gelap dan berbau tumbuhan membusuk. Tanah ini mengandung bahan organik yang tinggi dan mempunyai kuat geser yang rendah, mudah mampat dan bersifat asam yang dapat merusak material bangunan. Meskipun demikian, dengan berbagai alasan dan pertimbangan pekerjaan konstruksi diatas endapan gambut sering terpaksa dilakukan, terutama untuk pembangunan daerah pemukiman dan juga bandara yaitu runway atau lintas pacu (Nugroho, 2003).

Tanah lempung lunak adalah tanah yang mengandung mineral-mineral lempung dan memiliki kadar air yang tinggi yang menyebabkan kuat gesernya rendah. Dalam rekayasa geoteknik, istilah “lunak” dan “sangat lunak” khusus didefinisikan untuk lempung dengan kuat geser seperti ditunjukkan pada Tabel 2.4 dan Tabel 2.4 berikut:

Tabel 2.4 Definisi Kuat Geser Lempung Lunak

Konsistensi	Kuat Geser (kN/m ²)
Lunak	12,5 – 25
Sangat lunak	< 12,5

*) Sumber: Panduan Geoteknik (2001)

Sebagai indikasi dari kekuatan lempung-lempung tersebut prosedur identifikasi lapangan dapat dilihat pada Tabel 2.5 berikut:

Tabel 2.5 Indikator Kuat Geser Tak Terdrainase Tanah-tanah Lempung Lunak

Konsistensi	Kuat Geser (kN/m ²)
Lunak	Bisa dibentuk dengan mudah dengan jari tangan
Sangat lunak	Keluar diantara jari tangan jika diremas dalam kepalan tangan.

*) Sumber: Panduan Geoteknik (2001)

Bila suatu konstruksi dibangun diatas tanah lunak, maka kerusakan-kerusakan yang dapat terjadi antara lain retakan (*cracking*) pada perkerasan jalan ataupun jembatan, terangkatnya struktur plat, kerusakan jaringan pipa, jembulan tanah (*soil heaving*), longsoran, dan sebagainya. Sehingga dalam hal ini perlu untuk mengetahui sifat-sifat dasar tanah, kemampuan mengalirkan air, sifat pemampatan bila dibebani (*compressibility*), kekuatan geser, kapasitas daya dukung tanah terhadap beban dan lain-lain.

2.3.1 Sifat Tanah Lunak

Tanah lunak merupakan tanah kohesif yang terdiri dari sebagian besar butir-butir yang sangat kecil seperti lempung atau lanau. Sifat tanah lunak adalah gaya gesernya kecil, kemampatannya besar, koefisien permeabilitas yang kecil, dan mempunyai daya dukung rendah jika dibandingkan dengan tanah lempung lainnya. Menurut Suyono (1984) tanah lunak secara umum mempunyai sifat-sifat sebagai berikut:

1. Gaya gesernya kecil;
2. Kemampatan yang besar;
3. Permeabilitas tinggi;
4. Tanah lunak memiliki sifat kompresibilitas yang sangat tinggi. Salah satu faktor yang menyebabkan tingginya tingkat kompresibilitas pada tanah lunak adalah karena tanah jenis ini memiliki angka pori yang tinggi; dan
5. Memiliki kadar air yang tinggi sehingga menyebabkan tanah lunak memiliki daya dukung yang sangat rendah dan memiliki masalah penurunan yang besar selama dan setelah konstruksi dibangun. Kadar air tanah lunak bervariasi tergantung pada kenaikan dari tingkat plastisitas dan struktur tanah tersebut. tanah lunak dipengaruhi oleh presentase kadar air (Holtz, 1956).

Berdasarkan uji lapangan, tanah lunak secara fisik dapat diremas dengan mudah oleh jari-jari tangan. Braja M. Das (1995) menyatakan bahwa nilai hasil pengujian di lapangan dan di laboratorium akan menunjukkan bahwa tanah tersebut lunak apabila: koefisien rembesan (k) sangat rendah $\leq 0,0000001$ cm/detik, batas cair (LL) $\geq 50\%$, angka pori E antara 2,5 – 3,2, kadar air dalam keadaan jenuh antara 90% – 120% dan berat spesifik (G_s) berkisar antara 2,6 – 2,9. Kriteria tanah lunak dapat juga digambarkan seperti pada Tabel 2.6 berikut.

Tabel 2.6 Kriteria Tanah Lunak

	<i>Very Soft Soil</i>	<i>Soft Soil</i>
c (t/m^2)	12,5 – 25	2 – 4
qc (kg/cm^2)	< 12,5	6 – 10
N-SPT	< 2	3 – 5

*) Sumber: Panduan Geoteknik (2001)

Dimana c adalah kohesi tanah dari pengujian tekan tidak terkekang, qc adalah nilai tahanan ujung dari pengujian sondir dan N-SPT adalah nilai N dari pengujian SPT.

2.3.2 Tipe Tanah Lunak

Menurut Pusat Litbang Prasarana Transportasi Bandung (2011), tanah-tanah lunak dibagi dalam dua tipe, yaitu lempung lunak dan gambut. Dan dalam *Unified Soil Classification System* (USCS) membagi tanah menjadi tiga kelompok utama yaitu tanah berbutir kasar, tanah berbutir halus, dan tanah dengan kandungan organik yang tinggi. Dalam Panduan Geoteknik 1 Proses Pembentukan dan Sifat-sifat Dasar Tanah lunak. 2001, tanah berbutir halus dibagi lagi menjadi tiga kelompok berdasarkan kandungan organiknya seperti yang terlihat pada Tabel 2.7 berikut.

Tabel 2.7 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Kadar Organiknya

Kadar Organik	Kelompok Tanah
> 75%	Gambut
25% – 75%	Tanah organik
< 25%	Tanah dengan kadar organik rendah

*) Sumber: Panduan Geoteknik (2001)

2.4 Permasalahan pada Tanah Lunak

Sebagai pendukung bangunan infrastruktur transportasi, tanah lunak mempunyai daya dukung yang relatif rendah serta pemampatannya besar yang berlangsung relatif lama. Apabila tanah lunak tidak diperbaiki terlebih dahulu, maka infrastruktur yang dibangun di atas tanah akan berpotensi mengalami kerusakan sebelum mencapai umur konstruksi yang direncanakan.

1. Daya dukung tanah yang rendah.

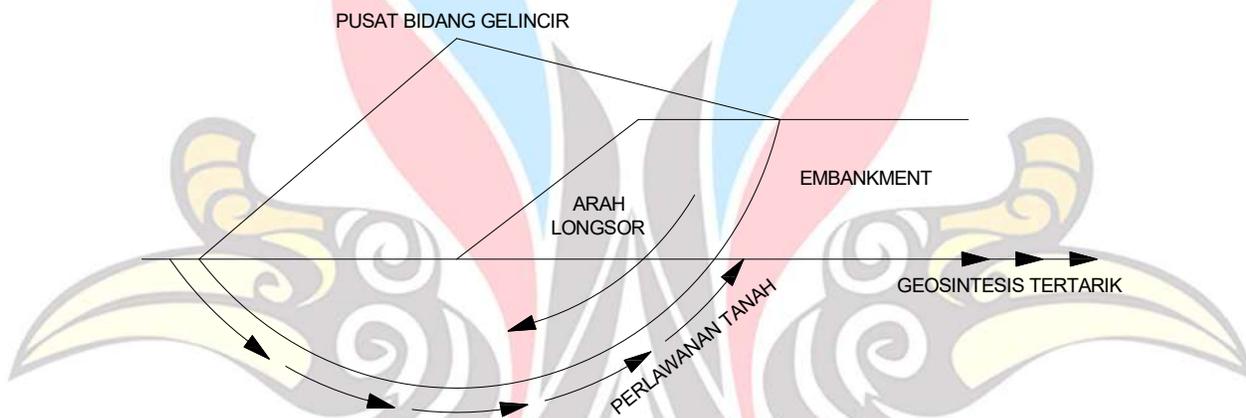
Daya dukung tanah adalah parameter tanah yang berkenaan dengan tanah untuk menopang suatu beban di atasnya. Daya dukung tanah dipengaruhi oleh jumlah air yang terdapat di dalamnya, kohesi tanah, sudut geser dalam, dan tegangan normal tanah. Daya dukung tanah yang rendah akan mengganggu stabilitas dari timbunan. Hal ini menyebabkan tinggi timbunan yang dapat dilakukan akan sangat terbatas, sehingga untuk timbunan yang tinggi perlu dilakukan secara bertahap (*stage construction*) atau diberi perkuatan, antara lain dengan menggunakan *berm*.

2. Penurunan yang besar.

Penurunan yang besar pada tanah dasar akan terjadi apabila tanah dasar tersebut menerima beban di atasnya. Penurunan tanah dapat menyebabkan muka

jalan turun menjadi lebih rendah daripada elevasi rencana (tinggi bebas tertentu diatas muka air banjir dari lahan sekitar jalan).

Salah satu permasalahan utama pada tanah lunak dalam suatu pekerjaan konstruksi adalah penurunan tanah yang besar. Penurunan yang besar tersebut disebabkan oleh penurunan konsolidasi pada tanah bawahnya (*subsoil*). Kemampuan tanah lunak untuk mendukung timbunan tanpa terjadi keruntuhan geser atau penurunan yang berlebih sangat bergantung dari kuat gesernya (Rachlan, 1986; Nugroho, 2011). Penurunan tanah berlangsung sangat lama sehingga lambat laun akan terjadi *differential settlement* (beda penurunan) yang nyata (Mochtar, 2000) yang diilustrasikan pada Gambar 2.2 berikut.



Gambar 2.2 Kegagalan Timbunan di atas Tanah Lunak
(Sumber: Mochtar, 2000)

Pada Gambar 2.2 menunjukkan timbunan yang dilakukan di atas tanah lunak, dimana kegagalan geoteknik dapat terjadi pada timbunan maupun galian. Masalah kelongsoran terjadi karena kurang baiknya perhatian dan control, baik pada saat perencanaan, pelaksanaan, dan masa pemakaian. Dimana akibat daya dukung tanah yang rendah dari tanah lunak di bawah timbunan dapat mengakibatkan *sliding* (kelongsoran) pada tanah timbunannya. Sedangkan penurunan (*settlement*) terjadi akibat proses deformasi pada lapisan tanah akibat beban yang bekerja di atasnya. Menurut Adriani (2006) keadaan tanah dasar yang demikian bila tidak ditangani dengan baik akan memperngaruhi kondisi badan jalan di atasnya dan akan mempercepat kerusakan jalan tersebut. Untuk timbunan badan jalan diperlukan analisis stabilitas dan penurunan sehingga tinggii timbunan yang direncanakan untuk badan jalan tidak akan mengalami penurunan lagi

setelah konstruksi selesai dibangun dan kestabilan dari lereng timbunan dapat terpenuhi.

Permasalahan lain yang timbul pada konstruksi di atas tanah lunak adalah geseran (*shearing*). Mekanisme hilangnya keseimbangan dapat terjadi pada tanah dengan daya dukung rendah, diakibatkan dari beban berat tanah itu sendiri. Permasalahan lain biasanya berupa tolakan ke atas (*uplift*) yang banyak terjadi pada lapisan lempung (*clay*) dan lanau (*silt*) akibat perbedaan tekanan air dan juga sering terjadinya penurunan permukaan (*settlement*) juga permasalahan yang sering terjadi. Hal ini pada umumnya disebabkan oleh beratnya beban yang harus ditanggung oleh tanah lunak.

2.5 Perbaikan Tanah Lunak

Lapisan tanah lunak umumnya terdiri dari lapisan butir-butir yang sangat kecil seperti lanau dan lempung. Dalam lapisan demikian, makin muda umur akumulasinya, makin tinggi letak muka air tanahnya. Lapisan muda seperti ini kurang mengalami pembebanan sehingga sifat mekanisnya buruk atau tidak mampu memikul beban berlebih. Sifat lapisan tanah lunak adalah gaya gesernya yang kecil, kemampuan yang besar, dan koefisien permeabilitas kecil. Pemilihan metode perbaikan tanah umumnya dilakukan berdasarkan formasi geologi dari lapisan tanah, karakteristik tanah, biaya, dan ketersediaan material serta pengalaman.

2.5.1 *Preloading* (Pembebanan Awal)

Secara umum pembebanan awal merupakan proses kompresi tanah dengan memberikan tekanan vertikal sebelum dilakukan pembebanan konstruksi sebenarnya. Beban *preloading* adalah beban yang setara dengan beban konstruksi sebenarnya dimana beban tersebut dilakukan dengan timbunan yang sebanding dengan berat konstruksi yang akan dibangun. Ada pula yang menentukan tinggi timbunan sesuai dengan nilai penurunannya agar tanah timbunan tidak dibuang sia-sia dan dapat dijadikan suatu pondasi dari suatu konstruksi.

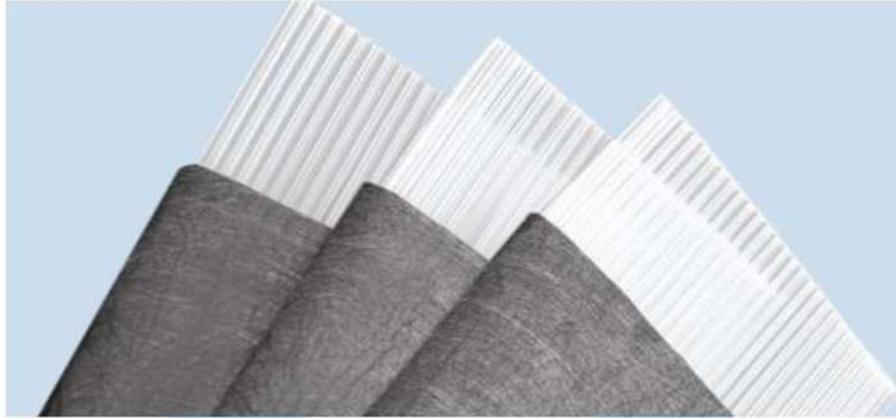
Ketika beban ditempatkan pada awalnya beban tersebut akan didukung oleh air pori sehingga terjadi tekanan air pori eksis. Karena tanahnya sangat tidak

permeabel, maka penurunan tekanan air pori eksese tersebut akan berkurang secara perlahan karena air pori hanya mampu mengalir ke arah vertikal, sedangkan pada arah horizontal pengalirannya sangat panjang sehingga kondisinya diabaikan. Pada pemberian beban *preloading*, beban tersebut akan sepenuhnya didukung oleh tanah dasar. Tanah dasar tersebut kemungkinan tidak dapat menanggung keseluruhan beban pada kondisi sesungguhnya. Sementara, kondisi yang diharapkan pada saat tanah menerima beban adalah tanah akan memasuki wilayah plastis atau tidak mencapai kondisi *failure*. Untuk itu pemberian beban *preloading* yang besar itu akan dibagi menjadi beberapa bagian, dimana hal tersebut dilakukan dengan pemberian beban secara bertahap (*stepped preloading*).

Dengan adanya *preloading*, maka partikel-partikel tanah akan semakin padat dan jumlah penampang butiran tanah yang saling menempel satu sama lain akan semakin meningkat yang akan mengakibatkan *shear strength* akan meningkat juga. Hal ini membuktikan bahwa pada saat pembebanan awal, tanah kohesif akan meningkatkan *shear strength*-nya dan meningkatkan daya dukung terhadap *compression* yang lebih besar.

2.5.2 Pre-fabricated Vertical Drain

Pre-fabricated vertical drain (PVD) adalah lembaran plastik untuk drainase vertikal yang panjang dan berkantung. Material ini merupakan kombinasi antara inti (*core*) *polypropylene* berkekuatan mekanik tinggi dan lapisan pembungkus dari bahan geotekstil. Umumnya PVD berbentuk pita dengan sebuah inti plastik beralur terbuat dari material geosintesis (material polimer) yang dibentuk seperti potongan yang panjang. Material polimer dapat berupa material PVD dengan lebar 90 sampai 100 mm, ketebalan 2 sampai 6 mm. PVD dibuat dalam bentuk gulungan serta dipasang dengan minyak khusus sehingga dapat terlindung dari tekanan hidrolik tanah (Gulhati, Shaskhi K., 2005) seperti yang terlihat pada Gambar 2.3 berikut.

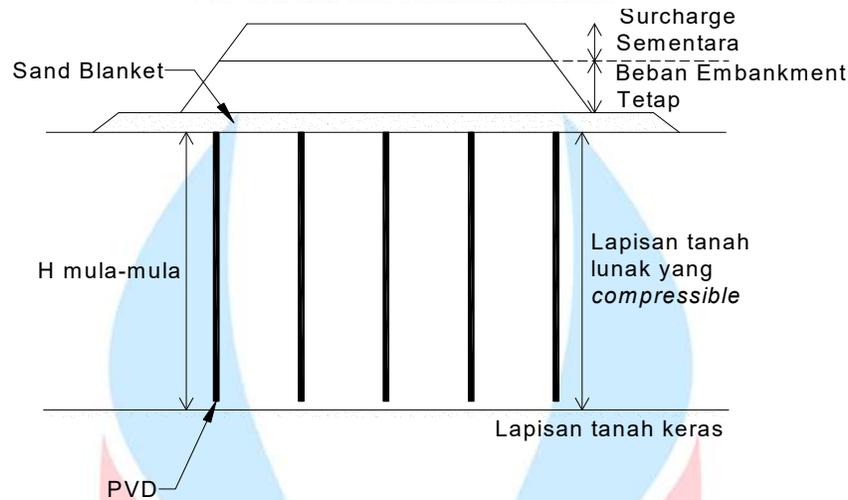


Gambar 2.3 *Pre-fabricated Vertical Drain*
(Sumber: PT. Nindya Karya (Persero))

Jika menggunakan PVD, maka karakteristik hidroliknya harus diperhatikan dengan seksama, misalnya mengenai kapasitas pengeluaran air dan permeabilitas dari *filter* dan kuat tekuk serta ketahanannya terhadap degradasi fisik dan biokimia dalam berbagai kondisi cuaca dan lingkungan yang tidak ramah. PVD dibuat untuk menggantikan penggunaan *sand drain*. PVD dipasang dengan tidak dibor, sehingga penginstallan dapat berlangsung dengan cepat (Das Braja M., 1995).

PVD biasanya bisa dipasang sampai kedalaman hingga 30 meter dengan menggunakan *rig* penetrasi statis. Untuk yang lebih dalam dibutuhkan *rig* yang lebih besar untuk mempermudah proses penetrasi. Sistem *vertical drain* dengan PVD harus dipasang dengan mandrel yang ujungnya tertutup (*close-end mandrel*) yang dimasukkan ke dalam tanah, baik dengan penetrasi statis maupun pemancangan dengan *vibrator*. Tingkat kerusakan atau gangguan pada tanah yang ditimbulkannya bergantung pada bentuk dan ukuran dari mandrel dan sepatu yang dapat dilepaskan (*detachable shoe*) pada dasar mandrel, yang digunakan untuk mengukur material ke dalam tanah.

Pemasangan *vertical drain* bertujuan untuk mempercepat waktu pemampatan. Hal ini dikarenakan pemampatan konsolidasi yang terjadi pada tanah lempung berlangsung sangat lambat atau lama. Dengan adanya *vertical drain* ini maka air pori tanah tidak hanya mengalir keluar ke arah vertikal saja, tetapi juga ke arah horizontal seperti yang terlihat pada Gambar 2.4 berikut.



Gambar 2.4 Penggunaan *Vertical Drain*
(Sumber: Chai, dkk., 2014)

Pemasangan PVD kini ada beragam cara. Perbedaannya ada yang terletak pada penggunaan mesin PVD ataupun penggunaan jangkar. Jangkar yang digunakan dalam pemasangan biasanya tertancap dan tertahan di dalam tanah bersama PVD agar PVD tidak tertarik ke atas tanah lagi. Yang sering menjadi perbedaan adalah penggunaan jangkar dalam pemasangannya dimana sistem ini mengandalkan jangkar yang hanya berfungsi untuk mencegah tanah tidak masuk ke dalam mandrel dan tidak tertinggal ke dalam tanah. Jangkar ini pada akhirnya akan tertarik kembali ke permukaan tanah. Sistem ini mengandalkan daya jepit dan friksi tanah untuk menancapkan PVD. Sistem inilah yang sedang diteliti untuk dikembangkan lebih lanjut. Secara teori, tahapan pemasangan PVD dengan mesin hidrolik adalah sebagai berikut:

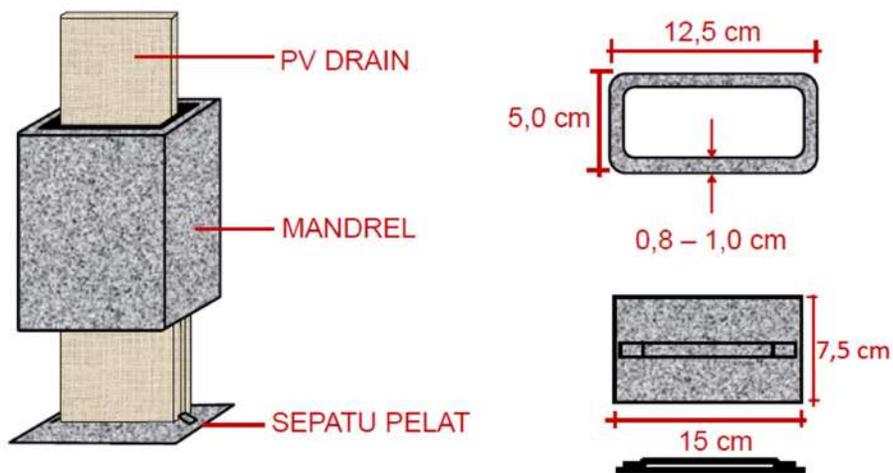
1. *Shoe drain* dipasang pada ujung PVD yang keluar dari ujung mandrel, lalu PVD tersebut ditarik, dilipat, lalu dimasukkan ke dalam mandrel;
2. Kemudian mesin dijalankan dan mandrel akan terdorong ke dalam tanah bersama dengan PVD dan *shoe drain*. *Shoe drain* akan menutup lubang pada ujung mandrel sehingga mandrel tidak akan dimasuki oleh tanah;
3. Penusukan dihentikan saat PVD mencapai kedalaman yang diinginkan. Saat itu, mandrel ditarik ke atas. Akibat adanya *shoe drain* yang berfungsi sebagai jangkar, maka PVD tidak akan tercabut lagi;

4. Mesin akan mengangkat mandrel hingga PVD terekspos, lalu PVD segera dipotong; lalu
5. Mesin bergerak menuju titik pemasangan baru, dan langkah pekerjaan dilakukan dari langkah awal.

Proses pemancangan ini diilustrasikan pada Gambar 2.5 dan komponen peralatan untuk pemancangan dapat dilihat pada Gambar 2.6 berikut.



Gambar 2.5 Urutan Pemasangan PVD
(Sumber: PT. Teknindo Geosistem Unggul)



Gambar 2.6 Komponen Peralatan
(Sumber: PT. Teknindo Geosistem Unggul)

2.5.2.1 Transformasi Penampang PVD

Ukuran PVD yang digunakan pada proyek perpanjangan runway bandara Supadio Pontianak ini adalah 100 mm kali 5 mm dengan bentuk penampang persegi panjang. Pada saat dilakukan perhitungan, maka penampang dari PVD akan dimodelkan menjadi bentuk lingkaran dengan perhitungan diameter ekuivalen yang diasumsikan sebagai keliling persegi panjang dibagi dengan π (Hansbo, 1979). Asumsi tersebut menyatakan bahwa keliling lingkaran sama dengan keliling persegi panjang yang didasarkan pada Persamaan (2.1) dan Persamaan (2.2) berikut dengan data spesifikasi bahan PVD yang digunakan adalah dengan jenis *CeTeau- Drain CT-822*:

berat : 75 gr/m

a (lebar) : 100 mm = 0,10 m

b (tebal) : 5 mm = 0,005 m

$$\pi d_w = 2(a + b) \quad (2.1)$$

$$d_w = \frac{2(a + b)}{\pi} \quad (2.2)$$

dimana:

d_w : diameter PVD (m)

a : lebar PVD (cm)

b : tebal PVD (cm)

Waktu konsolidasi dipengaruhi oleh pola pemasangan PVD. PVD dipasang dengan pola bujur sangkar dan segitiga yang dapat dilihat pada Gambar 2.7, dimana Persamaan yang berlaku untuk mengetahui daerah pengaruh pemasangan PVD dapat dilihat pada Persamaan (2.3) dan (2.4) berikut.

$$D_e = 1,13 \times S \quad (2.3)$$

$$D_e = 1,05 \times S \quad (2.4)$$

Pada Persamaan (2.3) berlaku untuk pola bujur sangkar dan Persamaan (2.4) berlaku untuk pola ekuivalen segitiga, dimana:

D_e : diameter (setelah penampang diubah menjadi bentuk lingkaran)

S : spasi atau jarak antar PVD.