

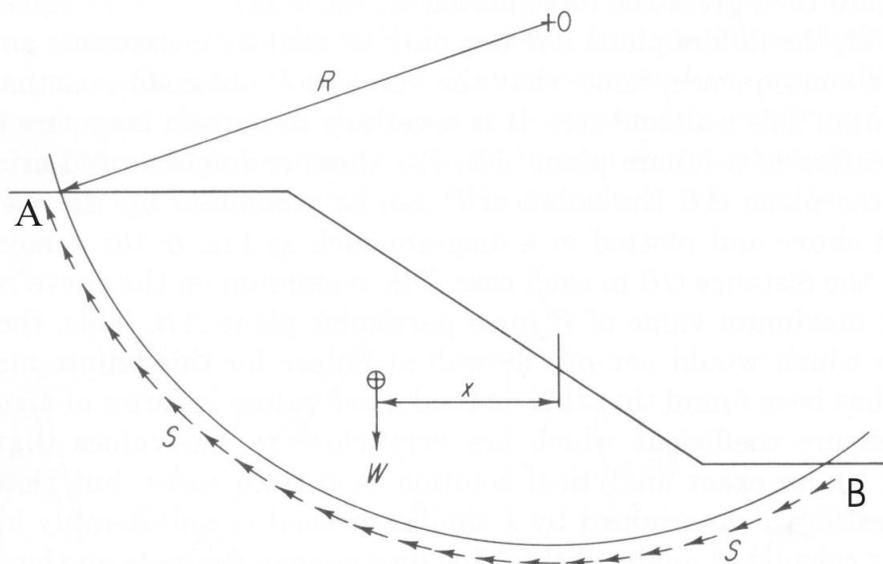
## 4. ASPEK ENGINEERING

Melaksanakan pengurukan memerlukan cara yang tepat untuk mendapat tinggi timbunan yang padat dan setelah didirikan bangunan di atasnya tidak mendapat masalah pada persoalan mekanisme tanah di kemudian hari. Hal tersebut merupakan tujuan utama saat pelaksanaan ini dimulai.

### 4.1 Stabilitas Lereng

Yang perlu diperhatikan setelah timbunan berdiri adalah stabilitas lereng. Ketinggian urukan memerlukan *safety factor*. Hal ini untuk menjaga agar urukan tetap berdiri kokoh saat dibebani oleh bangunan di atasnya.

Suatu asumsi dimana tanah urukan adalah tanah homogen dengan menggunakan metode analisis yang menggambarkan titik O sebagai pusat lingkaran pada gambar dibawah dan potongan kemiringan pada titik A dan B.



Sumber: *Soil Mechanics And Engineering*, Ronald F. Scott; Jack J. Schoustra

**Gambar 4.1 Momen Terjadi dan Momen Penahan**

Kegagalan tanah yang dapat terjadi jika potongan kemiringan AB bergerak ke kanan dengan massa pada pusat gravitasi (W) pada jarak x dengan pusat lingkaran yang berjari-jari R ditahan oleh gaya geser S pada pias AB yang berjari-jari R.

Dimana  $S$  adalah perpaduan antara gaya kohesi dan friksi dengan rumus umum dibawah ini.

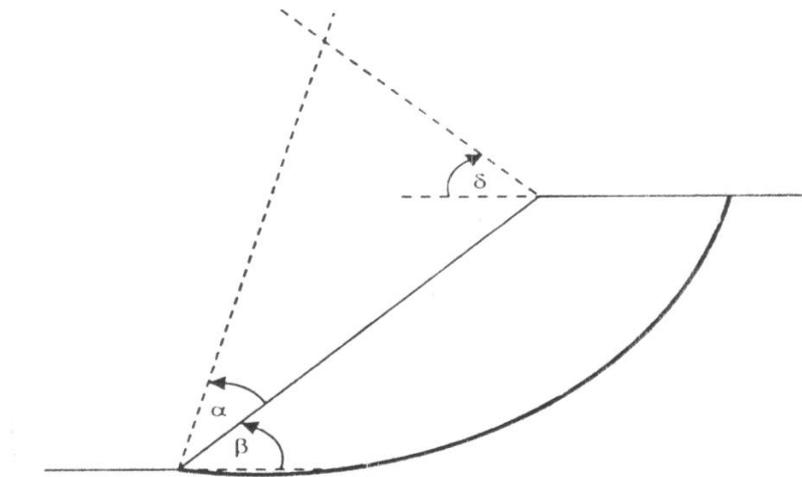
$$S = c + \sigma \cdot \tan \phi$$

Jika kekuatan tanah diketahui maka faktor keamanan dapat ditentukan dengan rumus dibawah ini.

$$F = \frac{M_{\text{penahan}}}{M_{\text{terjadi}}} = \frac{s \cdot \overline{AB} \cdot R}{W \cdot x}$$

Dalam keadaan basah maka massa tanah akan bertambah berat dan itu membuat gaya penahan menjadi bertambah kecil (melemah). Faktor keamanan ini dicari yang terkecil sehingga penentuan titik  $O$  dapat berulang-ulang hingga mendapatkan besar  $F$  yang terkecil.

Untuk mendapatkan titik pusat yang mendekati daerah kritis, ada metode yang tepat untuk di gunakan yaitu metode Fellenius. Pusat dari lingkaran kritis adalah titik pertemuan dua garis yaitu garis dari dasar dan atas slope yang membentuk sudut  $\alpha$  dan  $\delta$ .



Sumber: *Soil Mechanics And Engineering*, Ronald F. Scott; Jack J. Schoustra

**Gambar 4.2 Ilustrasi Slope Fellenius.**

Angka ini diberikan oleh *Fellenius* untuk  $\alpha$  dan  $\delta$  yang memiliki kemiringan sloop dengan sudut  $\beta$ .

**Tabel 4.1 Derajat Kemiringan**

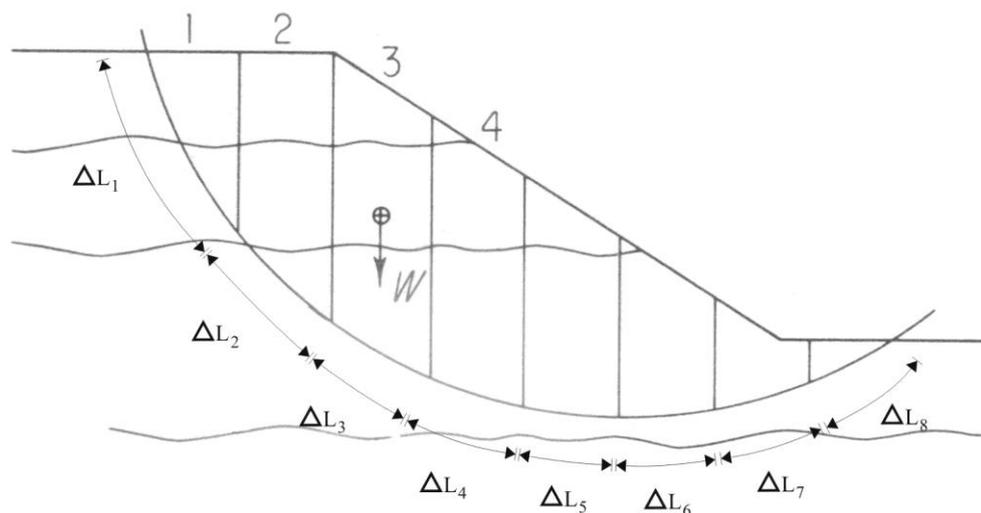
Kemiringan Slope	Sudut $\beta$	Sudut $\alpha$	Sudut $\delta$
1 : 5	11 <sup>0</sup> .32	25 <sup>0</sup>	37 <sup>0</sup>
1 : 3	18 <sup>0</sup> .43	25 <sup>0</sup>	35 <sup>0</sup>

Kemiringan Slope	Sudut $\beta$	Sudut $\alpha$	Sudut $\delta$
1 : 2	$26^{\circ}.57$	$25^{\circ}$	$35^{\circ}$
1 : 1,5	$33^{\circ}.79$	$26^{\circ}$	$35^{\circ}$
1 : 1	$45^{\circ}$	$28^{\circ}$	$37^{\circ}$
1 : 0,58	$60^{\circ}$	$29^{\circ}$	$40^{\circ}$

Jika tanah mengandung tanah kohesif dan kemiringan yang dibentuk dalam penimbunan yang relatif cepat, tekanan pori terbentuk dari keadaan perubahan tekanan, maka penahan aksi dari momen hanyalah gaya kohesif dari tanah. Angka keamanan dalam kondisi tersebut dapat dicari dengan rumus :

$$F = \frac{R \cdot \sum c \Delta L}{W \cdot x}$$

Dimana  $\sum c \cdot \Delta L$  adalah kekuatan kohesi disetiap lapisan tanah  $c$  dikalikan dengan panjang garis pias  $\Delta L$  yang terbentuk di setiap pias.



**Gambar 4.3 Pias-Pias Kemiringan**

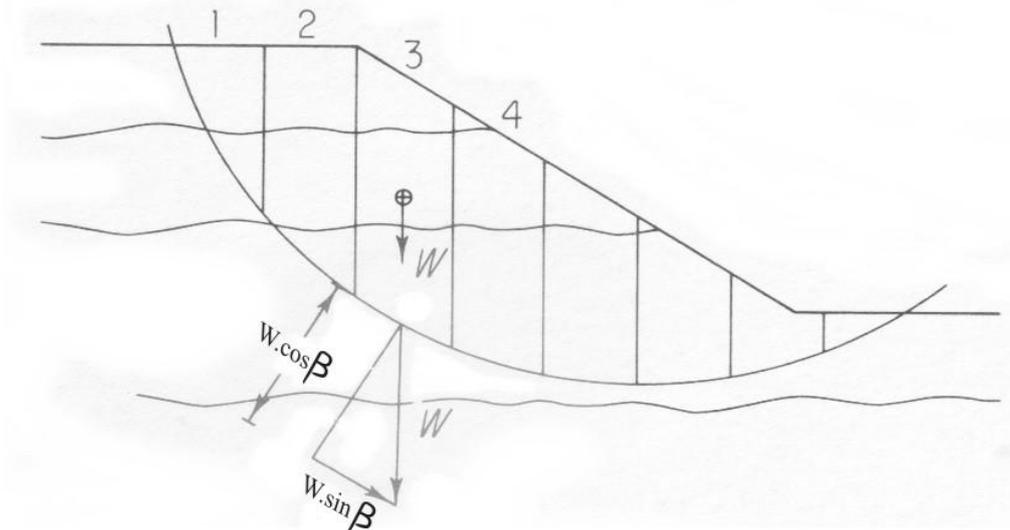
Untuk tanah yang tidak kohesif perpindahan atau pergeseran ini disebut Friksi. Friksi yang diartikan di sini adalah gaya gesek  $F$  sebesar

$$F = vN$$

di mana  $v$  adalah koefisien friksi dan  $N$  adalah gaya normal di antara partikel-partikel. Koefisien gesek dalam dalam pekerjaan geoteknis diambil sebagai

$$v = \tan \phi$$

$\phi$  yang berarti sudut geser dalam dari tanah. Didapat dari sudut yang terbentuk apabila tanah dicurahkan dengan teliti menjadi suatu tumpukan, dan mengukur sudut yang dihasilkan oleh kemiringan curahan itu. Makin rapat angka pori ( $e$ ) derajat kemiringan tanah yang terbentuk makin besar.



**Gambar 4.4 Pembagian Gaya W**

Ketika kohesi dan friksi ada dalam tanah maka safety factor dapat dihitung dengan rumus :

$$F = \frac{\sum c \Delta L + \sum W \cdot \cos \beta \cdot \tan \phi}{\sum W \cdot \sin \beta}$$

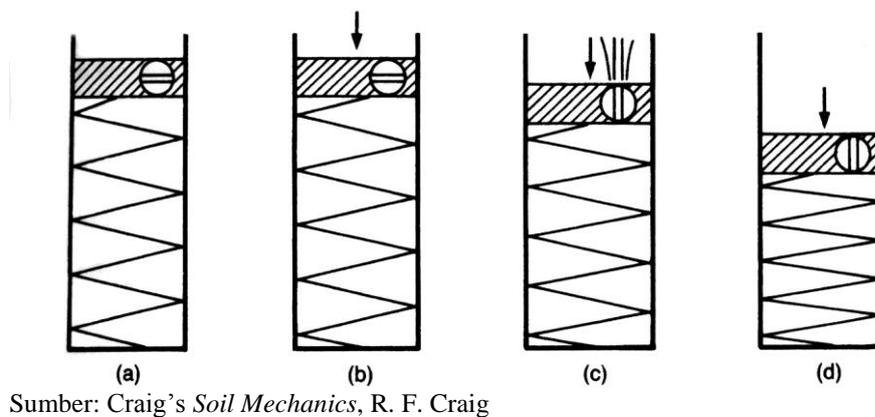
Dimana setiap  $\Delta L$  mempunyai panjang berbeda di setiap lapisan dan pias, memiliki koefisien kohesi ( $c$ ) dan  $\tan \phi$  yang berbeda pula. Harga ini ditentukan dari test lapangan yang telah diuji dan didapatkan dari laboratorium tanah (Scott dan Schoustra, 1968).

## 4.2 Konsolidasi

Suatu beban bekerja di atas suatu lapisan tanah jenuh berpori yang mempunyai kemampuan mampat yang tinggi atau suatu lapisan tanah jenuh yang berpermeabilitas rendah, seperti tanah liat, jika lapisan tanah ini ditekan maka akan memampat dan tekanan air pori dalam tanah tersebut akan bertambah. Perbedaan tekanan air pori pada lapisan tanah, berakibat air mengalir ke lapisan tanah dengan tekanan air pori yang lebih rendah, yang diikuti dengan penurunan

tanahnya. Penurunan tanah ini disebabkan oleh berkurangnya volume rongga pori. Karena permeabilitas tanah rendah, proses ini membutuhkan waktu. Penjelasan ini adalah suatu proses konsolidasi.

Penambahan tekanan per-satuan unit luas yang mengakibatkan proses konsolidasi dikenal sebagai tekanan konsolidasi (*consolidation pressure*) atau tegangan konsolidasi (*consolidation stress*). Pada awal permulaan proses konsolidasi, hampir seluruh tekanan konsolidasi tersebut diterima oleh air dalam rongga-rongga tanah. Sehingga awal proses tersebut terjadi kelebihan tekanan air pori awal (*initial excess pressure*),  $\Delta u$  yang biasa disebut sebagai kelebihan tekanan hidrostatik (*excess hydrostatic pressure*) atau kelebihan tekanan pori (*excess pore water pressure*), pada air yang besarnya hampir tepat sama dengan konsolidasi yang terjadi. Lambat laun, kelebihan tekanan air pori ini berkurang dan tegangan efektif rata-rata lapisan tanah tersebut meningkat. Setelah berlangsung dalam waktu yang sangat lama, kelebihan tekanan air pori menjadi sama dengan nol, dan seluruh bagian tegangan konsolidasi menjadi tegangan efektif yang dipindahkan dari air ke butir tanah (Craig, 2004).

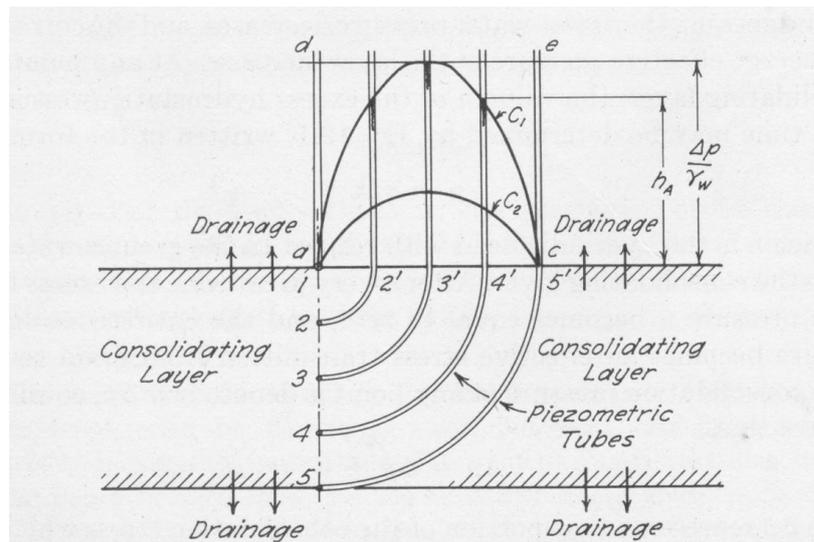


**Gambar 4.5 Analogi Konsolidasi**

Gambar 4.5 menggambarkan analogi proses awal konsolidasi dimana air dan tanah memikul beban pada awalnya yang digambarkan berupa piston didalam silinder yang diisi pasir dan air (a). Piston diberi beban sehingga air dan pasir menerima beban (b) yang merupakan proses awal konsolidasi. Akibat dari beban yang diterima piston air terdrainasi keluar (c) yang digambarkan keran pada piston di buka. Akhir dari proses (d) ketika air dalam silinder tidak keluar dalam

keran, sehingga beban hanya diterima oleh pir. Sama seperti proses akhir konsolidasi, yang akhirnya sebagian besar beban di terima oleh tanah sehingga kelebihan tekanan pori pada tanah menjadi nol.

Terzaghi menggunakan Gambar 4.6 untuk menerangkan teorinya, dimana suatu lapisan tanah liat dibebani oleh suatu tambahan tegangan  $\Delta p$ .



Sumber: *Soil Mechanics in Engineering Practice*, Karl Terzaghi; Ralph B. Peck

**Gambar 4.6 Diagram proses konsolidasi (K. Terzaghi, 1948)**

Karena  $\Delta p$  adalah konstan, kemajuan proses konsolidasi pada suatu titik tertentu dapat diperlihatkan dengan pengamatan  $\Delta u$  yang bervariasi sesuai dengan persamaan  $\Delta u = \gamma_w \cdot h$ . Karena suatu timbunan di atas permukaan tanah, lapisan kompresibel tersebut sangat dipengaruhi oleh  $\Delta p$ . Dengan asumsi bahwa lapisan tersebut dapat mengalirkan air secara bebas pada kedua sisi permukaan atas dan bawah lapisan tanah, dalam lapisan tersebut air hanya mengalir dalam arah vertical, dan  $\Delta p$  yang terjadi tidak bervariasi dari bagian atas sampai bagian bawah tanah tersebut.

Kemajuan proses konsolidasi dalam lapisan tanah dapat dipelajari dengan mengamati posisi ketinggian air di dalam pipa berdiri yang seri. Bagian bawah pipa ditempatkan pada suatu garis vertikal yang ada dalam lapisan tanah, seperti yang terlihat pada Gambar 4.6. Muka air tanah diasumsikan terletak pada permukaan atas lapisan tanah yang mengalami konsolidasi. Jika pipa diletakkan sedemikian rupa sehingga arah horisontal berjarak 1-2', 1-3', dan seterusnya, maka

arah vertikal mempunyai jarak yang sama pula, yaitu 1-2',1-3, dan seterusnya. Kurva yang menunjukkan tempat kedudukan tinggi air dalam pipa merupakan isokron (*isochrone*).  $i$  (*hydraulic gradient*) pada kedalaman  $d$  di bawah titik  $a$  merupakan slope isokron yaitu:

$$i = \frac{\Delta h}{L}$$

$\Delta h$  = beda tinggi energi antara 2 pipa

$L$  = jarak antara 2 pipa

Jika slope pada titik tertentu dari isokrone mengarah keatas menuju arah kanan, aliran air mengarah ke atas pada titik tersebut.

Distribusi dari ketinggian energi kelebihan tekanan air pori awal di atas bagian vertikal yang melalui lapisan tanah liat direpresentasikan oleh garis horisontal d-e, diletakkan pada suatu elevasi  $\Delta p / \gamma_w$  di atas permukaan air tanah. Garis ini merupakan isokron awal. Pada tahap awal proses konsolidasi, tinggi air pada pipa bagian tengah dari lapisan tersebut tidak berubah, ketika bagian lain telah turun, seperti yang ditunjukkan oleh isokron  $C_1$ . Dalam tahap selanjutnya, direpresentasikan oleh isokrone  $C_2$ , seluruh level telah mengalami penurunan, elevasi terus menurun dari bagian tengah hingga bagian permukaan lapisan tanah tempat keluarnya air. Akhirnya setelah berlangsung dalam waktu yang sangat lama, seluruh tekanan kelebihan air pori hilang dan isokron akhir direpresentasikan oleh garis a-c (Terzaghi dan Peck, 1967).

### 4.3 Metode Percepat Penurunan

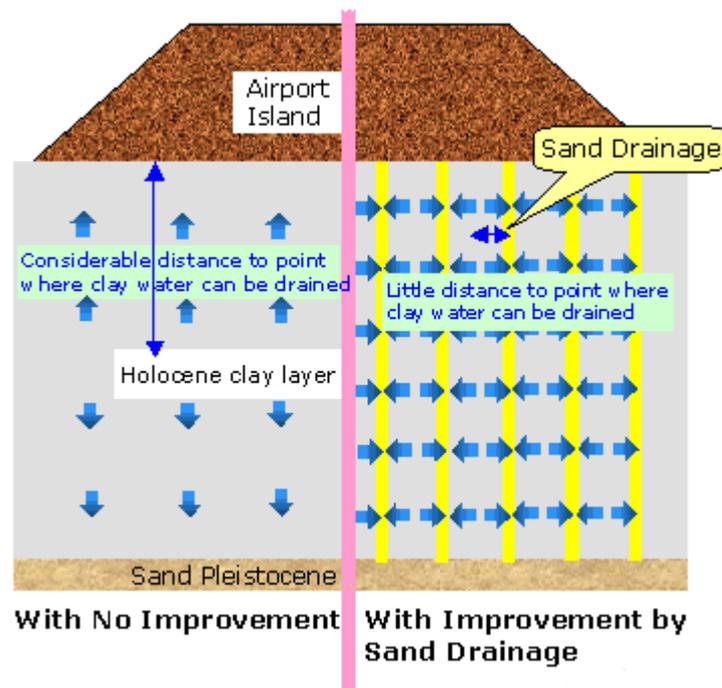
Proses penurunan terjadi pada tanah yang terbebani karena ada tekanan dari atas atau lapisan permukaan dengan beban urukan yang menyebabkan tekanan air pori meningkat pada awalnya. Meningkatnya tekanan air pori membentuk suatu aliran air menuju pada keadaan seimbang yang berarti tidak ada tekanan yang diterima air, dimana awalnya air dan tanah ikut menanggung beban di atasnya, berangsur-angsur tanah yang menanggung beban.

Aliran air bergerak ke lapisan yang mempunyai permeability yang baik sehingga lapisan lempung mengalami penurunan tekanan pori yang berakibat

penurunan terjadi karena air berpindah dan ruang yang diisi oleh air menjadi terhimpit dan tanah lempung terkompresi padat oleh beban urukan.

Salah Satu cara yang digunakan untuk memperoleh penurunan yang cepat adalah *Vertical Drain*. Cara ini bertujuan mempercepat aliran air menuju ke daerah dimana air dapat bergerak menuju ke daerah di mana air dapat mengalir keluar mengurangi tekanan air pori, sehingga penurunan dapat terjadi secara cepat. Bahan yang digunakan untuk *vertical drain* adalah bahan yang dapat mengalirkan air, mempunyai permeability yang baik salah satunya pasir. *Vertical drain* dipasang sebelum tanah urukan dihamparkan.

Cara yang dipakai untuk mempercepat penurunan tanah di Jepang saat pekerjaan pengurukan di *Kansai International Airport* dengan menggunakan *Sand Drain*. Salah satu jenis *Vertical Drain* yang sering digunakan untuk mempercepat penurunan.



Sumber: <http://www.kald.co.jp/english/eindexframe.html>, Kansai International Airport Land Development Co.,Ltd

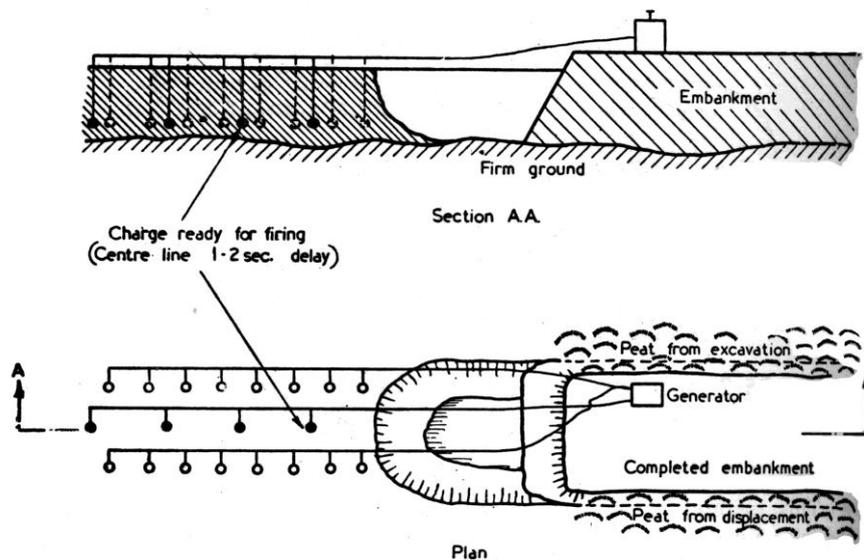
**Gambar 4.7 Sand Drain.**

Gambar 4.7 menunjukkan bahwa jarak air tersalurkan dipersingkat sehingga tanah lebih cepat mengeluarkan air dan penurunan tanah dapat di

percepat. Jenis tanah yang dipercepat penurunannya dengan cara ini adalah tanah yang mempunyai sifat menyerap air seperti tanah lempung.

Adapun cara yang jarang digunakan untuk mempercepat penurunan, salah satunya adalah cara meledakkan tanah. Cara ini digunakan pada tanah rawa, lapisan atas tanah ini terdiri dari tanah lunak rawa dengan ciri berwarna hitam, berserat, hasil dari pelapukan tanaman yang telah mati (*peat*). Ada dua metode yang digunakan untuk memindahkan tanah rawa ini. Yang pertama adalah metode *Trench Shooting* (dan berbagai tipe yang sejenisnya), metode ini digunakan pada endapan tanah lunak (*peat*) dan dengan kedalaman kurang dari 50 ft atau 15 meter. Cara kedua, metode *underfill*, yang dapat digunakan ketika lapisan atas tanah terdiri dari tanah rawa (*peat*), dan telah digunakan untuk ketebalan lapisan diatas 70 ft atau 21 meter. Kedua metode ini menggunakan bom yang disesuaikan jumlahnya dengan keadaan tanah rawa.

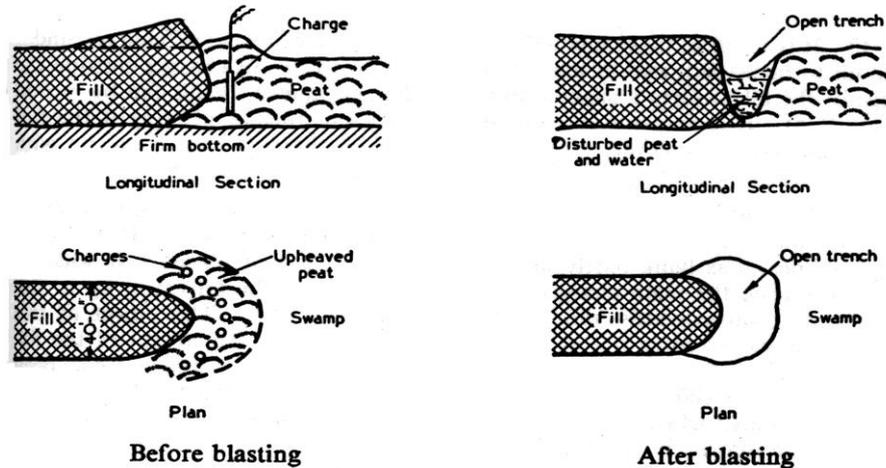
Dari kedua metode itu mempunyai perbedaan dalam penempatan bom dan urukan. Metode *Trench Shooting* (Gambar 4.8) menggunakan bom yang disusun berjejer, dengan cara ini tanah rawa (*peat*) yang telah diledakan akan terbuka membentuk parit dan diisi dengan material tanah urukan. Adapun metode yang sejenis dengan *Trench Shooting* yaitu *Toe Shooting* (Gambar 4.9), perbedaannya adalah letak bom didekat urukan, sehingga urukan perlu di tonjolkkan sedikit untuk mengisi bagian kaki yang sebelumnya terisi dengan tanah rawa (*peat*).



Sumber: *Soil Mechanics for Road Engineering*, W. H. Glanville, *Director of Road Research*

**Gambar 4.8 Metode *Trench Shooting***

Dari Gambar 4.8 menerangkan bahwa bom diletakkan pada dekat dasar tanah rawa (*peat*) disusun secara sejajar dan beda waktu ledakan bom yang tengah berjarak 1 sampai 2 detik. Jarak antara bom sekitar setengah hingga dua per tiga dari ketebalan tanah rawa. Dengan peledakan ini dapat meledakkan tanah rawa tidak lebih dari 6 m (20 ft).

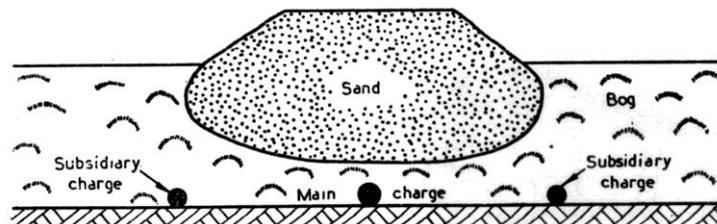


Sumber: *Soil Mechanics for Road Engineering*, W. H. Glanville, *Director of Road Research*

**Gambar 4.9 Metode Toe Shooting**

Metode dari Gambar 4.9 di atas ini sedikit berbeda dengan sebelumnya, perbedaan terletak pada penempatan bom dan urukan di tonjolan untuk mengisi bagian kaki yang terisi tanah rawa sebelum bom diledakkan. Jarak antara bom 1,5 m sampai 3 m yang disusun menyerupai busur. Cara ini digunakan untuk kedalaman tanah rawa tidak lebih dari 15 m (50 ft).

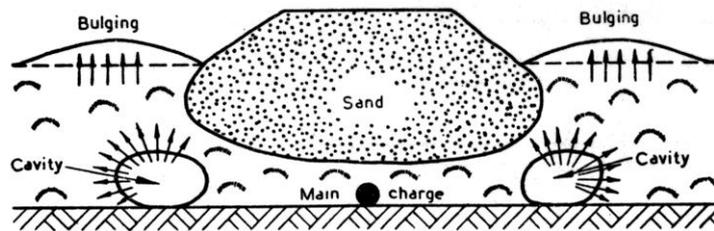
*Underfill* adalah cara yang digunakan dengan langsung menguruk diatas tanah rawa yang sebelumnya telah terpasang bom. Berikut Gambar 4.10-13 yang menggambarkan langkah-langkah metode ini dilakukan.



Sumber: *Soil Mechanics for Road Engineering*, W. H. Glanville, *Director of Road Research*

**Gambar 4.10 Urugan Underfill 1**

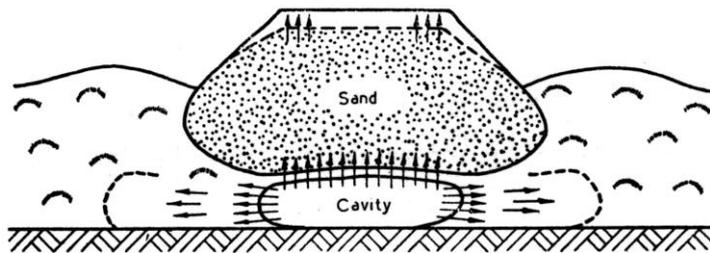
Urugan berdiri di atas tanah rawa dan bahan peledak diletakkan di atas tanah dasar, peletakan peledak disusun seperti Gambar 4.10.



Sumber: *Soil Mechanics for Road Engineering*, W. H. Glanville, *Director of Road Research*

**Gambar 4.11 Urugan Underfill 2**

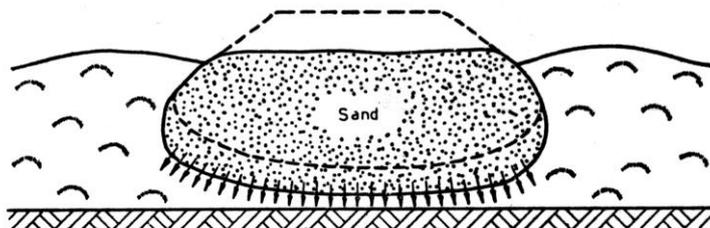
Peledakan bom dimulai dari sisi kanan dan kiri untuk menghasilkan ruang kosong (*cavity*) yang mengakibatkan tanah rawa terangkat keatas dengan kondisi mengembang.



Sumber: *Soil Mechanics for Road Engineering*, W. H. Glanville, *Director of Road Research*

**Gambar 4.12 Urugan Underfill 3**

Ruang kosong ini akan berkumpul di tengah setelah meledakkan bahan peledak pada bagian tengah. Peledak pada bagian tengah diledakkan tak lama setelah peledakan pada bagian kanan dan kiri.



Sumber: *Soil Mechanics for Road Engineering*, W. H. Glanville, *Director of Road Research*

**Gambar 4.13 Urugan Underfill 4**

Hasil dari peledakan ini membuat tanah urukan turun karena ruang kosong hilang terisi dengan tanah urukan. Kombinasi peledakan sangat berpengaruh pada penurunan urukan dan kekuatan bahan peledak disesuaikan dengan kondisi urukan, sehingga diperlukan pengalaman untuk perkiraan besar dan jarak peledak. Pada metode ini terdapat 3 macam cara yang dilakukan pada penggunaannya.

- Menyusun lebar keseluruhan dari urukan sebelum diledakkan. metode ini digunakan untuk deposit tanah rawa yang cukup sempit dengan kedalaman 9m. → (1)
- Menyusun lebar urukan yang sempit dimulai pada tengah-tengah urukan yang akan disusun, melebar pada kedua sisi. Metode ini digunakan pada urukan yang lebar atau endapan yang tebal pada kondisi tanah rawa yang terbuka. →(2)
- Menyusun lebar urukan yang sempit pada salah satu sisi lahan yang akan diuruk, melebar pada satu sisi. Metode ini digunakan urukan yang lebar atau endapan tanah rawa yang tebal dimana kondisi penekanan ke tanah rawa terbatas pada satu sisi, seperti pada penekanaan tanah urukan yang telah ada. → (3)

Ini akan dibutuhkan lebih dari satu barisan peledak dibawah urukan dalam melakukan metode ini untuk membuat penurunan, dan banyak dari suatu pekerjaan yang lain dengan cara ini membutuhkan lebih dari satu barisan peledak di luar daerah urukan yang digunakan membuat ruang kosong untuk memindahkan tanah rawa dibawah urukan setelah peledak di bagian bawah urukan diledakkan.

Kadang dibutuhkan peledakan yang berlanjut jika peledakan yang pertama tidak memberikan peledakan yang penuh, sehingga beberapa seri peledakan dibutuhkan pada metode ini terutama pada cara (2) dan (3) (Glanville, 1952).