

AN DAERAH  
MUR

1.151

R

Lars Forssblad

# KOMPAKSI URUKAN TANAH DAN BATUAN DENGAN GETARAN



*Bina Aksara*

**KOMPAKSI (PEMAMPATAN)  
URUKAN TANAH DAN BATUAN  
DENGAN GETARAN**

**FUMIGASI**  
T. A.  
2000



**LARS FORSSBLAD**

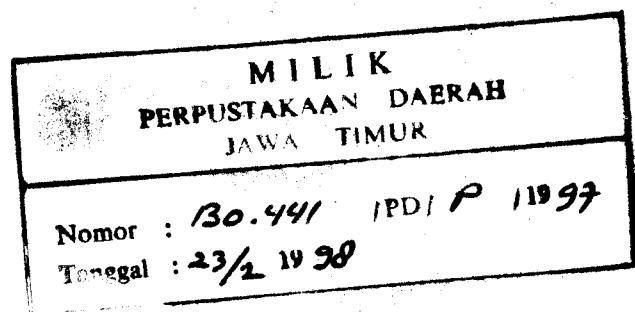
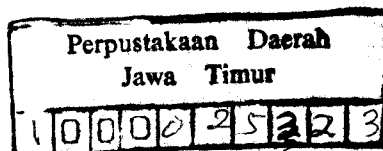
**KOMPAKSI  
(PEMAMPATAN)  
URUKAN TANAH  
DAN BATUAN  
DENGAN GETARAN**

Alih bahasa oleh :

**Ir. Danny Rudiawan Indranada Kartasapoetra**



**Penerbit BINA AKSARA Jakarta**



Cetakan pertama, Maret 1989.

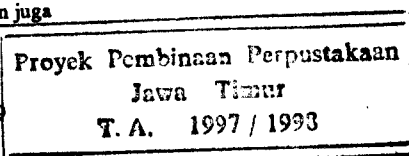
**KOMPAKSI (PEMAMPATAN) URUKAN TANAH DAN BATUAN  
DENGAN GETARAN**

Judul asli : VIBRATORY SOIL AND ROCK FILL COMPACTION  
Pengarang : Lars Forssblad  
Penerjemah : Ir. Danny Rudiawan Indranada Kartasapoetra

Copyright pada Dynapac Maskin AB, Solna, Swedia.  
Edisi bahasa Indonesia diterbitkan  
oleh BINA AKSARA, Jakarta  
Anggota IKAPI

Dilarang memperbanyak buku ini  
sebagian atau seluruhnya  
dalam bentuk apapun juga  
tanpa izin tertulis  
dari penerbit.

BA - 382 - T - 1 - 89



**KATA PENGANTAR**

Akhir-akhir ini dunia ilmu pengetahuan dan teknologi boleh dikatakan sudah sangat maju. Hal ini berkat diketemukannya alat-alat yang canggih seperti komputer, mesin-mesin industri dan robot-robot otomatis. Bahkan boleh di bilang bahwa abad sekarang ini adalah abad komputer, sedang di bidang teknik sipil pun tidak ketinggalan.

Buku ini secara ringkas mengetengahkan proses pemampatan tanah dengan getaran. Dengan memakai alat penggetar, pekerjaan memanfaatkan tanah akan memakan waktu yang relatif lebih cepat dengan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan memakai mesin giling dan sejenisnya.

Dengan terbitnya buku ini dalam edisi bahasa Indonesia, penerbit berharap semoga kesenjangan pada buku-buku di bidang teknik sipil di Indonesia segera teratasi.

Mudah-mudahan buku ini bermanfaat bagi para pembaca

Jakarta, Desember 1988  
Penerbit.



## DAFTAR ISI

1.	Pendahuluan .....	1
2.	Dasar-dasar Pemampatan Tanah .....	3
2.1.	Jenis Tanah dan Kandungan Air .....	3
2.2.	Derajat Pemampatan .....	7
✓ 3.	Klasifikasi Tanah .....	8
✓ 3.1.	Ukuran Butiran dan Gradasi .....	8
✓ 3.2.	Uji yang Konsisten .....	11
✓ 3.3.	Sistem Klasifikasi Tanah .....	11
3.4.	Asal Mula Tanah .....	16
✓ 3.5.	Jenis-jenis Bahan Urukan (Pengisi) Khusus .....	19
4.	Uji Laboratorium dan Lapangan .....	22
4.1.	Uji Laboratorium .....	22
4.2.	Uji Lapangan .....	35
5.	Macam-macam Spesifikasi .....	45
6.	Macam-macam Prinsip dan Metode Pemampatan Tanah .....	50
7.	Macam-macam Pemampat Tanah dengan Getaran dan Efek Pemampatan Mereka .....	58
7.1.	Jenis-jenis Peralatan .....	58
7.2.	Efek Pemampatan dari Mesin Giling Getaran .....	65
7.3.	Parameter-parameter yang tidak Memadai .....	76
7.4.	Peristilahan dan Standar-standar .....	79

<b>8. Pemakaian</b>	80
8.1. Tubuh Jalan (Embankment)	82
8.2. Dasar dan Lapisan Dasar (Base dan Subbase)	104
8.3. Daerah Terbatas dan Pekerjaan Kecil	112
<b>9. Perhitungan Kapasitas</b>	115
<b>10. Saran dan Petunjuk untuk Pekerjaan Pemampatan</b>	122
10.1. Pemeriksaan Lubang Galian Bahan (Borrow Pit) dan Pemrosesan Proyek	122
10.2. Peralatan untuk Penggalian (Ekskavasi), Penarikan (Hauling) dan Pemencaran (Spreading)	126
10.3. Penyesuaian Kandungan Air	129
10.4. Kondisi Tanah Dasar (Subsoil)	130
10.5. Kondisi Iklim	131
10.6. Volume Tanah	132
10.7. Pemilihan Peralatan Pemampatan yang Tepat	132
10.8. Uji Pemampatan Lapangan	134
10.9. Pemeriksaan Data Getaran (Vibrasi)	138
<b>11. Beberapa Pemakaian Khusus</b>	140
11.1. Pemampatan Kering	140
11.2. Pemampatan Dalam	147
11.3. Pemampatan di bawah Air	153
11.4. Pemampatan Lerengan (Slope)	155
11.5. Beton yang Dimampatkan dengan Mesin Giling	158
11.6. Pengerasan dan Pemampatan Tanah di Sekitar Gorong-gorong Baja	161
11.7. Pemampatan di Musim Dingin	163
11.8. Pemampatan Batu Bara	168
<b>12. Alat Pengukur Pemampatan di Mesin Giling Getar</b>	170
12.1. Prinsip Mengukur	171
12.2. Evaluasi oleh Uji Laboratorium	172

12.3. Uji Pada Pasir dan Batu Kerikil di Swedia	174
12.4. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Hasil Pengujian	175
<b>12.5. KALIBRASI</b>	177
12.6. Pengalaman Lapangan	177
12.7. Mesin Giling Ukur	179
12.8. Kesimpulan	181
<b>13. Pemakaian Energi pada Pemampatan</b>	183
13.1. Prinsip Penghitungan	183
13.2. Perbandingan dengan Uji Laboratorium	186
13.3. Kesimpulan	186
<b>14. Perhitungan Ongkos Mesin</b>	188
14.1. Ongkos Tetap	188
14.2. Ongkos Operasi	189
<b>15. Pengoperasian Mesin di Bawah Kondisi Khusus</b>	192
<b>16. Ukuran Traktor yang Sesuai untuk Mesin Giling Getar yang Ditarik</b>	195
<b>17. Kerusakan pada Bangunan yang Disebabkan oleh Getaran Tanah yang Ditimbulkan oleh Alat Pemampatan dengan Getaran</b>	199
17.1. Aturan Dasar	199
17.2. Kriteria Keamanan	201
17.3. Pengukuran Getaran Tanah	205
17.4. Pemeriksaan	207
17.5. Pelepasan Tanah (Settlement)	207
17.6. Kesimpulan	207
<b>18. Beban pada Pipa dan Bangunan-bangunan Lain yang Disebabkan oleh Pemampatan dengan Getaran</b>	208
<b>19. Apendiks</b>	211
<b>20. Reverensi</b>	213

## 1. PENDAHULUAN

Pemadatan tanah merupakan suatu kegiatan yang penting untuk mewujudkan bangunan dan proyek-proyek teknik sipil. Cara pekerjaan pemampatan direncanakan dan dilaksanakan sedemikian rupa karena mempunyai pengaruh yang menentukan terhadap keamanan, kualitas dan rentangan umur dari bangunan yang telah jadi.

Namun demikian, ongkos atau biaya pemampatan tanah hanyalah menyatakan bagian yang secara komperatif kecil dari ongkos pembangunan keseluruhannya, yang pada umumnya kurang dari lima persen.

Pemadatan yang efisien memungkinkan peningkatan daya dukung dan stabilitas dari sebuah bidang tanah urukan, juga dapat meningkatkan impermeabilitas (kekedapan) dan dalam banyak hal yaitu untuk menghilangkan pelesakan tanah secara praktis. Jadi bagaimanapun juga, pemampatan menjadikan tanah cukup stabil untuk menahan beban permanen dan getaran-getaran lalu lintas. Ongkos-ongkos pemeliharaan untuk jalan, jalan raya serta lapangan udara dengan terwujudnya kestabilan tanah itu dengan sendirinya menjadi berkurang.

Bahan urukan berbeda-beda, dari tanah liat dengan partikel yang lebih kecil daripada 0,002 mm sampai bahan urukan batuan dengan blok-blok yang berukuran satu meter atau lebih. Bahan-bahan tersebut dapat juga berupa tanah yang dimampatkan dengan semen, kapur atau produk-produk bitumen (aspal). Terak



dan abu, maupun jenis produk residu, limbah atau produk-produk yang didaurkan ulang telah menjadi semakin umum. Penyimpanan batu bara kadang-kadang dimampatkan pula yaitu untuk mencegah pembakaran dengan sendirinya.

Besarnya keanekaragaman pada sifat bahan yang harus dimampatkan bersama dengan perbedaan-perbedaan besar yang terdapat pada tempat pekerjaan serta kondisi-kondisi cuaca, kadang-kadang membuatnya tidak mungkin untuk mengemukakan dan menyatakan beberapa aturan yang sederhana dan umum bagi pekerjaan pemampatan. Pada banyak hal terdapat suatu pilihan di antara beberapa jenis alat pemampat (kompaktor).

Pemampatan dengan getaran berturut-turut pada akhirnya telah banyak menarik perhatian para pemakainya dan sekarang ini penjualan alat pemampat dengan getaran telah mencapai sekitar 70 % dari penjualan total alat pemampatan.

Tujuan utama dari Buku Pegangan ini adalah untuk menjelaskan *dasar* maupun *pemakaian* cara-cara yang praktis dari pemampatan dengan getaran untuk memperoleh suatu dasar perencanaan, pelaksanaan dan pengendalian pekerjaan. Banyak cara pemampatan dengan getaran yang baru telah dikembangkan selama beberapa tahun yang telah lewat, seperti misalnya pemampatan urukan batuan, semen tanah, pasir kering, endapan lumpur, tanah liat dan lain-lain.

Pemampatan dengan getaran pada permukaan aspal, merupakan salah satu dari bidang-bidang yang paling berkembang, yang kami sajikan di dalam penerbitan yang terpisah.

## 2. DASAR-DASAR PEMAMPATAN TANAH

Pemampatan berarti bahwa kerapatan dari sebuah bahan dinaikkan melalui pemakaian gaya dari luar. Tanah terdiri dari partikel-partikel mineral dan rongga-rongga udara yang sebagiannya diisi dengan air, Gambar 2.1. Selama pemampatan partikel-partikel tersebut ditampung dan volume rongga udara dikurangi. Dalam tanah yang berbutir-kasar, air dapat ditekan ke luar.

Faktor-faktor terpenting yang menentukan hasil pemampatan adalah:

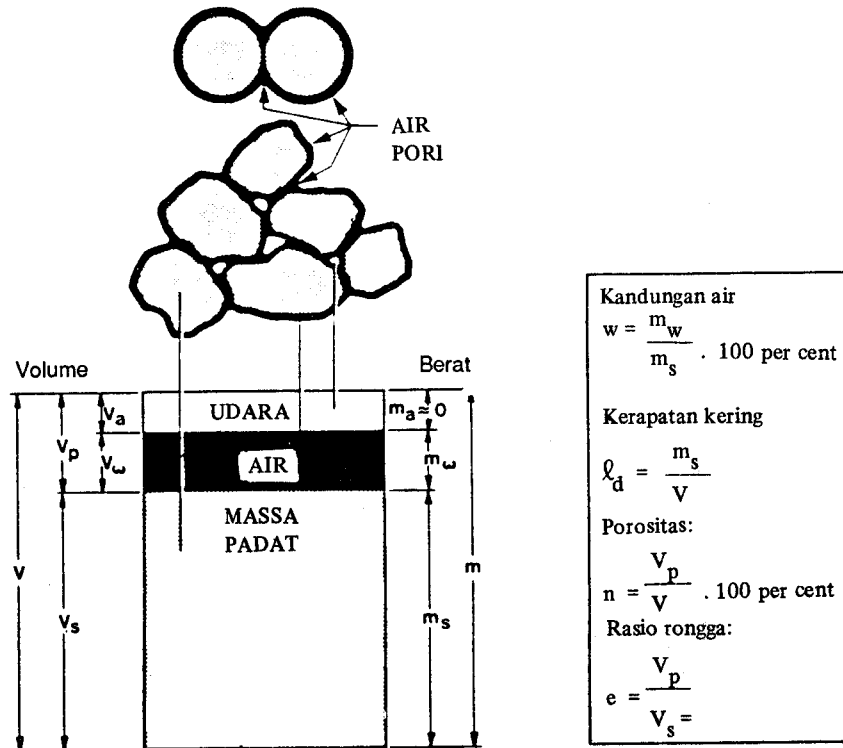
- . Jenis bahan
- . Kandungan air (kelembaban)
- . Metode pemampatan dan energi yang digunakan

### 2.1. JENIS TANAH DAN KANDUNGAN AIR

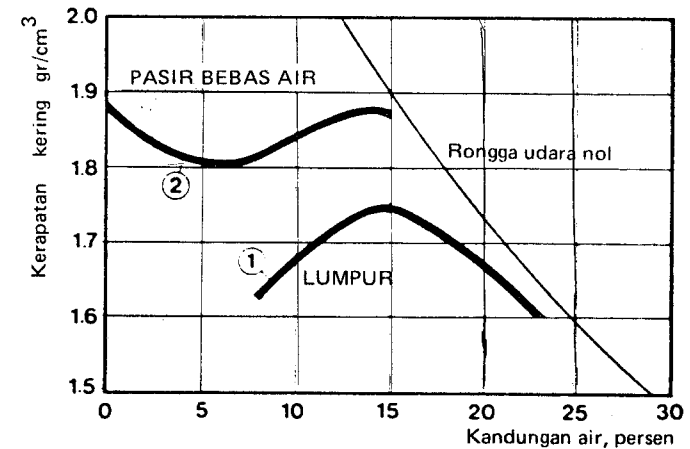
Jika sebuah tanah dimampatkan dengan cara yang sama pada kandung air yang berbeda, kerapatan yang dihasilkan, sampai sejauh tertentu, ditentukan oleh kandungan air itu. Kerapatan biasanya dihitung sebagai kerapatan kering seperti yang didefinisikan di Gambar 2.1. Metode-metode yang distandarisasi untuk pemampatan tanah di laboratorium dijelaskan di Bab 4. Pemampatan normal untuk sebuah tanah, dalam hal ini lumpur, diperlihatkan di kurve 1 Gambar 2.2. Pada kandungan air rendah gesekan (friksi) internal dan adhesi di antara partikel-partikel memberikan ketahanan terhadap pemampatan. Pada kandungan air yang lebih tinggi bahan lebih mudah dimampatkan dan sebuah kan-

dungan air yang optimum terjadi jika kerapatan kering maksimum diperoleh. Jika jumlah air bertambah di atas nilai optimum, tanah berturut-turut menjadi lebih mudah untuk menyatu bersama. Namun untuk tanah-tanah dengan permeabilitas tinggi, suatu kenaikan volume air menghasilkan suatu penurunan kerapatan dan turunya kemiringan kurve kerapatan 1, Gambar 2.2.

Di tanah-tanah yang permeabel (tembus air), seperti misalnya pasir bebas air dan kerikil, air ditekan keluar jika partikel-partikel ditampung menjadi kerapatan yang lebih tinggi. Kandungan air optimum di dalam hal ini sesuai dengan saturasi (kejenuhan air sepenuhnya dari rongga-rongga itu).



GAMBAR 2.1. Struktur Tanah dan Definisi-definisi Dasar



GAMBAR 2.2. Kurve-kurve Pemampatan di Laboratorium untuk Lumpur Silta dan Pasir Bebas Air

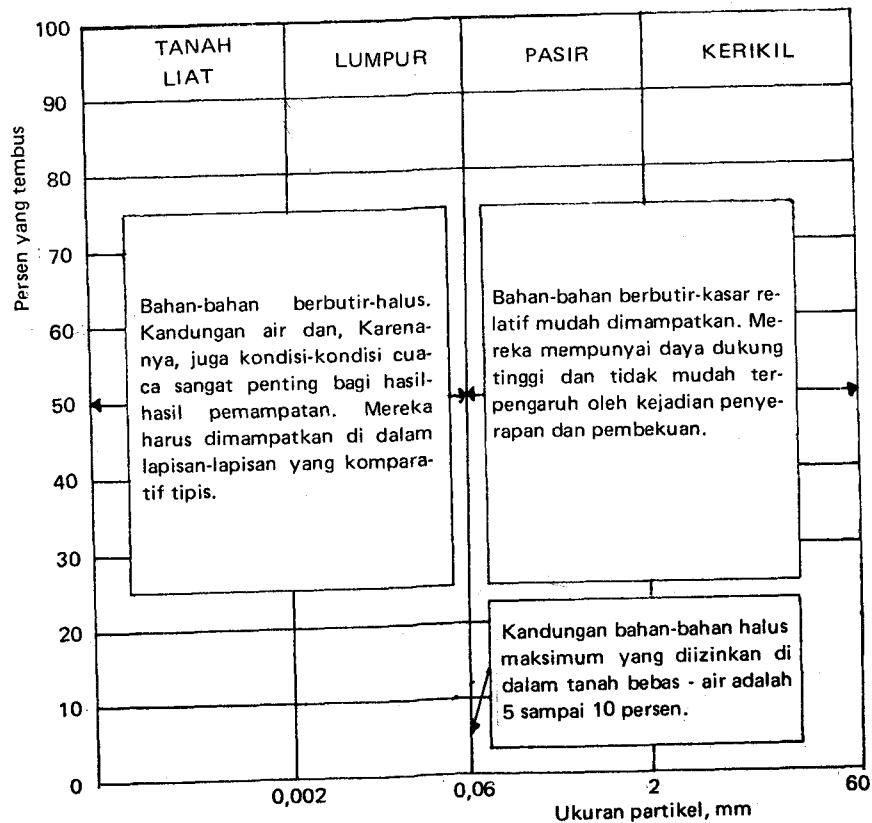
Kurva pemampatan 2, untuk tanah bebas air memperoleh sebuah bentuk yang berlainan, Gambar 2.2. Terdapat dua situasi untuk kerapatan maksimum, satu sesuai dengan kejenuhan air sepenuhnya dan yang lain dengan keadaan kering seluruhnya. Pemampatan bahan-bahan kering dalam praktek digunakan untuk urukan batuan, batuan hancur dan kadang-kadang juga untuk pasir dan kerikil, lihat Sub-bab 11.1, Pemampatan kering". Sebab kurve pemampatan yang biasanya komparatif datar, pasir dan kerikil, di dalam banyak hal, dapat juga dimampatkan sampai kerapatan yang komparatif tinggi pada kandungan air "normal" di antara keadaan kering dan keadaan jenuh air.

Kesulitan bagi tanah-tanah yang padat pada kandungan air di antara keadaan kering dan keadaan jenuh air tergantung pada gaya kapiler. Gaya-gaya ini terbentuk di rongga-rongga kecil yang sebagiannya berisi air dan membuat partikel-partikel bersatu dengan "ikatan-ikatan elastis". Inilah apa yang disebut dengan kohesi yang nyata meningkat dengan menurunnya ukuran partikel.

Di tanah liat dan tanah kohesif lainnya, sebagai tambahan terhadap kohesi yang nyata, terdapat kohesi nyata yang besar

yang disebabkan oleh gaya molekuler yang bekerja di antara partikel-partikel yang sangat kecil itu. Makin besar kohesi, makin besar energi pemampatan yang diperlukan.

Bahan-bahan berbutir-kasar tanpa kohesi, seperti urukan batuan, batu, kerikil dan pasir, lebih mudah dimampatkan daripada tanah yang berbutir-halus, Gambar 2.3. Dengan getaran, mereka dapat dimampatkan dalam lapisan-lapisan tebal. Mereka juga merupakan bahan-bahan urukan terbaik mengenai daya dukung, dan tidak mudah terpengaruh (suseptibel) terhadap kejadian penyerapan dan pembekuan.



GAMBAR 2.3. Sifat-sifat pemampatan tanah-tanah berbutir-halus dan berbutir-kasar.

Kemampatan bahan-bahan kohesif berbutir-halus, lumpur dan tanah liat, sangat tergantung pada kandungan air dan oleh sebab itu juga tergantung pada kondisi cuaca. Sebab karena kohesi mereka ini, mereka harus dimampatkan dalam tinggi isapan (lif) yang lebih rendah daripada bahan-bahan berbutir-kasar.

Pada bahan yang berbutir-kasar, kandungan lumpur yang komparatif rendah dan tanah liat, lebih dari lima sampai sepuluh persen cukup untuk membuat bahan itu begitu impermeabel (kedap air) sehingga pemampatan harus dilakukan pada kandungan air yang optimum. Ini, sebagai contohnya, adalah kasus untuk kebanyakan bahan-bahan dasar jalan. Sebuah kurve pemampatan jenis 1, Gambar 2.2 karenanya menyatakan mayoritas dari semua kasus.

## 2.2. DERAJAT PEMAMPATAN

Ada beberapa uji laboratorium untuk menentukan kandungan air optimum dan kerapatan maksimum yang bersesuaian ( $C_{d \max}$ ), lihat Bab 4. Kerapatan kering maksimum yang diperoleh pada uji pemampatan laboratorium digunakan sebagai kerapatan referensi. Untuk sebuah pekerjaan pemampatan tertentu, sebuah kerapatan medan minimum dispesifikasikan, misalnya 95 persen derajat pemampatan. Ini berarti bahwa nilai kerapatan medan harus lebih tinggi dari 95 persen dari kerapatan laboratorium (referensi).

$$\text{Kerapatan pemampatan} = \frac{C_{d \text{ medan}}}{C_{d \max}} \cdot 100 \text{ persen}$$



### 3. KLASIFIKASI TANAH

Perbedaan sifat-sifat tanah yang besar telah membawa kepada perkembangan beberapa sistem klasifikasi tanah dengan tujuan yang berbeda.

#### 3.1. UKURAN BUTIRAN DAN GRADASI

Ukuran butiran dan gradasi sangat penting bagi sifat-sifat mekanis dari sebuah tanah.

Definisi berikut ini, dengan referensi terhadap ukuran butiran, digunakan:

Blok (batu guling) Batu (kerakal) Kerikil Pasir	Partikel-partikel berbutir-kasar yang dapat diidentifikasi dengan pemeriksaan okuler dan lebih teliti dengan analisis penyaringan.
Lumpur Tanah liat	Partikel-partikel berbutir-kasar. Partikel-partikel tak dapat dilihat dengan secara visual sendiri-sendiri.  Diidentifikasi dan diklasifikasi dengan analisis hidrometer dan uji-uji khusus lainnya.

Sistem klasifikasi ukuran butiran yang digunakan di negara-negara yang berlainan menunjukkan beberapa variasi, terutama pada rentang butiran-kasar, Gambar 3.1. Garis batas yang penting di antara pasir dan lumpur ditemukan pada ukuran butiran 0,06 mm sampai 0,074 mm (Penyaring No. 200).

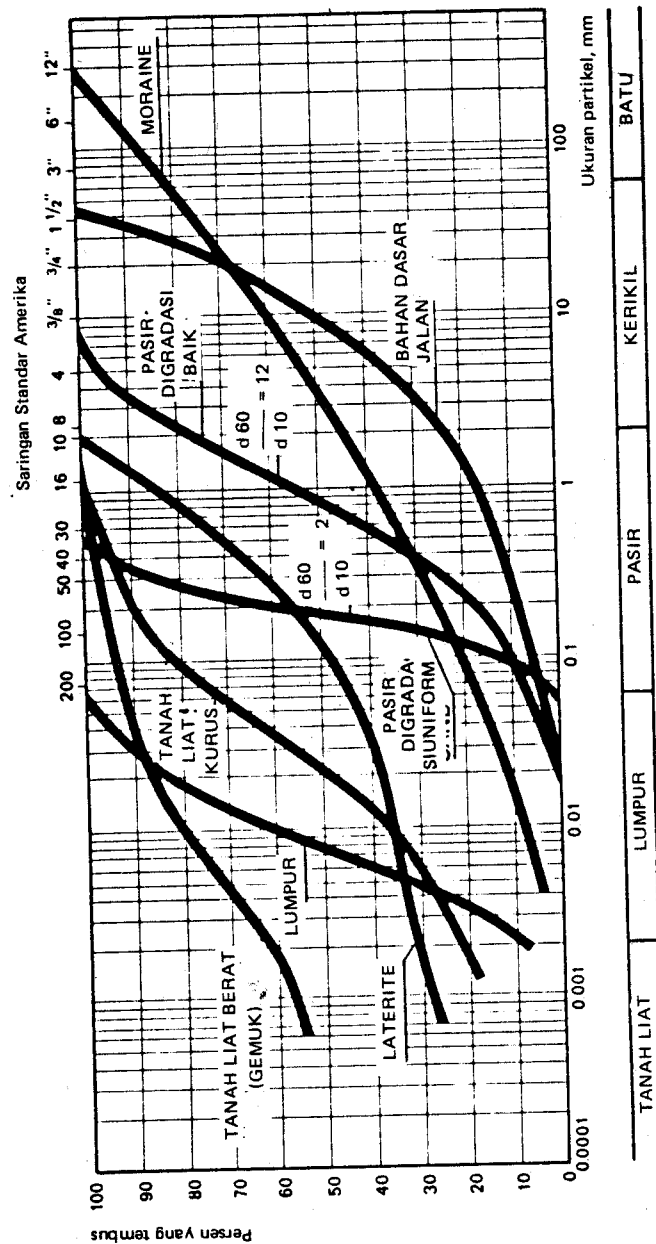
Hasil-hasil analisis saringan, dengan serangkaian saringan standar, diberikan di dalam diagram sebagai kurve gradasi, Gambar 3.2. Kurve gradasi memperlihatkan distribusi ukuran-butiran dan menunjukkan apakah tanah itu digradasi secara seragam atau baik. Tanah yang digradasi secara seragam dengan partikel-partikel kurang lebih sama ukurannya, mempunyai sebuah koefisien uniformitas (keseragaman):

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \text{ --- kurang dari } \sim 5$$

Di mana  $d_{60}$  dan  $d_{10}$  adalah diameter partikel yang sesuai dengan nilai 60 dan 10 persen pada kurve gradasi, bandingkan Gambar 3.2. Tanah yang digradasi-baik, mempunyai sebuah koefisien uniformitas (keseragaman)  $C_u$  lebih besar daripada  $\sim 5$ . Dalam hal ini rongga di antara partikel-partikel yang lebih besar diisi dengan partikel-partikel yang lebih kecil dan tanah yang digradasi-baik membentuk sebuah urukan yang lebih stabil daripada tanah yang digradasi-uniform, Gambar 3.3.

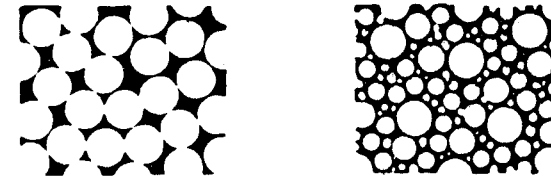
Saringan Standar Amerika															
Amerika (USCS)			200	100	50	30	16	8	4	3/8"	3/4"	1 1/2"	3"	6"	12"
Tanah liat dan lumpur				PASIR				KERIKIL			Kerakal	Batu Guling			
Inggris															
Tanah liat		Lumpur			Pasir			Kerikil			Kerakal	Batu guling			
Perancis															
Argile		Limon			Sable			Gravier		Callioux		Blocs			
Jerman															
Ton		Schluff			Sand			Kies			Steine	Blocke			
Swedia															
Lera		Silt			Sand			Grus			Sten		Block		
0,002    0,006    0,02    0,06    0,2    0,6    2,0    6,0    20    60    200    600															
Ukuran partikel, mm															

GAMBAR 3.1. Sistem klasifikasi ukuran-butiran yang digunakan di negara-negara yang berlainan



### 3.2. Uji Konsistensi

Tanah liat sering diklasifikasikan menurut konsistensi dengan uji untuk menentukan limit cairan, limit plastis dan indeks plastisitas. Uji ini dijelaskan di Bab 4.



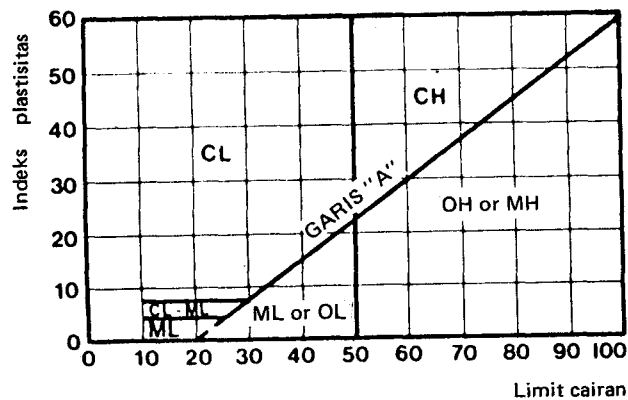
### 3.3. SISTEM KLASIFIKASI TANAH

### Sistem Klasifikasi Tanah yang Diunifikasi (USCS)

Sistem Klasifikasi Tanah yang Diunifikasi<sup>1)</sup> (The Unified Soil Classification System) yang digunakan oleh Corps Zeni Angkatan Darat Amerika, Biro Reklamasi dan yang lain-lainnya, Tabel 3.1, mungkin yang paling terkenal. Sistem ini, yang berasal dari A. Casagrande, menempatkan tanah dalam 15 kelompok, yang diidentifikasi dengan lambang nama dan huruf. Tanah-tanah berbutir didefinisikan sebagai tanah dengan lebih dari 50 persen bahan yang lebih besar dari saringan No. 200. Tanah berbutir-halus dibagi menjadi tanah-tanah dengan kompresibilitas rendah (L) atau tinggi (H). Sebuah peta plastisitas, Gambar 3.4., digunakan untuk mengklasifikasi tanah-tanah berbutir-halus.

## Sistem Klasifikasi AASHO

Metode AASHO diberikan oleh Asosiasi Para Pejabat Jalan Raya Negara Bagian Amerika (The American Association of State Highway Officials)<sup>2)</sup>, Tabel 3.2. Di dalam sistem ini, tanah dengan daya dukung beban yang kira-kira sama diklasifikasikan dalam tujuh kelompok dasar, disebut sebagai A - 1 sampai A - 7. Tanah terbaik untuk tanah-dasar jalan raya diklasifikasikan sebagai A - 1, yang terbaik selanjutnya sebagai A - 2 dan seterusnya.



GAMBAR 3.4. Peta klasifikasi plastisitas

### Klasifikasi Tanah dengan Referensi Terhadap Pemampatan

Sulit untuk menggunakan sistem klasifikasi tanah konvensional untuk menentukan metode pemampatan yang paling sesuai dan jenis peralatan pemampatan. Satu alasan penting ialah bahwa limit konsistensi (limit cairan, dan lain-lain) yang digunakan di dalam beberapa sistem klasifikasi yang tidak berhubungan langsung dengan kemampuan pemampatan. B. Broms dan L. Forssblad karenanya telah mengusulkan sebuah sistem klasifikasi yang akan digunakan dengan referensi terhadap pemampatan<sup>3)</sup>, Tabel 3.3.

Menurut sistem ini, gradasi tanah di Kelompok I, II dan III ditentukan. Untuk Kelompok IV, kekuatan tanah harus diukur misalnya dengan uji laboratorium mengenai kekuatan tekan tidak terbatas, Gambar 4.12. Sebuah baling-baling atau uji lapangan dengan penetrometer dapat juga digunakan. Kekuatan itu harus diukur pada kandungan air yang akan dapat digunakan selama pemampatan.

Tabel 3.1. Sistem Klasifikasi Tanah yang Diunifikasi

KELOMPOK-KELOMPOK UTAMA			SIMBOL KELOMPOK	NAMA TIPIKAL
Tanah Berbutir Kasar Lebih dari setengah bahan lebih besar daripada saringan no. 200	Kerikil Lebih dari setengah fraksi butiran kasar lebih besar daripada saringan No. 4	Kerikil bersih (Sedikit atau tanpa butiran)	GW	Kerikil digradasi-baik, campuran kerikil-pasir, dengan atau tanpa butiran halus.
			GP	Kerikil digradasi-jelek, campuran kerikil-pasir, dengan atau tanpa butiran halus.
		Kerikil dengan butiran (Jumlah butiran halus yang cukup banyak)	GM	Kerikil berlumpur, campuran kerikil digradasi-jelek-pasir - lumpur.
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil digradasi-jelek - pasir-lumpur.
	Pasir Lebih dari setengah bagian butiran kasar lebih kecil daripada saringan No. 4	Pasir bersih (Sedikit atau tanpa butiran halus)	SW	Pasir digradasi-baik, pasir berkerikil, dengan atau tanpa butiran halus.
			SP	Pasir digradasi-buruk, pasir berkerikil, dengan atau tanpa butiran halus.
		Pasir dengan butiran (Jumlah butiran halus yang cukup banyak)	SM	Pasir berlumpur, Campuran pasir digradasi-jelek-lumpur
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir digradasi-jelek-tanah liat.
Tanah Berbutir Halus Lebih dari setengah bahan lebih kecil daripada saringan No. 200	Lumpur dan tanah liat Limit cairan lebih kecil dari 50	ML	Lumpur inorganik dan pasir sangat halus, tepung batu, pasir halus berlumpur atau berlempung dengan plastisitas sedikit	
		CL	Tanah liat inorganik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlumpur, lempung kurus.	
		OL	Lumpur organik dan lumpur lempung organik dengan plastisitas rendah.	
	Lumpur dan tanah liat Limit cairan lebih besar dari 50	MH	Lumpur inorganik, pasir halus mika atau diatome atau anah-tanah berlumpur, umpur elastis	
		CH	Lempung inorganik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk	
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi	
Tanah-tanah yang sangat organis			Pt	Tanah-tanah gambut dan tanah yang sangat organis lainnya.



Tabel 3.2 Sistem Klasifikasi Tanah AASHO

KLASIFIKASI UMUM	BAHAN-BAHAN BUTIRAN (35% atau kurang tembus No. 200)										BAHAN-BAHAN LUMPUR-TANAH LIAT (Lebih 35% tembus No. 200)			
	A - 1		A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A - 7			
A - 1 - a	A - 1 - b	A - 2 - 1		A - 2 - 2	A - 2 - 3	A - 2 - 4	A - 2 - 5					A - 2 - 6	A - 2 - 7	
Analisa saringan Persen tembus No.10 No.40 No.200	max 50 max 30 max 15	max 50 max 25	max 51 max 10	max 35	max 35	max 35	max 35	min 36	min 36	min 36	min 36			
Karakteristik bagian yang tembus No. 40: Limit Cairan														
Indeks Plastisitas	max.6	N.P		max 40 max 10	min 41 max 10	max 40 min 11	min 41 min 11	max 40 max 10	min 41 max 10	max 40 min 11	min 41 min 11			
Indek Kelompok	0	0	0	0	0	max 4	max 4	max 8	max 12	max 16	max 20			
Jenis bahan- bahan unsur nyata yang biasa	Fragmen batu, kerikil atau pa- sir	Pasir halus		Kerikil berlumpur atau kerikil ber- lumpur dan pasir				Tanah-tanah berlumpur		Tanah-tanah berlumpur				
Kelas umum sebagai ta- nah dasar	Baik sekali sampai baik										Cukup sampai jelek			

Tabel 3.3. Sistem Klasifikasi Tanah dengan referensi terhadap pemampatan

I.	Urukan batuan dan tanah butiran dengan batu dan guling besar <sup>1)</sup>
II.	Pasir dan kerikil <sup>1)</sup> a. Digradasi-baik b. Digradasi uniform
III.	Lumpur, tanah berlumpur, dan lain-lain: a. Pasir berlumpur, kerikil berlumpur, moraine. b. Lumpur dan lumpur berpasir, pasir berlempung, kerikil berlempung.
IV.	Tanah Liat a. Tanah liat dengan kekuatan rendah atau sedang <sup>2)</sup> b. Tanah liat dengan kekuatan tinggi <sup>3)</sup>

1) Dengan kurang dari 5 sampai 10 persen dari bahan yang lebih kecil dari 0,06 mm

2) Kekuatan tekan tidak terbatas  $< 0,2$  MPa

3) Kekuatan tekan tidak terbatas  $> 0,2$  MPa

Kelompok I dan II, yang terdiri dari blok (batu guling), batu (kerakal), kerikil atau pasir adalah tanah-tanah non-kohefif dan bebas-air. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya mereka lebih disukai sebagai bahan urukan dan relatif mudah dimampatkan. Sejumlah kecil butiran halus (lumpur dan lempung) dapat diterima dalam tanah-tanah yang termasuk pada Kelompok I dan II. Persentase butiran maksimum yang bisa diterima berbeda-beda tergantung pada ukuran partikel dan sifat lain dari butiran halus itu. Sebuah persentase maksimum dari partikel-partikel yang lebih kecil dari 0,06 mm sebesar 5 sampai 100 persen ditunjukkan di dalam sistem klasifikasi yang diusulkan.

Kelompok III dan IV mempunyai kandungan butiran halus tertentu. Derajat pemampatan yang dapat dicapai, sangat tergantung pada kandungan air. Jika sebuah derajat pemampatan yang tinggi diperlukan, kandungan air tidak boleh berbeda besar dari kandungan air maksimum. Untuk memampatkan tanah liat (kelompok IV) pada kandungan air di bawah atau di sekitar optimum, kompaktor (alat pemampat) yang menghasilkan tekanan kontak statis atau dinamis yang tinggi diperlukan untuk mengatasi tahanan geser. Juga perlu untuk bekerja dengan ketebalan lapisan terbatas. Metode pemampatan yang sesuai harus ditentukan dengan kekuatan tanah, yang menunjukkan kompaktibilitas yang lebih baik daripada uji konsistensi.

#### Klasifikasi yang Digunakan di Inggris

Spesifikasi metode untuk pemampatan tanah yang digunakan di Inggris untuk pembuatan jalan termasuk kelompok tanah yang diperlihatkan di Tabel 3.4.<sup>4)</sup> Untuk masing-masing kelompok ketebalan lapisan maksimum dan jumlah butiran yang lewat minimum diberikan untuk berbagai jenis dan ukuran alat pemadat (kompaktor) yang berlainan.

#### Sistem Klasifikasi yang Digunakan Di Perancis

Di tahun 1976, Administrasi Jalan Raya Perancis memberikan sebuah spesifikasi metode yang mendetil untuk pemampatan peninggian tubuh jalan<sup>5)</sup>, lihat Bab 5. Sistem klasifikasi tanah yang termasuk di dalam spesifikasi ini diberikan di Tabel 3.5.

#### 3.4. ASAL MULA TANAH

*Tanah fluvial* mempunyai sifat-sifat yang dipengaruhi oleh kejadian mengalirnya air.

*Tanah aluvial* diendapkan jika air, yang mengangkut partikel-partikel tanah, mengalir ke luar ke sebuah dataran atau jika sebuah sungai mengalir ke laut. Bahan yang kasar pertama-tama diendapkan dan kemudian berturut-turut bahan-bahan yang lebih halus.

Tabel 3.4. Klasifikasi bahan tubuh jalan (embankment) yang digunakan untuk pembuatan jalan di Inggris.

Urukan batuan
<b>Tanah kohesif</b> Tanah liat dengan kandungan air kurang dari limit plastis Kapur dengan kandungan air lebih di atas 20 persen
<b>Tanah butiran yang digradasi-baik dan tanah kohesif kering</b> Pasir dan kerikil dengan keseragaman di atas 10 persen Tanah liat kering Kapur dengan kandungan air di rentang 15 sampai 20 persen
<b>Tanah yang digradasi-uniform</b> Pasir dan kerikil dengan keseragaman kurang dari 10 Lumpur dan abu bahan bakar yang bubuk (abu terbang).

*Deposit dasar sungai*, terdiri dari pasir dan kerikil yang dicuci secara alamiah, adalah sumber-sumber umum untuk beton, aspal dan bahan-bahan pondasi jalan.

*Sedimen danau* berbeda-beda dari pasir halus sampai tanah liat.

*Deposit glasial*, moraine dan tanah glasial, dibentuk oleh peristiwa lembaran-lembaran es, selama waktu glasial yang menutupi bagian-bagian utara dan selatan dunia ini, dan sudah umum misalnya di Kanada dan Skandinavia.

*Deposit eolin (terbawa angin)* dibawa angin. Pasir halus (pasir di tepi pantai) dan lumpur (loess) adalah yang paling umum.

*Tanah residu* adalah hasil dari kerusakan tanah batuan yang disebabkan hawa, yang menyebabkan tanah-tanah berbeda dari jenis berlempung sampai jenis yang lebih atau kurang berbutir.

**Tabel 3.5. Klasifikasi tanah yang digunakan oleh Administrasi Jalan Raya Perancis untuk spesifikasi metode**

Tanah berbutir halus	$D < 50 \text{ mm}$	$I_p < 10$			$A_1$	
	$> 35 \%$ lebih kecil daripada $0,08 \text{ mm}$	$10 < I_p < 20$			$A_2$	
		$20 < I_p < 50$			$A_3$	
		$I_p > 50$			$A_4$	
Pasir dan kerikil dengan butiran halus	$D < 50 \text{ mm}$ 5 sampai 35% lebih kecil daripada $0,08 \text{ mm}$	5 sampai 12% lebih kecil daripada $0,08 \text{ mm}$	kurang dari	$ES > 35$	$B_1$	
			$30\% > 2 \text{ mm}$	$ES < 35$	$B_2$	
			lebih besar	$ES > 25$	$B_3$	
			$30\% > 2 \text{ mm}$	$ES < 25$	$B_4$	
	12 sampai 35% lebih kecil daripada $0,08 \text{ mm}$	$I_p < 10$		$B_5$		
		$I > 10$		$B_6$		
Tanah-tanah yang mengandung baik partikel-partikel halus dan kasar	$D > 50 \text{ mm}$ $> 5\%$ lebih kecil daripada $0,08 \text{ mm}$	Persentase yang tinggi lebih kecil daripada $0,08 \text{ mm}$			$C_1$	
		Persentase rendah lebih kecil daripada $0,08 \text{ mm}$	$D < 250 \text{ mm}$		$C_2$	
			$D > 250 \text{ mm}$		$C_3$	
Tanah bebas-air dan urukan batuan	$< 5\%$ lebih kecil daripada $0,08 \text{ mm}$	$D < 50 \text{ mm}$	kurang dari $30\% > 2 \text{ mm}$	$D_1$		
			lebih dari $30\% > 2 \text{ mm}$	$D_2$		
		$50 \text{ mm} < D < 250 \text{ mm}$			$D_3$	
		$D > 250$			$D_4$	

$D$  = ukuran partikel maksimum

$I_p$  = indeks plastisitas, lihat subbab 4.1.

$ES$  = nilai "sand equivalent" (ekivalen pasir) lihat Subbab 4.1.

*Tanah organis* terdiri dari vegetasi (tumbuhan) yang terpisah-pisah (dekompos). Mereka muncul sebagai tanah gambut, lumpur organik dan tanah liat. Tanah organik dengan beberapa perkecualan tidak digunakan sebagai bahan urukan.

### 3.5. JENIS-JENIS BAHAN URUKAN KHUSUS

Beberapa jenis bahan urukan khusus diberikan di bawah ini:

Bentonit	Tanah liat yang sangat halus dan aktif.
Kerikil tanggul (Bank gravel)	Campuran alami dari kerakal, kerikil, pasir, dan butiran halus.
Basal	Batuan gunung berapi yang berbutir-halus padat, berwarna abu-abu gelap sampai hitam.
Tanah kapas hitam (black cotton soil)	Tanah yang sangat kohesif dengan sifat-sifat pengembangan umum terdapat di Afrika, India dan lain-lain.
Bahan rekat (binder)	Butiran halus untuk mengisi rongga-rongga untuk meningkat kestabilan.
Caliche	Tanah di mana butiran-butirannya direkatkan bersama dengan kapur.
Kapur (chalk)	Batu kapur lemah berwarna putih diketemukan, misalnya, di Inggris. Perancis dan Amerika.
Tanah yang bisa runtuh (collapse soil)	Tanah yang diangkut angin dengan struktur longgar yang dapat rusak di bawah pengaruh saturasi dan beban (beban lalu lintas atau statis).
Koral	Dikeruk dari tebing-tebing koral, digunakan sebagai dasar jalan dan bahan urukan.



Abu terbang	Residu yang terpecah-pecah halus diperoleh pada pembakaran batubara, disebut juga abu bahan bakar.
Granit	Batuan gunung api yang sangat keras dengan struktur kristalin yang dapat dilihat, pada dasarnya terdiri dari kursor dan felspat.
Gumbo	Tanah liat lengket dengan penampilan seperti sabun (Amerika, Kanada).
Hardpan	Agregat yang sangat keras digradasi-baik dari partikel-partikel mineral.
Humus	Sebuah bahan organik yang dibentuk oleh dekomposisi parsial dari bahan-bahan tumbuhan.
Laterit	Tanah residu yang kurang lebih bertanah liat, berasal dari perusakan batuan karena cuaca di bagian dunia tropis atau subtropis, sering dengan warna merah yang disebabkan adanya besi di dalam batuan itu.
Batu kapur	Batuan kalsium karbonat, biasanya terdiri dari sisa-sisa organik seperti misalnya rumah kerang.
Loam	Tanah yang terdiri dari pasir, lumpur dan lempung.
Loess	Sedimen yang ditiup-angin, digradasi-uniform, ukuran butirannya biasanya 0,01 - 0,05 mm.
Marl	Tanah liat laut yang keras dan berkapur.
Mika	Sekelompok silikat mineral yang segera terpisah menjadi lembaran-lembaran tipis.

Moraine	Tanah glasial yang digradasi-baik mengandung semua ukuran partikel dari tanah liat sampai blok (batu guling).
Tanah gambut (peat)	Deposit tanah dari bahan tumbuhan yang busuk dan didekomposisi secara kimia.
Batuan sedimen	Pecahan-pecahan dan partikel-partikel batuan gunung api yang telah pecah, diangkut dan diperkeras kembali oleh gaya-gaya alam.
Batu tulis (shale)	Batuan fissil dengan struktur laminasi yang terbentuk oleh konsolidasi tanah liat.
Terak (terak tanur)	Bahan batu yang diperoleh sebagai residu pada proses metalurgi.
Till	Tanah jenis moraine yang diangkut oleh gletser, sering sangat heterogen.
Tufa (tuff)	Agregat berbutir halus yang dibawa air atau angin terdiri dari mineral yang sangat kecil atau pecahan-pecahan batuan yang dikeluarkan dari gunung berapi.

## 4. UJI LABORATORIUM DAN LAPANGAN

### 4.1. UJI LABORATORIUM

#### Analisis Ukuran Butiran

Sebuah analisis ukuran butiran dilaksanakan dengan menyaring sebuah sampel tanah yang dikeringkan melalui sejumlah lapisan atau saringan standar. Persentase berat, yang melewati saringan-saringan yang berlainan ditentukan dan digambarkan di dalam sebuah grafik untuk memperoleh gradasi, Gambar 3.2. Sampel ini dikeringkan dengan memanaskan sampai  $110^{\circ}\text{C}$ , biasanya di dalam tungku laboratorium. Juga digunakan unit-unit untuk mengeringkan secara cepat dengan aliran udara panas (Moisture teller).

Partikel-partikel yang lebih kecil dari 0,06 mm dapat lebih jauh diuji dengan analisis hidrometer. Bahan berbutir-halus ini dicampur secara seragam di dalam sebuah cairan. Kerapatan dari cairan ini diukur pada berbagai interval waktu dengan sebuah hidrometer (sebuah pengukur kerapatan yang mengambang). Karena partikel-partikel yang lebih besar teggelam perlahan-lahan dengan lebih cepat daripada yang lebih kecil, distribusi ukuran partikel dapat ditentukan.

Nilai "ekivalen pasir" yang menunjukkan efek gabungan dari jumlah dan sifat-sifat partikel berbutir-halus ditentukan dengan sebuah uji sedimentasi khusus (ASTM 2419).<sup>7)</sup>

#### Uji Pemampatan Laboratorium

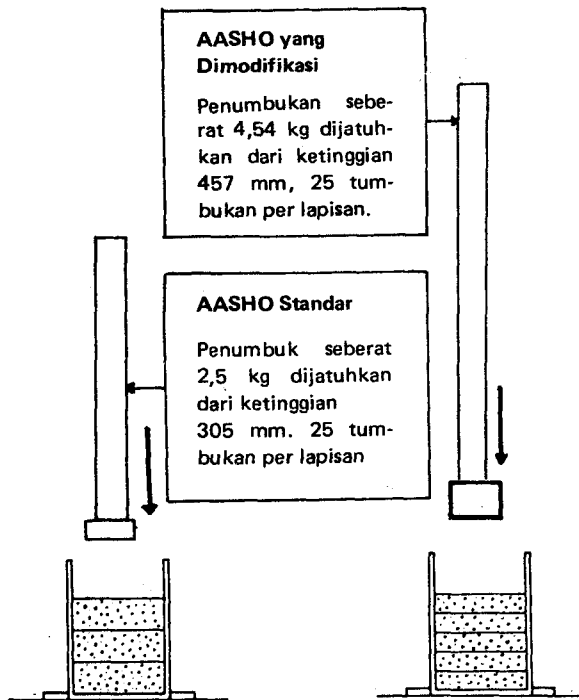
Sebuah metode yang distandarisasi untuk menentukan kandungan air optimum dan kerapatan kering maksimum yang bersesuaian diperkenalkan di tahun 1933 oleh R.R. Proctor dari Biro Pekerjaan Air Lis Angeles di Amerika.<sup>6)</sup> Sebuah mesin penumbuk (rammer) yang digerakkan secara manual digunakan untuk memampatkan tanah dengan tiga lapisan di dalam sebuah acuan berukuran 4,0 inci. Sejak saat itu, jenis uji pemampatan laboratorium ini sering disebut sebagai uji Proctor.

Sekarang ini, prosedur yang distandarisasi oleh Asosiasi Pejabat Jalan Raya Negara Bagian Amerika (AASHO) biasa digunakan.<sup>2)</sup>

Menurut prosedur standar AASHO ini (T 99), sebuah mesin penumbuk (rammer) seberat 5,5 pound (2,5 kg) yang digunakan, dijatuhkan bebas dari ketinggian 12 inci (305 mm). Tanah dimampatkan dalam tiga lapisan dengan 25 tumbukan di dalam sebuah acuan dengan diameter 4,0 inci (102 mm), Gambar 4.1. Peralatan ini sering dimekanisasi, Gambar 4.2. Uji pemampatan yang dimodifikasi telah diperkenalkan untuk memenuhi naiknya permintaan akan standar pemampatan. Menurut prosedur AASHO yang Dimodifikasi (T 180), sebuah penumbuk seberat 10 pound (4,5 kg) dijatuhkan dari ketinggian 18 inci (457 mm). Tanah dimampatkan dalam lima lapisan yang masing-masingnya sebanyak 25 kali tumbukan, Gambar 4.1. Energi (kerja) pemampatan adalah 4,5 kali lebih besar daripada uji AASHO Standar.

Kurve-kurve pemampatan tipikal yang diperoleh dengan prosedur AASHO yang dimodifikasi diperlihatkan di Gambar 4.3.

Uji AASHO yang disebutkan di atas juga disetujui oleh Societas Amerika untuk Pengujian dan Bahan (American Society for Testing and Materials (ASTM)<sup>7)</sup>, Tabel 4.1. Korps Zeni Angkatan Darat Amerika, di antara yang lainnya, mengembangkan sebuah prosedur yang agak dimodifikasi. Mereka menggunakan alat pemadat dengan beban luncur yang juga digunakan di Jerman, Gambar 4.1.



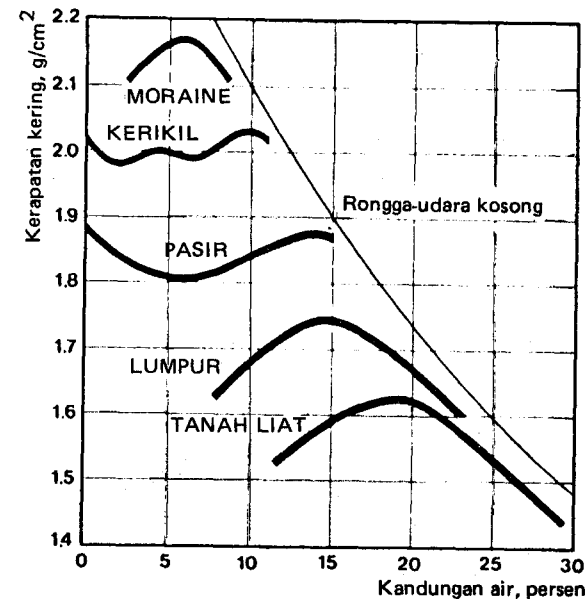
GAMBAR 4.1. Uji Pemadatan laboratorium menurut AASHO

Tabel 4.1. memperlihatkan bahwa uji yang digunakan di berbagai negara dalam kebanyakan hal sesuai baik dengan Standar AASHO maupun AASHO yang Dimodifikasi, yang di berikut ini sama-sama disebut sebagai Proctor Standar atau Dimodifikasi.

Disebabkan energi pemampatan yang digunakan lebih besar pada uji Proctor Modifikasi, kerapatan kering maksimum adalah 5,0 sampai 10,0 persen lebih tinggi daripada yang diperoleh dengan Proctor Standar. Perbedaan normalnya kira-kira adalah 5,0 persen untuk bahan-bahan butiran (lebih kecil untuk pasir digradasi-uniform) dan kira-kira 10,0 persen, bahkan kadang-kadang lebih, untuk tanah kohesif. Kandungan air optimum biasanya adalah 3,0 sampai 8,0 persen lebih rendah pada Proctor Modifikasi dibandingkan dengan Proctor Standar. Juga di sini perbe-



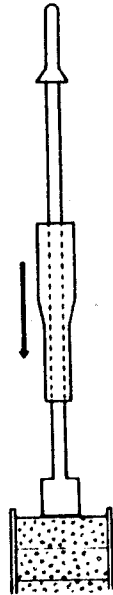
GAMBAR 4.2. Uji Pemampatan laboratorium



GAMBAR 4.3. Kurve-kurve pemampatan Laboratorium untuk jenis-jenis tanah yang berlainan

daan-perbedaan adalah lebih besar untuk tanah kohesif daripada tanah butiran.<sup>8) 9) 10)</sup>

Dari atas jelas bahwa perlu untuk mengetahui, dan menunjukkan dengan jelas, metode pemampatan mana yang telah digunakan pada masing-masing kasus.



GAMBAR 4.4. Alat pematat dengan beban luncur

### Koreksi untuk Kandungan Batu

Karena diameter dari acuan Proctor normal hanya 4,0 inci (102 mm) terdapat sebuah limit terhadap ukuran batu maksimum dari sampel. Bahan lebih besar dari 4,75 mm, atau pilihan lain 19 mm, karenanya, harus disaring ke luar sebelum uji pemampatan, lihat Tabel 4.1.

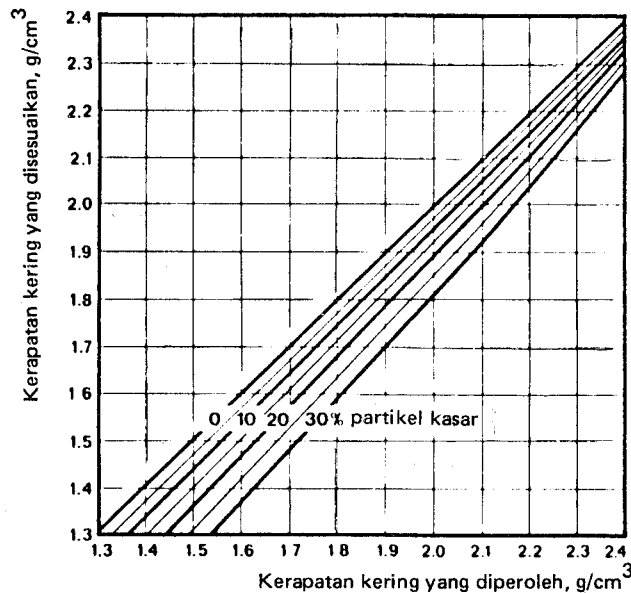
Oleh sebab itu, sebuah koreksi untuk kandungan batu harus dibuat jika kerapatan-kerapatan laboratorium dibandingkan dengan kerapatan-kerapatan yang diperoleh di lapangan untuk tanah yang mengandung batu-batu. Koreksi kerapatan-kerapatan

Tabel 4.1. Uji Pemampatan Laboratorium

Acuan	AASHTO (T 99) ASTM D 698 Standar Metode A dan C <sup>1)</sup>	AASHTO (T 180) ASTM D 1557 Modifikasi Metode A dan C <sup>1)</sup>	Biro Reklamasi Amerika	Korps Zeni AD Amerika	Standar Inggris BS 1377		Standar Jerman Din 18127	
Diameter mm	102	102	108	152	105	105	100	100
Tinggi mm	116	116	152	114	115,5	115,5	120	120
Volume cm <sup>3</sup>	944	944	1416	2082	1000	1000	942	942
Penumbuk								
Berat kg	2,49	4,54	2,49	4,54	2,50	2,50	2,50	4,50
Tinggi jatuh mm	305	457	457	457	300	450	300	450
Diameter mm	51	51	51	51	50	50	50	50
Lapisan								
Jumlah	3	5	3	5	3	5	3	5
Bahan								
Ukuran partikel maks. mm	A : 4,75 C : 19,1	A : 4,75 C : 19,1	4,75	19,1	20	20	20	20
Usaha Pemampatan								
Tumbukan per lapisan	25	25	25	55	25	25	25	25
Energi Nm/m <sup>3</sup>	5,9 x 10 <sup>5</sup>	2,7 x 10 <sup>6</sup>	5,9 x 10 <sup>5</sup>	2,7 x 10 <sup>6</sup>	5,5 x 10 <sup>5</sup>	2,5 x 10 <sup>6</sup>	5,9 x 10 <sup>5</sup>	2,6 x 10 <sup>6</sup>

1) Varian-varian dengan acuan-acuan yang lebih besar juga terdapat, misalnya ASTM Metode B dan D dengan acuan 152 mm.

lapangan ini dapat dibuat dengan menggunakan diagram di Gambar 4.5.



**GAMBAR 4.5.** Diagram untuk koreksi kerapatan yang disebabkan oleh kandungan partikel-partikel kasar.

Gravitasi spesifik dari agregat  $2,65 \text{ g/cm}^3$

#### Efek Penghancuran Selama Uji Pemampatan Laboratorium <sup>9)</sup>

Uji pemampatan laboratorium kadang-kadang menyesatkan karena bahan tanah lebih terdisintegrasi dan hancur daripada selama pemampatan lapangan. Menurut prosedur AASHTO-ASTM, bahan tanah harus dipecah-pecah dan dihancurkan sebelum diuji. Jika hal ini dilakukan terlalu efisien, disintegrasi tertentu terjadi. Terlebih lagi, penumbuk yang jatuh bisa mempunyai efek penghancuran pada bahan. Penghancuran sampel tanah selama uji Proctor biasanya menghasilkan kenaikan dalam kerapatan, sering sebesar 2,0 sampai 5,0 persen, yang tidak mewakili untuk tanah

itu selama pemampatan lapangan. Oleh karena itu bisa timbul masalah-masalah di dalam mencapai kerapatan spesifikasi.

Untuk alasan-alasan yang disebutkan di atas, AASHTO-ASTM, Standar Inggris, dan lain-lainnya, memspezifikasi sebuah prosedur khusus untuk tanah-tanah yang mudah dipengaruhi (suseptibel) terhadap penghancuran. Sebuah sampel baru harus digunakan di dalam masing-masing uji sendiri-sendiri. Hal ini menghasilkan kecenderungan-kecenderungan yang lebih kecil terhadap penghancuran daripada prosedur normal, di mana sampel yang sama digunakan berulang-ulang setelah penambahan air berturut-turut.

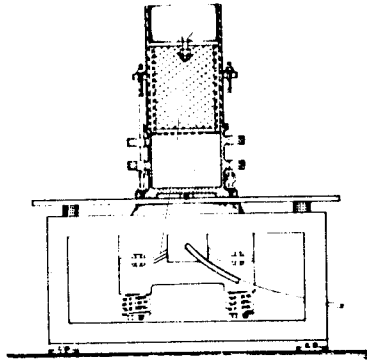
#### Uji-uji Pemampatan Laboratorium dengan Getaran (Vibrasi)

Biro reklame Amerika telah mengembangkan sebuah metode pemampatan laboratorium untuk tanah-tanah yang tanpa kohesi berdasarkan pada sampel-sampel yang disaturasi air <sup>1)</sup>, (Designasi E - 12).

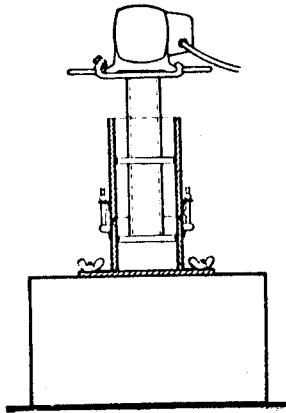
Prosedur ini digunakan luas dan metode itu sekarang juga disesuaikan sebagai metode ASTM D 2049. Sebuah acuan dengan diameter 6,0 inci (152 mm), dengan pilihan lain 11,0 inci ..... (279 mm), ditaruh di atas sebuah meja getaran, Gambar 4.6. Sebuah beban tambahan ditaruh di atas bahan selama getaran.

Dynapac telah mengembangkan sebuah metode laboratorium di mana sebuah alat pemadat getaran sedang dikerjakan pada sebuah acuan 150 mm, (Jenis peralatan TE 10), Gambar 4.7. Metode ini disetujui sebagai standar Swedia. Sebuah metode serupa, yang menggunakan sebuah palu getar telah dikembangkan di Inggris dan disesuaikan sebagai Standar Inggris 1377, Uji 14.

Metode alat pemadat getaran dapat juga digunakan di dalam uji-uji berskala besar. Pada Bendungan Tarbela di Pakistan, sebuah alat pemadat seberat 945 kg dengan sebuah gaya sentrifugal sebesar 3,0 ton, yang bekerja di dalam sebuah acuan 900 mm, dikembangkan oleh Dynapac, Gambar 4.8<sup>11)</sup>. Peralatan itu digunakan untuk bahan urukan batuan dengan ukuran batu maksimum sebesar 300 mm.



**GAMBAR 4.6.** Uji pemampatan laboratorium dengan getaran.  
Metode dikembangkan oleh Biro Reklame



**GAMBAR 4.7.** Uji pemampatan laboratorium dengan getaran.

Di dalam metode kerapatan relatif untuk tanah tanpa kohesi, baik kerapatan maksimum maupun kerapatan minimum ditentukan. Metode uji E - 12 (ASTM D 2094) yang dikembangkan oleh Biro Reklamasi juga memasukkan sebuah prosedur untuk menentukan kerapatan minimum dengan mengisi tanah yang dikeringkan-tungku melalui dijatuhkan bebas ke dalam sebuah acuan.

Prosedur-prosedur yang agak berbeda untuk penentuan kerapatan maksimum dan minimum untuk tanah tanpa kohesi digunakan di Jerman, (DIN 18126). Sebagai sebuah alternatif untuk pemampatan pada sebuah meja getar, pemampatan di sini dapat digunakan untuk acuan dengan garpu baja yang digerakkan secara manual.

Kerapatan relatif  $D_r$  dihitung menurut rumus:

$$D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}}$$

Di mana  $e$  = rasio rongga  
 $e_{\max}$  = rasio rongga dalam keadaan terjarang  
 $e_{\min}$  = rasio rongga dalam keadaan terapat

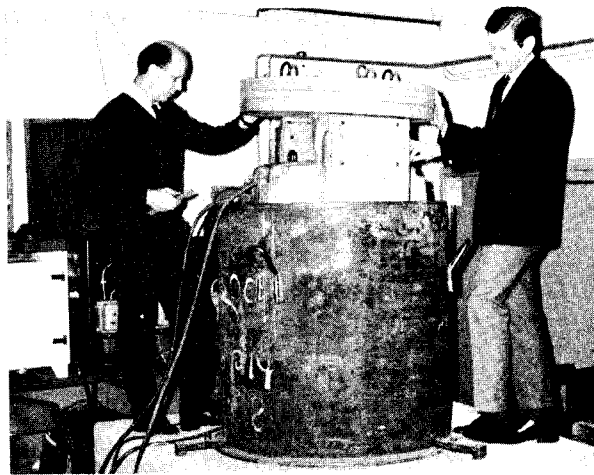
Kerapatan relatif dapat juga dinyatakan sebagai :

$$D_r = \frac{e_{d \max} (e_d - e_{d \min})}{e_d (e_{d \max} - e_{d \min})} \quad 100 \text{ persen}$$

Di mana  $e_d$  = kerapatan kering  
 $e_{d \max}$  = kerapatan kering di dalam keadaan terjarang  
 $e_{d \min}$  = kerapatan kering di dalam keadaan terapat

Penentuan kerapatan relatif dari urukan yang tanpa kohesi digunakan untuk pengontrolan lapangan, misalnya pada proyek-proyek bendungan. Biasanya, sebuah kerapatan relatif minimum sebesar 60 atau 70 persen dispesifikasikan. Nilai 70 secara kasar sesuai dengan derajat pemampatan 95 persen yang berhubungan dengan kerapatan kering maksimum.<sup>1\*</sup>

1\*. Sebuah rasio rongga kritis terjadi di bawah mana sebuah pasir bisa runtuh di bawah pengaruh sebuah gempa-bumi, pekerjaan peledakan, dan lain-lain. Ini apa yang disebut pencairan spontan, yang disebabkan karena kenaikan tiba-tiba di dalam tekanan air-pori, tidak terjadi pada kerapatan relatif di atas 40 sampai 50 persen.<sup>12)</sup>



**GAMBAR 4.8.** Peralatan pengujian laboratorium berskala besar dari Dynapac, digunakan di Bendungan Tarbela di Pakistan.

Untuk tanah tanpa kohesi uji pemampatan laboratorium yang dilakukan dengan getaran mempunyai beberapa keuntungan. Metode-metode yang menggunakan getaran dapat dengan lebih mudah disesuaikan dengan acuan uji yang lebih besar daripada uji-uji konvensional. Oleh sebab itu juga tanah-tanah yang mengandung partikel-partikel yang lebih besar dari 19 mm, dapat diuji. Uji pemampatan juga lebih cepat dilakukan daripada uji Proctor yang konvensional. Cara lebih lanjut pengontrolan pemampatan yang lebih cepat adalah dengan mengambil sebuah sampel tanah yang digali pada sebuah uji kerapatan lapangan dan memampatkan di laboratorium dengan getaran di dalam keadaan disaturasi oleh air. Oleh karena itu, pemampatan dengan getaran, menggantikan uji Proctor normal. Sebuah perbandingan langsung di antara kerapatan lapangan dan laboratorium dapat dengan cepat dibuat, dinyatakan sebagai derajat pemampatan. Biasanya sebuah derajat pemampatan sebesar 90 atau 95 persen dispesifikasikan. Metode tersebut telah digunakan dengan berhasil di dalam praktek.<sup>41)</sup>

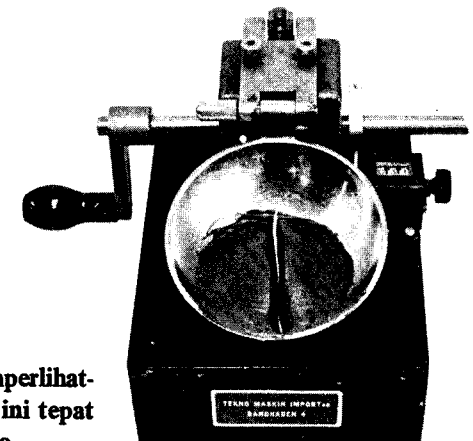
Banyak ahli menyatakan bahwa metode kerapatan relatif, termasuk menentukan kerapatan pada keadaan terjarang, mempunyai keuntungan-keuntungan dan mereka lebih menyukai metode ini. Metode kerapatan relatif menjadi pokok bahasan sebuah Konferensi ASTM di tahun 1972 di mana sejumlah besar makalah diajukan.<sup>13)</sup> Kesimpulannya adalah bahwa kerapatan relatif adalah sebagai sebuah konsep mempunyai keuntungan-keuntungan di dalam menyatakan kecenderungan umum di dalam penampilan tanah-tanah tanpa kohesi. Namun untuk pengontrolan pemampatan, indeks-indeks kerapatan lainnya tampaknya juga cocok.

Sebuah kerugian dengan kerapatan relatif ialah tingginya deviasi standar nilai, yang tergantung antara lainnya pada variasi variasi penampilan uji laboratorium.

### Uji Konsistensi Tanah

Uji konsistensi tanah berikut ini untuk tanah-tanah kohesif diperkenalkan oleh ilmuwan Swedia A. Atterberg:

Limit cairan ( $\omega_L$ ) didefinisikan sebagai kandungan air dalam persen terhadap berat di mana tanah tepat akan mulai mengalir jika digetarkan sedikit sebanyak 25 kali di dalam sebuah mangkuk standar, yang diangkat dan dijatuhkan berulang-ulang, Gambar 4.9.

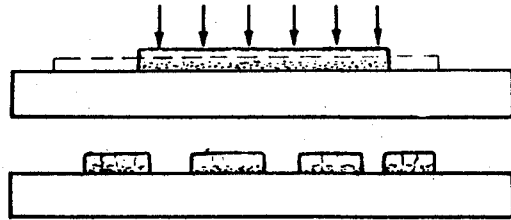


**GAMBAR 4.9.**

Uji limit cairan. Gambar ini memperlihatkan bagaimana belahan di sampel ini tepat telah mulai untuk mengalir bersama.

Limit plastis ( $\omega_p$ ) didefinisikan sebagai kandungan air di mana benang tanah dapat digulirkan tanpa menjadi pecah sampai ia hanya berdiameter 3 mm, Gambar 4.10.

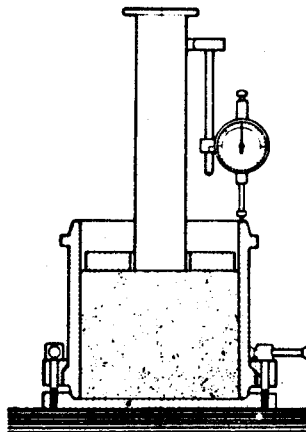
Indeks plastisitas ( $I_p$ ) adalah perbedaan antara limit cairan dan limit plastis:  $I_p = \omega_L - \omega_p$ .



GAMBAR 4.10. Uji limit plastis.

#### Uji Rasio Daya Dukung California (CBR)

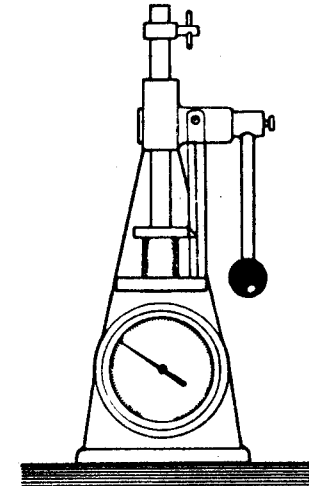
Uji CBR dikembangkan oleh Departemen Jalan Raya Negara Bagian California, digunakan secara luas untuk evaluasi daya dukung bahan tanah dasar, Gambar 4.11. Uji ini telah diambil oleh Korps Zenie Angkatan Darat Amerika dan yang lain-lainnya untuk perencanaan pengerasan (pavement) yang fleksibel. Uji CBR juga bisa dilakukan sebagai uji lapangan.



Gambar 4.11. Uji Rasio Daya Dukung California

#### Kekuatan Tekan Tak Terbatas

Kekuatan tak terbatas dari sebuah tanah ditentukan sebagai beban patahan per satuan luas dari sebuah model silindris, tanpa tekanan lateral, Gambar 4.12.



GAMBAR 4.12 Uji tekan tak terbatas

#### 4.2. UJI LAPANGAN

##### Uji Kerapatan

Uji kerapatan lapangan yang paling umum adalah:

- . Metode penggantian-pasir
- . Metode penggantian-minyak
- . Metode balon-air
- . Pengambilan sampel tabung
- . Metode-metode nuklir

Di dalam metode penggantian-pasir sebuah lubang digali dengan tangan di dalam urukan yang dimampatkan, biasanya dengan diameter kira-kira 200 mm dan kedalaman kira-kira 150 mm. Berat dan kandungan air dari bahan yang digali itu, diperiksa dengan teliti. Kandungan airnya ditentukan dengan menge-



ringkan sampel tersebut di dalam sebuah tungku pada  $110^{\circ}\text{C}$ . Volume lubang itu kemudian diukur dengan mengisinya dengan pasir kering yang sudah dikalibrasi, biasanya dari sebuah silinder kerucut-pasir khusus, Gambar 4.13. Dengan diketahuinya berat bahan dan volume lubang, kerapatan kering ( $e_d$ ) dari urukan yang dimampatkan dapat dihitung. Derajat pemampatan ( $P$ ) oleh karenanya ditentukan dengan rumus:

$$P = \frac{e_d \text{ lapangan}}{e_d \text{ max}} \quad 100 \text{ persen}$$

Di mana  $e_d \text{ max}$  adalah kerapatan kering maksimum yang diperoleh di uji pemampatan laboratorium.



GAMBAR 4.13. Uji kerapatan penggantian-pasir

Volume lubang yang digali di dalam urukan itu dapat juga ditentukan dengan mengisinya dengan minyak, atau plester cair dengan sebuah kerapatan yang diketahui. Pilihan lainnya adalah menentukan volume itu dengan sebuah peralatan balon-air, Gambar 4.14. Metode balon-air lebih cepat daripada metode penggantian-pasir. Metode balon-air ini memberikan nilai yang agak lebih teliti.

Pengontrolan kerapatan yang, misalnya didasarkan pada metode penggantian-pasir memerlukan waktu tertentu yang tidak paling sedikitnya untuk mengeringkan sampel-sampel, dan nilai kerapatan biasanya diperoleh sehari setelah uji itu dilakukan. Hilf

telah mengembangkan sebuah *metode pengontrolan yang cepat* di mana nilainya bisa diperoleh dalam waktu 1 jam.<sup>1)</sup> Perhitungannya didasarkan pada nilai kerapatan kering yang diperoleh di lapangan dan uji Proctor yang dilakukan dengan sampel-sampel tanah pada kandungan air sebenarnya dan pada dua buah kandungan air lainnya yang diberikan.



GAMBAR 4.14. Uji kerapatan balon-air

Untuk tanah-tanah yang berbutir-halus, terutama tanah liat, *pengambilan sampel tabung* (core cutting) digunakan untuk mengambil sampel untuk uji kerapatan, Gambar 4.15. Sebuah tabung dipukul masuk ke dalam sebuah tanah yang diuruk dan diambil kembali dengan isinya. Prosedur ini jauh lebih cepat daripada metode penggantian-pasir. Metode ini disetujui sebagai metode ASTM 2037, dan sebagai Standar Inggris 1377, Uji 15 D.

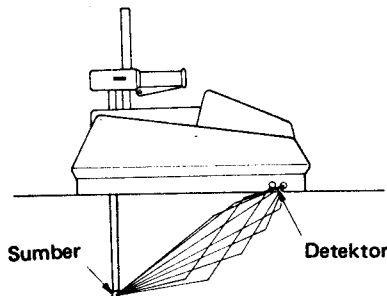


**GAMBAR 4.15.** Pengambilan sampel tabung

### Metode Nuklir

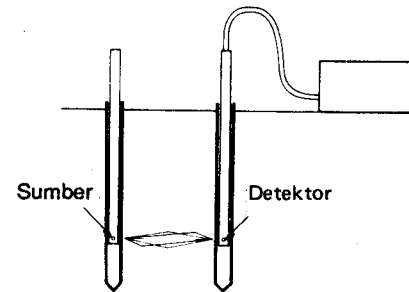
Metode nuklir untuk menentukan kerapatan tanah dan kandungan air telah digunakan sejak tahun 1950-an. Alat pengukur kerapatan nuklir yang modern terdiri dari sebuah komputer mikro yang secara langsung menghitung kerapatan basah, kerapatan kering, derajat pemampatan dan kandungan air.

Sebuah alat ukur kerapatan nuklir pada umumnya harus dikalibrasi untuk tiap-tiap tanah. Mereka peka terhadap perubahan-perubahan kandungan batu tanah itu. Hasil terbaik diperoleh pada tanah yang homogen dan berbutir-halus di mana mereka dapat banyak meringankan pengontrolan pemampatan. Jenis alat ukur kerapatan nuklir yang paling umum untuk maksud ini diperlihatkan di Gambar 4.16. Perhatikan bahwa sebuah kalibrasi yang teliti dari sebuah alat ukur kerapatan nuklir pada sebuah tanah individual secara komparatif adalah tugas yang berat.



**GAMBAR 4.16.** Alat ukur kerapatan nuklir untuk tanah

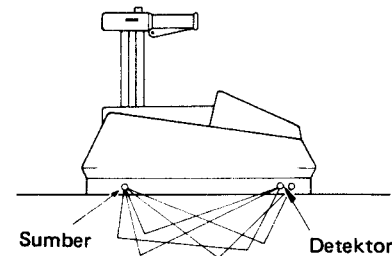
Untuk penentuan-penentuan kerapatan dalam hubungannya dengan uji pemampatan, alat ukur kerapatan nuklir dari jenis yang diperlihatkan di Gambar 4.17, telah terbukti sangat berguna.<sup>14)</sup>



**GAMBAR 4.17.**

Alat ukur kerapatan nuklir yang terutama digunakan untuk uji-puji pemampatan tanah.

Pengontrolan kerapatan perataan-permukaan aspal adalah sebuah penggunaan umum lain dari metode-metode nuklir, Gambar 4.18. Sebuah alat ukur kerapatan nuklir mobil untuk mengontrol pembuatan jalan telah dikembangkan di Perancis, Gambar 4.19.<sup>14)</sup>



**GAMBAR 4.18.**

Alat ukur kerapatan nuklir untuk uji permukaan tanah dan aspal



**GAMBAR 4.19.**

Alat ukur nuklir mobil

### Perbedaan-perbedaan Statistik<sup>15)</sup>

Pengukuran-pengukuran kerapatan lapangan selalu memperlihatkan penyimpangan, yang mencerminkan kesalahan-kesalahan di dalam prosedur pengujian, perbedaan dalam sifat-sifat tanah, kandungan air, dan lain-lain. Deviasi standar dalam rentang 2,0 sampai 4,0 persen adalah biasa. Paling sedikit tiga atau empat nilai uji perlu untuk memperoleh sebuah nilai kerapatan yang "aman" yang dihitung sebagai rata-rata dari nilai individual. Analisis statistik dari nilai ini yang diperoleh pada uji pemampatan karenanya makin umum digunakan.

Untuk yakin 95 persen bahwa tak ada nilai di bawah tingkat yang ditetapkan akan diperoleh, nilai rata-rata dari uji kerapatan, dengan sebuah deviasi standar misalnya sebesar 3 persen, harus terletak 5,0 persen di atas yang ditetapkan tadi. Dalam prakteknya terlalu mahal untuk menetapkan sebuah tingkat kerapatan yang tinggi seperti itu, sedangkan nilai rendah yang terpisah sekarang dan tadi harus dikoreksi melalui sejumlah tambahan lewatnya mesin giling. Koreksi dalam kandungan air mungkin juga diperlukan. Satu cara untuk mempertimbangkan deviasi-deviasi statistik yang tak dapat dihindarkan dalam uji kerapatan adalah menentukan sebuah kerapatan rata-rata minimum untuk periode yang lebih panjang, seperti misalnya Proctor yang Dimodifikasi 95 persen. Aturan ini dilengkapi dengan sebuah spesifikasi bahwa tak sebuahpun nilai kerapatan ada di bawahnya, katakanlah 92 persen dibolehkan.

### Pengontrolan Kerataan Permukaan

Hasil pemampatan dapat diperiksa dengan pengontrolan kerataan permukaan setelah jumlah pelewatan yang berbeda dengan sebuah alat pemadat. Metode ini digunakan untuk urukan batuan di mana uji kerapatan sulit dan mahal untuk dilakukan. Kerataan sejumlah titik referensi, seperti misalnya batu-batuan yang dicat, diperiksa dengan sebuah peralatan perata sebelum pemampatan dan setelah misalnya dua, empat, enam, delapan dan sepuluh kali pelewatan alat pemadat itu. Lihat juga Bab 10.

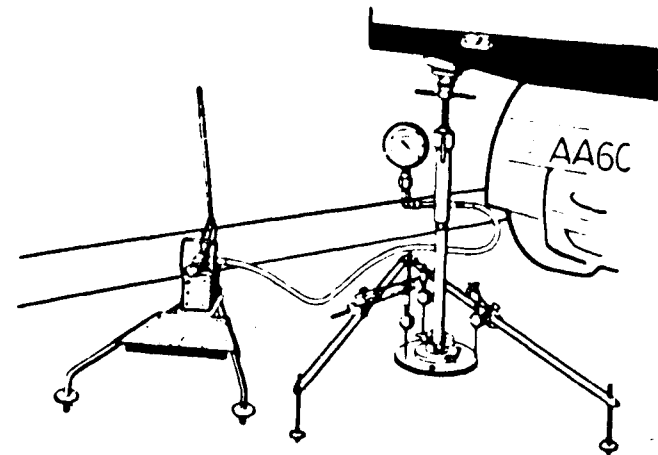
### Uji Peletakan Beban Statis

Di Jerman, Austria, Swiss dan beberapa negara lainnya, uji peletakan-beban statis di permukaan urukan yang dimampatkan dispesifikasikan sebagai uji pemampatan di dalam pembuatan jalan raya, Gambar 4.20. Biasanya sebuah piringan beban dengan diameter 300 mm digunakan. Modulus elastisitas, atau lebih tepat modulus deformasi, dihitung menurut rumus ini:

$$E_v = \frac{1,5.r.p}{s}$$

Di mana  $r$  = jari-jari piringan beban  
 $p$  = beban per satuan luas  
 $s$  = defleksi

Nilai  $E_{v1}$  yang diperoleh pada pelaksanaan pembebanan pertama biasanya kira-kira setengah dari nilai  $E_{v2}$  yang diperoleh pada pembebanan-pembebanan ulangan. Harga  $E_{v2}$  minimum dispesifikasikan untuk lapisan-lapisan yang berlainan di dalam pembuatan jalan dan untuk jenis tanah yang berbeda.



GAMBAR 4.20. Uji peletakan-beban statis

Sebuah modulus elastisitas, atau modulus deformasi, pada prinsipnya adalah sebuah petunjuk kekuatan yang lebih baik pada sebuah dasar, lapisan dasar atau tanah dasar daripada sebuah uji kerapatan. Untuk bahan-bahan kasar seperti urukan batuan dan kerikil, hubungan yang baik terdapat di antara modulus elastisitas dan kerapatan. Namun sifat-sifat elastis, di dalam bahan-bahan berbutir-halus, sangat dipengaruhi oleh kandungan air, yang berarti bahwa uji peletakan-beban tidak begitu umum dapat digunakan sebagai uji kerapatan. Kesulitan lebih jauh dengan uji peletakan-beban adalah bahwa sebuah lapisan atas dengan derajat pemampatan yang rendah pada pasir atau kerikil yang digradasi uniform menghasilkan sebuah nilai yang rendah, bahkan sekalipun bahan di bawah lapisan atas itu dimampatkan dengan baik.

Metode CBR untuk uji peletakan-beban telah disebutkan di depan.

#### **Rasuk Benkelman (Benkelman Beam)**

Rasuk Benkelman digunakan untuk mengukur defleksi dari sebuah pengerasan di bawah sebuah beban roda yang berat. Sebuah ukuran relatif dari modulus elastisitas pengerasan itu diperoleh.

#### **Uji Peletakan Beban Dinamis**

Deflektometer beban jatuh menghasilkan sebuah beban dinamis (tumbukan) pada permukaan tanah. Defleksi permukaan itu diukur dan sebuah modulus elastisitas dinamis dihitung. Metode ini telah digunakan di Perancis, Belanda dan Skandinavia.<sup>16), 17).</sup>

Peralatan Dynaflect bekerja dengan getaran frekuensi rendah (8 Hz).<sup>18)</sup> Defleksi-defleksi permukaan yang disebabkan beban dinamis ini ditentukan dan digunakan sebagai sebuah ukuran modulus elastisitas dinamis dari tanah dasar.

Alat ukur pemampatan Dynapac adalah sebuah unit elektronik yang menggunakan drum dari mesin giling getaran sebagai beban dinamis dijelaskan di Bab 12. Dalam hal ini sifat-sifat tanah dapat diukur secara kontinyu di seluruh daerah urukan.

#### **Pemeriksaan Tanah Dinamis Berdasarkan Penelitian Getaran Tanah**

Sebuah vibrator uji ditaruh di atas permukaan sebuah urukan atau perkerasan dan getaran-getaran di tanah itu diukur dan dievaluasi untuk menentukan sifat-sifat tanah. Metode ini telah dipelajari dan digunakan oleh Laboratorium Shell di Negeri Belanda dan negara-negara lainnya. Disebabkan kompleksnya pola-pola gelombang, metode ini belum umum dapat diterapkan dan dipergunakan.

#### **Percobaan Pembuktian (Proof-rolling)**

Percobaan pembuktian, biasanya dilakukan dengan sebuah mesin giling berat berisi udara, kadang-kadang digunakan untuk memeriksa apakah sebuah urukan yang dimampatkan mengandung tempat-tempat yang dimampatkan dengan jelek dan goyah di mana mesin giling yang berat itu tenggelam. Tempat-tempat seperti itu harus diperbaiki dengan pemampatan lebih lanjut atau mengubah bahan urukan.

#### **Dugaan (Soundings)**

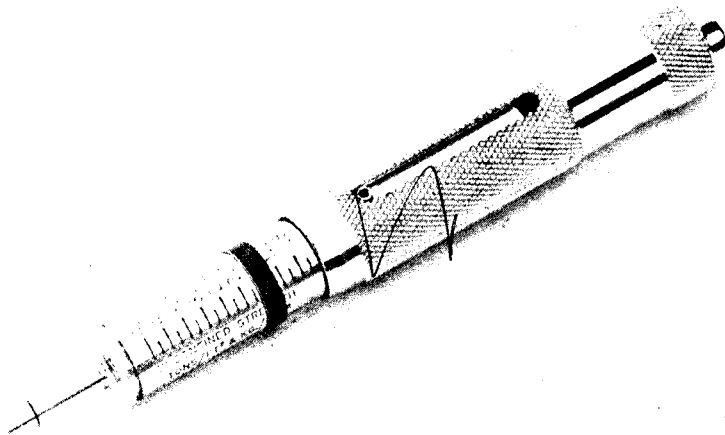
Di lapisan-lapisan pasir yang dalam, dengan kadang-kadang digunakan agar berhasil untuk memeriksa hasil-hasil pemampatan bahan, lihat Sub-bab 11.2

#### **Uji Peralatan Baling-baling**

Uji peralatan baling-baling dapat digunakan untuk mengukur kekuatan geser tanah. Prinsipnya diperlihatkan di Gambar 6.4.

#### **Penetrometer Tanah**

Penetrometer tanah adalah sebuah peralatan untuk menentukan kekuatan tanah berbutir-halus dengan cepat dan sederhana, Gambar 4.21. Metode ini digunakan untuk menentukan perkiraan kekuatan tekan tak terbatas dari tanah berbutir-halus.



GAMBAR 4.21. Penetrometer Tanah

## 5. SPESIFIKASI

Ada tiga jenis spesifikasi dasar pemampatan yang digunakan saat ini:

### A. Spesifikasi Metode

Aturan-aturan dan spesifikasi mendetil diberikan terutama menurut:

- . Jenis peralatan
- . Jumlah lewatnya mesin giling
- . Kecepatan mesin giling
- . Ketebalan lapisan
- . Kandungan air di tanah

Sepesifikasi metode membatasi kemungkinan-kemungkinan bagi para kontraktor untuk menggunakan prosedur pemampatan dan peralatan yang memberikan ongkos terendah.

### B. Spesifikasi Hasil Akhir atau Pelaksanaan

Sebuah derajat pemampatan minimum ditentukan dan diperiksa oleh uji laboratorium dan lapangan. Di sebagian besar negara, spesifikasi hasil akhir sekarang merupakan yang paling umum untuk pekerjaan-pekerjaan besar dan penting.

### C. Gabungan Spesifikasi hasil Akhir dan Spesifikasi Pelaksanaan

Persyaratan untuk derajat pemampatan minimum sering digabungkan dengan spesifikasi-spesifikasi yang memberikan jenis peralatan pemampatan, ketebalan lapisan maksimum dan lain-lain.

Sebuah pilihan lebih jauh, yang tidak umum, adalah membolehkan kontraktor untuk menggunakan jenis-jenis peralatan lain dan ketebalan lapisan selain dari yang ditetapkan jika dapat dibuktikan oleh uji lapangan bahwa hasil akhir yang ditetapkan bisa dicapai.

Bahkan untuk spesifikasi hasil akhir jenis-jenis peralatan pemampatan yang akan digunakan oleh kontraktor, biasanya harus disetujui oleh pejabat atau konsultan proyek.

Di seluruh dunia ada sebuah kecenderungan umum ke arah spesifikasi hasil akhir. Perkecualian utama adalah Inggris dan Perancis di mana spesifikasi-spesifikasi metode digunakan di dalam pembangunan jalan raya. Satu alasannya ialah kondisi-kondisi tanah yang berbeda di kedua negara yang memerlukan sejumlah besar uji kerapatan lapangan untuk memperoleh hasil tertentu secara statistik pada spesifikasi-spesifikasi hasil akhir.

Perancis telah memberikan detil spesifikasi metode untuk pemampatan tanggul jalan raya.<sup>19), 20)</sup> Di dalam tabel-tabel yang mencakup berbagai jenis alat pemadat yang berlainan, nilai ketebalan lapisan maksimum dan kapasitasnya diberikan di mana dari tabel-tabel itu jumlah pelewatan yang diperlukan alat pemadat dapat juga dihitung. Spesifikasi ini juga memerlukan pencatatan jam operasi yang kontinyu melalui alat-alat ukur khusus yang ditempatkan di mesin giling, Gambar 5.1.

Alat-alat pemadat diklasifikasikan menurut sistem berikut ini:

Mesin giling berisi udara

- $P_1$  : Beban roda 2,5 – 4 ton
- $P_2$  : Beban roda 4 – 6 ton
- $P_3$  : Beban roda > 6 ton

Mesin giling getaran

- $V_1$  : Beban linier statis 15 – 25 kg/cm
- $V_2$  : Beban linier statis 25 – 35 kg/cm

- $V_3$  : Beban linier statis 35 – 45 kg/cm
- $V_4$  : Beban linier statis > 45 kg/cm

Mesin giling getaran lebih jauh dibagi lagi menjadi lima kelompok yang berhubungan dengan karakteristik-karakteristik dinamis.

Mesin giling kaki-alas statis (static padfoot rollers)

- $PD_1$  : Beban linier statis 30 – 60 kg/cm
- $PD_2$  : Beban linier statis > 60 kg/cm



GAMBAR 5.1. Alat ukur (jenis Kienzle) untuk mencatat jam kerja, kecepatan, dan lain-lain dari mesin giling getaran.

Sebuah sistem spesifikasi metode yang baru untuk pemampatan dasar telah dikembangkan di Perancis.<sup>21), 22)</sup> Setelah disetujui uji pemampatan yang dibuat di Institut Penelitian Jalan Raya di Rouen, mesin-mesin giling dari berbagai model yang berlainan dimasukkan ke dalam sebuah daftar yang disebut "Liste d'aptitude", di mana kapasitas pemampatan mereka diberikan sebagai petunjuk. Sistem ini telah dikritik karena, dalam prakteknya, sifat-sifat tanah yang berbeda-beda membuatnya sangat sulit untuk menetapkan angka-angka kapasitas yang bisa diterima secara umum. Prosedur pengujian juga telah dikritik.

Pemakaian sebelumnya terutama untuk proyek-proyek konstruksi besar. Harusnya dicatat bahwa untuk pekerjaan-pekerjaan berukuran kecil dan sedang, sebuah spesifikasi metode sering sesuai dan digunakan di banyak negara. Penyediaan (supervisi) yang hati-hati mengenai kualitas dan gradasi bahan urukan, ketebalan lapisan dan jumlah pelewatan alat pemadat karenanya sangat perlu.

### Kerapatan-kerapatan yang Dispesifikasikan

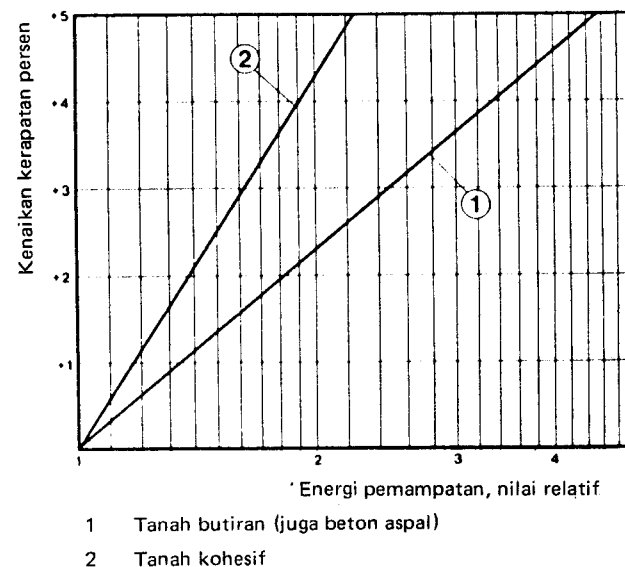
Di dalam spesifikasi hasil akhir sebuah derajat pemampatan minimum, biasanya berkaitan dengan Proctor Standar atau Dimodifikasi yang ditentukan. Kerapatan yang ditentukan di masing-masing kasus tergantung pada kebutuhan akan daya dukung, pengaruh lalu lintas yang diharapkan, pelepasan yang diizinkan, dan lain-lain. Derajat-derajat pemampatan berikut ini biasanya ditentukan untuk pemakaian-pemakaian yang berbeda.

Lapisan-lapisan dasar pada jalan, jalan raya dan lapangan terbang	95 – 100% proctor Dimodifikasi
Peninggian jalan raya	95 – 100% Proctor Standar 90 – 95% Proctor Dimodifikasi
Konstruksi bendungan tanah	95 – 100% Proctor Standar
Urukan di bawah pondasi bangunan	90 – 95% Proctor Dimodifikasi

Sebuah derajat pemampatan yang lebih tinggi sering ditentukan untuk bagian atas sebuah jalan raya yang tinggi (mencapai 300 sampai 400 mm) daripada untuk bagian atasnya.

Terutama untuk pembangunan jalan, terdapat kecenderungan untuk menaikkan derajat pemampatan yang ditentukan disebabkan naiknya beban dan intensitas lalu lintas. Derajat pemampatan yang ditentukan untuk sebuah lapisan dasar di jalan raya sekarang sering setinggi 98 sampai 100 persen Proctor Dimodifikasi.

Kenaikan dalam energi yang dibutuhkan untuk suatu kenaikan derajat pemampatan diperlihatkan secara grafis di Gambar 5.2. Kedua garis lurus di dalam diagram berdasarkan pada asumsi-asumsi bahwa kenaikan dalam energi dari Proctor Standar menjadi Proctor Dimodifikasi (4,5 kali) sebanding dengan perbedaan dalam kerapatan kira-kira 5,0 persen untuk tanah-tanah kohesif. Pada pemadatan lapisan dasar, kondisi-kondisi sebenarnya mungkin, bahkan lebih tidak menguntungkan dibandingkan dengan yang ditunjukkan oleh garis 1 di dalam diagram karena adanya kenyataan bahwa efisiensi mesin giling turun jika bahan menjadi sangat keras dan mesin giling mulai "memantul".



**GAMBAR 5.2. Hubungan antara kenaikan kerapatan dengan energi yang dibutuhkan.**

Garis 1 kira-kira berlaku juga untuk pemampatan beton aspal dengan getaran.

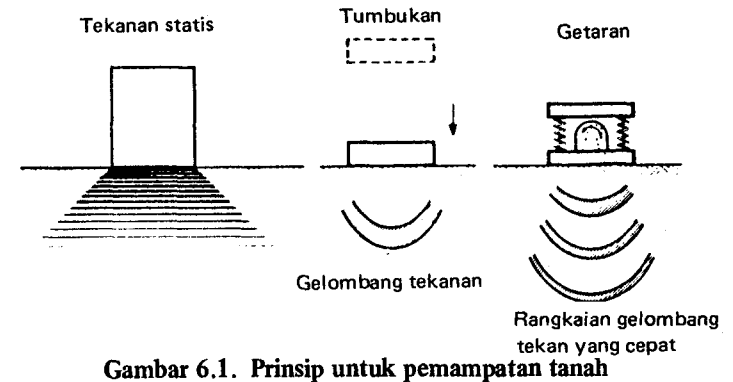
Jadi, derajat pemampatan sangat penting untuk kapasitas mesin giling dan ongkos pemampatan. Ini harus tetap diingat jika membuat spesifikasi derajat pemampatan untuk sebuah proyek konstruksi.

## 6. PRINSIP-PRINSIP DAN METODE PEMAMPATAN

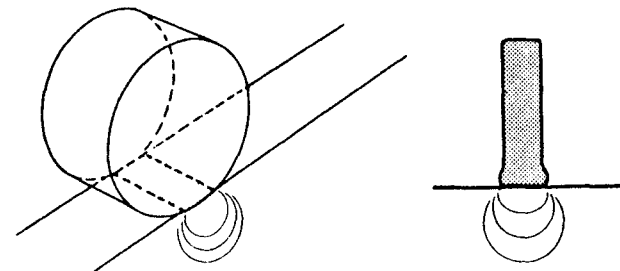
Prinsip-prinsip untuk pemampatan yang berlainan dapat secara sederhana dijelaskan sebagai tekanan statis, tumbukan dan getaran. Mesin giling roda-halus statis, mesin giling berban-udara dan mesin giling sheepsfoot atau padfoot bekerja dengan tekanan statis dengan besar yang berbeda di atas permukaan tanah. Mesin giling berisi udara dan mesin giling sheepsfoot atau padfoot menggabungkan tekanan itu dengan sebuah efek meremas. Mesin giling berisi udara juga mempunyai sebuah efek menutup atau menempel di atas permukaan tanah.

Selama sebuah tanah ada dalam keadaan tak rapat, ia dengan agak mudah dapat ditekan dan sebuah deformasi plastis terjadi tanpa response elastis nyata apapun. Jika derajat pemampatan berturut-turut dinaikkan, tanah menjadi makin lama makin padat dan elastis. Teori Bussinesq telah digunakan untuk menghitung tekanan-tekanan yang diperoleh dengan mesin giling roda-halus statis dan berisi udara pada tahap akhir pemampatan, Gambar 6.2. Sebagai sebuah contoh, distribusi tekanan yang dihitung di bawah sebuah daerah beban lingkaran di dalam sebuah bahan elastis diperlihatkan di Gambar 6.3. Uji pemampatan telah memperlihatkan bahwa besar tekanan dan tegangan geser di dalam tanah menentukan derajat pemampatan yang diperoleh pada kedalaman yang berbeda di dalam tanah di bawah alat pemadat.<sup>23)</sup>

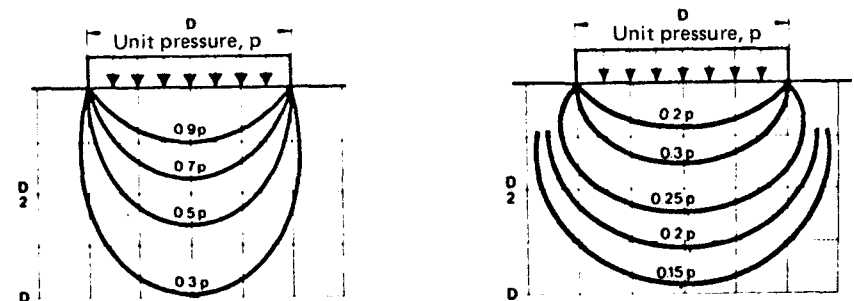
Tumbukan memberikan gaya lebih besar pada permukaan tanah daripada sebuah beban statis. Dari permukaan, sebuah ge-



Gambar 6.1. Prinsip untuk pemampatan tanah



GAMBAR 6.2. Beban yang digunakan dengan gelinding baja dan ban-udara



GAMBAR 6.3. Distribusi tegangan di dalam tanah di bawah beban lingkaran. Gambar kiri memperlihatkan tegangan tekan vertikal dan gambar kanan tegangan geser maksimum



lombang kompresi atau tekanan bergerak ke bawah ke dalam tanah menghasilkan tekanan-tekanan tinggi juga pada kedalaman yang besar. Metode untuk memampatkan urukan tanah dan batuan sampai ke dalam yang besar dengan beban jatuh yang berat dengan beban jatuh yang berat, lebih jauh telah dikembangkan di tahun-tahun belakangan ini.<sup>24), 25)</sup> Efek-efek pemampatan ke bawah sampai kedalaman 10 m – 20 m telah dicatat.

Alat-alat pemadat getaran, yang digunakan pada pekerjaan-pekerjaan pemampatan kecil, juga bekerja dengan prinsip tumbukan.

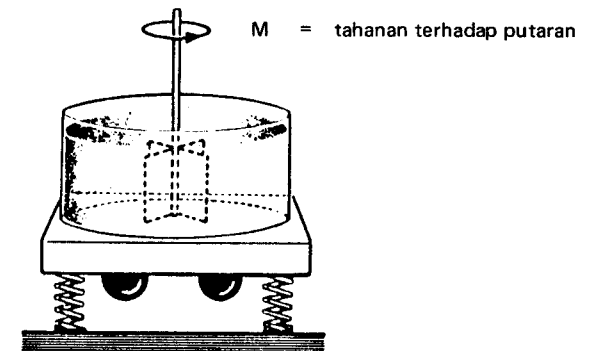
Alat-alat pemadat getaran bekerja dengan sebuah rangkaian tumbukan yang cepat terhadap permukaan tanah. Masing-masing tumbukan menghasilkan sebuah gelombang tekan di dalam tanah. Partikel-partikel tanah digerakkan dan gesekan internal di antara partikel-partikel pada hakikatnya dihilangkan. Selama keadaan bergerak, partikel-partikel tersebut dapat menemukan kedudukan-kedudukan, yang membuat volume serendah mungkin.

Pengaruh getaran pada gesekan internal tanah dapat diperlihatkan dengan uji dengan peralatan baling-baling, Gambar 6.4.<sup>26)</sup> Gesekan internal di dalam pasir telah dikurangi pada percepatan-percepatan di antara 0,2 g sampai 0,5 g, di mana g adalah percepatan yang disebabkan gravitasi. Di dalam pasir yang disaturasi air atau di dalam beton, sebuah percepatan minimum sebesar kira-kira 1,0 g diperlukan untuk kurang lebih sebuah pengurangan total gesekan internal.

Getaran tanpa tekanan simultan kadang-kadang dapat memberikan pemampatan yang baik. Di dalam kasus seperti pasir yang sangat kering atau yang disaturasi air dan beton biasa, bahan di-konsolidasi disebabkan efek gravitasi jika gesekan internal dihilangkan oleh getaran. Namun, untuk tanah-tanah normal perlu untuk menggabungkan getaran dengan tekanan dan gaya geser dengan besar tertentu untuk mengatasi adhesi dan kohesi di antara partikel-partikel tanah, yang kalau tidak demikian akan mence-

gah relokasi mereka. Disebutkan di depan bahwa air di dalam tanah memberikan sebuah kohesi yang nyata, yang naik dengan cepat dengan berkurangnya ukuran partikel. Di dalam tanah liat, gaya-gaya pemampatan harus juga mengatasi kohesi sebenarnya yang besar.

Bahan	$\frac{M_{\text{getaran}}}{M_{\text{diam}}} \cdot 100 \text{ persen}$
Pasir kering atau yang disaturasi air atau kerikil	2%
Pasir atau kerikil pada kandungan air alam	5%
Lumpur berpasir pada kandungan air optimum	10%
Lumpur pada kandungan air optimum	20%

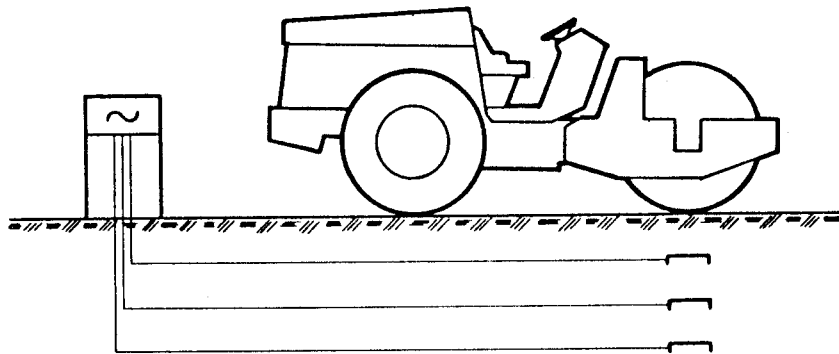


GAMBAR 6.4. Uji peralatan baling-baling di dalam jenis tanah yang berbeda yang ditaruh di dalam sebuah acuan di atas sebuah meja yang bergetar. Uji dilakukan dengan dan tanpa getaran.

Di dalam pemampatan tanah dengan getaran, hasil yang dicapai terutama ditentukan oleh dua faktor.<sup>26), 27)</sup>

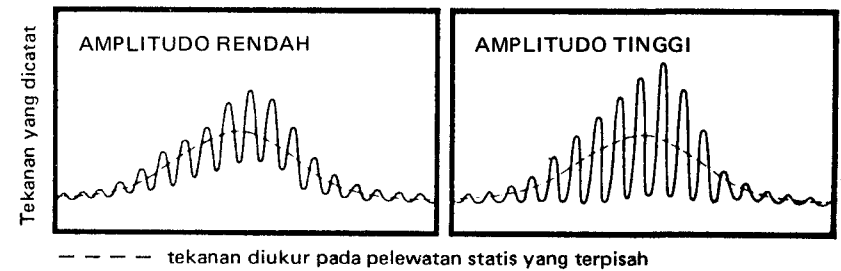
- .. Keadaan gerakan dari partikel-partikel tanah. Gesekan internal dihilangkan dan kondisi-kondisi diciptakan untuk pemampatan tanah yang efektif.
- . Tekanan dan tegangan geser yang dihasilkan di dalam tanah oleh alat pemadat dengan getaran. Tegangan-tegangan itu sebagian-nya statis, disebabkan berat statis dari alat pemadat, dan sebagi-an lagi dinamis dalam bentuk gelombang-gelombang tekanan.

Pengukuran-pengukuran tekanan statis dan dinamis ini di dalam tanah di bawah alat pemadat dengan getaran karenanya sangat praktis dan secara teoritis menarik. Uji yang luas dengan penggunaan sel-sel tekan jenis membran telah dilakukan di Laboratorium Riset Dynapac, Gambar 6.5.<sup>26)</sup> Tekanan-tekanan vertikal selama lewatnya mesin giling diperlihatkan di Gambar 6.6. Diagram, Gambar 6.7. memperlihatkan hubungan antara tekanan-tekanan dinamis maksimum yang dicatat dengan kedalaman untuk jenis-jenis alat pemadat dengan getaran yang berlainan.

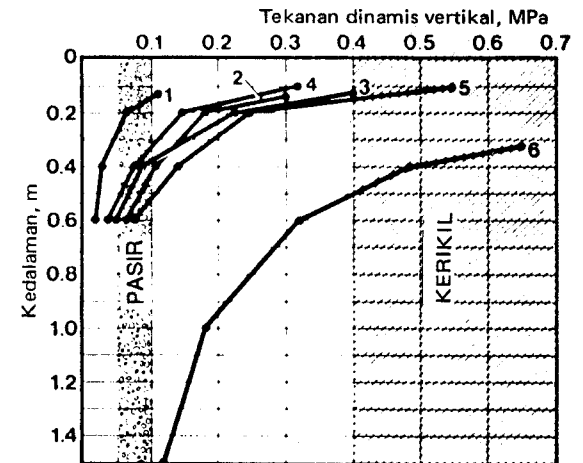


**GAMBAR 6.5.** Pengukuran tekanan dinamis dengan sel-sel tekan jenis membran

Makin besar kohesi, makin besar pula tekanan untuk menja-min pemadatan tanah yang baik. Di dalam tanah liat dan kerikil, di mana terdapat kohesi nyata yang relatif rendah, keadaan ge-rakan selama getaran harus digabung dengan tegangan tekanan se-



**GAMBAR 6.6.** Hasil pengukuran dengan sel-sel tekan di dalam tanah selama lewatnya sebuah mesin giling dengan getaran. Sel tekan itu ditem-patkan pada kedalaman 200 mm.



1. Alat pemadat dengan getaran berbentuk plat 135 kg
2. Alat pemadat dengan getaran berbentuk plat 400 kg
3. Alat pemadat balas dengan getaran 60 kg
4. Mesin giling dengan getaran 1,4 ton
5. Mesin giling dengan getaran 3,3 ton
6. Mesin giling dengan getaran 13,0 ton

**GAMBAR 6.7.** Tekanan dinamis pada berbagai kedalaman yang berbeda dengan jenis-jenis dan ukuran alat pemadat dengan getaran yang berlain-an.

besar 0,05 sampai 0,1 MPa untuk memberikan hasil-hasil yang baik. Dalam tanah liat tekanan yang jauh lebih besar, 0,3 sampai 0,5 MPa, diperlukan, yang disebabkan kohesi yang lebih besar. Di dalam kedua kasus itu, derajat pemampatan minimum telah diambil sampai 90 persen Proctor Modifikasi.

Tekanan yang komparatif rendah yang diperlukan untuk pemampatan tanah-tanah tanpa kohesi dengan getaran menjelaskan mengapa alat pemadat dengan getaran yang ringan dapat mencapai kerapatan-kerapatan sangat tinggi jika ketebalan lapisan terbatas dan mengapa alat pemadat dengan getaran yang berat mampu memampatkan lapisan tanah yang tebal.

Gambar 6.7. memperlihatkan bahwa jenis mesin teringan di dalam pengujian, sebuah alat pemadat dengan getaran berbentuk pelat yang beratnya 135 kg, memampatkan pasir dan kerikil dengan efektif dalam lapisan 0,2 m. Alat pemadat balas (tamper) dengan getaran menghasilkan tekanan yang lebih besar daripada alat pemadat piringan kecil dan oleh karenanya dapat digunakan dengan hasil baik pada tanah-tanah kohesif. Mesin giling dengan getaran yang ditarik seberat 3,3 ton dapat memampatkan pasir dan kerikil dengan lapisan yang jauh lebih tipis. Mesin terberat di dalam uji ini, sebuah mesin giling dengan getaran yang beratnya 13 ton menghasilkan tekanan dengan besar yang sangat berbeda dibandingkan mesin-mesin lain dan dapat memampatkan urukan batuan dalam lapisan-lapisan sampai ketebalan 2,0 m.

Hubungan mendetil dan teoritis di antara tekanan dinamis dan tegangan geser dan efek pemampatan pada berbagai tingkat yang berlainan di dalam tanah di bawah sebuah alat pemadat dengan getaran masih memerlukan penelitian lebih lanjut. Namun, telah diperlihatkan bahwa juga distribusi gaya-gaya dinamis di bawah sebuah alat pemadat dengan getaran dapat secara kira-kira dihitung menurut teori-teori Boussinesq.<sup>26)</sup> Waktu impuls (lama masing-masing tumbukan) pada pemampatan tanah dengan getaran, 0,01 sampai 0,02 detik, besarnya komparatif begitu rendah, sehingga distribusi beban-beban dinamis sangat serupa dengan distribusi beban-beban statis yang sebanding.

Untuk pemampatan secara umum, energi atau kerja yang dipindahkan ke bahan adalah salah satu parameter yang terpenting. Untuk sebuah derajat pemampatan minimum tertentu, jumlah energi minimum per satuan volume diperlukan. Perhitungan-perhitungan energi yang diperlukan pada pemampatan jenis tanah yang berbeda dengan berbagai jenis alat pemadat yang berlainan diberikan di Bab 13. Diketemukan bahwa pemampatan dengan getaran pada bahan-bahan non-kohesif membutuhkan energi jauh lebih kecil daripada gilingan statis. Pemampatan tanah-tanah kohesif, baik dengan mesin giling dengan getaran maupun yang statis, memerlukan energi lebih besar.

Sebagai kesimpulan, Tabel 6.1. memperlihatkan parameter-parameter yang paling penting yang menentukan efek pemampatan dengan getaran untuk berbagai kelompok tanah yang berlainan.

**Tabel 6.1. Parameter-parameter yang menentukan efek pemampatan untuk jenis tanah yang berbeda pada pemampatan dengan getaran**

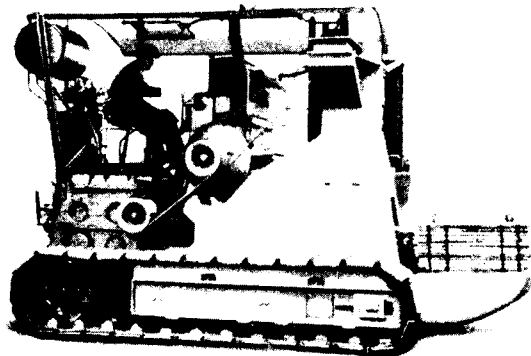
	TANAH-TANAH BERBUTIR		Tanah-tanah Kohesif
	Tanah-tanah bebas air yang kering atau disaturasi air	Tanah-tanah berbutir lembab atau semi kohesif	
Keadaan gerakan (percepatan)	●	●	—
Tekanan dan tegangan geser	—	●	●
Energi	●	●	●

## 7. ALAT-ALAT PEMAMPAT TANAH DENGAN GETARAN DAN EFEK PEMAMPATAN MEREKA

### 7.1. JENIS-JENIS PERALATAN

#### Perkembangan Awal

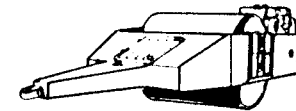
Pemampatan tanah dengan getaran telah digunakan di Jerman di tahun 1930-an ketika Losenhausenwerk mengembangkan alat pemadat getar berbentuk pelat yang maju sendiri dan alat pemadat getar yang dipasang di atas sebuah perangkak seberat 25 ton dengan efek kedalaman 2,0 m sampai 2,5 m, Gambar 7.1. Alat-alat pemampat getar berbentuk pelat pada umumnya memberikan pemampatan dan efek kedalaman yang baik, tetapi dengan kecepatan dan kapasitas permukaan yang relatif rendah.



GAMBAR 7.1. Alat pemampat tanah dengan getaran yang dikembangkan oleh Losenhausenwerk.

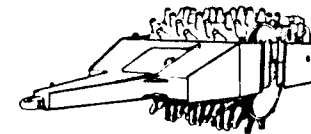
#### Alat Penggiling dengan Getaran yang Ditarik

Perkembangan alat giling getar yang ditarik, yang mulai di sekitar 1950, menyatakan sebuah langkah besar ke depan disebabkan karena kapasitas permukaan mereka yang besar dan tidak terbatasnya pemampatan berbagai jenis tanah yang berbeda. Alat giling getar yang ditarik sejak saat itu telah menjadi peralatan standar untuk banyak jenis pekerjaan pemampatan. Sebuah kelas bobot yang umum adalah 4,0 ton sampai 6,0 ton, Gambar 7.2. Dengan menggunakan mesin giling getar sampai 15 ton, dimungkinkan untuk menambah banyak kedalaman lapisan dan kapasitasnya. Penggunaan urukan batuan yang makin banyak juga membutuhkan penggunaan alat giling yang sanggup bekerja berat.

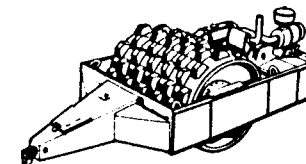


GAMBAR 7.2. Alat giling getar yang ditarik

Mesin giling getar yang ditarik dari jenis sheepfoot untuk tanah liat dan tanah-tanah kohesif lainnya diperkenalkan oleh Dyna pac di sekitar tahun 1960-an, Gambar 7.3. Alat giling getar yang ditarik jenis padfoot, Gambar 7.4. kemudian dikembangkan dan digunakan makin banyak. Sebuah padfoot mempunyai tinggi yang lebih rendah dan daerah kontak yang lebih besar dibandingkan sebuah sheepfoot.



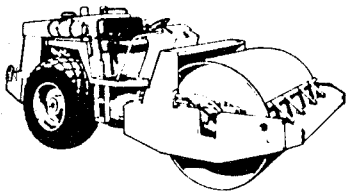
GAMBAR 7.3. Alat giling getar sheepfoot yang ditarik



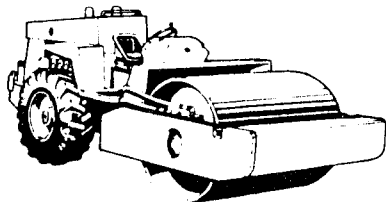
GAMBAR 7.4. Alat giling getar padfoot yang ditarik

### Mesin Giling Getar bisa Dikemudikan

Mesin-mesin giling getar bisa dikemudikan dengan dua roda kemudi dari ban-udara telah menjadi sangat umum, Gambar 7.5. Mereka lebih cepat dan lebih mudah bergerak daripada alat giling yang ditarik. Kelas bobot yang umum adalah sepuluh ton, yang setengahnya berada di atas gelinding getar. Oleh sebab itu, efek pemampatan sebanding dengan efek alat giling getar yang ditarik seberat lima ton. Versi-versi yang lebih ringan dan lebih berat dari mesin giling yang bisa dikemudikan telah juga dikembangkan. Mereka dapat diperlengkapi dengan kemudi gelinding melalui sebuah motor hidrolik, yang meningkatkan traksi terutama di atas tanah-tanah yang digradasi uniform dan tanah gembur. Versi-versi dengan gelinding padfoot makin banyak digunakan.



GAMBAR 7.5. Mesin giling getar maju-sendiri dengan roda-roda kemudi dari ban-udara

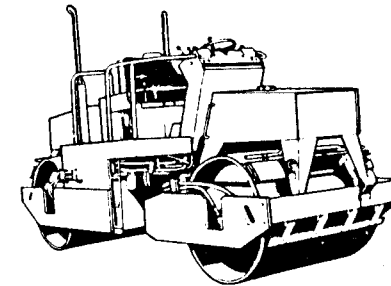


GAMBAR 7.6. Mesin giling getar bisa dikemudikan yang berat dengan kemudi-gelinding dan roda-roda kemudi ban-udara

### Mesin-mesin Giling Getar Tandem

Mesin-mesin giling getar ganda digunakan di dalam pekerjaan perbaikan dan pembuatan jalan, jalan raya, dan lapangan terbang.

Mesin giling getar ganda berukuran kecil dengan satu gelinding getar dan kemudi pertama-tama dikembangkan di sekitar tahun 1950. Ukuran dari mesin-mesin ini sejak saat itu telah ditingkatkan dengan besar dan mesin-mesin giling getar ganda dengan bobot sampai 15 ton sekarang digunakan. Mesin-mesin giling getar ganda yang modern mempunyai getaran dan kemudi pada kedua gelindingnya, Gambar 7.7, yang memberikan peningkatan efek pemampatan traksi dan kemampuan gradasi. Penggunaan mesin giling getar tandem untuk pemampatan permukaan aspal telah meningkat dengan cepat.

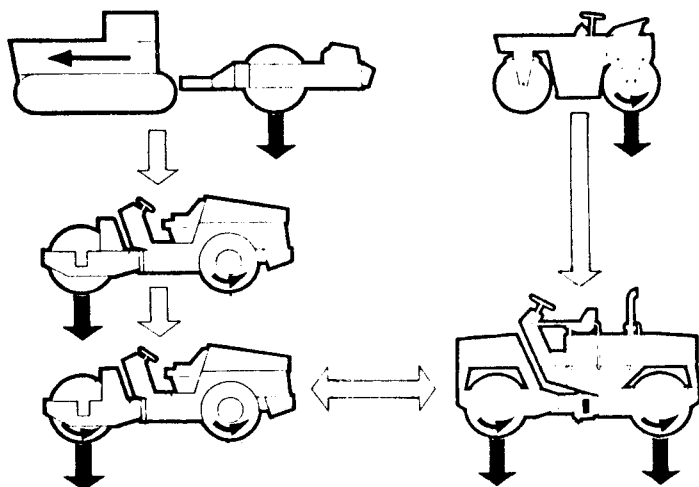


GAMBAR 7.7. Mesin giling getar tandem

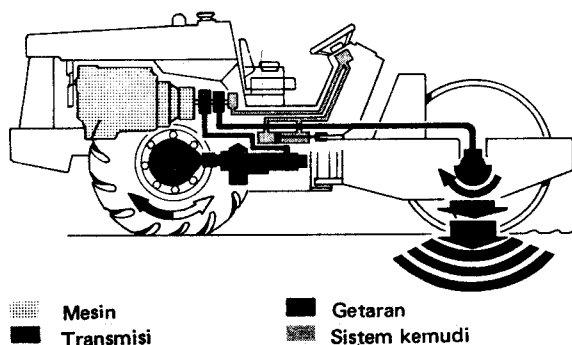
Langkah-langkah utama di dalam perkembangan mesin giling getar diperlihatkan di dalam Gambar 7.8. Syarat utama untuk perkembangan ini adalah perkembangan pesat dari sistem kemudi hidrostatika dan komponen-komponen hidrolik lainnya, Gambar 7.9. Hal ini membuat variasi kecepatan tak berlangkah, maupun misalnya getaran dan kemudi pada kedua gelinding mesin giling tandem itu menjadi mungkin. Kecepatan angkut yang cepat juga merupakan gambaran lain.

### Mesin Giling Kombinasi

Mesin giling kombinasi dengan satu gelinding getaran dan tiga sampai lima ban-udara telah digunakan terutama di Perancis, Jerman, Italia dan Jepang untuk pemampatan tanah dan aspal, Gambar 7.10.



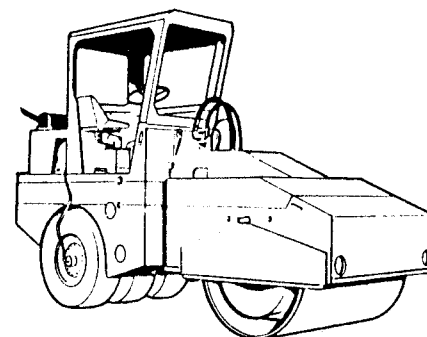
GAMBAR 7.8. Perkembangan mesin giling getar



GAMBAR 7.9. Mesin giling getar dengan eksentrik yang dikendalikan secara hidraulik, kemudi dan sistem kemudi hidraulik

### Mesin Giling Getar dengan Gelinding-gelinding Berlapis Karet

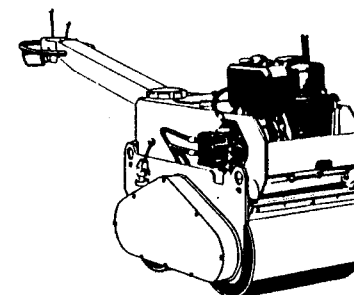
Mesin-mesin giling getar dengan gelinding-gelinding berlapis-karet, sebuah konsep yang dikembangkan oleh Dynapac, diperkenalkan tahun 1978 untuk pemampatan perlakuan permukaan.



GAMBAR 7.10. Mesin giling kombinasi dengan sebuah gelinding getar dan ban-ban udara.

### Mesin Giling Gelinding Ganda

Mesin giling bergelinding-ganda, dengan orang berjalan di belakangnya (mesin giling dupleks) diperkenalkan oleh Bomag pada akhir tahun 1950an, sekarang digunakan secara luas, Gambar 7.11.

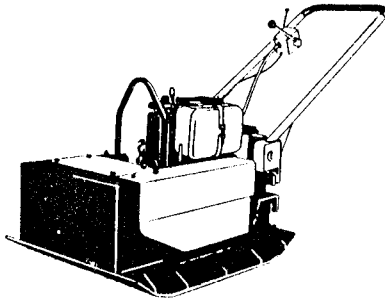


GAMBAR 7.11. Mesin giling dengan gelinding ganda dan orang jalan di belakangnya.

### Alat Pemadat Plat Getar

Alat-alat pemadat pelat getar digunakan untuk pekerjaan skala kecil dan untuk melengkapi mesin-mesin yang lebih besar,

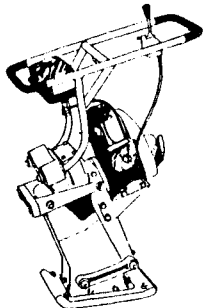
Gambar 7.12. Sebuah alat pemampat plat getar terdiri dari sebuah plat bawah dengan sebuah elemen getar yang digerakkan oleh sebuah mesin. Dengan menggunakan gerakan getaran, mesin itu bergerak sendiri. Mesin dan pegangan kendali diletakkan di atas sebuah plat dasar yang ditaruh di atas per baja atau elemen-elemen karet. Mesin-mesin ini hanya bisa bergerak ke arah depan saja, atau bisa bergerak ke depan atau mundur.



GAMBAR 7.12. Alat pemampat plat getar

### Alat Pemampat Getar Balas

Alat pemampat getar balas juga digunakan untuk pekerjaan-pekerjaan skala kecil. Gerakan tumbukan dari mesin ini menghasilkan gaya tekanan besar dan efisiensi pemampatan dalam prakteknya baik untuk semua jenis tanah, bahkan untuk tanah liat dan tanah-tanah berlempung, Gambar 7.13.



Gambar 7.13. Alat getar balas

### Penggetar Internal

Alat-alat penggetar internal yang dimaksudkan untuk getaran beton dapat digunakan untuk memampatkan volume pasir yang disaturasi-air dan kerikil menjadi kerapatan yang tinggi, misalnya di dalam urukan kembali parit. <sup>1), 26)</sup>

Vibroflotation adalah pemampatan dengan pertolongan alat-alat penggetar internal yang besar dan dirancang khusus yang juga dilengkapi dengan alat-alat pancaran. Mereka mempunyai diameter 300 mm sampai 400 mm, sebuah jari-jari kerja sebesar 1,0 sampai 1,5 m dan beroperasi untuk kedalaman 20 sampai 30 m.

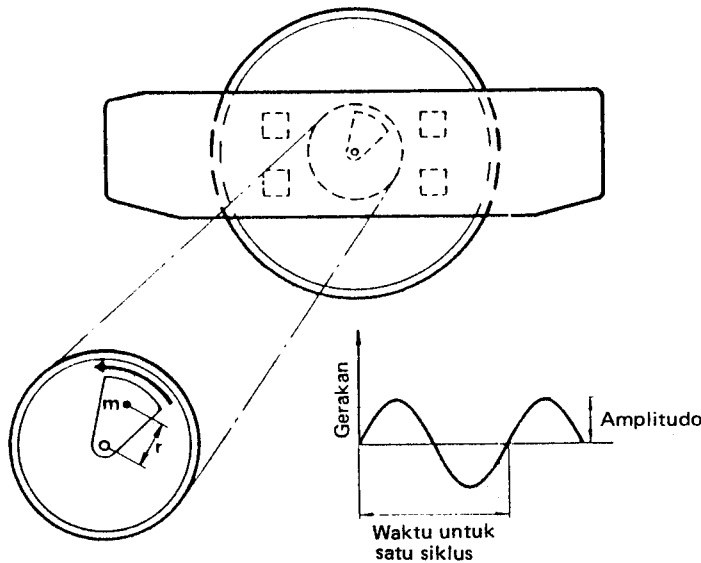
### 7.2. EFEK PEMAMPATAN DARI MESIN GILING GETAR

#### Beberapa Definisi dan Parameter

Mesin-mesin giling getar mempunyai sebuah rangka yang terisolasi dari gelinding ( — gelinding) dengan pertolongan elemen-elemen karet. Data teknis yang penting mengenai sebuah mesin giling getar diperlihatkan di Gambar 7.14 <sup>28), 29)</sup>. Getaran-getaran biasanya dihasilkan oleh sebuah eksentrik putar, yang kecepatannya secara langsung menentukan frekuensi. Dari massa dan ukuran eksentrik, momen eksentrik dapat dihitung. Momen eksentrik langsung menentukan amplitudo nominal dari gelinding.

Amplitudo nominal diperoleh jika gelinding ditaruh di atas sebuah medium elastis lunak, seperti misalnya karet. Selama operasi amplitudo dipengaruhi oleh sifat-sifat tanah. Pada resonansi dari sistem penggetar-tanah, yang dibicarakan berikut ini, amplitudo sebenarnya akan lebih besar daripada yang nominal. Juga pada saat "pantulan" gelinding di atas permukaan yang sangat keras amplitudo akan naik.

Perhatikan bahwa amplitudo secara benar didefinisikan sebagai setengah dari gerakan vertikal puncak ke puncak selama gerakan bergerak. Di dalam beberapa hal gerakan puncak ke puncak (dua kali amplitudo) digunakan secara tidak tepat sebagai sebuah ukuran untuk amplitudo.



Berat statis (dari rangka dan gelinding)		kg
Beban linier statis	$\left( \frac{\text{berat statis}}{\text{lebar gelinding}} \right)$	kg/cm
Frekuensi (1/T) n		Hz atau getaran/menit
Momen eksentrik	$m \cdot r$	kgmm
Gaya sentrifugal	$m \cdot r \cdot 4 \pi^2 \cdot n^2$	N
Amplitudo nominal	$\left( \frac{\text{momen eksentrik}}{\text{berat gelinding}} \right)$	mm
Percepatan gelinding	$\left( \frac{\text{gaya sentrifugal}}{\text{berat gelinding}} \right) \cdot 9,81$	g

(g = percepatan yang disebabkan gravitasi)

**GAMBAR 7.14.** Data teknis untuk sebuah mesin giling getar

Efek pemampatan dari sebuah mesin giling getar sampai derajat lebih tinggi atau lebih rendah dipengaruhi oleh parameter-parameter berikut ini:

- . Berat statis (beban linier statis)
- . Jumlah gelinding getar
- . Frekuensi dan amplitudo
- . Kecepatan mesin giling
- . Rasio antara berat rangka dan gelinding
- . Diameter gelinding
- . Gelinding kemudi atau bukan-kemudi.

### Berat Statis dan Beban Linier Statis

Jika berat statis dari sebuah mesin giling getar bertambah, dengan faktor-faktor lain tidak berubah (frekuensi, amplitudo, dan lain-lain), tekanan-tekanan dinamis dan statis di tanah akan naik lebih kurang sebanding dengan berat itu. Uji pemampatan telah membuktikan bahwa efek kedalaman dari sebuah mesin giling getar kira-kira sebanding dengan berat mesin giling itu. Beban linier statis karenanya merupakan parameter yang sangat penting bahkan untuk mesin giling getar sekalipun.

### Jumlah Gelinding Getar

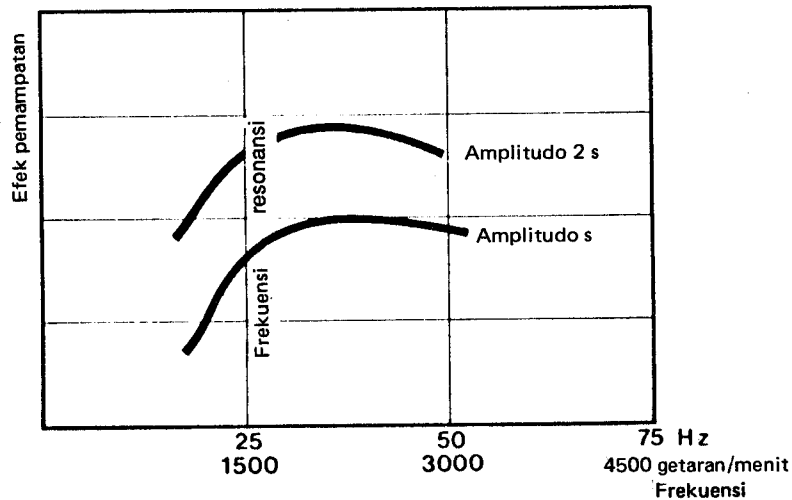
Dengan dua gelinding getar, jumlah lewatnya mesin giling dapat dikurangi dan oleh karenanya kapasitas bertambah. Perbedaan dalam kapasitas di antara mesin giling tandem dengan dua gelinding getar dibandingkan dengan satu statis dan satu gelinding getar sebagai sebuah rata-rata berjumlah sampai kira-kira 80 persen untuk tanah, dibandingkan dengan kira-kira 50 persen untuk aspal. Namun, terdapat variasi-variasi yang agak besar, tergantung pada jenis-jenis bahan yang harus dimampatkan.

### Frekuensi dan Amplitudo

Pengaruh frekuensi dan amplitudo terhadap efek pemampatan telah dibicarakan selama mesin giling telah digunakan. Sebagai suatu aturan efek pemampatan mempunyai harga maksimum



pada frekuensi di antara 25 Hz dan 50 Hz (1500 dan 3000 getaran/menit), tetapi kurva-kurva frekuensi biasanya datar, Gambar 7.15<sup>26)</sup>. Suatu kenaikan dalam amplitudo memberikan kenaikan yang pasti dalam efek pemampatan dan kedalaman di semua rentang frekuensi. Hal ini memang benar untuk semua jenis tanah, namun, lebih jelas, untuk setiap bahan yang sangat kasar, seperti misalnya urukan batuan dan tanah moraine berbatu, maupun tanah-tanah kohesif yang memerlukan tegangan tinggi untuk pemampatan yang efisien.



**GAMBAR 7.15.** Hubungan normal antara efek pemampatan, frekuensi dan amplitudo

Mesin-mesin giling getar yang dirancang untuk memampatkan volume tanah yang besar dan urukan batuan dengan lapisan tebal harus mempunyai amplitudo dalam rentang 1,5 sampai 2,0 mm. Frekuensi sebanding yang tepat adalah 25 Hz sampai 30 Hz (1500 sampai 1800 getaran/menit). Sebuah kombinasi dari amplitudo yang besar dan frekuensi yang tinggi menghasilkan tegangan peletakan gelinding yang terlalu tinggi dan memberikan kesulitan-kesulitan rancangan lainnya.

Data getaran yang disebutkan di atas juga sangat tepat untuk pemampatan bahan-bahan dasar berbutir, di mana sebuah amplitudo yang besar terutama sangat berguna jika diinginkan derajat pemampatan yang tinggi.

Untuk pemampatan aspal amplitudo yang optimal adalah 0,4 sampai 0,8 mm dan rentang frekuensi yang tepat 33 sampai 50 Hz (2000 sampai 3000 getaran/menit). Mesin-mesin giling dengan data ini dapat digunakan untuk pemampatan tanah-tanah dasar yang berbutir dan distabilkan dengan hasil baik.

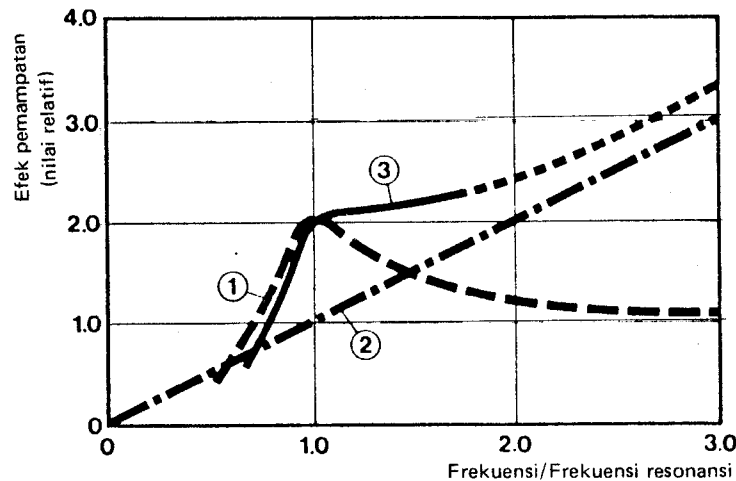
Dalam keadaan dimampatkan, tanah menjadi padat dan elastis. Dengan tanah bertindak seperti sebuah per, sistem penggetar tanah mempunyai sebuah frekuensi resonansi, biasanya di dalam rentang 13 Hz sampai 27 Hz (800 sampai 1600 getaran/menit). Nilai tersebut tergantung pada karakteristik-karakteristik tanah dan mesin giling. Di sekitar frekuensi resonansi, amplitudo gelinding akan diperbesar.

Efek pemampatan dari sebuah mesin giling getar, yang menentukan derajat pemampatan dan efek kedalaman, secara skematis dapat dihitung sebagai efek gabungan dari frekuensi resonansi sistem penggetar-tanah (penguatan amplitudo) dan efek dari naiknya frekuensi, Gambar 7.16. Kenaikan dalam frekuensi menghasilkan suatu kenaikan dalam intensitas getaran, di sini diasumsikan naik secara linier dengan frekuensi.

Dengan dasar model theologis J.M. Machet<sup>30)</sup> telah menghitung dengan komputer gaya dinamis sebenarnya atau gaya getaran ("vibrogen gaya") dari gelinding yang bergerak di atas permukaan tanah. Asumsi-asumsi harus dibuat menurut massa tanah yang bergerak, kakunya tanah dan pelembaban, dan lain-lain. Satu contoh dari perhitungan semacam itu diperlihatkan di Gambar 7.17. Diagram itu membenarkan bahwa pengaruh sebuah variasi frekuensi adalah terbatas. Tak ada hubungan langsung yang terjadi antara gaya getaran yang dihitung dan gaya sentrifugal<sup>1\*)</sup>. Di atas intensi-

1\*) Hal ini dapat dijelaskan dengan kenyataan bahwa gaya sentrifugal yang dihasilkan oleh eksentrik yang berputar menentukan gerakan gelinding pada getaran tanpa pengaruh gaya luar apapun. Besar gaya getaran yang terjadi di tanah karenanya

tas getaran tertentu gelinding mulai meninggalkan permukaan selama gerakan getaran (dekoplase”).

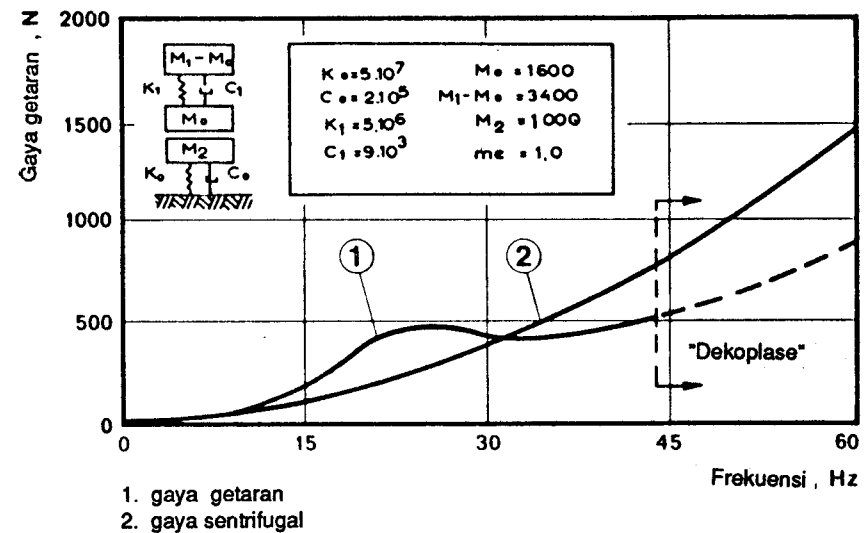


- 1 Pengaruh resonansi dari sistem penggetar-tanah
- 2 Pengaruh kenaikan intensitas getaran dengan kenaikan frekuensi
- 3 Menghasilkan efek pemampatan (efek kombinasi 1 dan 3 )

**GAMBAR 7.16.** Hubungan teoritis antara efek pemampatan dan frekuensi.<sup>26)</sup>

T.S. Yoo dan E.T. Selig<sup>31)</sup> telah membuat perhitungan yang serupa dengan terutama hasil-hasil yang sama terhadap pengaruh frekuensi. Gaya getaran, menurut asumsi-asumsi untuk perhitungan, berproporsi langsung dengan momen eksentrik. Yoo dan Selig juga telah menunjukkan kesulitan-kesulitan untuk mengukur atau memperkirakan nilai yang kaku dan kelembaban tanah. Sebuah masalah utama ialah bahwa sebuah mesin giling getar yang bergerak di atas sebuah daerah urukan terus menerus menjumpai unsur tanah baru, Gambar 7.18.

merupakan hasil dari interaksi yang agak rumit di antara gelinding dan tanah. Di dalam perhitungan-perhitungan gaya getaran sebenarnya, gaya sentrifugal adalah satu dari satuan-satuan dasar tetapi, seperti yang diperlihatkan di atas, tak ada hubungan langsung yang terjadi antara gaya sentrifugal dan gaya getaran sebenarnya.



Beberapa metode perhitungan karenanya menunjukkan bahwa variasi frekuensi mempunyai sebuah efek terbatas terhadap gaya getaran. Namun dengan gaya getaran yang konstan dan naiknya frekuensi, energi yang dipindahkan ke tanah akan naik dan usaha pemampatan per unit volume (energi) secara kira-kira dapat dinyatakan sebagai<sup>32)</sup> :

Kenaikan dalam gaya getaran yang mungkin pada frekuensi resonansi belum menemukan banyak penggunaan praktis. Satu alasan ialah bahwa operasi pada resonansi menaikkan tingkat getaran di seluruh mesin yang tidak menguntungkan bagi kenyamanan si pengendara dan bagi keandalan mekanis. Operasi pada frekuensi-frekuensi agak sedikit di atas resonansi yang sangat umum pada pemampatan tanah dan urukan batuan, seperti yang ditunjukkan di Gambar 7.16, menggunakan efek resonansi sampai sejauh tertentu tetapi dalam sebuah rentang frekuensi yang lebih "stabil".

$$\text{Usaha pemampatan} : f_1 (1) + f_2 \left( \frac{s.f}{v} \right)$$

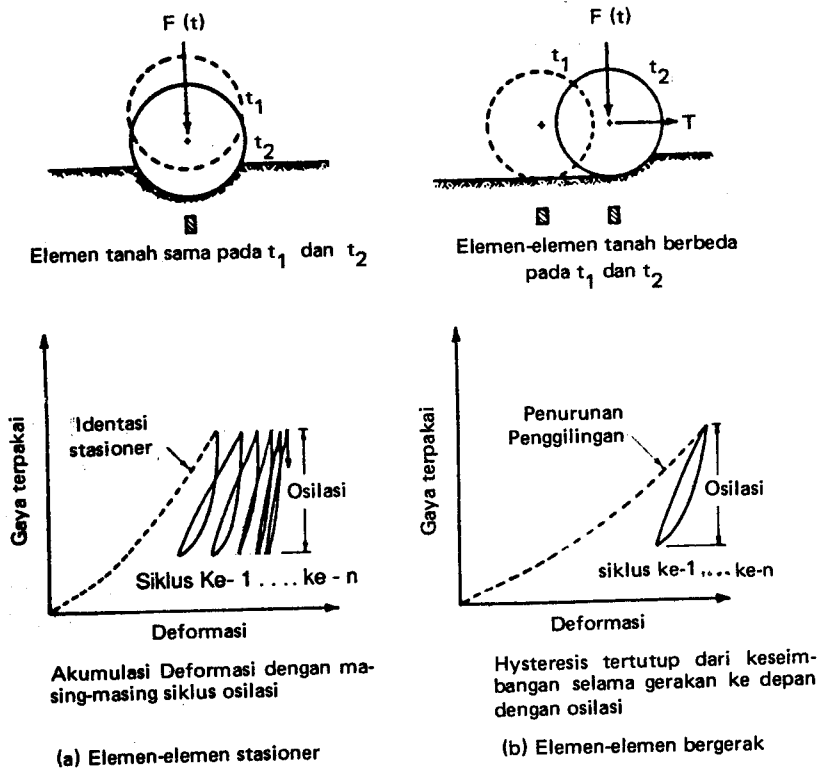
Di mana :  $f_1, f_2$  : fungsi-fungsi

$l$  = beban linier statis

$s$  = amplitudo

$f$  = frekuensi

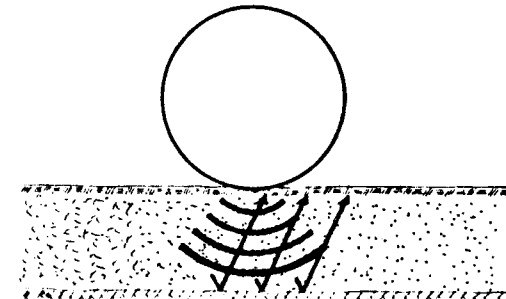
$v$  = kecepatan mesin giling



**GAMBAR 7.18.** Perbandingan antara mesin giling stasioner dan yang bergerak, Yoo dan Selig.

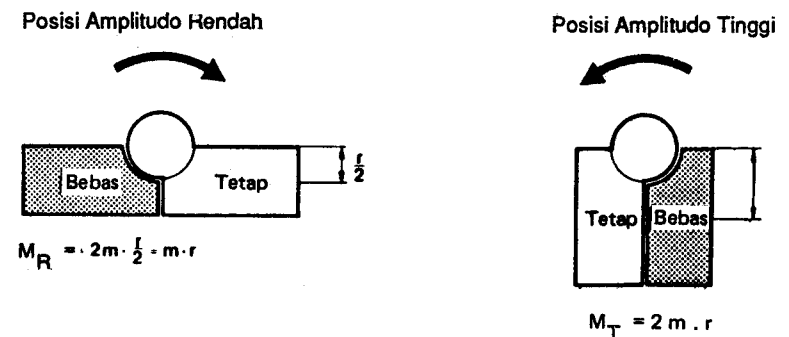
Turunnya efek pemampatan pada frekuensi tinggi seperti yang ditunjukkan di Gambar 7.115, dapat diasalkan dari kenyataan bahwa gelinding pada intensitas getaran yang terlalu tinggi meninggalkan permukaan selama gerakan getaran. Tumbukan-tum-

bukan yang lebih berat pada interval yang tak teratur ("pantulan") menghasilkan pemampatan yang berlebihan (overcompaction) dan penurunan kerapatan, Gambar 7.19. Getaran-getaran di dalam rangka mesin giling dan keausan berat dari elemen-elemen karet di antara gelinding dan rangka bisa juga terjadi pada tahap ini.



**GAMBAR 7.19.** Pemadatan berlebihan disebabkan intensitas getaran yang tinggi

Sebuah amplitudo variabel memberikan kemungkinan yang sangat baik untuk mengubah intensitas getaran, yang sangat berguna untuk lapisan-lapisan tipis. Amplitudo variabel dapat diperoleh dengan jenis eksentrik yang terbagi-bagi, diperlihatkan di Gambar 7.20, yang memberikan sebuah pilihan amplitudo rendah atau tinggi.



**GAMBAR 7.20.** Mekanisme untuk membangkitkan amplitudo dual melalui perubahan arah perputaran poros eksentrik.

Amplitudo dual tersebut telah terbukti sangat penting pada mesin giling aspal getar berukuran sedang dan besar. Selama tahun-tahun belakangan ini juga mesin-mesin giling getar yang dirancang untuk tanah dan urukan batuan telah diperlengkapi dengan amplitudo dual.

### Kecepatan Mesin Giling

Kecepatan mesin giling mempunyai pengaruh nyata pada efek pemampatan tanah. Energi yang dipindahkan ke urukan, pada ketebalan lapisan konstan, sebanding dengan:

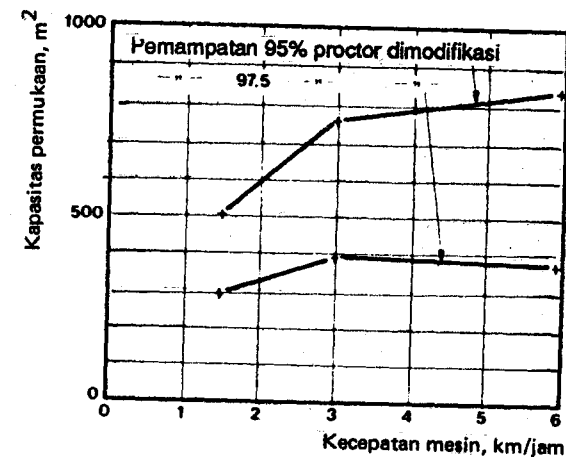
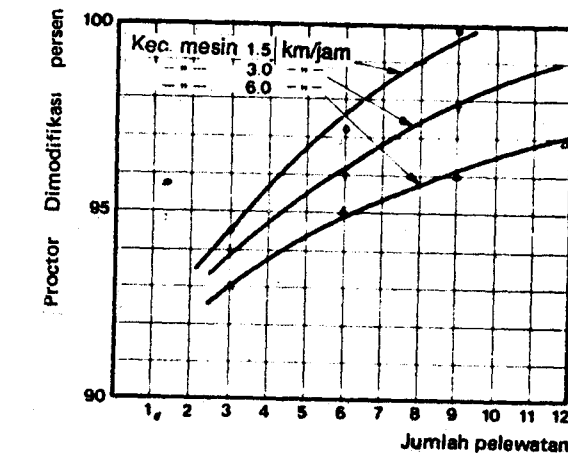
$$\frac{\text{jumlah pelewatan}}{\text{kecepatan mesin giling}}$$

Menurut rumus ini, jumlah pelewatan harus digandakan jika kecepatan **dilipatduakan**. Namun, terdapat kecepatan mesin yang optimum biasanya di antara 3 km dan 6 km/jam untuk mesin giling getar, yang beroperasi pada urukan tanah dan batuan, di mana kapasitas optimum dalam m<sup>3</sup> per jam diperoleh. Sebagai satu contoh, hasil-hasil uji yang dibuat di Laboratorium Riset Dynapac diperlihatkan di Gambar 7.21.<sup>26)</sup> Kecepatan mesin giling optimum di antara 3 km dan 6 km/jam telah juga diperoleh pada uji yang dilakukan di Perancis pada batuan hancur<sup>33)</sup> dan pada kerikil yang distabilkan dengan terak.<sup>34)</sup>

Perhatikan diagram yang memperlihatkan bagaimana efek pemampatan bertambah dengan bertambahnya jumlah pelewatan mesin giling biasanya mengikuti garis lurus jika jumlah pelewatan dinyatakan dalam skala logaritmis, lihat sebagai contoh Gambar 12.4.

Pada pekerjaan-pekerjaan besar, kecepatan optimum mesin giling harus ditentukan dengan uji pemampatan. Sebuah kecepatan optimum mesin giling pada sisi rendah, 3 sampai 4 km/jam, disarankan:

- . Pada kebutuhan kerapatan yang tinggi
- . Di tanah-tanah yang sulit dipadatkan
- . Di lapisan-lapisan tebal



**GAMBAR 7.21.** Hubungan di antara derajat pemampatan dan jumlah pelewatan (atas), dan di antara kapasitas permukaan dan kecepatan mesin giling (bawah). Uji dengan mesin giling getar jenis yang ditarik seberat 3,3 ton pada tanah yang digradasi-baik.

### Hubungan di Antara Berat Rangka dan Berat Gelinding

Hubungan di antara berat rangka dan berat gelinding mempunyai pengaruh tertentu dalam efek pemampatan. Sebuah rangka yang berat menguntungkan, sebab gelinding karenanya ditekan ke bawah terhadap tanah dan getaran-getaran yang lebih teratur diperoleh.<sup>26)</sup> Namun, terdapat sebuah limit atas untuk berat rangka yang di atas nilai itu rangka mulai meredam getaran-getaran dengan berlebihan.

### Diameter Gelinding

Diameter gelinding harus berhubungan dengan beban linier statis. Pada beban linier statis yang tinggi, diameter gelinding harus besar juga. Namun, hubungan antara diameter gelinding dan beban linier statis lebih kritis pada aspal daripada tanah.

### Gelinding Kemudi atau Bukan Kemudi

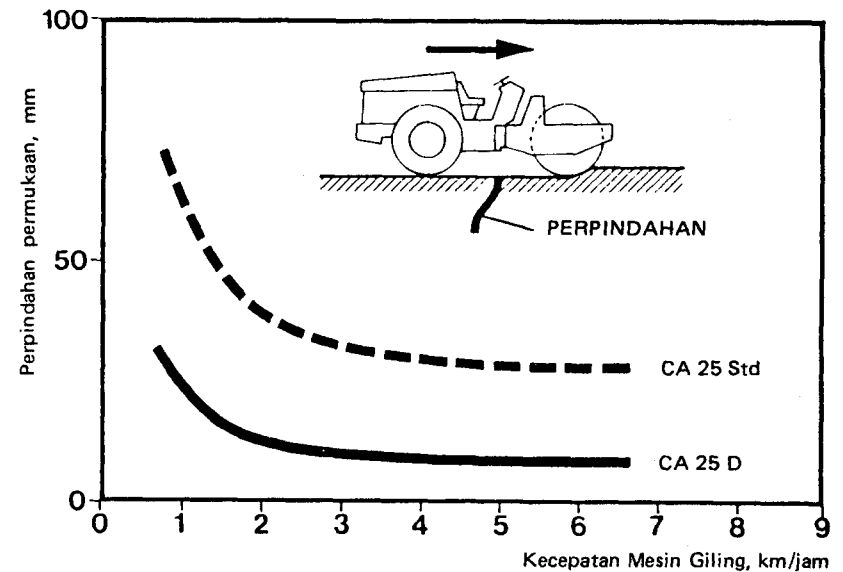
Sebuah gelinding kemudi pada sebuah mesin giling getar mempunyai kecenderungan lebih rendah untuk mendorong lapisan permukaan dari sebuah urukan daripada gelinding bukan-kemudi. Di Laboratorium Riset Dynapac perpindahan (displacement) tanah telah diukur dengan menggunakan sebuah lajur vertikal dari pasir berwarna di dalam tanah. Kecepatan rendah dari gelinding bukan-kemudi memberikan perpindahan terbesar, Gambar 7.22. Perpindahan itu jauh lebih kecil dengan gelinding kemudi dibandingkan dengan gelinding bukan kemudi, dan karenanya juga risiko, untuk terjadinya retak-retak permukaan.

Makin kecil perpindahan permukaan juga menguntungkan untuk pemampatan lapisan permukaan, terutama di tanah-tanah yang digradasi uniform.

## 7.3. PARAMETER YANG KURANG MEMADAI

### Gaya Sentrifugal

Telah diperlihatkan bahwa tak hubungan terjadi di antara gaya sentrifugal dan gaya getaran yang dipindahkan ke tanah. Gaya sentrifugal naik dengan kuadrat frekuensi, sedangkan gaya getaran sebenarnya terutama tergantung pada amplitudo.



GAMBAR 7.22. Perpindahan tanah permukaan yang diukur dengan sebuah lajur tanah berwarna. Uji dengan gelinding bukan-kemudi (CA 25 Std) dan gelinding kemudi (CA 25 D).

Namun, gaya sentrifugal memberikan sebuah ukuran umum dari intensitas getaran (percepatan) gelinding. Sebuah mesin giling getar sebaiknya tidak mempunyai percepatan gelinding yang lebih rendah dari empat sampai lima g. Nilai percepatan dapat dihitung dengan mengetahui gaya sentrifugal dan berat gelinding, Gambar 7.14. Pada berat-berat statis dan frekuensi yang sama, gaya sentrifugal dapat juga digunakan untuk perbandingan langsung di antara dua model mesin giling, karena ia kemudian memperlihatkan perbedaan relatif di dalam amplitudo.

Karena gaya sentrifugal tidak menyatakan gaya dinamis sebenarnya, sebutan "gaya dinamis" secara definisi tidak boleh digunakan sebagai sebuah penyebutan untuk gaya sentrifugal.

## Gaya Terpakai Total

Gaya terpakai total (TAF) yang didefinisikan sebagai jumlah dari berat statis dan gaya sentrifugal, telah digunakan secara sangat meluas sebelumnya, terutama oleh para pembuat mesin giling Amerika. Karena gaya sentrifugal tidak berkaitan dengan efek pemampatan, jelas bahwa gaya tercapai total tidak dapat memberikan sebuah ukuran efek pemampatan yang tepat. Asosiasi Pelaksana Industri Konstruksi Amerika (CIMA) telah merekomendasikan bahwa ukuran gaya terpakai total tidak boleh digunakan.

## Impuls dalam Ton per Detik

Pernyataan "impuls dalam ton per detik" yang didefinisikan sebagai hasil kali gaya sentrifugal dan frekuensi kadang-kadang telah digunakan sebagai sebuah ukuran efek pemampatan. Pernyataan ini mempunyai banyak dimensi (frekuensi)<sup>3</sup>. (Amplitudo) dan bahkan lebih menyesatkan daripada gaya sentrifugal sebagai sebuah ukuran efek pemampatan. Hal ini jelas memberikan sebuah nilai yang berlebihan untuk sebuah alat pemadat getar dengan sebuah frekuensi tinggi.

## Berat Statis Ekuivalen

Prinsip untuk pemampatan tanah dengan getaran, keadaan gerakan partikel-partikel digabung dengan tekanan dinamis, sangat berbeda dengan prinsip pemampatan statis. Jelas bahwa hal ini membuatnya sangat sulit untuk menemukan hubungan pasti di antara efek sebuah alat pemampat getar dan sebuah alat pemampat statis. Bertentangan dengan hal ini sebuah mesin giling getar kadang-kadang disebut mempunyai efek pemampatan yang sama dengan sebuah mesin giling statis dari berat tertentu yang lebih tinggi. Perbandingan semacam itu hanya dapat dibuat jika kedua mesin giling tersebut dispesifikasikan sama menurut berat, dimensi-dimensi, dan lain-lainnya. Kondisi-kondisi tanah juga harus ditentukan sama. Sebuah persetujuan telah dibuat di antara para pembuat alat pemampat getar di Eropa (komite untuk Peralatan Konstruksi Eropa, CECE) untuk tidak menggunakan angka-angka

berat komparatif seperti di atas. Referensi dapat dibuat untuk sebuah artikel oleh G. Garbotz.<sup>35)</sup> CIMA telah membuat rekomendasi-rekomendasi yang sama.

## 7.4. PERISTILAHAN DAN STANDAR

Di dalam spesifikasi-spesifikasi mesin giling dan pemampatan, sebuah peristilahan dan standar yang umum dikenal dan diterima harus dipergunakan. Istilah-istilah yang distandarisasi juga dipakai oleh para pembuat peralatan pemampatan di dalam spesifikasi-spesifikasi teknik dan katalog-katalog mereka untuk memungkinkan bagi para pemakai membandingkan, dalam cara yang benar secara teknis, model-model alat pemadat yang berlainan. Sebuah daftar dari standar-standar yang ada diberikan di Apendiks, hal . .

Untuk peralatan konstruksi secara umum, sebuah pekerjaan standarisasi yang luas menurut keamanan, kenyamanan, rancangan mesin, pemeliharaan, dan lain-lain, sedang berlangsung di dalam ISO (Organisasi Internasional untuk standarisasi) dan di dalam Organisasi Pasaran Bersama Eropa. Di masa depan, hasil-hasil dari pekerjaan ini akan dapat dipergunakan juga untuk peralatan pemampatan.

## 8. BEBERAPA PEMAKAIAN

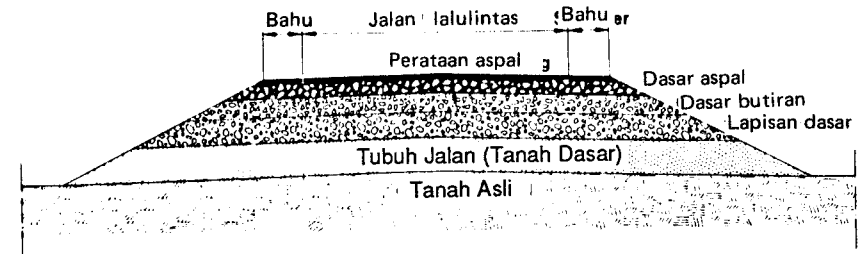
Beberapa pemakaian pemampatan tanah yang penting termasuk:

- ✓— Jalan raya, jalan biasa, jalan kecil dan tempat parkir.
- Pekarangan industri, daerah pergudangan, tempat bermain, lapangan olah raga.
- Lapangan udara.
- ✓— Tubuh jalan kereta api, dasar balas.
- ✓— Bendungan urukan tanah dan batuan, reservoir, pelapisan saluran.
- ✓— Urukan di bawah lantai dan di sepanjang dinding pondasi di bangunan.
- Urukan di dinding penahan, tumpuan jembatan dan di sekeliling gorong-gorong.
- Urukan selokan.
- Struktur-struktur tanah yang diperkuat, lihat Subbab 11.6.
- Lapisan tanah alam dengan kerapatan rendah, tanah yang mudah runtuh. Lihat Subbab 11.2.

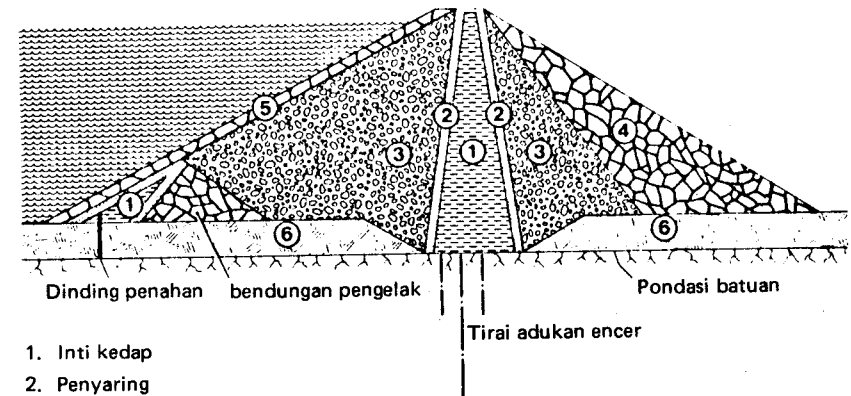
Penampang tipikal dari sebuah jalan raya dan urukan tanah batuan diperlihatkan di Gambar 8.1. dan 8.2.

Teknik pemampatan dapat dibagi menurut jenis-jenis konstruksi berikut ini <sup>36), 37)</sup> :

- Tubuh-tubuh jalan (untuk jalan raya, bendungan-bendungan urukan tanah dan batuan, dan lain-lain).
- ✓— Dasar dan lapisan dasar (untuk jalan, jalan raya, lapangan terbang, dan lain-lain).
- Daerah-daerah terbatas dan pekerjaan kecil (pekerjaan perbaikan, pengurukan parit, dan lain-lain).



GAMBAR 8.1. Penampang jalan



1. Inti kedap
2. Penyaring
3. Daerah transisi bahan butiran
4. Urukan batu
5. Sisi luar batuan (lapisan batu kosong)
6. Tanah asli

GAMBAR 8.2. Penampang bendungan

### 8.1. TUBUH JALAN

Urukan tubuh jalan berbeda-beda dari urukan batu kasar sampai tanah liat dengan partikel-partikel yang sangat kecil. Pemampatan empat kelompok tanah utama yang disebutkan di bawah ini dijelaskan. Lihat juga Bab 3, "Klasifikasi Tanah".

- Urukan batuan
- Pasir dan kerikil
- Lumpur
- Tanah liat

#### Urukan Batuan

Penggalian jalan melalui batuan menjadi makin biasa. Pada saat yang sama urukan batuan makin banyak digunakan sebagai urukan tubuh jalan di dalam pembangunan jalan raya. Urukan batuan juga digunakan lebih banyak lagi di dalam pembangunan bendungan, lapangan terbang dan pelabuhan dan sebagai bahan pondasi untuk bangunan dan daerah-daerah industri.

Ukuran batuan maksimum dan gradasi urukan batu ditentukan oleh jenis dan kualitas batuan dan prosedur peledakan. Batuan primer seperti granit dan gneiss, mempunyai kekuatan yang tinggi. Batu yang diledakkan hanya mengandung sejumlah kecil butiran halus. Peledakan normal untuk membuka batu berkualitas tinggi menghasilkan urukan batuan kasar dengan ukuran blok 1,5 m atau lebih.

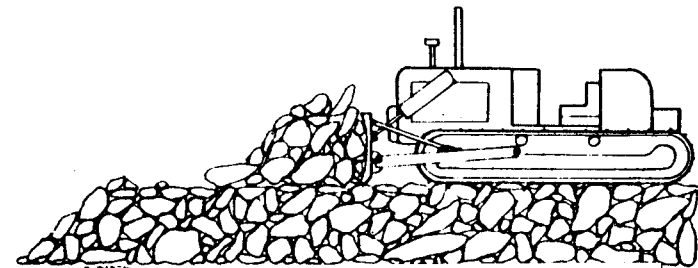
Pembangunan terowongan meninggalkan urukan batuan dengan ukuran blok maksimum yang lebih kecil dan lebih banyak butiran halus. Jika batuan itu terdiri dari kapur, batu pasir, batu slate, dan lain-lain, material yang diledakkan tadi akan mempunyai ukuran yang lebih kecil dan kandungan butiran halus yang lebih besar. Urukan batuan kadang-kadang mengandung bahan yang berbeban sarat.

Urukan batu sering mengandung begitu banyak butiran halus, sehingga pelesakan besar terjadi jika urukan tidak dimampatkan. Diurukan tinggi, seperti bendungan-bendungan urukan batuan

dengan tinggi lebih 30 m sampai 50 m, pelesakan dapat juga dihasilkan dari ujung-ujung batu yang dihancurkan pada titik-titik kontak. Dengan menggelontorkan jumlah air yang banyak digabung dengan meletakkannya di lapisan-lapisan tinggi, pernah digunakan untuk mengurangi pelesakan-pelesakan di bendungan-bendungan urukan batu. Melalui penggelontoran itu, bahan-bahan butiran halus dicegah dari ditempatkan di antara titik-titik kontak batu.

Namun, selama bertahun-tahun, pemampatan dengan mesin giling getar sedang-berat dan berat telah terbukti merupakan metode paling efisien untuk memampatkan urukan batu. Pengujian telah memperlihatkan bahwa kapasitas daya dukung beban naik sampai 10 kali melalui pemampatan yang efisien. Kapasitas daya dukung beban (modulus deformasi) dari urukan batu yang dimampatkan dengan baik dan berkualitas tinggi telah ditentukan melalui uji peletakan beban berskala besar sampai nilai di antara 100 MPa dan 150 MPa.<sup>38), 40)</sup>

Urukan batu biasanya dipencarkan dalam lapisan dari 1,5 m sampai 2 m sebelum dimampatkan dengan mesin giling getar. Metode yang digunakan untuk memencarkan bahan sebelum adalah penting sekali. Traktor yang memencarkan dalam lapisan antara 1,5 m dan 2,0 m menghasilkan urukan yang komparatif homogen yang disebabkan relokasi yang dihasilkan oleh mata pisau bulldoser dan efek pemampatan dari lintasan, Gambar 8.3. Permukaan yang komparatif padat dan rata untuk dikerjakan oleh mesin giling diperoleh. Biasanya ukuran batu maksimum sebesar 2/3 ketebalan lapisan diperbolehkan.



GAMBAR 8.3. Pemencaran urukan batuan dengan bulldoser



Pemampatan setelah pemencaran oleh traktor membutuhkan getaran berat yang memungkinkan untuk menggerakkan dan merelokasi batu-batu besar di urukan untuk mencapai kerapatan dan stabilitas yang diperlukan. Karena getaran-getaran dikirimkan melalui titik-titik kontak di antara partikel-partikel, efek peredaman akan lebih besar di dalam urukan berbutir-halus dibandingkan dengan urukan batuan kasar. Oleh karena itu dimungkinkan untuk memampatkan urukan batuan kasar di dalam lapisan-lapisan lebih tebal daripada urukan batu yang mengandung partikel-partikel yang lebih halus. Pemampatan urukan batuan yang efisien biasanya memberikan pelesakan sebesar 4 sampai 8 persen dari tebal lapisan, Gambar 8.7.

Penggelontoran air digabung dengan pemampatan getar akan menghasilkan sebuah pemampatan yang lebih baik dan dapat dipertimbangkan jika misalnya, urukan batuan mempunyai kandungan butiran halus yang tinggi atau jika kebutuhan yang sangat tinggi akan kualitas urukan diminta. Bagaimanapun juga pemberian air diperkirakan ekonomis hanya dalam kasus-kasus khusus.

Pemampatan urukan batu menghadapkan mesin giling pada tegangan yang besar. Mesin-mesin giling yang dirancang untuk pemampatan tanah tidak mempunyai kekuatan dan rentang usia untuk beroperasi pada urukan batu. Sebuah mesin giling getaran yang dirancang untuk urukan batu harus mempunyai lapisan gelinding yang tebal dari baja kualitas tinggi.

Dalam pembangunan bendungan-bendungan urukan batu, mesin-mesin giling getaran berbobot 10 ton atau 15 ton (berat modul gelinding) sekarang merupakan dua alternatif yang paling umum yang digunakan di seluruh dunia. Satu dari banyak contohnya adalah bendungan urukan batu Vatnedalsvatn di Norwegia dengan sebuah ketinggian maksimum 115 m dan volume total sebesar 4,2 juta m<sup>3</sup> di mana mesin-mesin giling Dynapac jenis CA 51 S (dikemudikan) dan CK 51 (jenis ditarik), keduanya dengan sebuah bobot modul gelinding 10 ton, memampatkan lapisan-lapisan urukan batu setebal 1,5 m Gambar 8.4.



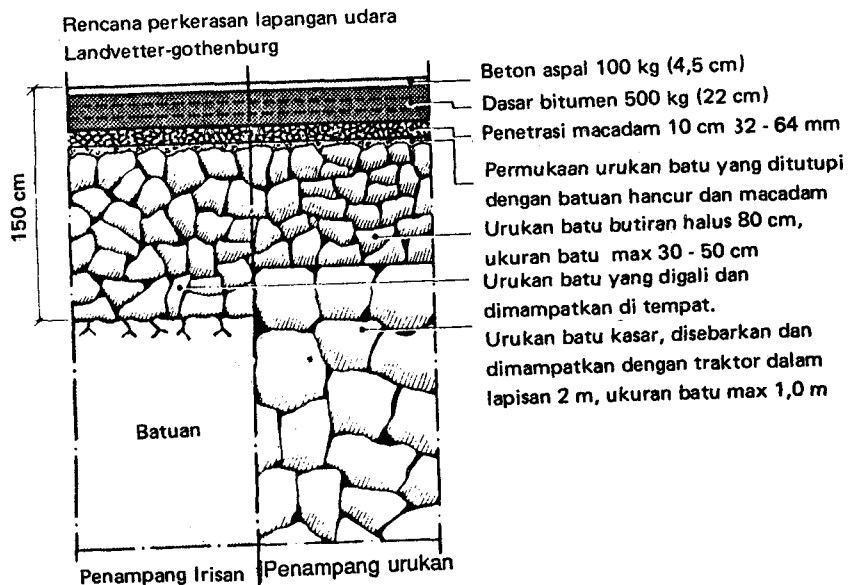
**GAMBAR 8.4.** Pemampatan urukan batu dengan mesin giling yang dikemudikan seberat 15 ton, bendungan Vatnesdalsvatn, Norwegia. Kontraktor: F. Selmer/Hiyer-Ellefsen, Norwegia.

Ukuran mesin giling yang sama telah digunakan pada penaik-an lebih rendah, kira-kira 1,0 m, untuk bendungan-bendungan yang sangat tinggi dan bendungan-bendungan yang terletak di daerah-daerah gempa-bumi. Beberapa konsultan menentukan sebuah ukuran batu maksimum yang dikurangi dalam urukan batu yang membuat pemisahan batu perlu, lihat Bab 10.

Pemampatan dengan getaran untuk urukan batu mungkin mempunyai efek penghancuran pada bahan permukaan yang membuatnya lebih disukai untuk mengurangi jumlah pelawatan mesin. Hal ini sebaliknya membawa pada pengurangan ketebalan lapisan yang perlu. Dynapac CA 51 S mempunyai sebuah sistem amplitudo dual yang dijelaskan di Bab 7, membuatnya bisa mengurangi amplitudo jika terdapat risiko untuk penghancuran.

Sebuah keuntungan dari pemampatan getar dari urukan batu ialah bahwa sebuah permukaan yang komparatif halus dan rata akan diperoleh. Hal ini mengurangi keausan ban dari kendaraan dan peralatan lain dengan ban-udara yang bekerja di daerah urukan.

Sebuah proyek urukan batu lain yang menarik adalah Lapangan Udara Landvetter dekat Gothenburg di Swedia. Lebih dari 3,9 juta m<sup>3</sup> urukan batu digali pada kecepatan antara 10.000 m<sup>3</sup> dan 12.000 m<sup>3</sup> per hari. Perencanaan perkerasan diperlihatkan di Gambar 8.5. Tubuh jalan (peninggian) urukan batu dengan ketinggian maksimum 12 m dimampatkan dengan lapisan-lapisan 2,0 m oleh mesin giling Dynapac berbobot 15 ton, Gambar 8.6 dan 8.7. Untuk konstruksi lapisan dasar dan dasar, urukan balik dalam parit-parit dan untuk perataan permukaan aspal, 1,2 juta ton batu hancur dihasilkan di tempat itu. Untuk pemampatan dasar dan lapisan dasar, mesin-mesin giling tandem getar sebesar 5 ton dan 10 ton dari jenis yang ditarik digunakan.



**GAMBAR 8.5. Penampang perkerasan, Lapangan Terbang Landvetter, Swedia.**

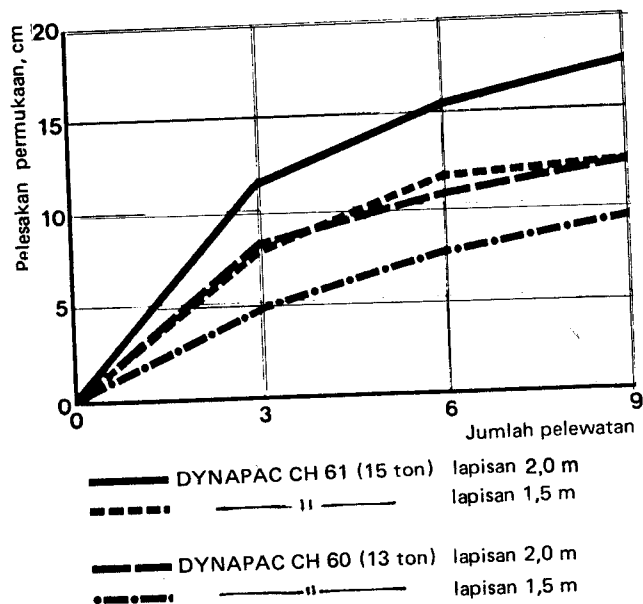


**GAMBAR 8.6. Pemampatan urukan batu di Lapangan Udara Landvetter dengan mesin giling getar jenis yang ditarik. Kontraktor: Skansa dan Svenska Vag AB, Swedia.**

Sebuah contoh dari urukan batu yang dimampatkan yang digunakan sebagai pondasi untuk sebuah proyek industri besar diberikan di Gambar 8.8. <sup>40)</sup>

Urukan batu yang dimampatkan telah dipergunakan secara luas sebagai pondasi untuk bangunan-bangunan apartemen di Skandinavia. Di proyek-proyek ini, biasanya lapisan-lapisan 1,0 m telah dimampatkan hanya oleh mesin-mesin giling getar 6 ton, yang dirancang untuk pemampatan urukan batu.

Di peninggian jalan dan lapangan udara, maupun urukan-urukan pondasi yang terdiri dari batuan berkualitas tinggi dan biasanya dengan ketinggian di bawah 10 m sampai 20 m, pelesakan jangka-panjang, kurang dari 0,1 persen dari ketinggian-ketinggian telah dicatat.

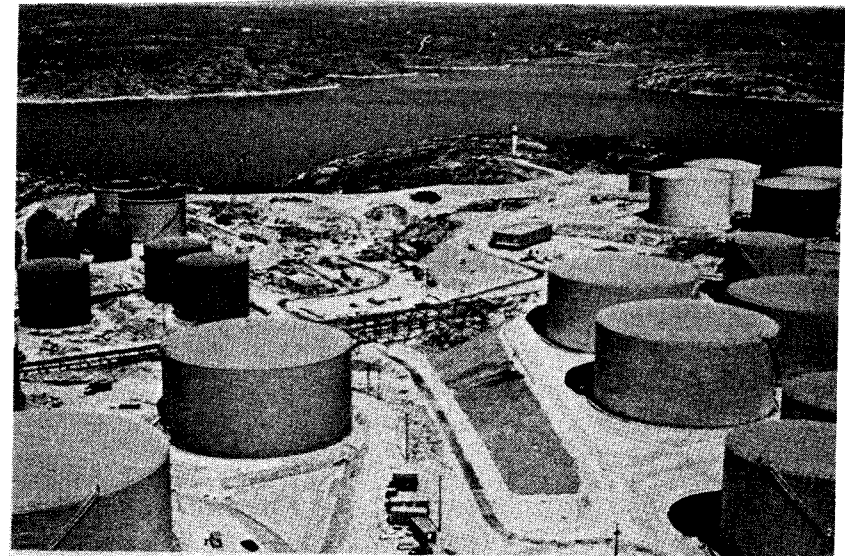


**GAMBAR 8.7.** Pelesakan urukan batu pada pemampatan dengan mesin giling getar yang berat. Uji pemampatan, Lapangan Udara Landvetter.

Di bendungan-bendungan urukan batu yang dimampatkan dengan getaran dan dengan ketinggian seperti itu yang menjadikan terjadinya penghancuran sisi, pelesakan jangka-panjang sebesar 0,5 persen dari ketinggian bendungan bisa diharapkan, yang sebanding dengan kira-kira 0,5 m untuk sebuah bendungan tinggi 100 m.

Bahan-bahan seperti batuan lemah yang rusak karena hawa dan lempengan, memerlukan pemampatan yang sangat efisien karena penetrasi air melalui jenis urukan tubuh jalan semacam itu bisa menyebabkan disintegrasi berturut-turut. Pemampatan yang diperlukan karenanya harus memasukkan penghancuran bahan untuk membuat semua rongga terisi. Mesin giling getar jenis sheepsfoot atau pada foot terutama cocok untuk memperoleh gabungan efek penghancuran dan pemampatan. Ketebalan lapisan harus dibatasi.

Kapur adalah batu kapur lemah yang putih yang mempunyai sifat-sifat kohesif jika basah. Di iklim basah, batu kapur yang digunakan sebagai bahan urukan, oleh karenanya harus dimampatkan tanpa diperlambat lagi. Mesin giling dengan gelinding getar halus dan jenis padfoot direkomendasikan dengan ketebalan lapisan yang sama seperti untuk tanah liat.<sup>4)</sup>



**GAMBAR 8.8.** Penyulingan Scanraff, Brofjorden, Swedia, yang dibangun di atas 0,6 juta m<sup>3</sup> urukan batuan yang dimampatkan. Kontraktor: BPA, Sentab dan Skanska.

#### Pasir dan Kerikil

Ketika pemampatan dengan getaran pertama kalinya diperkenalkan di dalam skala besar untuk pemampatan tanah di tahun 1950-an metode itu diperkirakan hanya memadai untuk pasir, kerikil dan batuan hancur. Memang jelas bahwa pemampatan dengan getaran sangat tepat dan ekonomis untuk pasir dan kerikil. Di antara alasannya disebabkan karena kemungkinan-kemungkinannya untuk pemampatan bahan-bahan dalam lapisan yang tebal,

setebal 0,5 m atau lebih dengan mesin giling getar 5 ton dan sampai 1,5 m untuk mesin giling getar 15 ton (berat modul gelindingnya). Kerapatan yang tinggi bisa diperoleh dengan alat pemadat getar yang sangat ringan jika ketebalan lapisan terbatas, seperti yang dibicarakan di Bab 6.

Berlainannya sifat-sifat pemampatan pasir bebas air dan kerikil yang mengandung kurang dari 5 sampai 10 persen butiran halus dibandingkan dengan jenis-jenis tanah lainnya telah dibicarakan di Bab 2.

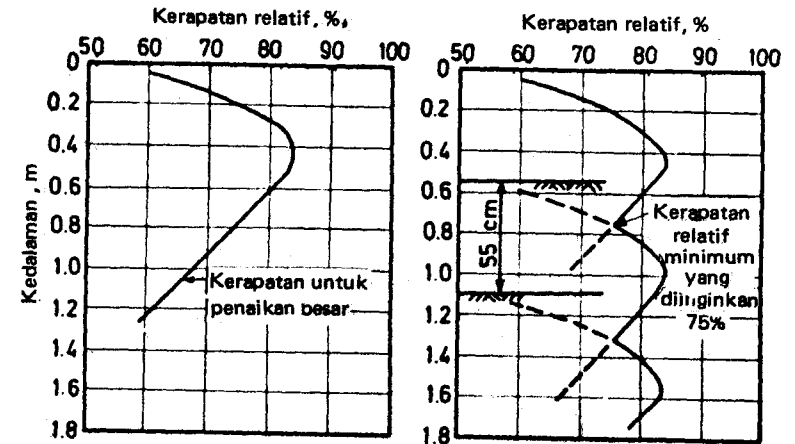
Pasir bebas-air dan kerikil akan mencapai kerapatan yang lebih tinggi dan juga dapat dimampatkan dalam lapisan-lapisan yang lebih tebal jika mereka disaturasi air daripada kandungan air alam yang lebih rendah. Untuk kebutuhan akan kerapatan dan kualitas urukan yang lebih baik, air harus ditambahkan. Urukan semacam itu bisa dibanjiri dengan air untuk menjamin saturasi air. Dalam hal urukan bebas-air, hujan tidak menghentikan pekerjaan, yang sering merupakan kasus pada tanah-tanah yang tidak bebas-air. Urukan-urukan yang sangat basah, bebas-air keduanya diambil airnya dan dimampatkan jika digetarkan.

Jika pasir atau kerikil mengandung banyak butiran halus, tanah tersebut tidak lagi bebas-air dan akan menjadi elastis dan lentur seperti per jika kandungan air tinggi. Dalam keadaan ini, bahan itu tak mungkin dimampatkan sampai kerapatan tinggi yang sama dengan pada kandungan air optimum.

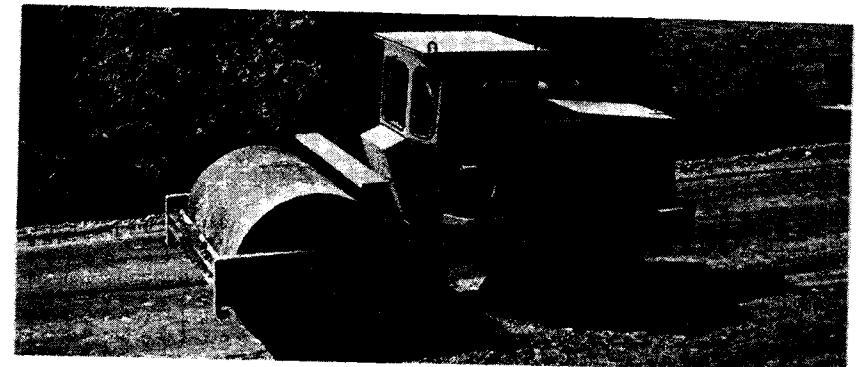
Di atas pasir yang digradasi-baik atau kerikil, sulit untuk memperoleh sebuah derajat pemampatan yang tinggi dekat dengan permukaan urukan. Ke bawah sampai kedalaman 100 mm sampai 150 mm, pemampatan yang dicapai dengan mesin giling getar atau statis yang berukuran sedang atau berat adalah lebih rendah daripada pada kedalaman yang lebih besar, Gambar 8.9. Alasannya ialah tegangan geser dari pasir yang digradasi-baik rendah. Bahan ditekan ke atas di belakang gelinding mesin dan lapisan permukaan kemudian memperoleh kerapatan yang komparatif rendah. Di dalam praktek hal ini biasanya tidak begitu jelas. Jika sebuah urukan ditaruh di beberapa lapisan, lapisan atas sebelumnya di-

mampatkan jika lapisan berikutnya digiling. Namun kesulitan memampatkan lapisan permukaan harus diingat, jika mengerjakan uji pemampatan.

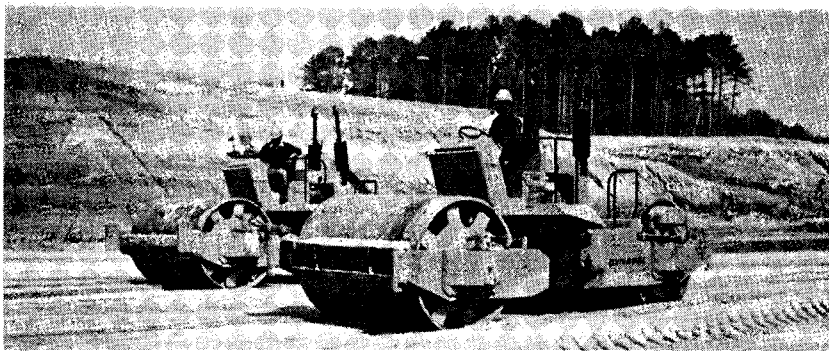
Contoh pemampatan pasir dan kerikil diperlihatkan di Gambar 8.10 dan 8.11. Kemungkinan-kemungkinan memampatkan pasir kering dan kerikil dibicarakan di Sub bab 11.1, "Pemampatan Kering". Keuntungan-keuntungan pemampatan di



GAMBAR 8.9. Kurve-kurve kerapatan yang diperoleh dengan pasir yang digradasi-uniform.<sup>27)</sup>



GAMBAR 8.10. Kerikil dengan mesin giling getar yang bisa dikemudikan pada pembuatan jalan



**GAMBAR 8.11.** Pemampatan pasir dengan mesin giling getar tandem di Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir River Bend, Louisiana, Amerika. Kontraktor: Pieter Kiewit, Amerika

dalam keadaan tersaturasi air dibicarakan di Sub bab 11.2, "Pemampatan Pasir yang Dalam" dan di Sub bab 11.3, "Pemampatan Di bawah Air".

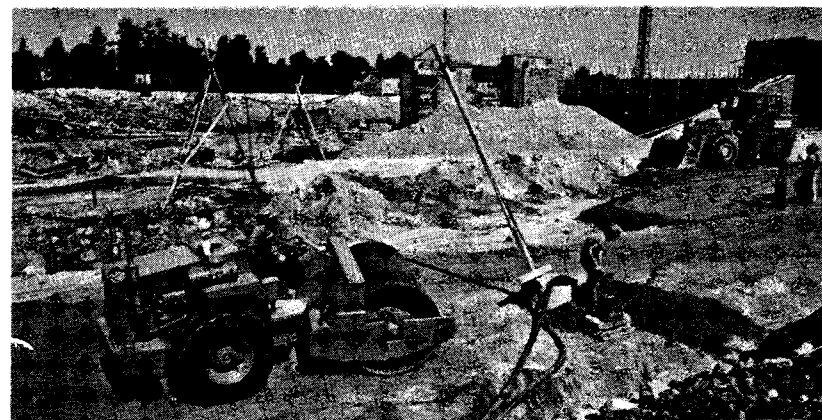
### Lumpur

Lumpur adalah butiran-butiran halus yang non-plastik. Sebuah masalah khusus dengan pasir yang sangat halus dan lumpur adalah bahwa bahan itu pada kandungan air yang tinggi dan di bawah pengaruh lalu lintas atau getaran, cepat berubah menjadi keadaan yang kira-kira cair disebabkan tekanan air pori yang dihasilkan oleh kerja mekanis (pencairan). Lumpur juga sangat suseptibel (mudah terpengaruh) oleh peningkatan pembekuan.

Lumpur dan tanah-tanah berlumpur, seperti semua tanah berbutir-halus, sampai suatu derajat tertentu tergantung pada kandungan air selama pemampatan yang tidak boleh berbeda terlalu besar dengan kandungan air optimum. Pengaliran air dari lubang galian bahan adalah salah satu cara untuk mengurangi kandungan air, lihat Bab 10. Pada kandungan air optimum, lumpur dan tanah-tanah berlumpur komparatif mudah dimampatkan. Pasir berlumpur maupun lumpur murni mempunyai kohesi rendah dan dapat

dimampatkan dalam penaikan yang agak tebal, 0,7 m sampai 1,0 m dengan menggunakan mesin giling getar yang berat dengan bobot modul gelinding 10 ton sampai 15 ton.

Tanah-tanah morain juga (tanah-tanah glasial) dapat dimampatkan dalam lapisan-lapisan dari kekuatan yang sama dengan jenis-jenis mesin giling yang sama.<sup>41)</sup> Tanah-tanah moraine sering mengandung batu dengan ukuran maksimum besar. Pemampatan dalam lapisan yang tebal jauh lebih ekonomis daripada pemampatan dalam penaikan yang tipis yang membutuhkan pemindahan batu-batu besar. Hal ini membuang waktu yang juga mahal, lihat Bab 10. Mesin giling gelinding halus dengan getaran digunakan untuk pemampatan tanah-tanah moraine. Di musim hujan, tanah-tanah moraine dapat dimampatkan dengan berhasil sampai kerapatan yang ditetapkan pada kandungan air sampai 3 atau 4 persen di atas optimum. Sejak bertahun-tahun getaran, yang merupakan metode pemampatan standar untuk dinding penghalang bendungan yang mengandung tanah moraine, sangat umum di Skandinavia dan Kanada, Gambar 8.12.



**GAMBAR 8.12.** Pemampatan moraine dengan mesin giling getar yang dikemudikan berbobot 10 ton pada pembangunan bendungan, Pembangkit listrik Ljusnefors Swedia. Kontraktor: Skanska, Swedia.

Tanah-tanah berlumpur yang mengandung sejumlah tertentu tanah liat mungkin mempunyai kohesi besar dan akan mempunyai sifat-sifat pemampatan yang serupa dengan sifat-sifat tanah berlempung. Oleh sebab itu tanah-tanah berlempung mempunyai sifat-sifat pemampatan yang agak berbeda yang mencakup rentang di antara bahan-bahan non-kohesif dan tanah lempung murni.

Debu terbang (abu bahan bakar) mempunyai sifat-sifat pemampatan yang serupa dengan lumpur dan dapat dimampatkan dengan baik oleh mesin-mesin giling dengan beban linier statis yang rendah atau sedang.<sup>41)</sup>

### Tanah Liat

Tanah liat mempunyai sifat-sifat plastis. Karakteristik-karakteristik pemampatan sangat tergantung pada kandungan air. Jika kandungan air rendah, tanah liat keras dan kaku. Di atas kandungan air optimum, konsistensi menjadi makin plastis jika kandungan air naik.

Untuk memperoleh kerapatan tertentu, kandungan air tidak boleh berbeda terlalu jauh dari kandungan air optimum dan persoalan utama dalam pemampatan tanah liat sangat sering untuk menyesuaikan kandungan air menjadi optimum. Penambahan air pada bahan tanah liat kering dengan menggunakan tangki-tangki air, garu, pulvimikser (penstabil tanah), dan lain-lain, adalah membuang waktu dan mahal. Peresapan air di lubang galian bahan adalah alternatif lain. Pengeringan bahan tanah liat kering hanya dapat dilakukan di dalam iklim yang kering dan panas, bahkan kemudian menggunakan garu-garu atau pulvimikser. Operasi penggilingan yang berkepanjangan dengan mesin giling sheepsfoot kadang-kadang dipergunakan untuk mengeringkan sebuah tanah basah. Lebih banyak kenyataan tentang penyesuaian kandungan air dari bahan tanah liat diketemukan di Bab 10.

Bahan-bahan tanah liat dengan plastisitas tinggi dihindarkan dan jarang digunakan sebagai bahan urukan disebabkan kompresibilitas yang tinggi, tegangan geser yang rendah (kestabilan rendah) dan kesulitan-kesulitan dengan pengendalian kandungan air-

kerapatan. Sebuah aturan bahwa limit cairan sebuah urukan tanah liat tidak boleh melebihi 50 persen. Tanah liat dari jenis MH dan CH (H = kompresibilitas tinggi) karenanya dihindarkan sebagai bahan-bahan urukan, lihat Bab 3.

Bahkan pada kandungan air optimum, tanah liat membutuhkan usaha pemampatan yang besar dan ketebalan lapisan yang lebih rendah dibandingkan dengan tanah non-kohesif. Alat pemadat harus mengeluarkan gaya-gaya kompresi dan geser yang relatif besar. Kemungkinan untuk memampatkan tanah lempung dengan alat-alat pemampat getar menjadi makin jelas. Referensi dapat dibuat bagi kerja riset yang dimulai tahun 1950-an oleh F.J. Converse<sup>42)</sup> di Amerika, sampai pada uji pemampatan awal oleh Laboratorium Riset jalan di Inggris, dan lebih baru lagi pengalaman-pengalaman lapangan yang luas. Meskipun demikian, masih terdapat kepercayaan yang luas bahwa pemampatan dengan getaran hanya cocok untuk pemampatan tanah-tanah non-kohesif.

Namun, perlu bagi mesin giling getar yang digunakan untuk pemampatan tanah liat untuk mempunyai bobot statis yang agak tinggi. Dengan gelinding sheepsfoot dan padfoot dimungkinkan untuk meningkatkan lebih jauh gaya-gaya yang bekerja di permukaan dan untuk memecahkan gumpalan-gumpalan urukan tanah liat yang kira-kira keras.

Untuk memampatkan sebuah tanah lempung, tekanan kontak yang digunakan pada tanah itu harus mengatasi tahanan geser bahan. Mesin-mesin giling berisi udara menghasilkan tekanan permukaan maksimum sebesar 0,6 sampai 0,8 MPa. Tekanan kontak ini memungkinkan untuk memampatkan tanah-tanah liat dengan kekuatan rendah atau sedang (kekuatan kompresi tak terbatas di bawah 0,2 MPa) Tabel 3.3. Seperti yang sebelumnya disebutkan, tanah-tanah liat dengan kandungan air di atas optimum, mempunyai kekuatan yang komparatif rendah dan karenanya dapat dimampatkan dengan mesin-mesin giling berisi udara berbobot ringan atau sedang. Mesin giling berisi udara yang ditarik, berbobot berat dengan bobot 40 ton atau lebih agak banyak digunakan secara luas untuk pemampatan tanah liat di pembangunan bendung-

an dan lapangan udara. Mereka membutuhkan sebuah traktor berat untuk menarik dan tidak sangat mudah bergerak.

Pemampatan tanah liat atau tanah-tanah berlempung dengan kekuatan tinggi membutuhkan penggunaan mesin giling statis atau getar jenis sheepsfoot atau padfoot untuk membangkitkan tekanan yang perlu. Mesin-mesin giling getar sheepsfoot, diperkenalkan pertama kalinya di sekitar tahun 1960. Pemakaian tunggal terbesar untuk mesin giling jenis ini adalah reservoir penyimpanan air Ludington di Michigan, Amerika, yang dibangun antara tahun 1969 dan 1972. Lebih 16 kombinasi mesin-mesin giling getar sheepsfoot Dynapac berbobot 5 ton berganda-tiga, Gambar 8.13, digunakan setelah uji komparatif dengan mesin giling sheepsfoot statis, dan mesin giling berisi udara berbobot 30 ton.



**GAMBAR 8.13.** Pemampatan tanah liat dengan mesin giling getar sheepsfoot 4 ton yang ditarik ganda di Reservoir Ludington, Michigan, Amerika

Mesin giling yang ditarik sampai sejauh tertentu sekarang telah digantikan oleh mesin giling yang bisa dikemudikan. Kecenderungan lain ialah bahwa mesin giling sheepsfoot telah digantikan oleh mesin giling padfoot. Mesin giling padfoot biasanya mempunyai kapasitas dalam  $m^3$  per jam yang lebih besar daripada mesin giling sheepsfoot. Mereka juga memampatkan lapisan permukaan sampai kerapatan yang lebih tinggi dan lebih uniform daripada mesin giling sheepsfoot.

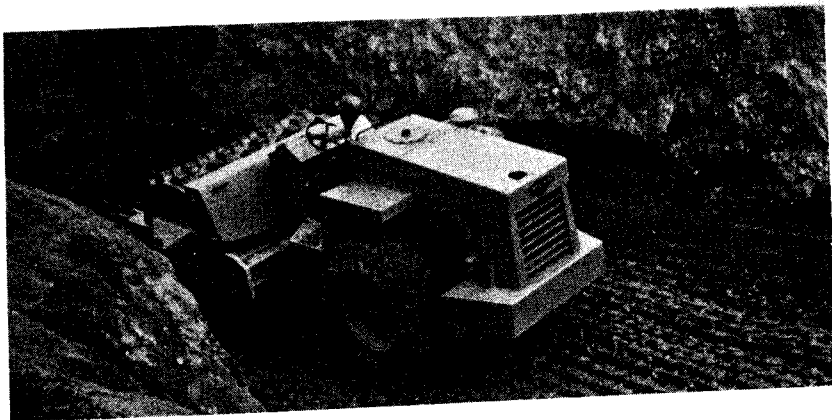
Mesin-mesin giling padfoot statis, yang juga disebut mesin giling penumbuk, mempunyai bobot statis dalam rentang 15 sampai 40 ton dan beban gelinding linier statis di antara 30 dan 80 kg/cm. Model-model yang lebih berat memungkinkan ketebalan lapisan sampai kira-kira 0,3 m. Mereka bekerja dengan kecepatan tinggi dan dengan cara ini dapat memperoleh kapasitas permukaan yang tinggi. Mereka dilengkapi dengan lempeng-lempeng perata dan efisien dalam menebarkan bahan urukan dan menghancurkan gumpalan-gumpalan yang sering besar dan keras yang diperoleh pada penggalian tanah liat.

Mesin giling getar padfoot yang dapat dikemudikan dengan bobot modul gelinding kira-kira 7 ton (berat statis total kira-kira 11 ton), mempunyai sebuah beban linier statis dari gelinding padfoot sekitar 30 kg/cm. Dengan jenis mesin giling ini, dimungkinkan untuk memampatkan bahan-bahan tanah liat pada kandungan air di sekitar optimum dalam lapisan-lapisan sampai 0,3 m (setelah pemampatan) sampai kerapatan-kerapatan di antara 95 dan 100 persen Standar Proctor, Gambar 8.14. Mesin giling getar padfoot yang lebih berat, dengan bobot modul gelinding 10 ton, mempunyai beban linier statis sekitar 50 kg/cm, Gambar 8.15. Tebal lapisan bisa dinaikkan sampai 0,4 m. Sekarang mesin-mesin giling getar tandem dengan dua gelinding padfoot diperkenalkan dan menyatakan alternatif lebih jauh untuk pekerjaan-pekerjaan besar pemampatan tanah liat, Gambar 8.16.

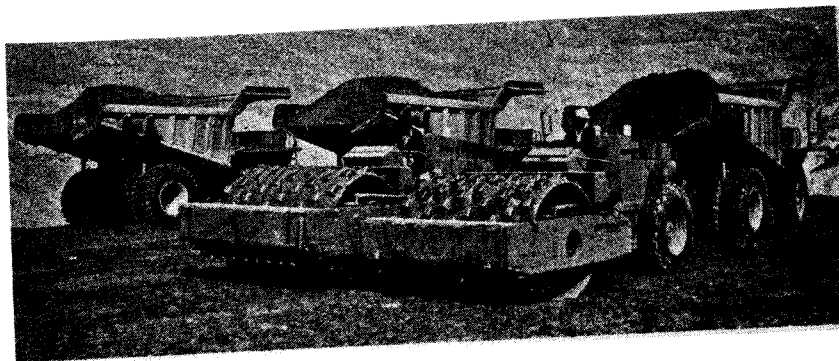
Mesin-mesin giling getar padfoot mampu memampatkan lapisan-lapisan yang lebih tebal daripada mesin-mesin giling padfoot. Mereka juga lebih tetap menurut jenis tanah, yang disebabkan gabungan gaya-gaya statis dan dinamis.

Dalam prakteknya, sebuah kombinasi dari sebuah mesin giling padfoot statis (mesin giling penumbuk) yang digunakan untuk menebar dan pra-mampat bahan, dan mesin giling getar 10 ton atau 15 ton telah terbukti cocok dan ekonomis, Gambar 8.17. Untuk pemakaian ini, mesin-mesin giling getar dengan gelinding halus dan berat juga digunakan dengan hasil-hasil baik.





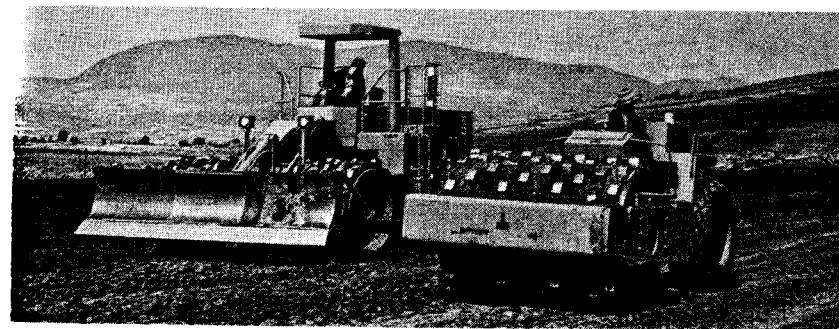
**GAMBAR 8.14.** Pemampatan tanah liat dengan mesin giling getar padfoot 11 ton. Bendungan Finch, Toronto, Kanada. Kontraktor: Armbro, Ontario, Kanada.



**GAMBAR 8.15.** Pemampatan tanah liat dengan mesin giling getar padfoot 15 ton. Bendungan Brouguiba Sidi Saad, Tunisia. Kontraktor: Skanska, Swedia, Italsrade, Italia, Comp. Mediterranee de Travaux publics, Tunisia and Foundation International, Kanada.



**GAMBAR 8.16.** Pemampatan tanah liat dengan mesin giling getar tandem 18 ton dengan gelinding padfoot. Lapangan Udara Stewart, Newbrough, Negara Bagian New York, Amerika. Kontraktor: S.J. Groves & Sons, Amerika Serikat.

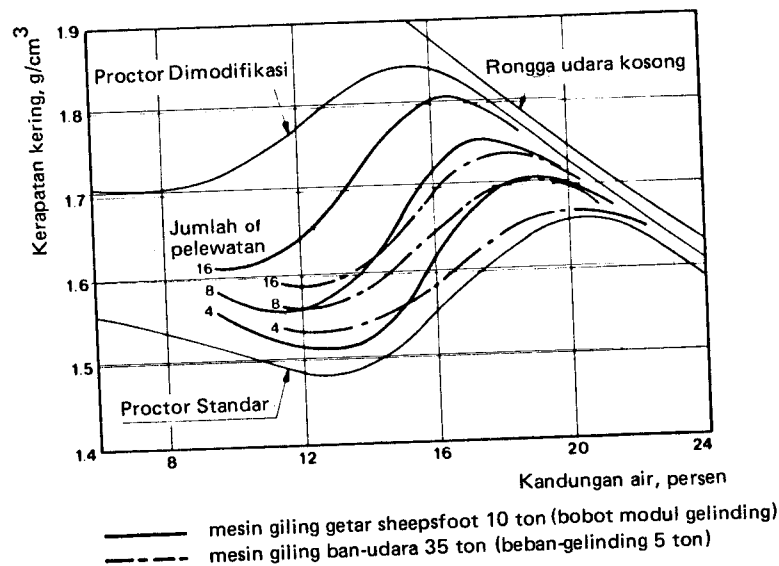


**GAMBAR 8.17.** Pemampatan tanah liat dengan kombinasi mesin giling statis dan getar. Bendungan Harezza Aljazair. Kontraktor: BPA, Swedia.

Sebuah masalah yang sering timbul adalah jika pemampatan tanah liat dengan getaran ditandai dengan hubungan-hubungan lain di antara kandungan air dan kerapatan dibandingkan dengan pe-



mampatan statis. Hasil uji Australia yang diperlihatkan di Gambar 8.18. menunjukkan bahwa kurve-kurve pemampatan mengikuti pola yang sama untuk pemampatan getar, pemampatan statis dan uji laboratorium.<sup>43)</sup>



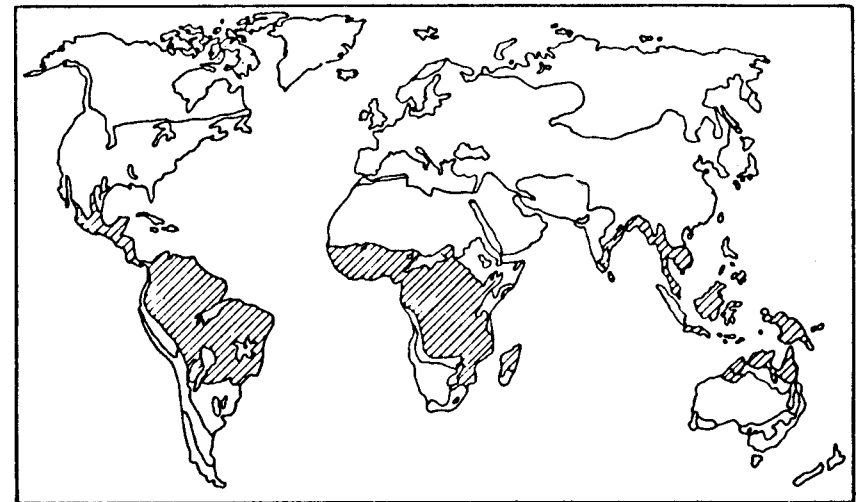
**GAMBAR 8.18.** Hasil uji pemampatan pada tanah liat yang dilakukan di Australia.<sup>43)</sup>

Kerapatan spesifik untuk urukan tanah liat biasanya di antara 95 dan 100 persen Proctor Standar. Selama tahun-tahun belakangan ini sebagian pejabat dan konsultan telah menentukan 95% Proctor Dimodifikasi untuk peninggian jalan mobil yang terdiri dari tanah liat. Untuk sebuah bahan tanah liat ini kira-kira sebanding dengan 105 persen Proctor Standar dan membutuhkan sebuah usaha pemampatan yang besar. Kandungan air pada tanah menjadi sebuah faktor yang bahkan lebih kritis dan perbedaan-perbedaan yang lebih besar daripada maksimum 2,0 persen dari nilai air maksimum biasanya tidak dapat diterima.

Tanah Laterit <sup>44)</sup> adalah lebih kurang tanah-tanah yang berlempung, yang berasal dari perusakan batuan karena hawa di

bagian dunia ini yang tropis dan subtropis, Gambar 8.19. Warnanya sering merah yang disebabkan karena adanya besi. Sifat-sifat itu memperlihatkan variasi yang besar dan mereka bisa terdiri dari semua fraksi dari blok (batu guling) sampai tanah liat. Sebuah tanah laterit mempunyai kandungan tanah liat dalam rentang 20 sampai 30 persen, Gambar 3.2. Tanah-tanah laterit yang digra dasi-baik dengan kandungan tanah liat rendah juga terdapat, cocok sebagai bahan lapisan dasar dan dasar. Tanah-tanah laterit juga telah digunakan secara luas di dalam pembuatan tunggal jalan dan bendungan-bendungan tanah di berbagai bagian daerah tropis.

Di dalam laboratorium uji pemampatan, tanah-tanah laterit dipengaruhi oleh metode-metode yang digunakan untuk pengeringan dan pemberian air dan mereka juga peka terhadap penghancuran selama uji Proctor.



**GAMBAR 8.19.** Peta dunia yang memperlihatkan distribusi tanah laterit.<sup>44)</sup>

Pemampatan getar telah berhasil digunakan untuk pemampatan bahan-bahan dasar dan lapisan dasar laterit. Mesin-mesin giling getar padfoot telah digunakan dengan hasil-hasil baik pada jenis

tanah laterit yang lebih kohesif di pembuatan jalan dan bendungan. Kerapatan melebihi 95% Proctor. Dimodifikasi dapat dicapai.

Tanah-tanah liat, yang ditandai dengan pembengkakan dan pengerutan yang besar pada berbagai kandungan air, menyebabkan masalah besar jika digunakan sebagai urukan tubuh jalan dan pondasi. Tanah liat yang menggembung sering mengandung mineral montmorilonit. Tanah kapas hitam adalah sejenis tanah liat yang susptibel terhadap pengembangan dengan plastisitas tinggi dan kandungan air optimum setinggi 25 sampai 30 persen. Mencampur dengan air membuang waktu. Tanah kapas hitam ditemukan, misalnya, di India, Afrika dan Amerika Serikat.

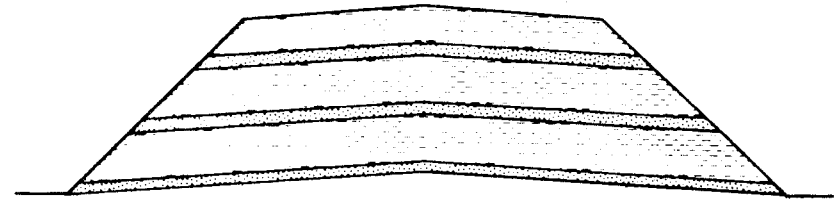
Tanah-tanah liat basah dapat dimampatkan dalam lapisan yang jauh lebih tebal daripada tanah liat kering. Di lapangan, kandungan air sering sangat melebihi optimum. Sebuah tanah liat kering, yang lebih kurang plastis dapat dimampatkan dengan usaha terbatas menjadi sebuah masa yang homogen yang mempunyai kandungan rongga udara tidak lebih dari 5 sampai 10 persen. Namun kandungan air dari tanah liat tak dapat dikurangi lebih daripada pemampatan marginal, bahkan yang diperluas. Jika kandungan air jauh lebih besar daripada yang optimum, derajat pemampatan akan menjadi komparatif rendah, meskipun rongga udara telah dikurangi sampai ke tingkat yang rendah, lihat gambar 4.3.

Di negara-negara dengan iklim basah yang konstan, Inggris misalnya, tanah-tanah di dalam urukan tubuh jalan dapat dimampatkan pada kandungan air yang lebih tinggi daripada yang optimum tanpa pelesakan serius di masa depan yang disebabkan konsolidasi. Penelitian-penelitian di Inggris telah memperlihatkan bahwa kandungan air sampai kira-kira 1,2 limit plastis, atau bahkan agak lebih tinggi dapat diterima. Di atas kandungan air ini kondisi kondisi traksi untuk alat pembuang, truk-truk, dan alat-alat pemat menjadi makin sulit yang juga merupakan faktor penghalang untuk penggunaan tanah liat basah sebagai bahan-bahan urukan.

Pemampatan getar bahan-bahan urukan kohesif, atau tanah-tanah alam kohesif dengan tingkat air tanah yang tinggi, bisa me-

nyebabkan perpindahan air ke permukaan urukan dan naiknya plastisitas bahan. Di bawah kondisi-kondisi semacam ini, penggunaan getaran karenanya harus dihindari atau dikurangi. Hal ini juga berlaku untuk lapisan pertama yang ditempatkan di atas bahan kohesif basah.

Jika tanah-tanah liat basah harus digunakan sebagai urukan tubuh jalan, lapisan-lapisan tanah liat dan kerikil bergantian dapat dipergunakan untuk memperoleh pengurangan kandungan air yang lebih cepat dan urukan yang lebih stabil (konstruksi sandwich), Gambar 8.20.



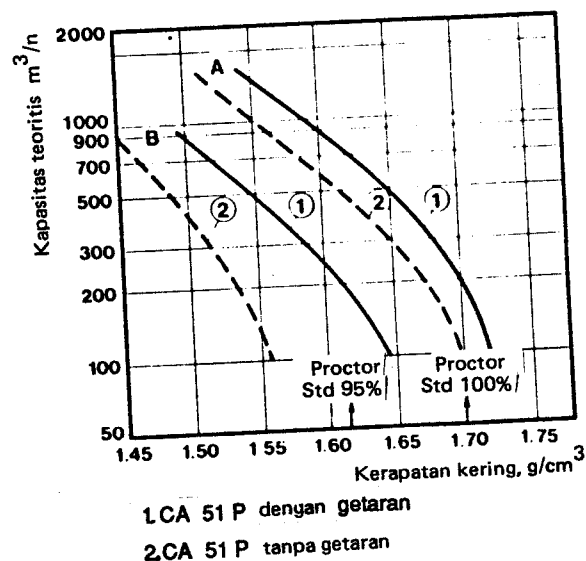
GAMBAR 8.20. Kontruksi tubuh jalan Sandwich dengan lapisan-lapisan tanah liat dan pasir bergantian

#### Stabilisasi Lumpur dan Tanah Liat dengan Kapur

Stabilisasi kapur, yang agak digunakan secara luas di Jerman Barat misalnya, merupakan satu cara untuk memperbaiki sifat-sifat kualitas bahan-bahan lumpur dan tanah liat dengan kandungan air. Pemampatan lumpur atau tanah liat yang distabilisasi dengan kapur adalah pemakaian lain dari mesin-mesin giling getar padfoot yang sangat cocok. Uji yang dibuat di Institut Penelitian Jalan Rouen Perancis mengenai lumpur yang distabilisasi kapur dengan sebuah mesin giling getar padfoot menunjukkan bahwa bahan ini dapat dimampatkan dengan efisien dalam lapisan-lapisan 300 mm – 400 mm.<sup>45)</sup>

Kapasitasnya adalah dua kali sebesar jika mesin giling itu dioperasikan dengan getaran dibandingkan dengan jika dioperasikan statis. Gambar 8.21.

Pemampatan tanah liat yang distabilisasi-kapur di dalam sebuah lerengan terusan diperlihatkan di Gambar 11.14.



**GAMBAR 8.21.** Hasil-hasil uji pemampatan pada lumpur yang distabilisasi-kapur yang dibuat di Institut Penelitian Jalan di Rouen, Perancis. Kapasitas sebagai sebuah fungsi dari kerapatan rata-rata (A) dan sebagai sebuah fungsi dari kerapatan pada dasar lapisan yang dimampatkan (B)

### Ketebalan Lapisan dan Kapasitas yang Direkomendasikan

Ketebalan lapisan maksimum yang direkomendasikan untuk mesin giling getar pada pemampatan tubuh jalan, urukan bendungan, dan lain-lain, diberikan di Bab 9.

## 8.2. DASAR DAN LAPISAN DASAR

### Dasar dan Lapisan Dasar Butiran

Untuk dasar butiran, pemampatan getar telah lama menjadi metode pemampatan standar. Derajat pemampatan yang ditentukan, biasanya dalam rentang 95 sampai 100 persen Proctor Dimodifikasi, berarti bahwa ketebalan lapisan maksimum haruslah lebih rendah daripada di dalam pemampatan tubuh jalan (embankment).

Untuk pemampatan dasar, mesin giling getar bobot sedang merupakan alternatif yang paling umum. Dengan bobot gelinding statis kira-kira 5 ton yang sebanding dengan sebuah beban linier statis sebesar 25 kg/cm, bahan-bahan dasar butiran biasanya digiling sampai kerapatan yang ditentukan di dalam lapisan-lapisan 150 mm sampai 300 mm. Model-model yang dapat dikemudikan dipergunakan makin banyak, Gambar 8.22 dan 8.23.



**GAMBAR 8.22.** Pemampatan dasar pada pembangunan jalan di Oman dengan mesin-mesin giling getar yang bisa dikemudikan setelah penebar agregat. Kontraktor: Consolidated Contractors International Company (CCC), Yunani.

Bahan-bahan dasar bebas-air dapat digetarkan dengan efisien dengan air berlebih. Namun risiko pemisahan (segregasi) harus diamati. Pemampatan bahan-bahan dasar pada kandungan air optimum adalah alternatif yang paling umum.

Di banyak negara mesin-mesin giling hetar dan mesin-mesin giling ban-udara digunakan bersama-sama untuk pemampatan dasar dan lapisan dasar butiran. Alternatif lain adalah penggunaa kombinasi mesin-mesin giling, lihat Bab 7.



**GAMBAR 8.23.** Pembangunan dasar jalan dengan mesin giling getar tandem 6 ton, East Road Manila. Kontraktor: Vinell, Pilipina.

Amplitudo variabel adalah sebuah sifat menguntungkan untuk pemampatan dasar. Amplitudo maksimum memberikan efek pemampatan yang baik di dalam bagian bawah sebuah dasar, sedangkan sebuah amplitudo yang lebih rendah adalah yang terbaik untuk lapisan atas. Pada bahan-bahan yang mempunyai suatu kecenderungan untuk menjadi sangat keras pada kerapatan yang makin tinggi, yang menyebabkan mesin giling getar "memantul", sebuah perubahan menjadi amplitudo rendah untuk melewati mesin giling terakhir sering menguntungkan.

Mesin giling getar dengan gelinding-gelinding kemudi mempunyai keuntungan bahwa gaya-gaya horisontal yang bekerja di permukaan adalah lebih rendah daripada gelinding-gelinding bukan-kemudi. Hal ini menghasilkan gerakan-gerakan horisontal dari lapisan permukaan yang lebih kecil dan lebih kecilnya kecenderungan terjadinya retak-retak permukaan.

Kebutuhan yang lebih besar akan kerapatan yang tinggi pada pemampatan dasar, seperti spesifikasi untuk kira-kira 100 persen Proctor Dimodifikasi, memerlukan usaha pemampatan yang sangat tinggi dan menghasilkan berkurangnya kapasitas, lihat Bab 5.

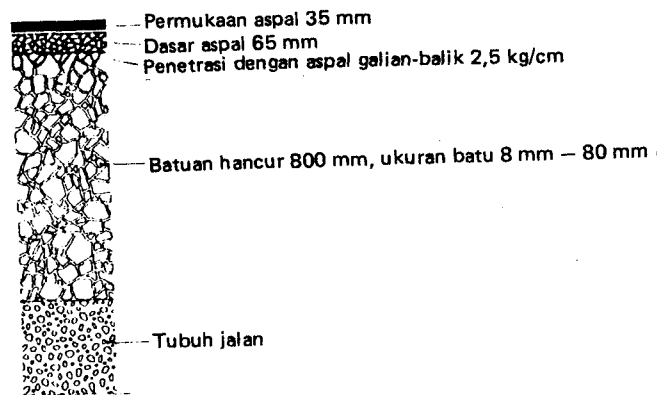
Untuk berbagai macam jenis dasar macadam (macam penetrasi, macadam yang diisi dengan butiran-butiran halus, dan lain-lain) pemampatan getar sekarang ini kurang lebih bersifat wajib.

Dalam beberapa kasus, bahan-bahan dasar yang terdiri dari batuan halus dihancurkan di permukaan jalan dengan mesin-mesin giling terali statis. Mesin-mesin giling getar padfoot telah digunakan untuk maksud yang sama.

Pemampatan lapisan dasar memberikan sebuah rentang antara di antara pemampatan tubuh jalan dan dasar jalan. Lapisan dasar terdiri dari terutama dari jenis-jenis tanah berbutir, tetapi butiran-butiran halus dengan persentasi tinggi diizinkan di banyak negara. Kerapatan yang ditentukan biasanya lebih tinggi daripada untuk tubuh jalan dan mesin-mesin giling hetar yang berat bisa memberikan keuntungan-keuntungan yang baik untuk pemampatan jenis-jenis bahan lapisan dasar yang semi kohesif semacam itu. Bahan-bahan lapisan dasar dari pasir dan kerikil dengan persentasi maksimum butiran halus yang kecil bisa dimampatkan dengan efisien dalam penaikan-penaikan yang tebal kira-kira 0,5 m, dengan mesin giling getar yang berbobot sedang, Gambar 8.10.

Sebuah lapisan dasar dari batuan hancur dengan ukuran batu maksimum sebesar 80 mm sampai 200 mm telah ditemukan merupakan alternatif yang sangat ekonomis jika bahan batuan diperoleh dari penggalian jalan. Lapisan atas lebih disukai ditutup dengan batuan yang lebih halus dan disemprotkan bitumen untuk

mengikat permukaan, Gambar 8.24. Sebuah lapisan dasar dari batuan hancur biasanya dimampatkan dengan mesin-mesin giling getar berbobot sedang di dalam lapisan-lapisan sampai kira-kira 0,8 m. Sebuah dasar jalan raya yang sangat stabil diperoleh.



**GAMBAR 8.24.** Potongan melalui penampang jalan dengan lapisan dasar batuan hancur. Jalan Raya E4, Swedia.

Koral, yang dikeruk atau digali dari tebing-tebing koral, digunakan sebagai bahan urukan dan bahan dasar maupun sebagai lapisan permukaan pada jalan-jalan kerikil. Koral adalah bebas-air dan dapat dimampatkan dengan efisien dengan mesin-mesin giling getar padfoot dan gelinding-halus.<sup>46)</sup>

Di seluruh dunia, dasar-dasar dari butiran, sebagai akibat dari meningkatnya lalu lintas, digantikan oleh bahan-bahan dasar yang diikat (diproses), biasanya dasar-dasar bitumen. Teknik getaran aspal diliputi di dalam manual Dynapac "Vibratory Asphalt Compaction" (Pemampatan Aspal dengan Getaran)<sup>47)</sup> dan tidak dimasukkan dalam buku pegangan ini.

#### Pemampatan Bahan-bahan yang Distabilkan

Makin naiknya harga bitumen, stabilnya produk-produk lain, terutama semen, kapur, terak, dan abu terbang, menjadi makin

umum. Penstabilan dengan lignin dan resin dan bahan-bahan kimia lainnya juga telah dipelajari. Satu alasan untuk menggunakan stabilisasi ialah bahwa sumber-sumber daya alam bahan kerikil sedikit demi sedikit digunakan. Di daerah-daerah iklim tropis dan subtropis, keperluan untuk memperbaiki sifat-sifat tanah alam membuat stabilisasi tanah sangat menguntungkan.

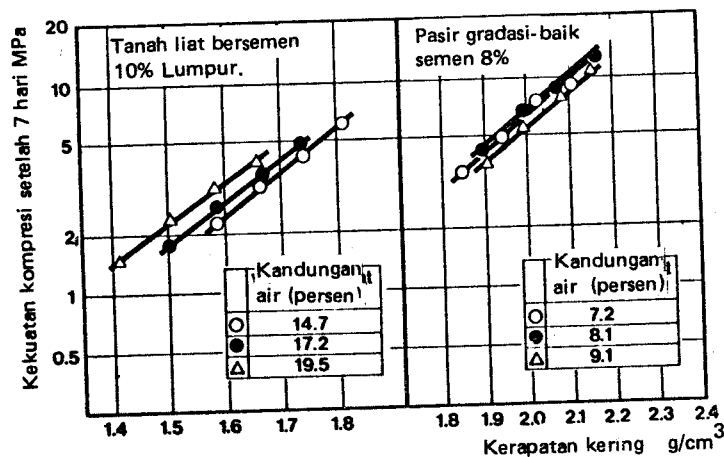
Semen digunakan untuk menstabilkan berbagai macam tanah, tetapi lebih disukai bahan-bahan berbutir-halus. Tanah-tanah yang digradasi-baik dengan maksimum 15 sampai 35 persen lumpur dan tanah liat memberikan hasil terbaik. Dengan stabilisasi kapur, mineral tanah liat penting untuk reaksi kimia dengan tanah. Proporsi semen atau kapur biasanya di antara 3 sampai 7 persen dari berat tanah kering. Bitumen kebanyakan digunakan untuk menstabilkan tanah-tanah berpasir.

Stabilisasi dapat dibuat di tempat di atas permukaan jalan dengan alat penstabil banyak-lewat atau dengan alat penstabil satu kali-lewat. Percampuran itu dapat juga dilakukan dalam alat-penyampur dan penyebarannya dengan mesin pelapis jalan, sering pelapis aspal biasa.

Beton kurus adalah kerikil yang digradasi-baik, yang dicampur dengan semen dan air pada konsistensi kering-tanah. Beton kurus digunakan sebagai material dasar di Inggris dan di banyak negara lainnya. Di Amerika, sebuah dasar yang terdiri dari kerikil dicampur dengan semen disebut dasar yang diproses dengan semen (CTB).

Mesin giling getar telah terbukti efisien juga untuk tanah-tanah yang distabilkan dengan semen dan terak. Seperti untuk jenis-jenis bahan serupa lainnya (beton semen biasa, beton aspal, dan lain-lain) derajat pemampatan mempunyai pengaruh yang menentukan pada kualitas. Untuk semen tanah, sebuah kenaikan kerapatan sebesar 5 persen akan menaikkan kekuatan sampai dengan 50 persen, Gambar 8.25.<sup>48)</sup> Bahaya retak-retak kerutan adalah kekhawatiran yang umum. Sebuah kerapatan yang tinggi dan sebuah kandungan air yang rendah membatasi risiko ini. Pe-

nutupan sambungan perlu untuk mencegah pengeringan bahan yang distabilkan-semen dengan terlalu cepat.

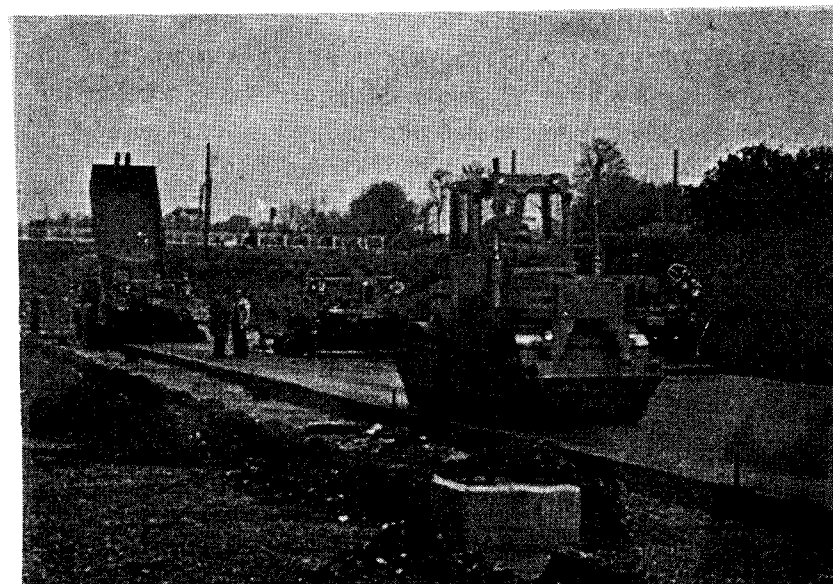


GAMBAR 8.25. Hubungan antara kerapatan dan kekuatan untuk semen tanah

Mesin getar dengan beban linier statis kira-kira sebesar 25 kg/cm, biasanya memerlukan 3 atau 4 pelewatan untuk mencapai 95 atau 100%. Proctor dimodifikasi pada semen tanah, Gambar 8.26. Seperti pada perataan permukaan aspal, mesin-mesin giling berisi udara memberikan kerapatan yang lebih rendah daripada mesin giling getar, Tabel 8.1. <sup>49)</sup>

Di banyak negara, misalnya Perancis, terak tanur tinggi makin banyak digunakan untuk menstabilkan bahan-bahan dasar jalan butiran (grave-laitier).<sup>34)</sup> Terak digradasi-baik sendiri kadang-kadang digunakan sebagai bahan dasar jalan. Di dalam kedua hal tersebut pemampatan getar merupakan sebuah metode pemampatan yang sangat memadai. Abu terbang juga dipergunakan untuk menstabilkan bahan-bahan berbutir.

Jika tanah yang distabilkan ditaruh di atas sebuah lapisan dasar yang lunak, mesin-mesin giling getar dengan beban linier statis rendah atau sedang lebih disukai.



GAMBAR 8.26. Pemampatan kerikil yang distabilkan-semen, Kopenhagen, Denmark, dengan mesin giling getar tandem 10 ton. Kontraktor: Nils P. Lundh, Swedia.

Tabel 8.1. Hasil-hasil uji pemampatan pada kerikil yang distabilkan-semen. Kandungan semen 3,5 persen  
Kandungan air 5,0 persen

Jenis mesin giling	Jumlah pelewatan mesin giling get. + statis	Kerapatan Kering (Derajat pemampatan, Proktor dimodifikasi)			Ketebalan lapisan mm
		Rata-rata <sup>3</sup> g/cm <sup>3</sup>	Standar Deviasi	Nilai Minimum <sup>3</sup> g/cm <sup>3</sup>	
Mesin giling getar tandem 6 ton	4 + 2	2,25 (98,3%)	± 0,04	2,19 (95,6%)	179
Mesin giling getar dikemukakan 10 ton	4 + 2	2,25 (98,3%)	± 0,05	2,18 (95,2%)	170
Mesin giling	8	2,21 (96,5%)	± 0,06	2,17 (94,8%)	160

### 8.3. DAERAH TERBATAS DAN PEKERJAAN-PEKERJAAN KECIL

Untuk pemampatan di daerah-daerah terbatas dan pekerjaan-pekerjaan kecil, alat pemampatan ukuran kecil diperlukan. Mereka juga bertindak sebagai peralatan bantu yang penting bagi mesin-mesin giling besar pada proyek-proyek besar.

Terdapat banyak contoh pekerjaan-pekerjaan pemampatan yang dilakukan dengan mesin-mesin yang lebih kecil yang mempunyai kaitan besar dengan keselamatan, kualitas dan lama umum bangunan yang telah selesai.

Untuk mencegah pelesakan, urukan sering dimampatkan di bawah lantai atau pondasi di bangunan-bangunan yang menggunakan alat pemampat pelat dengan kelas berat 100 kg sampai 400 kg.

Di dalam parit-parit pipa, terutama urukan palung bagian bawah dan sekitarnya yang dimampatkan. Palung yang dimampatkan baik dan urukan sekitarnya mengurangi tekanan pada pipa. Pemampatan urukan balik terutama penting di dalam parit-parit pipa di bawah jalan-jalan dan jalan-jalan raya. Ada pemampat getar pelat, penumbuk getar dan mesin giling gelinding ganda yang dikendalikan orang dengan berjalan di belakang dipergunakan untuk pemampatan parit, gambar 8.27.

Untuk pembangunan jalan raya, mesin-mesin pemampatan yang lebih kecil diperlukan untuk pembangunan baru yang kecil dan pekerjaan-pekerjaan perbaikan maupun untuk memampatkan urukan di sebelah tembok pangkal jembatan. Pelesakan dapat mudah terjadi di mana tubuh jalan bertemu lantai jembatan jika pemampatan dilakukan dengan tidak sempurna.

Untuk pembangunan bendungan, pemampatan yang terdekat dengan lapisan dasar, yang dapat terdiri dari tanah atau batuan, adalah penting untuk mencapai struktur yang kedap, Gambar 8.12. Jenis-jenis mesin yang lebih kecil juga diperlukan untuk pemampatan yang sangat dekat dengan tiang-tiang turap dan struktur beton.

Pekerjaan-pekerjaan yang disebutkan di atas memiliki persyaratan-persyaratan mengikat untuk derajat pemampatan dan keseragaman sama seperti pekerjaan-pekerjaan pemampatan berskala besar. Mesin-mesin yang lebih kecil karenanya harus memiliki



**GAMBAR 8.27.** Gambar pemampatan parit dengan alat pemampat getar pelat dan mesin giling gelinding-ganda.

data teknis yang diperlukan untuk tempat pekerjaan dan kondisi-kondisi tanah sebenarnya.

Umumnya ongkos per m<sup>3</sup> untuk penebaran dan pemampatan tanah di proyek-proyek lebih kecil akan beberapa kali lebih besar daripada pekerjaan-pekerjaan skala besar. Terdapat suatu kebutuhan untuk rasionalisasi melalui pengembangan peralatan pemampatan yang lebih efisien, lebih mudah ditangani dan berukuran kecil. Jenis-jenis alat pemampat ukuran kecil yang berlainan dije-

laskan di Bab 7. Alat pemadat plat getar terutama cocok untuk pemampatan tanah-tanah berbutir. Untuk tanah-tanah semi-kohesif dan kohesif, model-model alat pemampat yang lebih berat diperlukan. Alat-alat pemampat plat getar dengan gerakan maju dan mundur makin banyak digunakan.

Alat-alat penumbuk getar beroperasi pada frekuensi kira-kira 10 Hz (600 getaran/menit) dan dengan sebuah amplitudo sampai kira-kira 20 mm (tumbukan kira-kira 40 mm). Tindakan menumbuk dari mesin itu menghasilkan tekanan yang besar dan memberikan efek pemampatan yang baik meskipun pada tanah-tanah kohesif.

Mesin-mesin giling gelinding-ganda dengan orang berjalan di belakangnya (mesin giling Duplex) digunakan untuk pemampatan parit, konstruksi-konstruksi perkerasan dan pekerjaan-pekerjaan yang serupa,

Tabel 9.2. memperlihatkan ketebalan lapisan maksimum dalam praktek dan kapasitas-kapasitas untuk peralatan pemampatan ukuran kecil.

## 9. PERHITUNGAN KAPASITAS

Faktor yang terutama menentukan kapasitas permukaan dari sebuah mesin giling adalah:

- Lebar gelinding.
- Jumlah pelewatan.
- Kecepatan mesin gelinding.
- Efisiensi operasi.

Kapasitas volume  $Q$  m<sup>3</sup>/jam dapat dihitung menurut rumus yang sangat terkenal :

$$Q = c \cdot \frac{W \cdot v \cdot H \cdot 1000}{n} \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\text{Di mana } c = \text{faktor efisiensi} = \frac{\text{kapasitas praktis}}{\text{kapasitas teoritis}}$$

$W$  = lebar gelinding, m

$v$  = kecepatan mesin gelinding, km/jam

$H$  = ketebalan lapisan setelah pemampatan, m

$n$  = jumlah pelewatan

Dengan mengasumsikan bahwa mesin giling ada dalam operasi yang kira-kira terus menerus (50 unit per jam) dan bahwa penggilingan dilakukan dengan liwatan normal, sebuah faktor efisiensi sebesar 0,75 dapat dipergunakan untuk pemampatan tanah.



Contoh:

Mesin giling getar yang dikemudikan berat 10 ton dengan roda-roda kemudi ban-udara ada di atas pasir:

$$W = 2,13 \text{ m}$$

$$v = 4,0 \text{ km/jam}$$

$$H = 0,5 \text{ m}$$

$$n = 6 \text{ kali}$$

$$Q = 0,75 \cdot \frac{2,13 \cdot 4,0 \cdot 0,5 \cdot 1000}{6} \cong 530 \text{ m}^3/\text{jam}$$

### Kapasitas pada Pemampatan Tubuh Jalan

Ketika menghitung kapasitas sebuah alat pemadat, ketebalan lapisan maksimum yang tepat terutama ditentukan oleh jenis bahan dan kerapatan yang ditentukan. Sebagai petunjuk umum Tabel 9.1. memberikan ketebalan lapisan maksimum dalam praktek untuk bahan-bahan tubuh jalan yang dimampatkan dengan jenis-jenis mesin giling getar yang berlainan sampai sebuah derajat pemampatan minimum 90 persen Proctor dimodifikasi untuk tanah-tanah butiran dan 95 persen Proctor Standar untuk tanah-tanah kohesif.

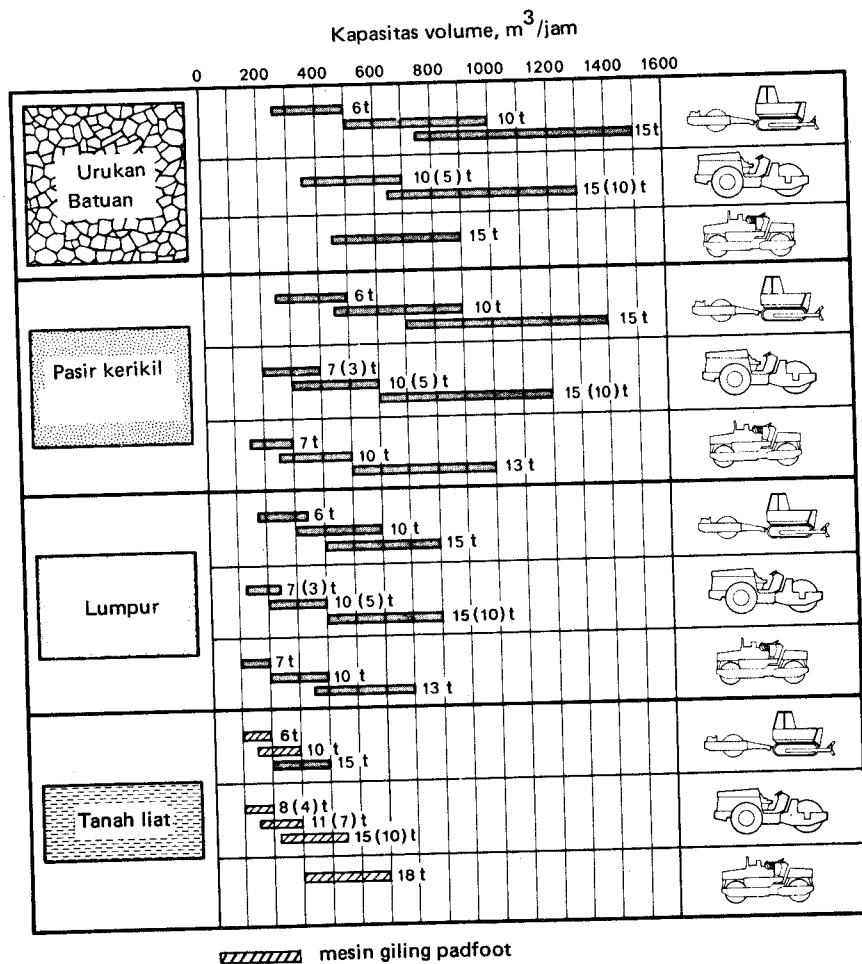
Gambar 9.1. menunjukkan rentang kapasitas normal untuk berbagai jenis dan ukuran mesin giling getar yang bergetar pada operasi terus menerus. Angka-angka tersebut didasarkan pada jumlah pelewatan mesin giling sebanyak 4 sampai 6 kali untuk mesin giling getar tandem dengan dua gelinding getar dan 6 sampai 8 kali untuk mesin-mesin giling getar dengan satu gelinding getar.

Tabel 9.1. Ketebalan lapisan maksimum dalam praktek (m) setelah pemampatan untuk berbagai jenis mesin giling yang berlainan pada permukaan yang berbeda.

Bobot stasis jenis mesin giling (bobot modul gelinding di dalam kurung)	Tubuh jalan				Lapisan Dasar	Dasar
	Urukan batuan 1)	Pasir kerikil	Lumpur	Tanah liat		
Mesin giling getar yang ditarik						
6 ton	0,75	0,60	0,45	0,25	0,40	0,30
10 ton	1,50	1,00	0,70	0,35	0,60	0,40
15 ton	2,00	1,50	1,00	0,50	0,80	—
6 ton padfoot	—	0,60	0,45	0,30	0,40	—
10 ton padfoot	—	1,00	0,70	0,40	0,60	—
Mesin giling getar yang dikemudikan						
7 (3) ton	—	0,40	0,30	0,15	0,30	0,25
10 (5) ton	0,75	0,50	0,40	0,20	0,40	0,30
15 (10) ton	1,50	1,00	0,70	0,35	0,60	0,40
8 (4) ton padfoot	—	0,40	0,30	0,20	0,30	—
11 (7) ton padfoot	—	0,60	0,40	0,30	0,40	—
15 (10) ton padfoot	—	1,00	0,70	0,40	0,60	—
Mesin giling getar tandem						
2 ton	—	0,30	0,20	0,10	0,20	0,15
7 ton	—	0,40	0,30	0,15	0,30	0,25
10 ton	—	0,50	0,35	0,20	0,40	0,30
13 ton	—	0,60	0,45	0,25	0,45	0,35
18 ton padfoot	—	0,90	0,70	0,40	0,60	—

1) Untuk urukan batuan hanya mesin-mesin giling yang dirancang khusus untuk maksud ini.

Catatan: Pemakaian-pemakaian yang paling tepat ditandai •

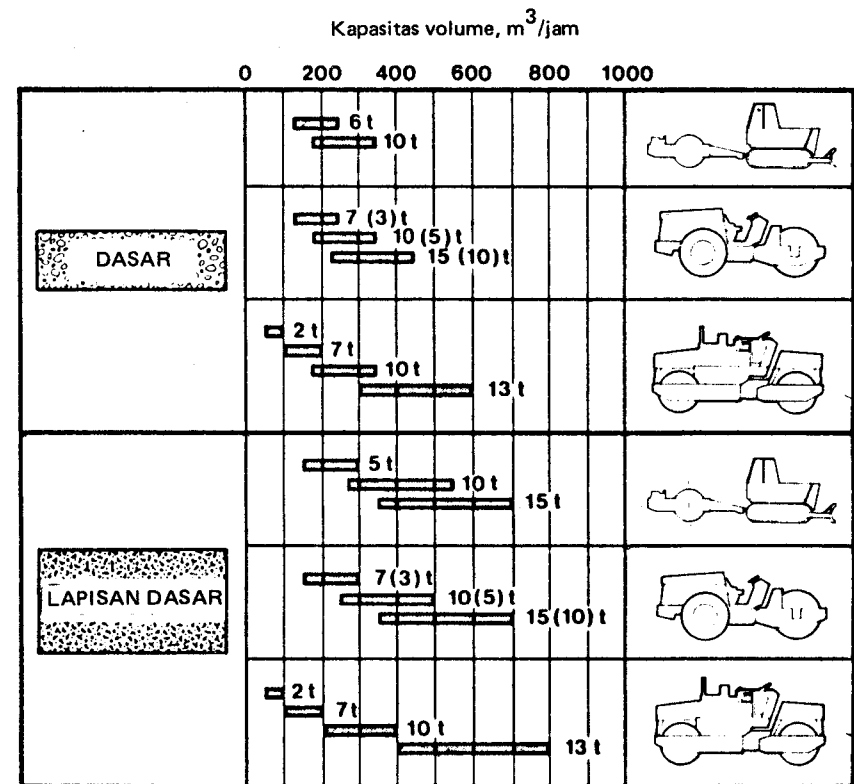


GAMBAR 9.1. Rentang kapasitas untuk pemampatan tubuh jalan

### Kapasitas pada Pemampatan Dasar dan Lapisan Dasar

Nilai ketebalan lapisan maksimum dalam praktek untuk pemampatan dasar dan lapisan dasar juga diberikan di Tabel 9.1. Derajat pemampatan minimum untuk pemampatan dasar diasumsikan sebagai 95% Proctor dimodifikasi. Rentang kapasitas normal

pada operasi yang kontinyu pada pemampatan dasar dan lapisan dasar diperlihatkan digambar 9.2.



GAMBAR 9.2. Rentang kapasitas untuk pemampatan dasar dan lapisan dasar.

### Kapasitas untuk Peralatan Pemampatan Ukuran Kecil

Harga ketebalan lapisan maksimum yang tepat berturut-turut dari kapasitas pemampatan dalam m<sup>3</sup>/jam untuk berbagai jenis alat pemampat ukuran kecil yang berlainan diberikan di dalam Tabel 9.2.

Jika menggunakan Tabel 9.1. dan 9.2. harus selalu diingat bahwa tanah-tanah yang dibicarakan dalam prakteknya mempu-

nyai sifat-sifat yang sangat bervariasi, dan bahwa variasi-variasi tertentu dari harga-harga yang diberikan di dalam tabel-tabel itu dapat diharapkan.

**Tabel 9.2.** Ketebalan lapisan maksimum H dalam praktek setelah pemampatan dan kapasitas Q yang sebanding untuk peralatan pemampatan berukuran kecil.

Harga-harga di dalam tabel menunjukkan H dalam m, Q dalam  $m^3/jam$

Jenis Berat statis	Urukan batuan	Pasir dan kerikil	Lumpur	Tanah liat
Alat pemampat plat getar				
50 – 100 kg	---	0,15/15	---	---
100 – 200 kg	---	0,20/20	---	---
400 – 500 kg	---	0,35/35	0,25/25	---
600–800 kg	0,50/60	0,50/60	0,35/40	0,25/20
Alat pemadat balas 75 kg	---	0,35/10	0,25/8	0,20/6
Mesin giling gelinding ganda	---	0,2/50	0,10/25	---
Mesin giling getar tandem	---	0,20/80	0,15/50	0,10/30

### Ongkos per $m^3$

Ongkos pemampatan per  $m^3$  dapat dihitung dari kapasitas volume dalam  $m^3/jam$ , diperoleh dari contoh dengan rumus yang diberikan di atas, dan ongkos per jam untuk mesin, termasuk operator. Ongkos per jam untuk mesin bisa merupakan harga sewa,

atau harus dihitung, misalnya menurut prinsip-prinsip yang diberikan di Bab 14.

### Kapasitas Jangka Panjang

Kapasitas-kapasitas yang telah dihitung, atau ditunjukkan di Gambar 9.1. dan 9.2. menyatakan lebih kurang operasi pemampatan yang kontinyu, tanpa berkaitan dengan pengaruh efisiensi pekerjaan keseluruhan. Terhentinya pekerjaan tidaklah mungkin dihindarkan dan seperti semua jenis peralatan konstruksi, kapasitas selama periode yang lebih panjang akan jauh lebih rendah daripada kapasitas maksimum dalam praktek pada operasi yang kontinyu. Alasan utamanya adalah kelemahan-kelemahan di dalam perencanaan, tidak adanya koordinasi dari berbagai fase pekerjaan yang berlainan, kerusakan-kerusakan mesin, kondisi-kondisi cuaca yang buruk dan tidak sedikit karena faktor-faktor personil.

Untuk memperoleh kapasitas praktis rata-rata selama periode jangka panjang, kapasitas praktis yang dihitung untuk lebih kurang operasi yang kontinyu harus dikurang lebih jauh, di dalam banyak hal dengan kira-kira 50 persen. Perhatikan bahwa pengurangan ini hanya sampai derajat ketergantungan terbatas pada pengoperasian mesin giling. Kapasitas sebenarnya selama periode yang panjang pada dasarnya tergantung pada kemampuan untuk memberikan bahan urukan pada kecepatan produksi yang tepat dan, di dalam banyak hal, juga dipengaruhi oleh kondisi-kondisi cuaca.

Kapasitas pemampatan sebenarnya untuk sebuah periode yang agak panjang harus selalu dipertimbangkan jika jumlah mesin giling yang diperlukan ditentukan, dan jika ongkos-ongkos pemampatan fatal dihitung.

Dari kedua pandangan teknis dan ekonomis, metode pemampatan harus selalu dikorelasikan dengan metode yang digunakan untuk mengangkut dan menebarkan bahan urukan. Lebih banyak mengenai hal ini ada di Bab 10.

## 10. SARAN DAN PETUNJUK UNTUK PEKERJAAN PEMAMPATAN

### 10.1. PENELITIAN LUBANG GALIAN BAHAN DAN PEMROSESAN PROYEK

Untuk struktur-struktur tanah yang besar seperti bendungan, sebuah survai yang luas umumnya perlu untuk menemukan lubang-lubang galian bahan yang sesuai. Penyelidikan tanah dibuat dengan mengebor atau dengan menggali lubang-lubang uji dengan sebuah alat penggali untuk menentukan apakah jumlah bahan yang cocok cukup tersedia. Sampel-sampel tanah diuji untuk gradasi, konsistensi, sifat-sifat pemampatan, kekuatan, permeabilitas, dan lain-lain. Variasi-variasi profil tanah yang besar, yang sering terjadi, membuat survei-survei yang luas diperlukan. Di dalam banyak hal lapisan-lapisan yang berbeda di dalam lubang galian bahan bercampur selama penggalian dengan hasil-hasil baik untuk kehomogenan bahan urukan.

Morain dan jenis tanah berbatu lainnya harus diselidiki dengan uji penyaringan skala besar yang juga mencakup batu-batu dan blok-blok (batu guling). Ukuran batu maksimum sering terbatas di dalam spesifikasi dalam hubungannya dengan ketebalan lapisan dan faktor-faktor lain. Sebagai akibatnya, penghilangan blok-blok mungkin diperlukan.

Di dalam lubang-lubang galian bahan, di mana tanah alam mempunyai sebuah kandungan air di atas yang optimum, penghilangan air bisa memberikan hasil-hasil yang baik. Pengerjaan peng-

aliran air, biasanya penggalian parit-parit, harus dimulai dengan baik sebelum pengerjaan pengurukan. Bahan yang basah dapat juga digali dan ditumpuk untuk memudahkan pengeringan.

Di daerah iklim kering, tanah di dalam lubang galian bahan sering mempunyai kandungan air di bawah optimum. Dalam hal seperti itu perembesan air di dalam lubang bahan galian bisa sangat ekonomis. Beberapa sistem semprotan air bisa digunakan untuk membasahi daerah galian.<sup>37)</sup> Dinding-dinding yang rendah, untuk menciptakan kolam-kolam yang berisi air di permukaan lubang galian telah digunakan dengan berhasil. Gambar 10.1. Sebuah alternatif lain ialah dengan menggunakan selokan-selokan yang berisi-air, Gambar 10.2. Bahkan sekalipun di tanah-tanah yang berbutir-halus, retak-retak sering menyebabkan perembesan air yang secara komparatif cepat ke bawah sampai ke dalaman 5,0 m dan bahkan lebih. Bahan yang datang dari lubang galian bahan dengan kandungan air yang tepat dapat ditebarkan dan dimampatkan di dalam lapisan-lapisan lebih tebal daripada jika mencampur dengan air yang harus dilakukan di daerah urukan.



**GAMBAR 10.1.** Perembesan di lubang galian bahan melalui pembuatan kolam. Proyek irigasi di Kirkuk, Irak. Kontraktor: Hidrogradnia, Yugoslavia.



**GAMBAR 10.2.** Perembesan di dalam lubang galian bahan dari parit-parit berisi-air. Bendungan Bourguiba, Sidi Saad, Tunisia

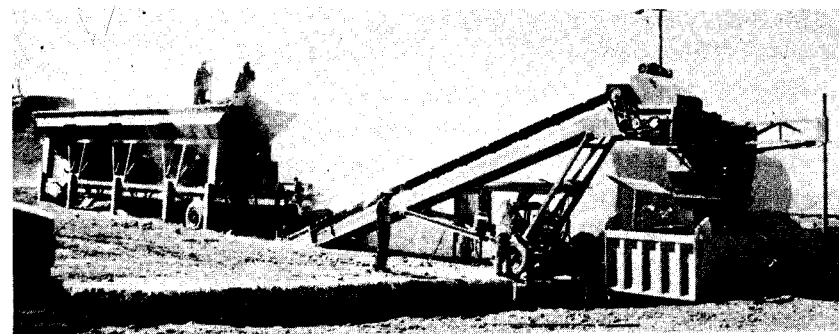
Pemrosesan proyek urukan bahan dibuat dalam beberapa keadaan:

- Penghancuran, pemilihan dan penyampuran (di dalam gilingan pugmill) bahan-bahan lapisan dasar, Gambar 10.3.

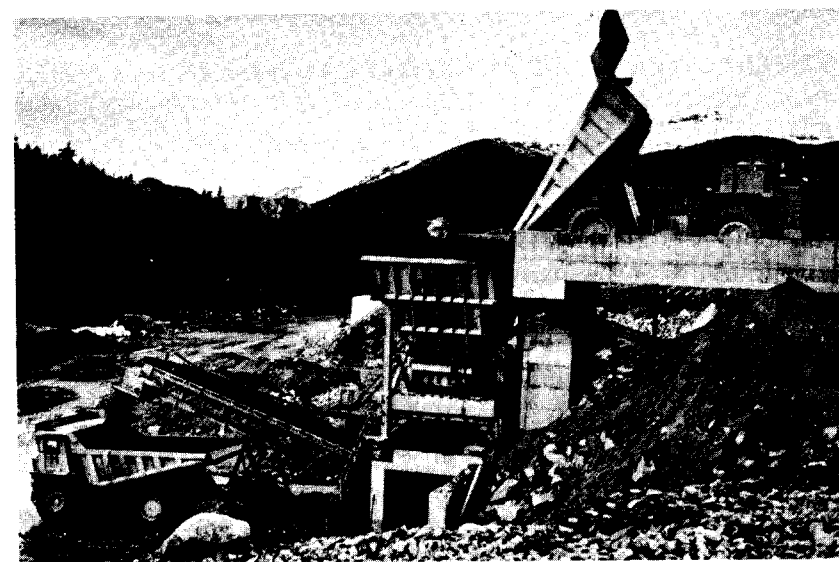
Untuk pembangunan jalan, urukan batuan dapat dihancurkan dan dipilih sampai bagian-bagian yang cocok untuk bahan-bahan lapisan dasar dan dasar maupun untuk agregat aspal dan beton. Di dalam pembangunan bendungan, urukan batu dihancurkan menjadi bahan-bahan saringan, agregat beton, dan lain-lain.

Selama pemrosesan proyek, air dapat ditambahkan ke bahan dalam jumlah yang cocok.

- Penghilangan bahan-bahan yang ukurannya terlalu besar dengan tirai, kisi atau alat penggoyang (bubungan yang berputar) digunakan untuk urukan batuan dan tanah-tanah dengan kandungan baru yang tinggi, Gambar 10.4. Kadang-kadang alat



**GAMBAR 10.3.** Alat pencampur untuk bahan dasar jalan, Oman. Kontraktor: Consolidated Contractors International Company (CCC), Yunani.



**GAMBAR 10.4.** Alat pemisah batu. Bendungan Vatnedalsvatn, Norwegia. Kontraktor: F. Selmer/Hoyer/Hoyer-Ellefsen, Norwegia.

penggali atau ember pemuat depan dengan kisi digunakan. Metode yang paling ekonomis harus ditentukan dari kasus ke kasus. Penghilangan batu-batu menghabiskan waktu dan mahal. Jika pemisahan batu-batu dapat dikurangi atau ditiadakan dengan menambah ketebalan lapisan, penghematan yang besar biasanya akan dihasilkan. Pada proyek-proyek urukan yang besar, penghilangan bahan yang berukuran terlalu besar kadang-kadang ragu-ragu dengan penghilangan bahan-bahan halus dan dengan mencampur bagian-bagian yang berbeda besarnya.

- Mencampur bahan berbutir kasar dengan tanah berbutir halus atau bentonit digunakan untuk memperoleh bahan-bahan inti kedap yang cocok untuk bendungan. Untuk tempat penyimpanan bahan limbah nuklir di bawah tanah, sebuah campuran bentonit dan kerikil telah diusulkan untuk memperoleh bahan penyangga yang tahan lama, elastis dan kedap di antara peti kemas limbah dan dinding-dinding terowongan baru sekitarnya.<sup>50)</sup>

## 10.2. PERALATAN UNTUK PENGGALIAN, PENARIKAN DAN PEMENCARAN

Penggalian bahan-bahan urukan biasanya dilaksanakan dengan mobil pemuat beroda, alat penggali sekop, penarik atau penggaruk.

Mobil-mobil pemuat beroda dan pengeruk, dengan ember sampai  $10 \text{ m}^3$ , digunakan jika muka galian mempunyai ketinggian tertentu, Gambar 10.5. Draglines (penarik) terutama digunakan jika bahan yang diambil di bawah muka air. Penggaruk (scraper), pada umumnya dengan volume sebesar  $30 \text{ m}^3$  sampai  $50 \text{ m}^3$ , mengambil lajur tanah yang relatif tipis dan sangat umum dalam pembuatan jalan dan lapangan udara. Sebuah armada terdiri dari enam buah penggaruk berukuran sedang biasanya mengangkut antara  $400 \text{ m}^3$  dan  $600 \text{ m}^3$ /jam (volume urukan yang dimampatkan).



GAMBAR 10.5. Mobil pemuat beroda di dalam sebuah lubang galian bahan untuk bendungan tanah

Metode-metode berikut ini adalah yang paling untuk penarikan dan penebaran (hauling dan spreading):

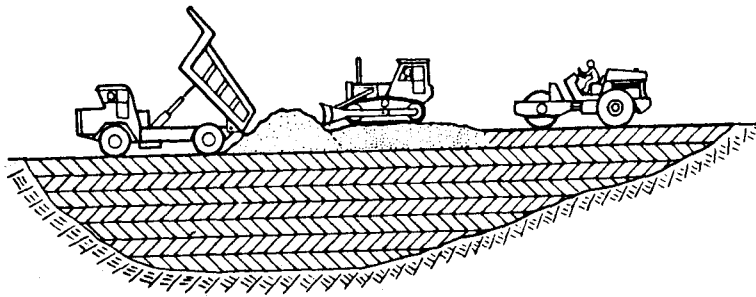
- Penarikan dengan penggaruk (scraper). Bahan disebarkan dalam lapisan-lapisan antara 0,15 m dan 0,4 m. Perataan dilakukan dengan mesin giling padfoot statis atau grader dengan alat perataan.
- Penarikan dengan truk-truk dan dumper. Bahan ditimbun dalam tumpukan-tumpukan dan disebarkan dengan bulldoser dalam lapisan-lapisan 0,5 m sampai 2,0 m untuk urukan batuan, Gambar 8.4, dan biasanya antara 0,3 m dan 1,2 m untuk tanah.
- Dumper bagian bawah digunakan untuk menarik dan menebar, terutama tanah-tanah berbutir, dalam lapisan-lapisan 0,2 m sampai 0,5 m pada pekerjaan-pekerjaan besar.
- Alat angkut ban (belt conveyor) digunakan pada proyek-proyek bendungan besar. Bisa membawa kapasitas sebesar 5.000 sampai 10.000 ton/jam.

– Perata (paver) atau penebar agregat khusus digunakan untuk bahan-bahan dasar dan lapisan dasar, Gambar 8.25.

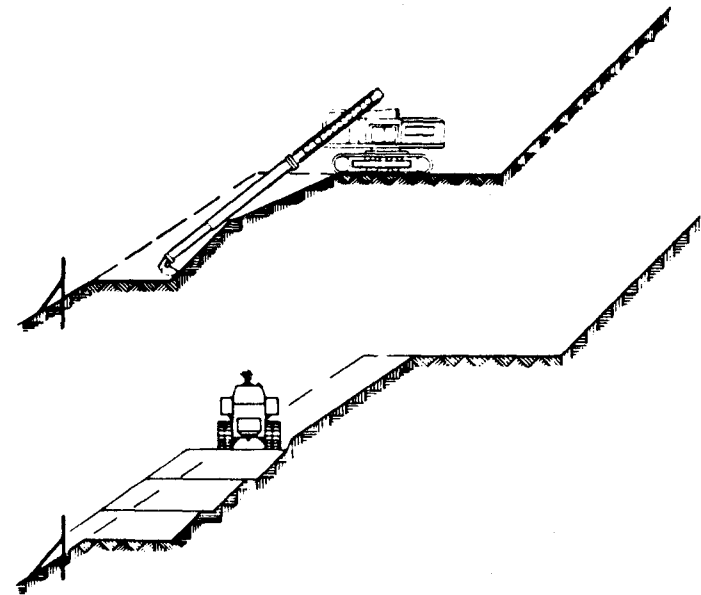
Sebuah aturan dasar ialah bahwa operasi pengurukan harus dimulai pada tingkat daerah pengurukan yang terendah dan bahwa bahan-bahan urukan harus ditebarkan dalam lapisan-lapisan horisontal, Gambar 10.6. Hal ini juga berlaku untuk penampang urukan kecil, misalnya, pada pelebaran jalan, Gambar 10.7.

Bahan urukan tidak boleh termasuk tanah lapisan atas, benda-benda organik, akar, batang kayu, tanah beku, salju atau es. Spesifikasi-spesifikasi itu, umumnya membatasi ukuran maksimum batu urukan sampai  $1/2$  sampai  $2/3$  dari ketebalan lapisan setelah pemampatan.

Di dalam banyak hal tidak mungkin untuk menggunakan keuntungan-keuntungan teknis dan ekonomis dari pemampatan bahan dalam lapisan-lapisan setebal lapisan-lapisan yang dapat ditangani oleh pemampatan getar. Satu alasan ialah bahwa ketebalan lapisan sering dibatasi oleh beberapa spesifikasi.



**GAMBAR 10.6.** Penebaran dan pemampatan urukan tubuh jalan (embankment)



**GAMBAR 10.7.** Penebaran tanah dalam lapisan-lapisan horisontal pada pelebaran jalan.<sup>51)</sup>

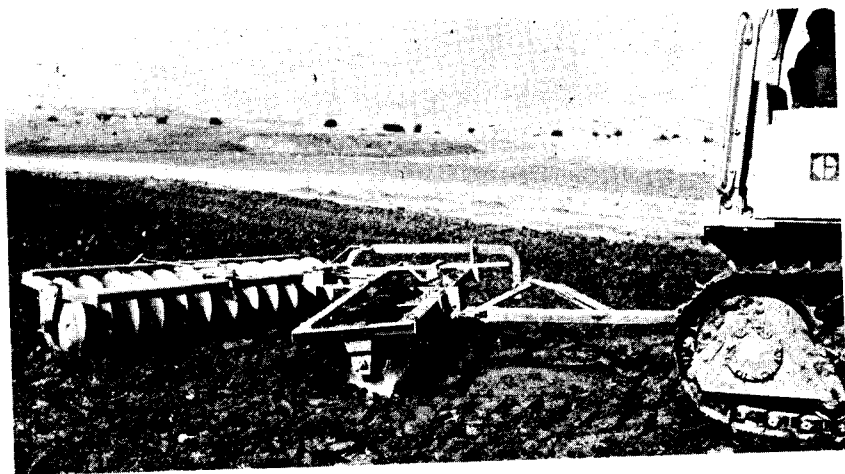
### 10.3. PENYESUAIAN KANDUNGAN AIR

Sebuah kesulitan, yang disebutkan di atas, ialah bahwa air harus sering ditambahkan ke tanah. Jika air dicampur ke dalam tanah dengan sebuah grader, lapisannya tidak boleh terlalu tebal, katakanlah tidak lebih dari 0,15 m sampai 0,2 m. Untuk mencampur tanah yang berbutir halus dengan air, garu berbentuk cakram (disc-harrow) atau pulvimixer (alat stabilisasi tanah) dapat dipergunakan, tetapi juga di dalam hal ini pencampuran itu tidak dapat dilakukan di dalam lapisan-lapisan yang terlalu tebal, Gambar 10.8.

Peresapan air di dalam lubang galian bahan dibicarakan di depan. Untuk bahan dasar dimungkinkan untuk menambah air di dalam alat penghancur atau pencampur, misalnya, pada pelaksa-

naan penyaringan. Air dapat juga ditambahkan ke tanah selama pemuatan ke truk.

Jika menggunakan mesin-mesin giling getar yang berat, kadang-kadang ekonomis untuk menebarkan bahan dalam dua lapisan, yang masing-masing lapisan dicampur air dengan baik. Kemudian setiap lapisan kedua dimampatkan.<sup>52)</sup>



**GAMBAR 10.8.** Mencampur air dengan garu-cakram

Mengeringkan sebuah bahan tanah yang terlalu basah adalah masalah yang sukar. Hasil-hasil yang baik kadang-kadang diperoleh dengan mengeringkan tanah di dalam keadaan aslinya atau dengan menumpukkan bahan untuk dikeringkan. Kadang-kadang lapisan-lapisan tanah basah diproses dengan garu atau pulvimixer untuk mengeringkan bahan. Mesin-mesin giling sheepfoot (statis dan getar) dapat juga dipergunakan untuk mengeringkan tanah-tanah basah.

#### **10.4. KONDISI TANAH DASAR**

Sebuah faktor penting yang mempengaruhi hasil pemampatan adalah sifat tanah dasar. Sering tidak mungkin untuk mencapai

sebuah kerapatan tinggi jika tanah dasar itu kendur atau elastis seperti misalnya sebuah tanah liat dengan kandungan air yang tinggi. Di dalam hal-hal semacam ini lapisan itu harus dikonsolidasikan, misalnya, dengan stabilisasi-kapur. Jika tidak, perlu membentuk urukan sampai suatu ketinggian tertentu di dalam lapisan-lapisan yang dimampatkan sebelum suatu derajat pemampatan yang normal dicapai.

Efek yang berlawanan diperoleh jika tanah digetarkan di atas dasar yang sangat padat atau di dalam sebuah tempat yang terbatas seperti sebuah parit pipa. Sisi-sisi dari sebuah parit memantulkan getaran-getaran yang menyebabkan derajat pemampatan yang lebih tinggi pada sebuah kedalaman yang lebih besar daripada yang biasanya mungkin diperoleh.

#### **10.5. KONDISI-KONDISI IKLIM**

Kesulitan memperoleh hasil-hasil pemampatan yang baik pada tanah-tanah yang berbutir-halus dengan sebuah kandungan air tinggi telah dibicarakan. Sebuah kesulitan lebih jauh ialah bahwa cuaca banyak hujan bisa cepat memberikan permukaan urukan tak dapat dicapai. Terutama pada tanah-tanah berlumpur, mungkin perlu untuk menghentikan, sekurang-kurangnya dengan segera, pelaksanaan-pelaksanaan penarikan dan pemampatan jika terjadi hujan. Jika terdapat risiko turun hujan, penting untuk memampatkan urukan berbutir halus secepat mungkin untuk mencegah tanah yang belum dimampatkan di atas permukaan dari mengumpul lebih banyak daripada yang diperlukan. Kesulitan-kesulitan dengan hujan dapat sangat dikurangi jika permukaan dimampatkan dengan baik dan diteguhkan dengan mesin giling gelinding getar yang halus. Permukaan atas yang halus harus mempunyai sedikit penurunan, untuk membantu air mengalir turun. Pekerjaan dapat dibuat ikhtisarnya segera setelah hujan berhenti, mungkin setelah sebuah lapisan tipis dari bahan permukaan yang basah telah terlepas.

Masalah-masalah khusus mengenai pemampatan selama kondisi-kondisi di musim dingin dibicarakan di Sub Bab 11.7.



## 10.6. VOLUME TANAH




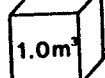






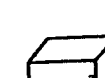

Volume tanah dapat ditentukan di bawah kondisi-kondisi yang berbeda:

- Dalam keadaan alamiah.
- Keadaan kendur (di atas truk-truk misalnya).
- Setelah pemampatan.

Harga rata-rata dari pengembangan dan pengerutan untuk berbagai jenis tanah yang berlainan diberikan di Gambar 10.9. Namun, perhatikan bahwa perbedaan-perbedaan individual yang disebabkan karena sifat tanah, kandungan air, dan lain-lain, secara komparatif bisa besar.

## 10.7. PEMILIHAN PERALATAN PEMAMPATAN YANG TEPAT

Pemilihan peralatan pemampatan yang tepat kadang-kadang dibuat oleh kontraktor dengan dasar pengalaman sebelumnya dan

	I Urukan batuan	II Pasir & Kerikil	III Lumpur	IV Tanah liat
Keadaan alamiah	 1.0m <sup>3</sup>	 1.0m <sup>3</sup>	 1.0m <sup>3</sup>	 1.0m <sup>3</sup>
Keadaan kendur	 1.75m <sup>3</sup>	 1.2m <sup>3</sup>	 1.3m <sup>3</sup>	 1.5m <sup>3</sup>
Keadaan mampat	 1.4m <sup>3</sup>	 0.9m <sup>3</sup>	 0.85m <sup>3</sup>	 0.85m <sup>3</sup>

GAMBAR 10.9. Volume dari berbagai jenis bahan urukan yang berbeda dalam keadaan alamiah, kendur dan padat

rentang peralatan yang ada. Pada beberapa kasus jenis bahan tanah dan/atau spesifikasi sangatlah menentukan.

Namun, di dalam banyak hal terdapat beberapa alternatif. Selalu sangat penting untuk memilih peralatan pemampatan yang tidak hanya cocok untuk jenis bahan yang akan dimampatkan, tetapi juga disesuaikan dengan baik untuk pelaksanaan-pelaksanaan penarikan dan penebaran maupun untuk kondisi-kondisi tempat kerja lainnya.

Daftar berikut ini dapat digunakan sebagai sebuah petunjuk:

Faktor-faktor yang mempengaruhi pemilihan peralatan pemampatan

1. Jenis tanah. Kandungan air.
2. Spesifikasi-spesifikasi pemampatan (derajat pemampatan yang ditentukan dalam Proctor Standar atau Dimodifikasi, ketebalan lapisan yang ditentukan, jenis-jenis peralatan pemampatan yang ditentukan).
3. Metode-metode penarikan dan penebaran bahan. Faktor-faktor ini, sampai suatu derajat yang besar, menentukan ketebalan lapisan yang tepat.
4. Perlunya mengeringkan atau mengairi tanah.
5. Kondisi-kondisi traksi untuk peralatan pemampatan.
6. Kapasitas pemampatan dalam m<sup>3</sup>/jam yang diperlukan. Apakah pelaksanaan pengurukan berlangsung pada seksi-seksi yang berlainan?
7. Kondisi-kondisi iklim.
8. Pengangkutan mesin-mesin ke tempat proyek dan di antara seksi-seksi yang berlainan di tempat pekerjaan.
9. Kemungkinan-kemungkinan untuk menstandarisasi peralatan pemampatan.
10. Fasilitas-fasilitas yang tersedia untuk perbaikan dan pelayanan.

Satu contoh dari standarisasi yang mungkin adalah jika sebuah mesin giling getar yang bisa dikemudikan dengan sebuah gelinding halus digunakan untuk pemampatan lapisan dasar dan dasar pada sebuah proyek jalan raya digabungkan dengan jenis mesin giling yang sama dengan gelinding padfoot untuk pemampatan tubuh-tubuh jalan yang terdiri dari tanah liat. Versi-versi aspal dari desain dasar yang sama juga tersedia. Keuntungan-keuntungan dalam hubungannya dengan pasokan suku cadang, perbaikan, dan pelayanan adalah jelas.

Sebuah contoh lain adalah untuk menggunakan sebuah mesin giling getar yang berat dengan sebuah gelinding halus untuk urukan-urukan batuan dan kerikil, maupun pada bahan-bahan penyaring (filter) pada sebuah proyek bendungan. Dengan sebuah mesin giling getar padfoot yang digunakan di atas dinding penghalang rembesan (core), seluruh pekerjaan pemampatan dapat dilakukan dengan jenis mesin giling yang sama.

Kadang-kadang sebuah operasi gabungan mesin giling dari jenis yang berbeda sangat menguntungkan. Gabungan yang mungkin dari sebuah mesin giling (penumbuk) padfoot statis dengan alat perata untuk menebarkan bahan dan untuk menghancurkan gumpalan-gumpalan besar dan sebuah mesin giling getar telah dibicarakan sebelum ini.

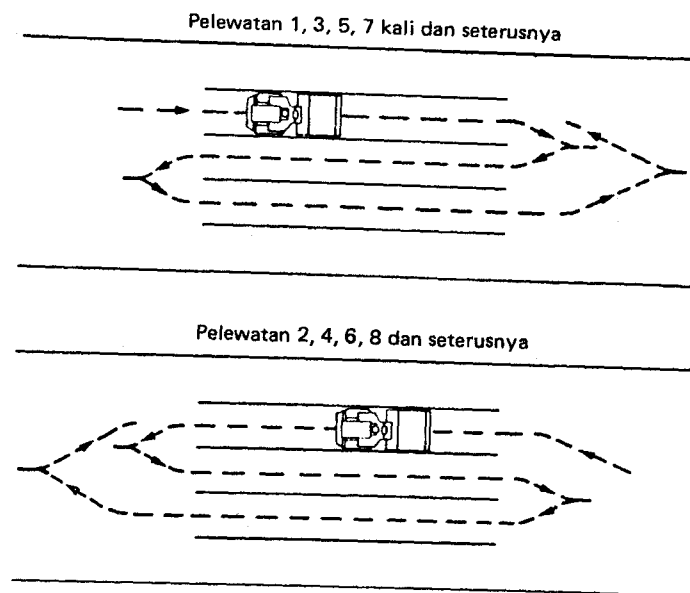
Efek pemampatan yang diperoleh dengan kombinasi dari mesin giling jenis-jenis yang berbeda adalah sebuah masalah yang memerlukan penelaahan dasar lebih lanjut dan pengalaman praktis.

#### 10.8. UJI PEMAMPATAN LAPANGAN

Tanah yang akan dimampatkan kondisi kerja tidak pernah sama dari satu tempat proyek ke yang lainnya. Pada awal sebuah pekerjaan pemampatan yang besar, karenanya merupakan praktek umum untuk membuat beberapa uji pemampatan di lapangan, kadang-kadang dengan jenis alat pemampat yang berlainan, untuk menentukan ketebalan lapisan yang tepat, kecepatan mesin giling dan jumlah pelewatan.

Untuk memperoleh hasil uji pemampatan lapangan yang seteliti mungkin, hal-hal berikut ini harus diperhatikan:

1. Lapisan di mana uji itu dilakukan harus disebarakan di bagian atas sebuah lapisan yang dimampatkan dari bahan yang sama. Kerapatan lapisan yang di bawahnya paling sedikit harus sama dengan yang dimaksudkan untuk urukan uji.
2. Daerah uji harus dimampatkan paling sedikit dengan tiga buah lajur mesin giling yang berdampingan, Gambar 10.10, Tumpang-tindih di antara lajur-lajur itu sebaiknya kira-kira 10 persen dari lebar mesin giling. Semua ketiga lajur itu harus digiling dengan jumlah pelewatan yang sama dan uji kerapatan harus dibuat di tengah-tengah lajur. Di luar daerah yang dimampatkan harus ada sebuah bahu, dengan paling sedikit selebar mesin giling, untuk menghindari gerakan lateral dari bahan.



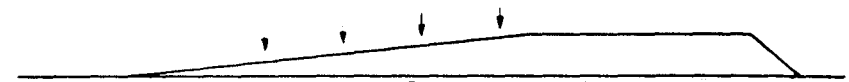
GAMBAR 10.10. Usulan untuk pola penggilingan di daerah uji

3. Kecepatan mesin giling harus ditentukan sebelum melakukan uji-uji dan diperiksa dengan teliti. kecepatan mesin giling yang tepat untuk mesin giling getar yang beroperasi di atas tanah atau urukan batuan adalah 4 km/jam. Kesulitan-kesulitan untuk mencapai kerapatan yang ditentukan mungkin memerlukan lebih lanjut dengan kecepatan yang agak lebih rendah atau sebaliknya.
4. Jumlah pelewatan yang tepat setelah mana uji kerapatan sebaiknya dilakukan biasanya adalah 4, 6, dan 8 kali pelewatan. Terutama pada tanah-tanah berbutir halus, pelewatan mesin giling tidak boleh mengikuti satu sama lain terlalu dekat waktunya. Kerapatan-kerapatan yang lebih tinggi akan diperoleh jika tanah dapat "berkonsolidasi" paling sedikit selama satu jam di antara pelewatan-pelewatan mesin giling. Di dalam tanah-tanah yang berlumpur udara bisa ditekan selama periode istirahat itu dengan tekanan-tekanan yang diberikan selama pemadatan.
5. Untuk sebagian besar jenis tanah, penting bahwa kandungan air di dalam bahan uji mendekati optimum ( $\pm 2$  persen) jika pengujian dilakukan.
6. Uji kerapatan biasanya dilaksanakan dengan metode-metode penggantian pasir atau balon air, tetapi metode pengujian lain bisa juga digunakan tergantung pada kebutuhan khususnya. Uji harus dilakukan pada tempat-tempat yang dipilih di atas permukaan dan pada interval 150 mm ke bawah menembus lapisan. Pada kerapatan permukaan yang rendah, misalnya di pasir yang digradasi-uniform atau jika mesin-mesin giling sheeps-foot dipergunakan, uji itu harus dibuat pada suatu kedalaman di bawah permukaan.
7. Ketebalan lapisan yang tepat bervariasi menurut ukuran mesin giling dan jenis bahan. Petunjuk-petunjuk untuk ketebalan ditemukan di Tabel 9.1. Akan sering tepat untuk mencoba dua atau tiga ketebalan lapisan yang berbeda. Pada pemampatan dasar, pemampatan dengan getaran yang biasanya dilakukan pada

ketebalan lapisan yang sama dengan ketebalan total dasar (base).

8. Kadang-kadang cocok untuk menggunakan sebuah daerah uji di mana ketebalan lapisan bervariasi rektilinear, Gambar 10.11. Uji dibuat pada seksi-seksi yang berbeda. Ketebalan lapisan maksimum dapat ditentukan dari hasil-hasil uji kerapatan.

Seksi-seksi uji dari berbagai ketebalan lapisan yang berlainan



GAMBAR 10.11. Daerah uji miring

### Saran Umum

Jika kerapatan yang ditentukan tidak tercapai pada sebuah uji pemampatan, energi pemampatan per unit volume yang digunakan harus dinaikkan. Hal ini dapat dilakukan dengan:

- Menambah jumlah pelewatan.
- Mengurangi kecepatan mesin giling.
- Mengurangi ketebalan lapisan.

Semua tiga faktor ini secara linier mempengaruhi besar energi pemampatan. Perkiraan kenaikan dalam energi untuk meningkatkan derajat pemampatan dapat diperoleh dari diagram, Gambar 5.2. Koreksi-koreksi yang sesuai dari satu atau beberapa faktor yang disebutkan di atas, untuk memperoleh energi pemampatan total yang diperlukan, harus ditentukan dari kasus ke kasus dengan tujuan utamanya untuk mencapai kapasitas maksimum dalam  $m^3$ /jam untuk alat pemampatan yang diuji.

### Urukan Batuan

Efek pemampatan pada urukan batuan sering ditentukan oleh perataan permukaan sebelum pemampatan dan setelah 2, 4, 6, 8, dan 10 kali pelewatan mesin giling. Di atas permukaan, 20 angka atau kira-kira di sana, ditandai dengan warna dan diratakan.

Harga rata-rata pelesakan permukaan dinyatakan dalam persen dari ketebalan lapisan sebelum pemampatan. Biasanya pelesakan sebesar 4,0 atau 5,0 persen dari ketebalan lapisan diterima sebagai sebuah kriteria untuk pemampatan yang memadai. Sebuah kriteria lain yang mungkin adalah menentukan bahwa dua pelesakan terakhir dari mesin giling tidak memberikan pelesakan yang besar, misalnya, dari 10 mm.

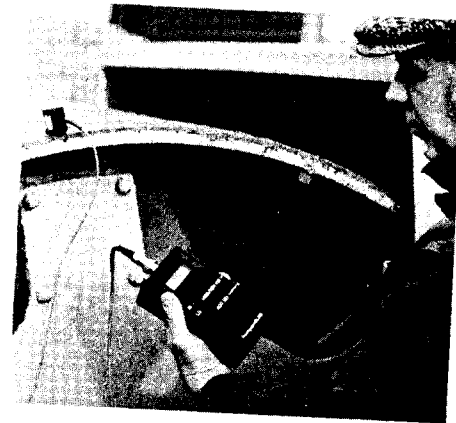
#### 10.9. PENGECEKAN DATA GETARAN

Frekuensi dari sebuah mesin giling getar dapat diperiksa dengan sebuah cara sederhana dengan sebuah frekuensi meter yang ditempatkan di tanah di samping mesin giling, Gambar 10.12. Jenis alat ukur ini bekerja dengan sejumlah lidah yang bergetar.



GAMBAR 10.12. Frekuensi-meter

Untuk memeriksa parameter getaran, sebuah alat elektronik portabel dapat dipakai untuk mengukur frekuensi dan percepatan dari gelinding sebuah mesin giling getar, Gambar 10.13.



GAMBAR 10.13 Alat elektronik untuk mencatat frekuensi dan percepatan yang dikembangkan oleh Geodynamik, Stockholm, Swedia.

## 11. PEMAKAIAN KHUSUS

### 11.1. PEMAMPATAN KERING

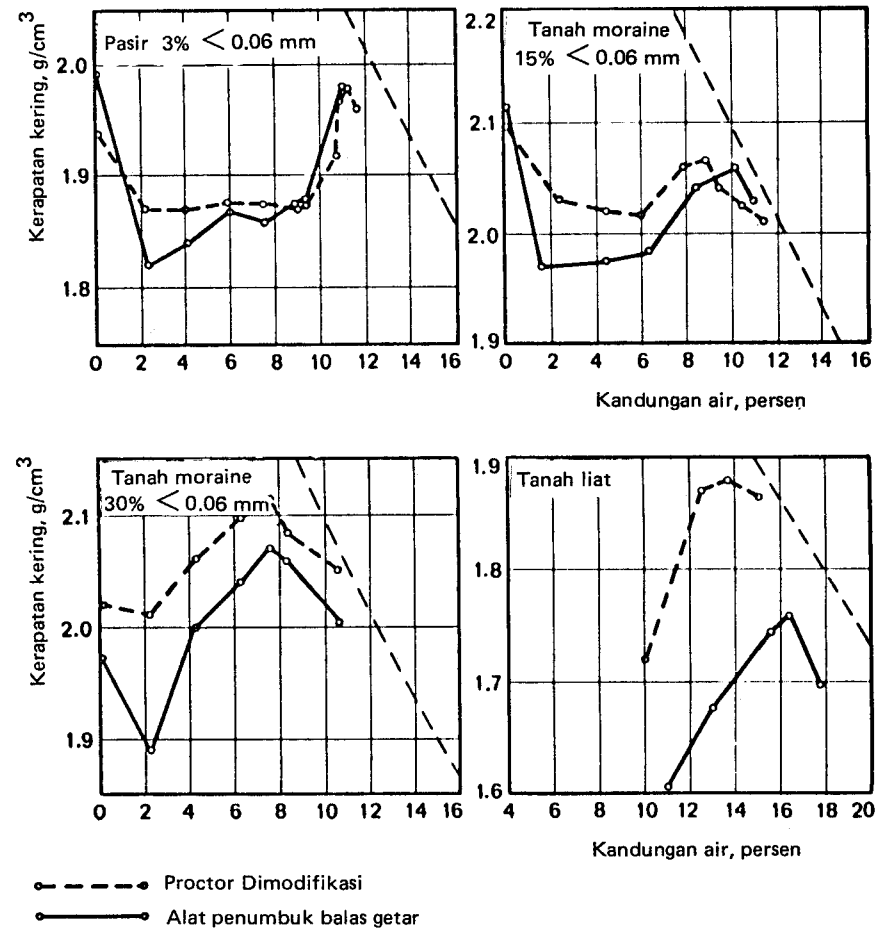
Pemampatan pasir dan kerikil sampai kerapatan-kerapatan yang tinggi, bahkan di dalam keadaan yang sangat kering, telah dibicarakan di Bab 2. Banyak daerah dunia ini mempunyai iklim semi-kering atau kering, di mana air sering sulit dan mahal dipasok. Di daerah-daerah gurun, di mana tanah berpasir mendominasi, pemampatan kering adalah sebuah metode yang secara teknis dan ekonomis menguntungkan. Tahun-tahun belakangan ini beberapa organisasi, antara lain Program Pembangunan Perserikatan Bangsa-Bangsa, telah mempelajari masalah ini.<sup>53), 54) 55)</sup>

#### Teori dan Uji Laboratorium

Hasil dari uji pemampatan laboratorium pada awalnya yang dibuat di Laboratorium Riset Dynapac diperlihatkan di Gambar 11.1.<sup>56)</sup> Prosedur Proctor dimodifikasi dibandingkan dengan sebuah metode laboratorium yang dikembangkan oleh Dynapac yang didasarkan pada getaran, lihat Bab 4, Gambar 4.7. Pemampatan getar di dalam sebuah keadaan kering menghasilkan kerapatan-kerapatan yang besarnya sama, atau bahkan agak lebih tinggi, dibandingkan dengan pemampatan di dalam keadaan disaturasi-air.

Pemampatan tanah-tanah yang disaturasi-air dengan efisien adalah mungkin untuk tanah-tanah yang mengandung kurang dari 5 sampai 10 persen lumpur, lihat Bab 2 dan 3. Pemampatan kering

bisa untuk kandungan lumpur yang lebih tinggi, yang dalam hal ini harus lebih kecil dari 20 sampai 30 persen, Gambar 11.1.



GAMBAR 11.1. Uji pemampatan laboratorium menurut Proctor Dimodifikasi dan pemampatan getar

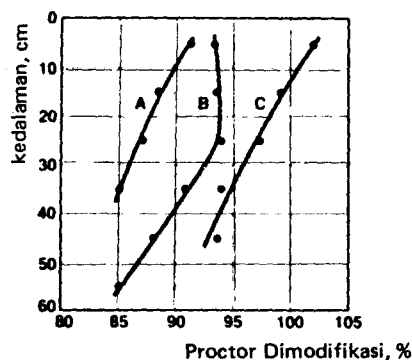
Dengan dasar hasil dari uji laboratorium, Departemen Penelitian Dynapac juga melaksanakan uji pemampatan skala-penuh

dengan menggunakan sebuah alat pemampat pelat getar CM 13 yang beratnya 135 kg dan sebuah mesin giling getar yang dikemudikan CA 25 seberat 25 ton. Di dalam kedua kasus ini pemampatan dilakukan di atas pasir:

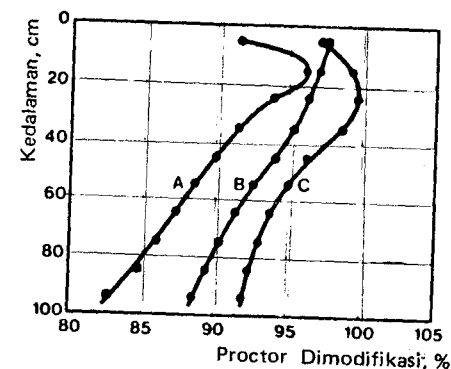
- Dengan kandungan air di antara keadaan kering dan disaturasi.
- Disaturasi air dengan sempurna.
- Sangat kering.

Seperti yang diharapkan, pasir yang disaturasi air dengan sempurna dimampatkan sampai suatu kerapatan yang lebih tinggi daripada pasir dengan suatu kandungan air yang lebih rendah. Yang lebih tak diharapkan ialah penemuan bahwa pemampatan di dalam keadaan yang kering sempurna, memberikan kerapatan kering yang paling tinggi, baik di permukaan maupun di bagian dalam, Diagram Gambar 11.2 dan 11.3 juga menunjukkan bahwa ketebalan lapisan dapat dinaikkan untuk pemampatan kering yang, dibarengi dengan kenyataan bahwa pemberian air tidaklah perlu, dapat memberikan penghematan ongkos yang besar.

Namun, kompatibilitas dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor lain selain kandungan butiran-butiran halus yang dinyatakan dalam persen. Satu faktor bisa jadi adalah terdapatnya sejumlah kecil bahan berbutir halus yang aktif yang mengikat partikel-partikel pasir bersama (jenis tanah-tanah "bersemen"). Terdapatnya garam-

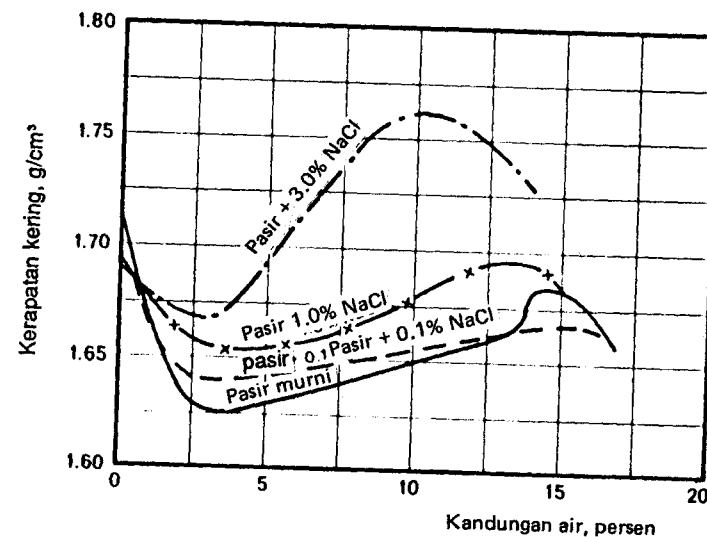


GAMBAR 11.2. Uji pemampatan pada pasir dengan sebuah alat pemampat pelat getar seberat 135 kg



GAMBAR 11.3. Uji pemampatan pada pasir dengan mesin giling getar yang dikemudikan seberat 10 ton

garam yang dapat larut di dalam pasir juga memberikan sebuah kerapatan yang lebih tinggi pada pemampatan pada kandungan air yang optimum daripada pemampatan kering, Gambar 11.4. Alasannya ialah bahwa garam-garam tersebut larut di dalam air.



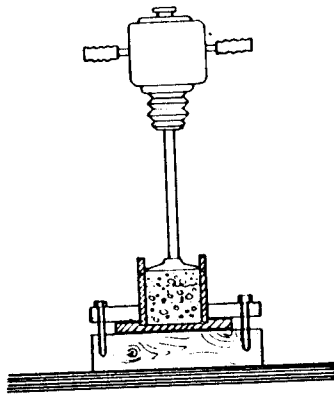
GAMBAR 11.4. Uji pemampatan laboratorium dengan pasir yang mengandung garam-garam yang dapat larut.

Keputusan apakah sebuah pasir tertentu cocok untuk pemampatan kering karenanya harus ditentukan dari kasus ke kasus, dengan dasar uji pemampatan yang dilaksanakan pada kandungan-kandungan air yang berlainan. Uji tersebut harus dibuat dengan pemampatan getar.

Alternatif-alternatif yang mungkin:

- Metode meja getar yang dikembangkan oleh Biro Reklamasi Amerika yang disebut E - 12 dan juga ditunjuk sebagai ASTM D 2049.
- Metode alat pemampatan balas getar yang dikembangkan oleh Dynapac peralatan jenis TE 10.
- Metode palu getar yang dikembangkan oleh Laboratorium Penelitian Angkutan dan Jalan, yang ditunjuk sebagai Standar Inggris, BS 1377, Uji 13.
- Metode pengujian yang dikembangkan oleh Program Pembangunan Perserikatan Bangsa-Bangsa<sup>53)</sup>, dengan menggunakan sebuah mesin bor Cobra, Gambar 11.5. Metode ini terutama cocok untuk kondisi-kondisi lapangan.

Untuk hal-hal detail lebih lanjut dari prosedur pengujian ini, lihat Bab 4.



GAMBAR 11.5. Uji pemampatan laboratorium dengan sebuah mesin bor Cobra Atlas Copco Hammer

### Pengalaman Praktis

Pengalaman praktis telah membenarkan hasil-hasil dari uji pemampatan yang berkaitan. Mesin-mesin giling getar Dynapac yang dikemudikan dengan berat 10 ton dan dengan roda kemudi ban udara ataupun mesin giling getar jenis yang ditarik telah dipergunakan dengan hasil-hasil yang sangat baik pada proyek pembuatan jalan raya dalam kondisi iklim yang panas dan kering. Pasir kering yang digradasi-uniform telah memampatkan dengan efektif dalam ketebalan-ketebalan lapisan sampai 1,0 m. Derajat-derajat pemampatan sampai 100 persen Proctor Dimodifikasi telah dicapai di bagian atas urukan. CA 25 D, dengan kemudi di gelinding dan roda, diketahui mempunyai traksi yang baik, bahkan di pasir yang digradasi-uniform. Sebuah mesin giling dengan kemudi gelinding juga memberikan kerapatan yang agak lebih tinggi daripada gelinding bukan-kemudi dengan beban linier frekuensi, dan amplitudo yang sama.

Di bawah kondisi-kondisi gurun, tanah mungkin mengandung sejumlah air tertentu, sekalipun sangat dekat permukaan. Di dalam kasus demikian, kadang-kadang dimungkinkan untuk mengeringkan bahan di bawah sinar matahari.

Kontraktor Italia Furlanis Consturzioni Generali S.p.A. menggunakan mesin-mesin giling getar CA 25 untuk pemampatan kering pasir halus ( $< 0,5$  mm) dalam lapisan-lapisan 0,3 m sampai 0,5 m pada proyek pembuatan jalan raya di Arab Saudi. Sebuah derajat pemampatan relatif sebesar 70 persen diperlukan, yang ekuivalen dengan kira-kira 95% Proctor Dimodifikasi.

Penyelidikan-penyelidikan yang luas mengenai pemampatan tanah kering, untuk memulainya sehubungan dengan pembuatan Jalan Raya Trans-Sahara, telah dilakukan oleh Program Pembangunan Perserikatan Bangsa-Bangsa. Sebuah laporan mendetil mengenai uji pemampatan yang dilaksanakan di Gao, Afrika diterbitkan.<sup>53)</sup>

Setelah penyelidikan-penyelidikan pendahuluan, sebuah seksi uji sepanjang 2 km disediakan. Sebuah lapisan dasar setebal

200 mm sampai 300 mm yang terdiri dari laterit dengan 20 persen tanah yang lewat saringan No 200 dan dengan kandungan air antara 1,5 dan 4 persen dimampatkan dengan menggunakan jadwal seperti berikut:

- 8 kali pelewatan dengan menggunakan sebuah Dynapac CA 25 D, amplitudo besar.
- 2 kali pelewatan dengan menggunakan sebuah Dynapac CA 25 D, amplitudo kecil
- 2 kali jalan dengan sebuah tangki air, distribusi  $4 \text{ l/m}^2$ .
- 8 kali pelewatan dengan menggunakan mesin giling ban-udara berbobot-ringan.
- 2 kali pelewatan dengan menggunakan sebuah Dynapac CA 25 D, statis.

Sebuah derajat pemampatan rata-rata sebesar 95,5 persen Proctor Dimodifikasi dicapai. Ditemukan bahwa menguntungkan untuk menggunakan sebuah amplitudo besar sehubungan dengan pemampatan bagian-bagian bawah dari lapisan dasar sedangkan pemampatan lebih dengan permukaan lebih baik menggunakan sebuah amplitudo kecil. Sebuah pengerjaan permukaan ganda diberikan sebagai sebuah lapisan dasar permukaan.

### Kesimpulan

Uji laboratorium dan pengalaman praktis telah memperlihatkan bahwa, untuk mencapai hasil yang paling efektif pada pemampatan kering, kandungan air tidak boleh melebihi 1,0 sampai 1,5 persen. Tidak sebaik di atas, tetapi hasil-hasil pemampatan yang masih dapat diterima telah diperoleh pada kandungan air sampai kira-kira 5 persen.

Sebuah faktor penting untuk dipertimbangkan adalah efek yang mungkin dari sejumlah kecil partikel berbutir-halus yang mengikat partikel-partikel menjadi satu. Efek yang mungkin dari garam-garam yang dapat larut harus juga diperhitungkan. Uji pemampatan laboratorium dengan getaran di atas urukan bahan

direkomendasikan sebelum pemampatan kering pasir digunakan dalam skala besar.

Ketelitian khusus sangat perlu di dalam penggunaan pemampatan kering untuk urukan-urukan yang kemudian dapat disaturasi air, misalnya urukan-urukan di bawah bangunan-bangunan di mana penyiraman taman-taman dan kebocoran dari saluran-saluran air dan pembuangan akan menyebabkan perembesan air dari tanah.

### 11.2. PEMAMPATAN DALAM

Di dalam sub bab ini akan diberikan berbagai pemakaian untuk mesin giling getar yang berat. Di dalam semua hal, maksud pemampatan ialah untuk menambah daya dukung dan mengurangi pelesakan di masa depan meskipun bahan yang akan dimampatkan memiliki ketebalan lapisan yang yang besar. Pemakaian-pemakaian berikut ini tercakup:

- Pemampatan urukan-urukan yang terletak di bawah air. Di daerah-daerah pantai, pasir sangat sering dikeruk dari dasar laut dan secara hidraulik diangkut ke daerah-daerah urukan di lokasi-lokasi industri dan pelabuhan.
- Bahan-bahan urukan bisa juga terdiri atas jenis tanah lain dan urukan batuan yang terletak di bawah air dan dimampatkan dari permukaan di atas permukaan air.
- Pemampatan lapisan-lapisan pasir dan kerikil alam dengan kerapatan rendah. Di dalam hal ini muka air tanah mungkin ditemukan pada kedalaman-kedalaman yang berbeda.
- Pemampatan lapisan-lapisan alam yang terdiri dari jenis-jenis pasir atau lumpur yang "bersemen", yang disebut tanah-tanah yang "dapat runtuh".

Untuk pemampatan dalam dari pasir, vibroflotasi telah lama merupakan sebuah metode tetap yang baik yang memungkinkan pemampatan ke bawah sampai kedalaman 20 m sampai 30 m.

Pemampatan dinamis, dengan beban jatuh yang berat, biasanya di antara 8 ton dan 40 ton, sebuah teknik yang dikembangkan



oleh Menard, 24), 25) memungkinkan pemampatan sampai kedalaman yang sama besarnya. Di dalam kasus khusus beban-beban sampai seberat 200 ton telah dipergunakan.

Pemampatan dalam dengan mesin-mesin giling getar yang berat mempunyai efek kedalaman yang jauh lebih terbatas, ke bawah sampai ke dalaman kira-kira 5 m di dalam tanah-tanah yang non-kohefif. Namun, ongkos per  $m^3$  jauh lebih rendah daripada untuk vibrolotasi dan pemampatan dengan beban-beban jatuh yang biasanya sampai 10 kali lebih tinggi daripada untuk pemampatan mesin giling.

#### Pemampatan dalam dari Pasir

Pemampatan dalam dari pasir, biasanya urukan-urukan hidraulik, telah digunakan terutama di Amerika Serikat dan Skandinavia. Hasil-hasil uji dan pengalaman dari sejumlah besar proyek semacam itu tersedia.<sup>57)</sup>

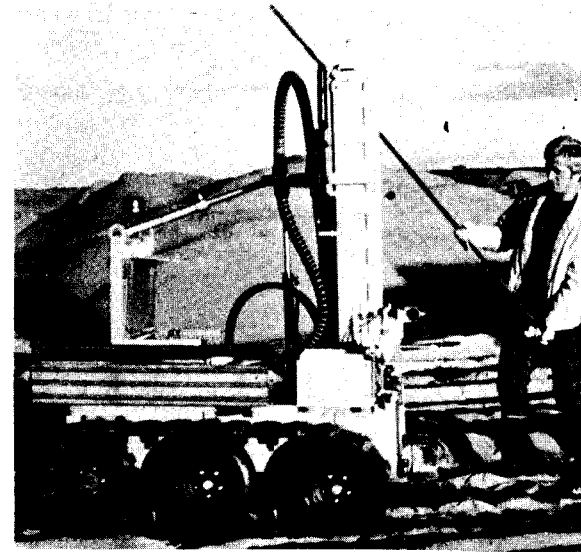
Pemampatan dalam dengan mesin-mesin giling getar yang berat cocok untuk pasir dan kerikil dengan kandungan butir-butir halus maksimum kurang dari 5 sampai 10 persen.

Di dalam pasir diraturasi air, tak terdapat kohesi yang jelas dan hal ini menghasilkan kondisi-kondisi yang baik untuk pemampatan dengan getaran, lihat Bab 2.

Kecepatan mesin giling yang tepat adalah 2 sampai 4 km/jam dan sejumlah besar pelewatan mesin giling secara komparatif adalah menguntungkan untuk efek kedalaman. Di dalam praktek di antara 8 dan 12 kali pelewatan biasanya digunakan.

Hasil pemampatan dalam dapat diperiksa dengan uji kerapatan secara berkala hanya di dekat permukaan. Untuk pemeriksaan pemampatan untuk kedalaman-kedalaman yang lebih besar, sondasi (dugaan) beban atau sondasi penetrometer statis dipergunakan, Gambar 11.6. Efek kedalaman dari sebuah mesin giling getar pada pemampatan dalam adalah sampai suatu derajat yang tinggi tergantung pada berat mesin giling getar, Tabel 11.1. Untuk mencapai lapisan bumi sedalam mungkin, permukaan urukan harus

dimampatkan sedekat mungkin dengan muka air. Pasir yang basah telah terbukti mempunyai daya dukung yang memadai juga untuk sebuah mesin giling getar yang berat, selama mesin itu tidak diam dengan getaran terus berlangsung.



GAMBAR 11.6. Sondasi dengan pencatatan otomatis dan kontinyu dari tahanan kerucut.

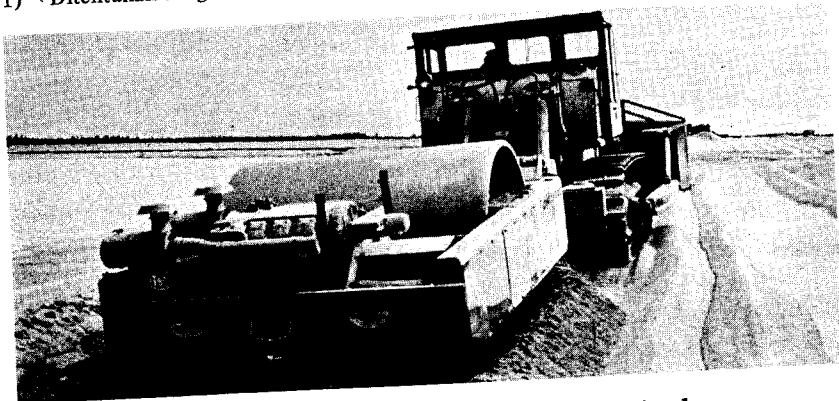
Pada sebuah proyek industri (yang kemudian tidak dilanjutkan) untuk sebuah pabrik baja di Swedia utara, kira-kira 12 juta  $m^3$  pasir dikeruk dari dasar laut dan digunakan secara hidraulik untuk menguruk sebuah daerah di bawah air seluas 5  $km^2$ . Kedalaman air maksimum kira-kira 7 m dan urukan tersebut dimampatkan dari suatu permukaan tepat di atas permukaan air dengan sebuah mesin giling getar Dynapac CH 61 seberat 15 ton yang ditarik, Gambar 11.7. Hasil-hasil sondasi beban itu diperlihatkan di Gambar 11.8. Sebuah lapisan selanjutnya dengan tinggi 2,5 m kemudian diuruk dan dimampatkan dengan mesin giling sejenis sama. Ketika lapisan-lapisan atas dari pasir yang digradasi uniform, yang dikeringkan dengan sinar matahari dan angin, dimampatkan,

masalah-masalah traksi timbul dengan mesin giling getar yang ditarik itu, yang bergerak di sepanjang sejumlah besar pasir. Sebuah traktor crawler yang sangat besar harus digunakan untuk menarik mesin giling itu.

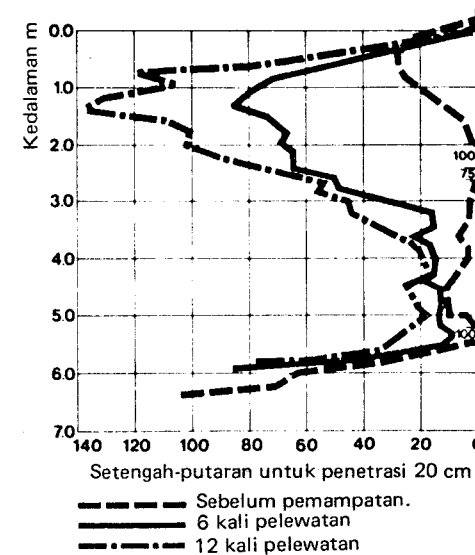
**Tabel 11.1. Efek kedalaman pada pemampatan dalam dari pasir**

Jenis mesin giling	Kedalaman untuk kepadatan relatif sedang-rapat, 1) m	Kedalaman maksimum untuk penambahan kepadatan, m
Mesin giling 5 ton yang ditarik	1,5 – 2,0	kira-kira 2,5
Mesin giling 10 ton yang ditarik	2,0 – 2,5	kira-kira 3,5
Mesin giling 13 ton yang ditarik	3,0 – 4,0	kira-kira 5
Mesin giling 15 ton yang ditarik	3,5 – 4,5	kira-kira 6

1) - Ditentukan dengan sondasi.



**GAMBAR 11.7. Pemampatan dalam dari pasir dengan mesin giling getar 15 ton jenis yang ditarik pada sebuah proyek industri di Swedia**

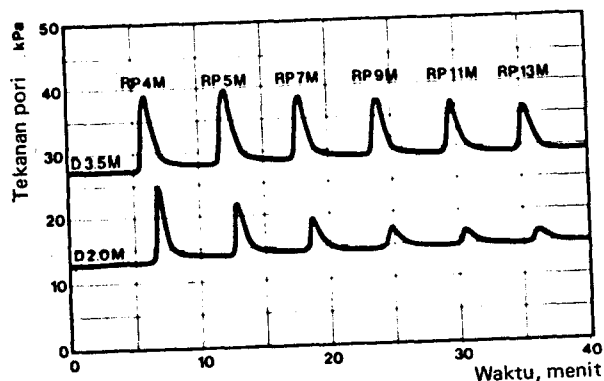


**GAMBAR 11.8. Hasil-hasil sondasi sebelum dan sesudah pemampatan dalam dari pasir.**

Pengukuran-pengukuran tekanan-pori dibuat pada kedalaman 2,0 m dan 3,5 m, Gambar 11.9, Di pasir yang bersih ini, tekanan-tekanan pori turun dengan cepat, dalam waktu 2 menit, setelah mesin giling lewat. Penting bahwa pelewatan mesin giling tidak datang terlalu sering untuk menghindarkan bahwa tekanan-tekanan pori dibentuk selama pemampatan. Kenaikan tekanan pori itu dicatat pada jarak sampai 50 m dari mesin giling.

Di Amerika, mesin-mesin giling getar tandem Dynapac CC 50 S seberat 15 ton dengan gelinding kemudi dan getar telah digunakan dengan hasil baik untuk pemampatan dalam.

Bahan-bahan selain pasir juga telah digunakan sebagai bahan urukan yang ditempatkan di bawah air. Urukan batuan dan kerikil adalah bahan-bahan yang paling tepat. Getaran di atas urukan dengan sebuah mesin giling getar yang berat menghasilkan sebuah efek kedalaman yang baik yang sama besarnya dengan yang diperoleh di pasir.



**GAMBAR 11.9.** Hasil-hasil pengukuran tekanan-pori pada pemampatan-dalam dari pasir. Pengukuran-pengukuran pada kedalaman 2,0 m dan 3,5 m berturut-turut. RP (posisi relatif) menunjukkan jarak antara mesin giling dan titik ukur

Tanah berbutir-halus menyebabkan kesulitan yang lebih besar, di antaranya, disebabkan risiko adanya pemisahan (segregasi) selama pelaksanaan pengurukan. Tanah-tanah berbutir-halus yang digunakan untuk konstruksi bawah-air sebaiknya lebih disukai diberikan dalam jumlah sebesar-besarnya, misalnya dengan bargas-bargas yang berpintu di bagian dasarnya. Alternatif lain adalah dengan menebarkan bahan dari sebuah permukaan di atas muka air dengan traktor-traktor crawler (roda rantai) yang besar.

Tanah moraine telah digunakan untuk menguruk daerah-daerah air misalnya pada pembuatan pelabuhan di Skandinavia. Pemampatan telah dilakukan pada permukaan urukan. Pelesakan jangka-panjang terbatas sebesar 1,0 persen dari tinggi urukan, sampai kira-kira 10,0 m, telah dicatat.

#### **Pemampatan Lapisan-lapisan Pasir dan Kerikil Alam dengan Ke-rapatan Rendah**

Kondisi-kondisi terbaik terjadi jika muka air-tanah tinggi dan

tak terdapat kohesi yang jelas. Efek kedalaman akan sama dengan yang dilaporkan di Tabel 11.1.

Jika muka air-tanah ada dalam tingkat rendah, efek kedalaman akan berkurang, kasarnya kira-kira 75 persen dari harga-harga yang diberikan di Tabel 11.1.

Pemampatan-dalam dari lapisan-lapisan alam kerikil-esker dengan sebuah mesin giling getar jenis yang ditarik seberat 15 ton telah dilakukan di bawah dasar pondasi untuk bangunan-bangunan kantor di pusat kota Stockholm. Tekanan tanah sebesar 0,3 MPa telah diizinkan. Pelesakan-pelesakan jangka-panjang yang sangat kecil telah dicatat.

#### **Pemampatan Tanah yang Dapat Runtuh**

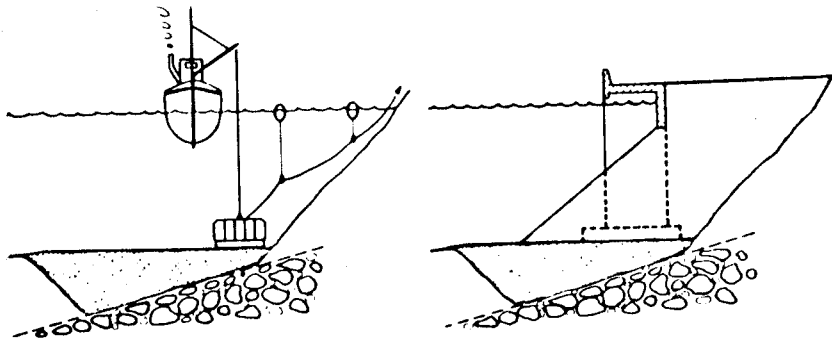
Deposit tanah dapat runtuh yang sangat besar terdapat di berbagai bagian yang berlainan dari dunia ini. Tanah-tanah tersebut biasanya terdiri dari loess. Sebagai pondasi di bawah bangunan-bangunan mereka sangat peka terhadap perembesan air. Untuk mencegah pelesakan nantinya, oleh karenanya pemampatan lebih baik harus digabung dengan peresapan air sampai kedalaman besar yang merupakan masalah sulit. Pada tanah-tanah berlumpur mesin-mesin giling getar yang berat mempunyai efek kedalaman yang lebih terbatas pemampatan mesin giling tidak memberikan keuntungan-keuntungan nyata seperti dengan bahan-bahan besar-air yang disaturasi air.

Penelitian-penelitian tambahan mengenai kemungkinan-kemungkinan untuk menghindarkan pelesakan di masa depan di tanah-tanah yang dapat runtuh sangat diinginkan.

#### **11.3. PEMAMPATAN DI BAWAH AIR**

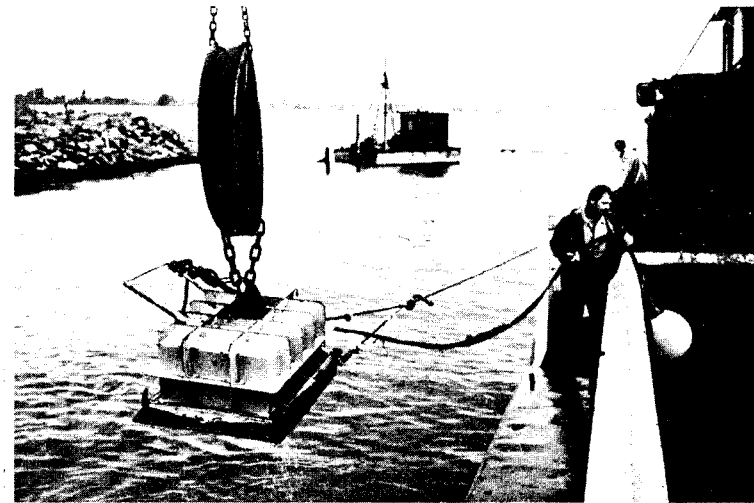
Pemampatan bawah-air dari tanah yang bebas air memberikan keuntungan pemampatan di dalam keadaan disaturasi-air. Dynapac mengembangkan sebuah alat pemampat bawah-air untuk Badan Perkapalan dan Navigasi Swedia (Swedish Administration of Shipping and Navigation), beberapa tahun yang lalu. Alat ini

adalah sebuah plat getar yang digerakkan oleh kran dengan sebuah beban statis seberat 1,8 ton, dimensi bagian bawah 0,9 x 1,0 m dan sebuah gaya sentrifugal sebesar 9,6 ton. Frekuensinya sebesar 24 Hz (1.450 getaran per menit) dengan getaran-getaran dibangkitkan oleh dua buah alat penggetar (vibrator) motor listrik yang sinkron-sendiri. Alat penggetar jenis ini telah digunakan untuk pemampatan bawah-air di sejumlah mercu-suar, proyek-proyek pelabuhan dan jembatan. Gambar 11.10 dan 11.11.



**GAMBAR 11.10.** Penampang konstruksi pelabuhan di stavanger, Norwegia, di mana 10.000 m<sup>3</sup> kerikil hancur menggantikan sebuah lapisan tanah liat.

Efek kedalaman yang efisien pada bahan butiran yang bebas-air adalah 0,75 m sampai 1,0 m, tetapi suatu efek pemampatan tertentu diperoleh pada kedalaman yang lebih besar. Waktu getar yang perlu di masing-masing seksi adalah kira-kira 1 menit. Kapasitas praktis ada dalam rentang 20 sampai 30 m<sup>3</sup>/jam.



**GAMBAR 11.11.** Pemampatan dengan alat pemampat plat bawah-air untuk pondasi kerikil Jembatan Sorterende di Konpenhagen, Denmark. Kon-Kontraktor: Nils P. Lundh, Swedia.

#### 11.4. PEMAMPATAN LERENGAN

Pemampatan lerengan mungkin diperlukan untuk pembuatan bendungan-bendungan dan terusan-terusan. Bendungan-bendungan, dengan permukaan bagian hulu dari aspal atau beton semen yang kedap, adalah satu contoh di mana sebuah pemampatan lerengan yang baik sangat diinginkan. Mesin-mesin giling getar jenis yang ditarik telah lama digunakan untuk pemakaian ini, Gambar 11.12.

Sebuah contoh pemampatan lerengan adalah pelapisan kembali (relining) Terusan Friant Kern di California Tengah. Sebuah tanah liat montmorillonite yang sangat plastis dicampur dengan 4 persen kapur tohor dan ditaruh di dalam tiga lapisan setelah 0,4 m di lerengan itu. Lerengan-lerengan itu dimampatkan dengan sebuah mesin giling getar padfoot CA 25 PD, yang dikerek ke atas

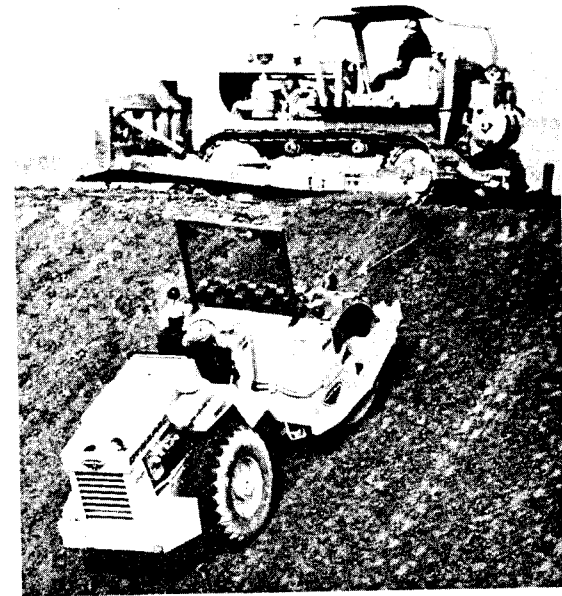
dan ke bawah oleh sebuah traktor roda-rantai (crawler), Gambar 11.13. Tanah yang distabilkan itu dimampatkan sampai 95% Proctor Standar.



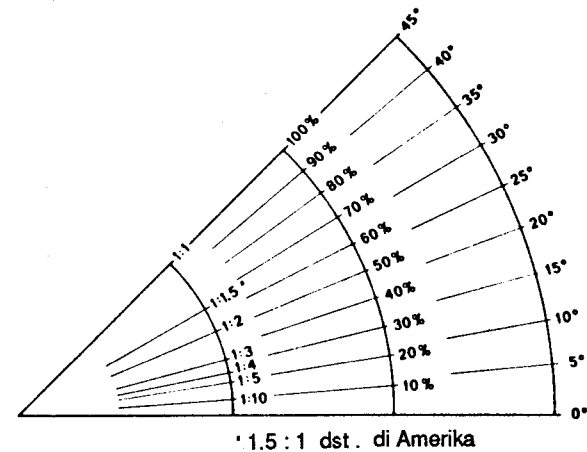
GAMBAR 11.12. Pemampatan lerengan dengan mesin giling jenis yang ditarik

Sebelum menggunakan mesin pada lerengan tanyakan pada pembuatannya apakah mesin itu mampu beroperasi secara kontinyu pada inklinasi (bidang miring) sebenarnya.

Sebuah perbandingan dari ukuran-ukuran kemiringan lerengan yang berbeda diberikan di Gambar 11.14.



GAMBAR 11.13. Pemampatan lereng dari tanah liat yang distabilkan dengan kapur dengan mesin giling getar padfoot, Terusan Frient-Kern, California Amerika.



GAMBAR 11.14. Ukuran-ukuran yang berbeda untuk menunjukkan kemiringan lerengan

### 11.5. BETON YANG DIMAMPATKAN MESIN GILING

Pemampatan beton yang digunakan untuk bendungan-bendungan besar (beton massal) biasanya dilakukan dengan alat penggetar (vibrator) internal, yang mampu kerja keras khusus. Di dalam beberapa hal prosedur getaran telah dimekanisasi dengan meletakkan sejumlah alat penggetar bendungan di atas sebuah traktor roda-rantai kecil.

Penggunaan mesin-mesin giling untuk menggantikan alat penggetar internal untuk memampatkan beton biasa terutama diselidiki dan diuji oleh dua buah organisasi di Amerika yang membuat bendungan-bendungan dan pembangkit-pembangkit listrik, Korps Zenie AD. Amerika dan Otorita Lembah Tennessee (TVA).<sup>58), 59), 60), 61), 62).</sup>

#### Sifat-sifat Beton

Beton yang dipergunakan mempunyai kadar semen dan air yang rendah. Konsistensinya sangat kaku (penurunan mendadak nol). Kandungan semen biasanya di sekitar 100 kg per m<sup>2</sup> dan ukuran agregat maksimum 75 mm. Pengujian yang luas telah memperlihatkan bahwa pemampatan dengan mesin-mesin giling getar menghasilkan kekuatan dan kekedapan yang sama terhadap perembesan air dengan jika menggunakan alat penggetar internal. Jika lapisan beton berikutnya dihamparkan dalam 24 jam, sambungan-sambungan horisontal tidak memerlukan perlakuan khusus apapun. Pada interval yang lebih lama, sebuah lapisan beton dengan agregat halus harus dihamparkan sebelum beton sebenarnya yang akan dimampatkan oleh mesin giling dihamparkan.

Kandungan air dari campuran beton sangat penting. Kandungan air yang tak mencukupi menghasilkan sebuah beton yang terlalu kaku dan sulit dimampatkan sampai kerapatan yang diperlukan. Kelebihan air memberikan sebuah campuran yang terlalu plastis dan menciptakan masalah-masalah traksi bagi mesin giling. Juga penting bahwa campuran beton diberi proporsi yang tepat sehingga jumlah adukan semen yang digunakan cukup untuk mengisi seluruh rongga di dalam betonan.

Korps Zenie AD Amerika telah menyarankan bahwa sebuah consistome ter beton Vebe yang dimodifikasi harus digunakan untuk menentukan kemampuan dapat dikerjakan dari beton yang dimampatkan mesin giling. Modifikasi tersebut terdiri dari sebuah beban ekstra di atas piringan.

#### Prosedur Pemampatan

Mesin-mesin giling dengan sebuah beban linier statis sebesar 20 sampai 30 kg/cm adalah cocok. Mesin-mesin giling Dynapac CA 15, CA 25, CC 42 dan CC 50 telah dipergunakan baik dalam pengujian-pengujian maupun dalam pekerjaan-pekerjaan dengan hasil yang baik. Untuk ukuran mesin giling ini sebuah ketebalan lapisan di antara 200 mm dan 350 mm adalah tepat. Risiko adanya retak-retak di permukaan berarti bahwa mesin giling dengan gelinding kemudi mempunyai keuntungan khusus. Model-model yang lebih berat dengan sebuah beban linier statis sebesar 50 kg/cm dapat memadatkan penaikan-penaikan yang lebih tebal.

Alat-alat pemampat getar plat, atau model-model mesin giling getar yang lebih kecil seperti mesin giling dengan gelinding ganda, dapat digunakan untuk memampatkan beton yang dihamparkan dekat dengan tiang-tiang turap dan konstruksi beton.

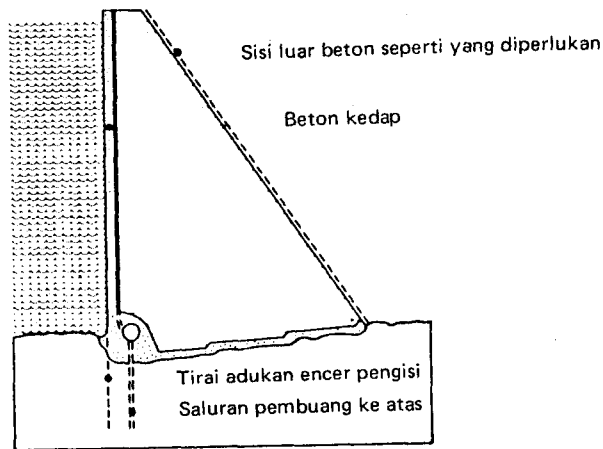
#### Ekonomi

Pertama-tama, kandungan semen rendah yang digunakan di dalam pemampatan beton dengan mesin giling memungkinkan penghematan ongkos. Terlebih lagi, jenis beton ini lebih murah untuk dicampur, diangkut dihamparkan dan dimampatkan dibandingkan dengan beton biasa. Ongkos per m<sup>3</sup> beton dapat diturunkan dengan 25 persen sampai 50 persen dari yang untuk beton konvensional. Di proyek-proyek tertentu ongkos dari kerja pembentukan (form work) akan lebih tinggi untuk beton yang dimampatkan mesin giling daripada untuk beton biasa, tetapi meskipun demikian pengurangan ongkos yang besar bisa dilakukan.

#### Pemakaian

Jika beton yang dimampatkan mesin giling digunakan di

dalam bendungan-bendungan beton, sisi luar bagian hulu yang kedap air harus terbuat dari beton biasa, Gambar 11.15. <sup>61)</sup>



**GAMBAR 11.15.** Desain yang disarankan untuk bendungan beton yang dimampatkan mesin giling. <sup>61)</sup>

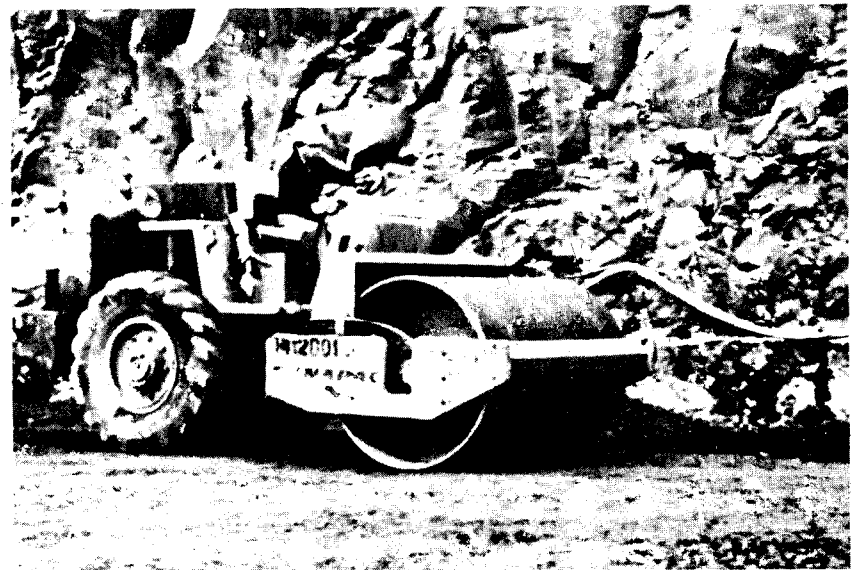
Di Jepang bendungan Okawa dibangun dari beton yang dimampatkan mesin giling (1980). Di Inggris sebuah seksi uji telah dihamparkan di atas bendungan Milton Brook.

Pembangkit-pembangkit listrik tenaga nuklir pada umumnya memerlukan pondasi beton kuat dan beton yang dimampatkan dengan mesin giling dapat digunakan dengan menguntungkan. Di pembangkit listrik besar di Tarbela, Pakistan, beton yang dimampatkan dengan mesin giling digunakan untuk sejumlah besar urukan yang diperlukan untuk memperkuat seksi-seksi terowongan yang dapat dipengaruhi robohan-robohan, maupun untuk lerengan-lerengan saluran di bagian hilir saluran pelimpah. Untuk pekerjaan terakhir ini mesin-mesin giling Dynapac CA 51 S digunakan.

Beton yang dimampatkan mesin giling telah dimasukkan ke dalam struktur-struktur beton di Pembangkit Listrik Itaipu di perbatasan Brazil-Paraguay. Bahan itu diangkut ke lokasi dengan

dumper dan disebar di dalam lapisan-lapisan setebal 250 mm oleh traktor beroda rantai, kemudian dimampatkan oleh mesin-mesin giling getar, Gambar 11.16. 25.000 m<sup>3</sup> beton dihamparkan dan dimampatkan setiap bulan.

Harus ditunjukkan bahwa jenis beton yang serupa, seperti yang dibicarakan di dalam sub-bab ini, telah digunakan selama bertahun-tahun di Inggris sebagai lapisan dasar untuk konstruksi jalan raya dengan nama "beton kurus" yang biasanya dimampatkan dengan mesin-mesin giling.



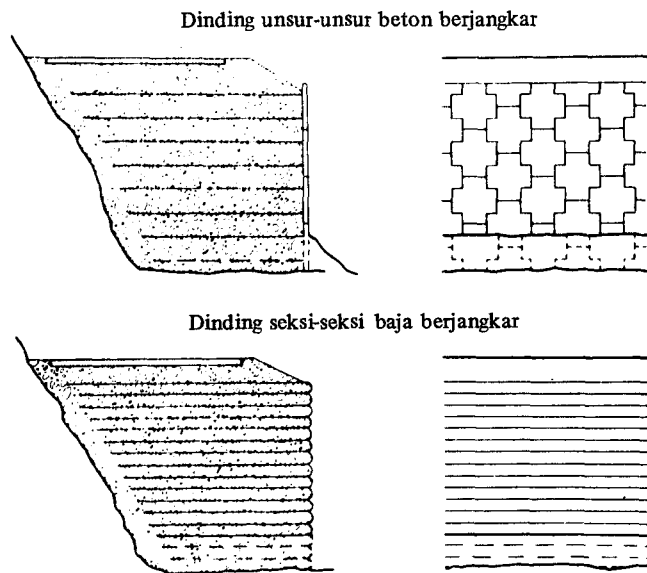
**GAMBAR 11.16.** Mesin giling getar 7 ton yang dikemudikan pada beton-rol, yang dihamparkan di dasar struktur beton, Pembangkit Listrik Utaipu, Brazil-Paraguay.

#### 11.6. PENGUATAN DAN PEMAMPATAN TANAH DI SEKITAR GORONG-GORONG BAJA

Dalam tahun-tahun belakangan ini, penguatan tanah dalam bentuk tenunan yang ditempatkan di bawah sebuah lapisan ker-

kil di atas tanah-tanah yang jenuh (saturated) dan lemah telah menjadi agak umum di dalam konstruksi jalan raya dan pondasi bangunan. <sup>63)</sup> Tanpa tenunan tersebut sebuah lapisan kerikil bagian atas mudah dicampur dengan lapisan di bawahnya. Lapisan kerikil itu bisa dimampatkan sebuah alat pemampat getar atau mesin giling getar dengan sebuah beban linier statis rendah atau sedang. Traksi dari mesin giling itu harus baik, dan mesin giling getar gelinding-ganda dengan dua buah gelinding kemudi cocok untuk dipergunakan.

Dinding-dinding tanah yang diperkuat adalah sebuah perkembangan baru dan sangat menarik, menggantikan dinding-dinding beton, <sup>64)</sup> Gambar 11.17. Bahan urukan balik harus dimampatkan dengan baik agar membentuk sebuah struktur yang stabil. Alat-alat pemampat getar plat, maupun mesin-mesin giling getar yang bisa dikemudikan tepat untuk digunakan.

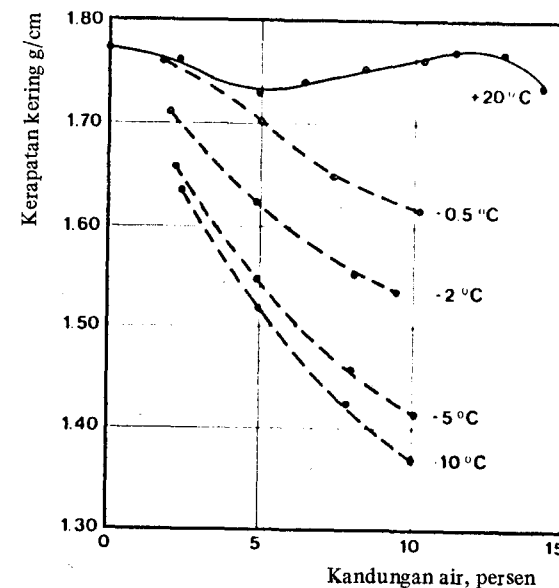


GAMBAR 11.17. Struktur-struktur tanah yang diperkuat. <sup>51)</sup>

Pemakaian lain di mana kekuatan struktural dari sebuah urukan balik berbutir yang dimampatkan adalah sangat penting, adalah pengurukan di sekitar gorong-gorong baja yang bergelombang melalui tubuh-tubuh jalan. Gorong-gorong tersebut memerlukan sebuah penyangga kuat dari urukan sekelilingnya.

### 11.7. PEMAMPATAN SELAMA MUSIM DINGIN

Tanah beku sangat sulit untuk dimampatkan karena es di dalam pori-pori menghubungkan partikel-partikel dengan kuat. Kesulitan mencapai kerapatan yang tinggi bertambah dengan kandungan butiran-butiran halus di dalam tanah dan kandungan air. <sup>65)</sup> Dengan turunnya temperatur di bawah nol, bahan urukan menjadi makin lama makin padat dan oleh karenanya makin sulit untuk dimampatkan, Gambar 11.18.



GAMBAR 11.18. Kurve-kurve pemampatan untuk tanah beku dan tidak beku. <sup>65)</sup>



Jika untuk berbagai alasan, pengurukan dan pemampatan harus dilaksanakan di bawah kondisi-kondisi musim dingin yang kurang lebih berat, ongkos-ongkos akan lebih tinggi dan kualitas lebih rendah. Untuk menyediakan lapangan kerja di sepanjang tahun, sejumlah pembuatan jalan dilaksanakan selama kondisi-kondisi musim dingin, misalnya di Kanada dan negara-negara Skandinavia. Mungkin juga terdapat alasan-alasan lain untuk membuat jalan selama musim dingin itu, seperti misalnya kemungkinan untuk membangun jalan-jalan masuk, dan jalan angkut di atas rawa-rawa dan paya-paya yang beku.

Untuk pemampatan di musim dingin terdapat tiga alternatif utama:

1. Pemampatan tanah kering dan bahan-bahan urukan batuan.
2. Pemampatan cepat dari bahan-bahan urukan tak beku (sebelum tanah membeku).
3. Pemampatan di musim panas berikutnya dari permukaan atas tubuh jalan dengan menggunakan sebuah mesin giling getar yang berat.

### **Pemampatan Tanah Kering dan Urukan Batuan**

Bahan-bahan yang kering sempurna, terutama urukan batuan, batuan hancur atau kerikil kasar, adalah bahan-bahan yang paling cocok untuk pemampatan di musim dingin. Tetapi meskipun dengan bahan-bahan ini terdapat suatu risiko akan pembekuan setelah turun hujan atau salju. Permukaan urukan oleh karenanya harus dibersihkan dari salju sejauh mungkin sebelum lapisan berikutnya ditaruh. Melelehkan dengan garam merupakan kemungkinan lain. Namun, tidak mungkin untuk menghindarkan bahwa tubuh-tubuh jalan urukan batu yang dibuat di bawah kondisi-kondisi musim dingin memberikan pelepasan yang agak lebih besar daripada tubuh-tubuh jalan yang dibangun pada temperatur di atas titik beku.

Bahan-bahan lapisan dasar jalan raya yang terdiri dari batuan hancur, dengan ukuran batu maksimum yang berbeda-beda dari

80 mm sampai 200 mm yang umum terdapat di negara-negara Skandinavia, cocok sekali untuk pemampatan selama musim dingin.

Diagram, Gambar 11.18, juga menunjukkan bahwa pasir dan kerikil beku yang mengandung kandungan air relatif rendah, di bawah 3 sampai 4 persen, dapat dimampatkan sampai kerapatan yang relatif tinggi jika bahan itu seluruhnya atau sebagiannya beku. Hal ini telah dibenarkan oleh pengalaman praktis pada pemampatan bahan-bahan butiran.

### **Pemampatan Cepat Tanah yang Tak Beku**

Pemampatan cepat urukan-urukan yang tak beku mengambil asumsi bahwa mereka dapat dipindahkan dari galian-galian dan lubang-lubang bahan galian di bawah lapisan permukaan beku sekalipun selama musim dingin. Urukan ini diangkut segera ke tempat pengurukan di mana ia harus diratakan secepat-cepatnya jika temperatur ada di bawah titik-beku.

Kecepatan yang tinggi dan kemampuan bergerak yang baik dari mesin-mesin giling getar yang bisa dikemudikan memberikan kemungkinan-kemungkinan yang jauh lebih baik untuk pemampatan cepat daripada mesin-mesin giling jenis yang ditarik atau mesin-mesin giling statis yang berat. Pemakaian yang tepat untuk metode ini adalah pemampatan dasar dan lapisan dasar yang terdiri dari bahan-bahan butiran, lebih disukai dengan kandungan air yang rendah.

Perlunya untuk pemampatan yang cepat digambarkan di Gambar 11.19, yang memperlihatkan tingkat pembekuan pada temperatur rendah. Dalam hal-hal khusus mungkin tepat untuk bekerja sepanjang hari untuk menghindari pembekuan.<sup>67)</sup>

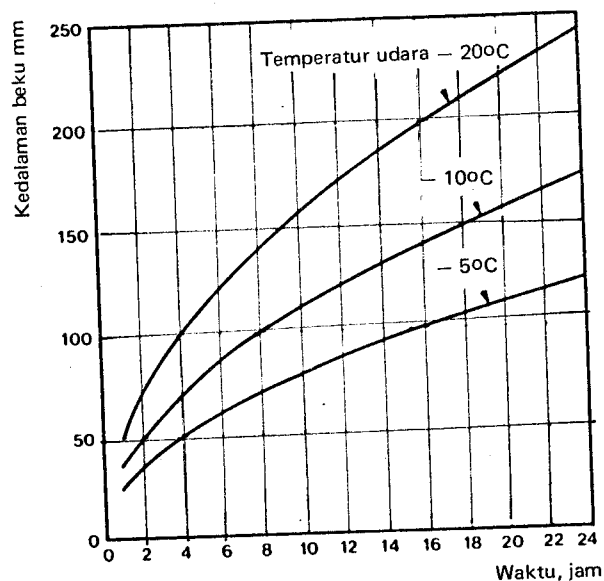
### **Prosedur Pengurukan**

Pada temperatur-temperatur di bawah nol, pengurukan dalam penaikan yang tipis dapat menghasilkan lebih kurang pembekuan total urukan. Di bawah kondisi-kondisi musim dingin, lapisan-

lapisan tebal dalam banyak hal lebih disukai. Kerugian-kerugian pemampatan yang kurang di bagian bawah sebuah lapisan tebal, biasanya akan lebih kecil daripada pengaruh negatif dari memiliki bagian urukan besar yang beku.

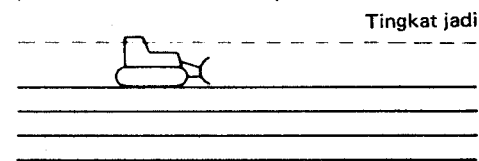
Pada hal-hal tertentu, mesin giling getar sheepsfoot dan pad-foot bisa mempunyai efek-efek positif melalui kemampuan mereka untuk menghancurkan gumpalan-gumpalan beku, terutama di tanah berbutir.

Metode untuk menyebarkan urukan dengan sebuah traktor roda-rantai di sebuah lerengan seperti yang diperlihatkan di Gambar 11.20, telah terbukti sangat cocok di bawah kondisi-kondisi musim dingin. Sebuah ketebalan lapisan yang relatif besar digunakan. Sebuah keuntungannya ialah bahwa permukaan yang terbuka terhadap pembekuan akan terbatas.

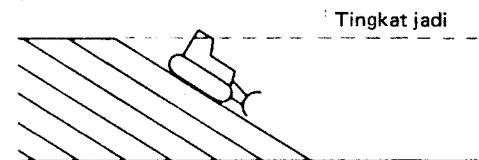


GAMBAR 11.19. Tingkat pembekuan untuk kerikil

- A. Metode normal  
(daerah luas terbuka untuk pembekuan)



- B. Metode Musim Dingin  
(daerah kecil terbuka untuk pembekuan)



GAMBAR 11.20. Traktor yang menebarkan urukan di lerengan selama kondisi-kondisi musim dingin

### Pemampatan Musim Panas Berikutnya

Di bawah kondisi-kondisi musim dingin yang berat, dengan temperatur rendah dan kedalaman penetrasi beku yang besar, tidak mungkin untuk menghindarkan bahan-bahan urukan yang membeku. Jika tubuh jalan terdiri dari tanah beku, terjadinya pelesakan-pelesakan yang komparatif besar tak dapat dihindarkan. Oleh sebab itu tubuh jalan harus dihampari dengan kamper (zeeg) yang banyak. Kenaikan tambahan yang tepat berjumlah 20 sampai 30 persen dari tinggi tubuh jalan. Tubuh jalan yang rendah memerlukan persen kenaikan tinggi yang lebih besar daripada tubuh jalan yang tinggi.

Selama musim panas berikutnya, permukaan tubuh jalan disesuaikan dan karenanya permukaan itu dimampatkan dengan sebuah mesin giling getar yang berat. Mesin giling getar dengan bobot modul gelinding statis minimum sebesar 10 ton yang disarankan. Jumlah pelewatan yang sesuai adalah 8 sampai 10 kali.

Penyesuaian ketinggian tubuh jalan dan pemampatan sebaiknya jangan dilakukan sampai seluruh urukan tubuh jalan itu telah mencair. Di Skandinavia utara hal ini mungkin memerlukan lebih kurang seluruh masa musim panas. Di sebuah proyek pembuatan jalan di Swedia utara di antara Kiruna dan perbatasan Norwegia, tanah-tanah beku diketemukan di dalam tubuh jalan pada kedalaman 5 m pada akhir bulan Agustus, musim panas setelah pembuatan. Oleh sebab itu di tubuh jalan yang tinggi penyesuaian dan pemampatan harus dilakukan pada akhir musim panas tersebut.

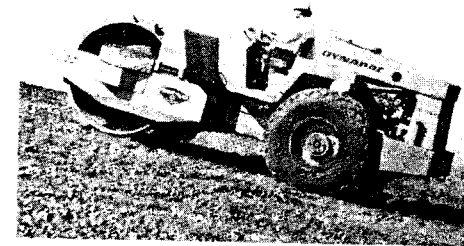
Pemilihan metode ini mencegah pembuatan dasar dan lapisan dasar selama musim dingin yang sama sebagai tubuh jalan. Perataan permukaan sering harus menunggu sampai musim panas kedua setelah pembuatan tubuh jalan. Karenanya prosedur ini menghasilkan waktu konstruksi yang lebih panjang. Pengalaman praktis mengenai metode ini yang dijelaskan di atas, sehubungan dengan kualitas jalan dan pelesakan jangka-panjang, pada umumnya baik.

Sebuah contoh yang menguntungkan dari "pemampatan-musim panas" adalah sebuah lapangan terbang di Gävle Swedia, di mana sebuah lapisan dasar dari kerikil kasar dengan sebuah ketebalan 1,2 m dihamparkan selama musim dingin itu. Permukaan dari lapisan ini dimampatkan di musim panas berikutnya dengan sebuah mesin giling getar jenis yang ditarik CH 60 berbobot 13 ton. Setelah 15 tahun pengoperasian, permukaan lapangan terbang ini bahkan masih rata dan perkerasan aspalnya ada dalam kondisi yang sangat baik.

#### 11.8. PEMAMPATAN BATUBARA

Batubara yang ditumpuk secara kendur mudah terpengaruh pembakaran spontan yang disebabkan oleh sirkulasi udara melalui bahan itu. Risiko terjadinya pembakaran dapat dihilangkan melalui pemampatan bahan itu dengan efisien. Pemampatan tumpukan-tumpukan barubara sering dikerjakan dengan peralatan penanganan dan penebaran. Pemakaian alat-alat pemampat getar memungkinkan pemampatan yang lebih efisien juga pada lapisan-lapisan yang komparatif tebal.<sup>68)</sup> Mesin-mesin giling getar dengan

sebuah beban linier statis sebesar 25 sampai 30 kg/cm sering dengan gelinding padfoot sering mampu memampatkan barubara dalam lapisan-lapisan 0,6 m sampai 1 m, Gambar 11.21. Sebuah permukaan yang sangat padat juga melindungi lapisan-lapisan di bawahnya dari hujan dan salju dan mengurangi debu.



GAMBAR 11.21. Pemampatan batubara dengan mesin giling getar padfoot 11 ton

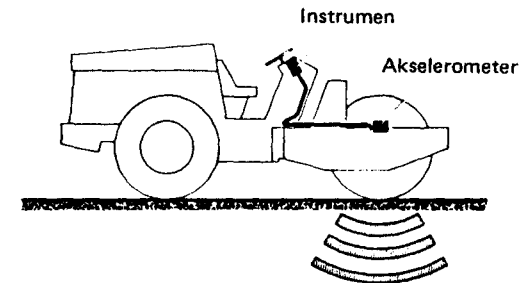
## 12. ALAT PENGUKUR PEMAMPATAN DI MESIN GILING GETAR

Metode-metode konvensional yang digunakan untuk pemeriksaan pemampatan (lihat Bab 4), sampai suatu derajat tinggi tertentu, didasarkan pada operasi-operasi manual yang memakan waktu dan mahal. Metode-metode penggantian-pasir dan balon-air adalah yang paling umum, diseluruh dunia, dan uji kerapatan tanah masih didasarkan pada lubang-lubang yang digali tangan dengan hati-hati di dalam urukan. Pemeriksaan pemampatan yang ekstensif menurut prinsip ini dapat menghasilkan pengendalian ongkos-ongkos yang lebih tinggi daripada ongkos untuk kerja pemampatan itu sendiri. Oleh sebab itu, terdapat suatu permintaan tertentu untuk metode-metode pemeriksaan pemampatan yang lebih maju dan lebih ekonomis. Satu alternatifnya ialah menggunakan alat pemeriksa yang dipasang di mesin-mesin giling getar. Metode-metode yang mencatat getaran rangka (Tampo), atau amplitudo gelinding (Rex-Nord), terutama mengidentifikasi frekuensi resonansi dari sistem penggetar-tanah. Metode-metode ini belum diterima dan dipergunakan secara umum.

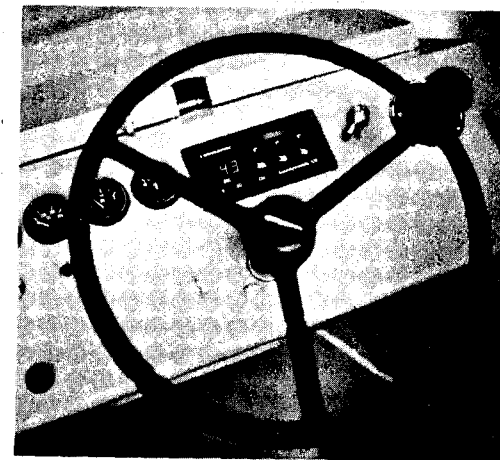
Sebuah alat ukur pemampatan listrik, untuk dipasang di mesin giling, dikembangkan oleh Geodynamik, sebuah perusahaan pengembangan Swedia, dengan kerja sama erat dengan Departemen Penelitian Dynapac.<sup>69)</sup> Alat tersebut diperkenalkan ke pasaran pada tahun 1978.

### 12.1. PRINSIP PENGUKURAN<sup>69)</sup>

Alat ukur pemampatan menerima sinyal dari sebuah akselerometer (alat ukur percepatan) yang dipasang teguh di atas gelinding getar sebuah mesin giling, Gambar 12.1. Akselerometer itu terus menerus mencatat getaran gelinding yang dianalisis sehubungan dengan frekuensi fundamental dan harmonis pertama dari getaran-getaran. Hasil-hasilnya diberikan kepada operator di sebuah display digital, Gambar 12.2.



GAMBAR 12.1. Mesin giling getar dengan alat ukur pemampatan



GAMBAR 12.2. Alat ukur pemampatan yang dipasang pada panel instrumen sebuah mesin giling

Jika getaran-getaran adalah berkala dan sinusoidal, seperti jika gelinding ditempatkan di atas sebuah medium elastis yang halus seperti misalnya karet, alat ukur menunjukkan sebuah nilai konstan yang rendah. Jika mesin giling beroperasi di atas sebuah permukaan dengan berbagai reaksi terhadap efek dinamis dari gelinding, pembacaan-pembacaan yang diperoleh akan menunjukkan sifat fisik dan dinamis dari tanah yang berbeda-beda. Dengan suatu kenaikan kerapatan dan kenaikan modulus elastisitas lapisan dasar berbarengan, alat ukur akan mencatat nilai yang lebih tinggi berturut-turut.

Jika lapisan dasar terdiri dari lapisan-lapisan yang berbeda dengan modulus elastisitas yang berbeda pula, sebuah modulus elastisitas dinamis resultan akan dicatat. Jadi alat ukur pemampatan mencatat sebuah nilai relatif dari daya dukung tanah.

Harga alat ukur pemampatan yang diberikan di display menyatakan harga rata-rata untuk periode pengukuran 5,0 atau 30 detik. Alat itu dapat distel sebelumnya untuk harga yang sesuai dengan derajat pemampatan yang ditentukan yang diperoleh dari uji pemampatan konvensional. Segera setelah alat itu mencatat sebuah harga yang melebihi nilai yang ditetapkan terlebih dahulu tadi, sebuah lampu sinyal akan menyala. Ini mengatakan pada operator bahwa pemampatan permukaan yang sedang digiling telah mencapai tingkat yang ditentukan. Sebuah pencetak digital, yang mencatat harga yang diukur di sebuah gulungan kertas, dapat dihubungkan dengan alat tersebut.

## 12.2. EVALUASI OLEH UJI LABORATORIUM 69)

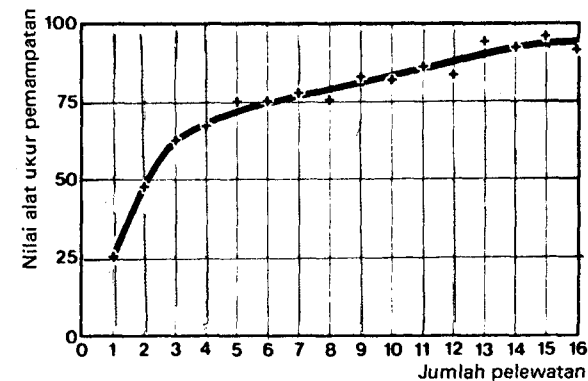
Alat ukur pemampatan diuji dan dievaluasi oleh Laboratorium Penelitian Dynapac. Hasil-hasil yang diperoleh telah dibandingkan dengan hasil-hasil dari:

- Uji kerapatan yang menggunakan sebuah volumeter balon-udara.
- Penentuan modulus elastisitas statis dengan menggunakan uji pembebanan plat.

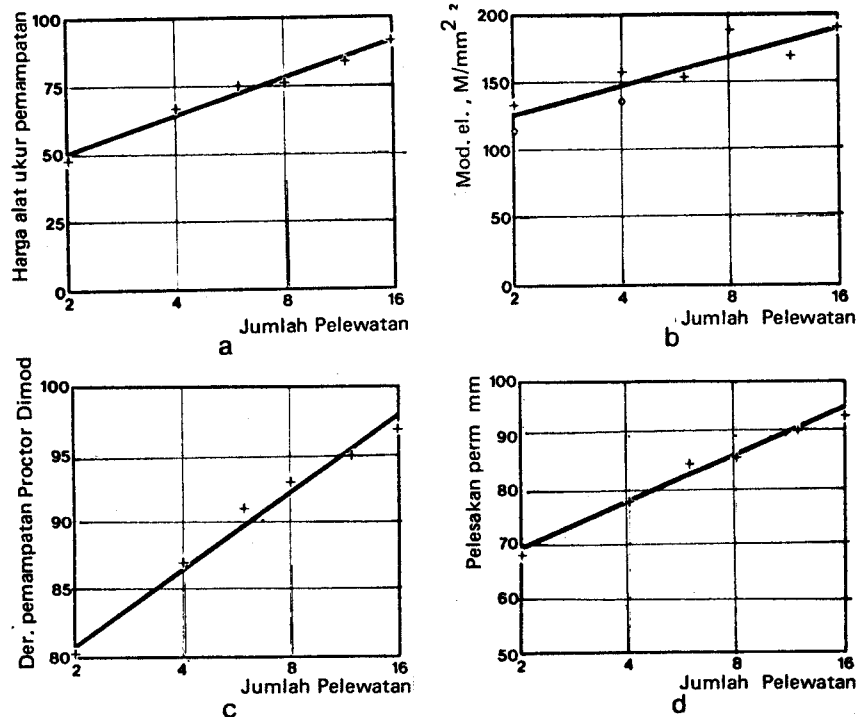
- Penentuan modulus elastisitas dinamis dengan menggunakan sebuah alat beban jatuh.
- Penentuan pelesakan permukaan dengan alat-alat perata.

Hasil-hasil penyelidikan yang dibuat dengan sebuah mesin giling getar Dynapac CA 51 S yang dapat dikemudikan seberat 15 ton, diperlihatkan di Gambar 12.3. dan 12.4. Bahan yang dimampatkan terdiri dari sebuah lapisan kerikil hancur yang digradasi-baik setebal 300 mm yang dihamparkan di atas sebuah tubuh jalan urukan batuan yang dimampatkan dengan baik.

Karena sebuah korelasi linier di antara harga-harga yang dicatat dan jumlah pelewatan diperoleh dari semua kelima metode tersebut, maka jelas bahwa hubungan yang linier terjadi di antara semua metode yang dipergunakan. Hal ini jelas menunjukkan bahwa alat ukur pemampatan memberikan sebuah pengukuran yang relatif dapat diandalkan dari kenaikan pemampatan yang paling sebanding dengan modulus elastisitas atau daya dukung.



GAMBAR 12.3. Harga alat ukur pemampatan yang dicatat pada jumlah pelewatan yang makin bertambah. Pemampatan dasar dengan mesin giling getar 15 ton.



**GAMBAR 12.4.** Kurve-kurve pemampatan yang diperoleh dari metode pengukuran yang berbeda. Jumlah pelewatan dalam skala logaritmis.

- (a) Korelasi antara harga-harga alat ukur pemampatan dan jumlah pelewatan.
- (b) Korelasi antara modulus elastisitas statis (o) dan dinamis (+) dan jumlah pelewatan.
- (c) Korelasi antara kerapatan kering dan jumlah pelewatan.
- (d) Korelasi antara pelesakan permukaan dan jumlah pelewatan.

### 12.3. UJI PADA PASIR DAN KERIKIL DI SWEDIA

Sebuah perusahaan konsultan Swedia, Jacobson & Widmark, telah membuat sebuah penyelidikan luas mengenai metode-metode yang berlainan untuk menentukan sifat-sifat pasir dan kerikil yang

dimampatkan. Uji kerapatan, uji pembebanan plat dan alat ukur tekanan, maupun metode sondasi dan alat ukur pemampatan yang berlainan dibandingkan. Di dalam penelitian ini, alat ukur pemampatan memberikan harga-harga yang dapat direproduksi, yang berkorelasi baik dengan hasil dari metode lain yang diuji.

### 12.4. FAKTOR YANG MEMPENGARUHI HASIL UJI

#### Pengaruh Kecepatan Mesin Giling

Kecepatan mesin giling harus hampir konstan jika membuat pengukuran dengan alat ukur pemampatan, karena kecepatan, sampai sejauh tertentu, akan mempengaruhi harga-harga yang dicatat. Kecepatan rendah memberikan harga alat ukur pemampatan yang agak lebih tinggi.

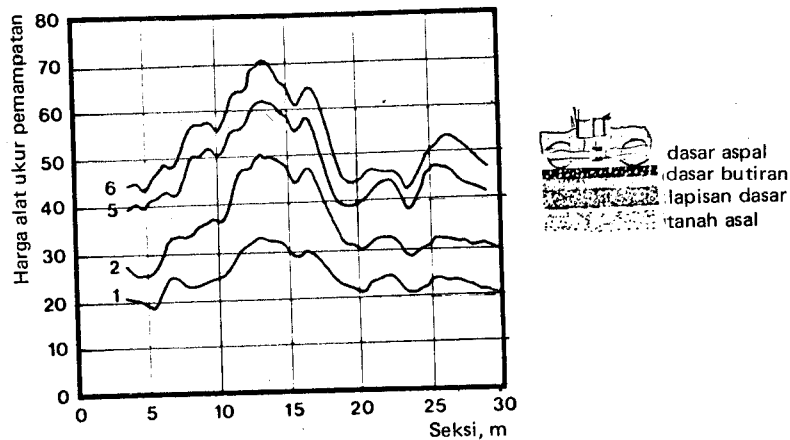
#### Pengaruh Sifat Tanah

Satu pengalaman dari uji lapangan adalah bahwa variasi-variasi harga alat ukur pemampatan yang biasanya komparatif besar, mencerminkan kenyataan bahwa kehomogenan bahan tanah normal adalah lebih rendah daripada yang dapat diharapkan. Alat ukur pemampatan mencatat harga rata-rata untuk periode-periode bergantian 5,0 dan 30 detik. Pada sebuah kecepatan mesin giling sebesar 3 km/jam periode pengukuran ini sebanding dengan jarak-jarak pengukuran berturut-turut 4,0 m dan 25 m. Dalam praktek, periode pengukuran 30 detik biasanya digunakan untuk meminimumkan fluktuasi harga-harga alat ukur pemampatan. Variasi-variasi harga alat ukur pemampatan yang besar disebabkan variasi dalam sifat tanah. Hal ini terbukti dengan kemampuan reproduksi harga-harga yang sangat baik jika mesin giling membuat uji ulang pada daerah yang sama. Daerah baik dan buruk berturut-turut diperkeras berulang-ulang, Gambar 12.5.

Biasanya harga-harga berikut ini tercatat dengan menggunakan alat ukur pemampatan pada berbagai jenis tanah yang berlainan:

Urukan batuan	60 sampai 100
Kerikil	30 sampai 50
Pasir	25 sampai 40
Lumpur <sup>1)</sup>	20 sampai 30

- 1) Pada kandungan air optimum. Harga-harga yang lebih rendah akan dicatat pada tingkat kandungan air di atas yang optimum

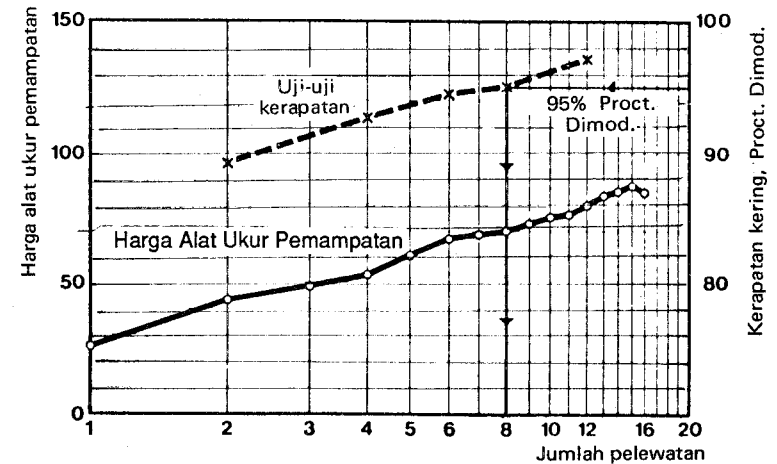


GAMBAR 12.5. Hasil-hasil pengukuran alat ukur pemampatan pada sebuah lapisan dasar heterogen dengan sebuah mesin giling getar tandem 10 ton.

Alat ukur pemampatan mencatat modulus elastisitas yang dihasilkan. Mesin-mesin giling dengan efek kedalaman yang besar, karenanya mengukur harga-harga yang sebanding dengan modulus elastisitas yang dihasilkan sampai kedalaman 1,0 m atau lebih. Hal ini berarti bahwa pengukuran-pengukuran yang dibuat, misalnya, pada 0,5 m kerikil di atas sebuah lapisan dasar tanah liat dengan kandungan air yang tinggi, bisa memperlihatkan harga-harga yang rendah dan terutama konstan yang disebabkan pengaruh tanah kohesif, meskipun kerapatan kerikil meningkat selama pemampatan.

## 12.5. KALIBRASI

Jika memulai sebuah pekerjaan baru, alat ukur pemampatan harus dikalibrasi melalui sebuah uji lapangan, misalnya, di mana uji kerapatan berkala dibandingkan dengan pengukuran-pengukuran alat ukur pemampatan. Prinsip-prinsip untuk pelaksanaan sebuah uji kerapatan lapangan dijelaskan di Sub Bab 10.9. Satu contoh dari kerapatan komparatif dan uji alat ukur pemampatan diberikan di Gambar 12.6.



GAMBAR 12.6. Contoh kurve pemampatan yang diperoleh dengan alat ukur pemampatan dan dengan uji kerapatan lapangan

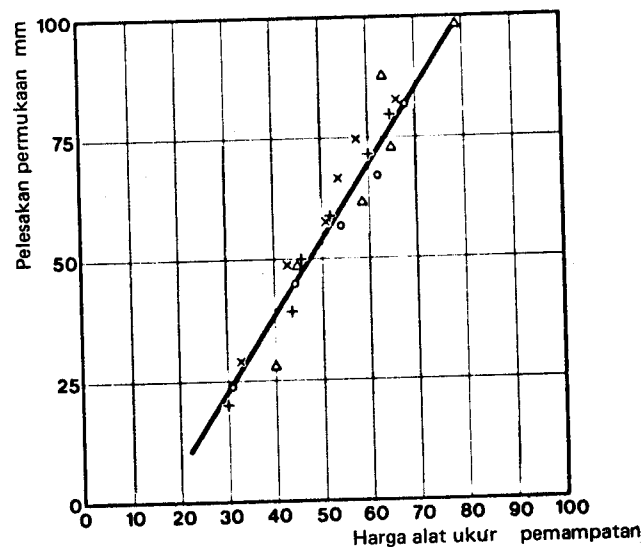
## 12.6. PENGALAMAN LAPANGAN

Uji yang luas dengan alat ukur pemampatan dilakukan pada pembuatan Pembangkit Listrik Juktan di Swedia, yang meliputi tiga buah bendungan di Danau Blaiksjon. Bendungan-bendungan itu mempunyai inti tanah moraine, filter urukan batu halus dan urukan penyangga yang terdiri dari urukan batuan kasar, semuanya berjumlah 600.000 m<sup>3</sup>. Sebuah mesin giling getar Dynapac CA 51 S 15 ton digunakan untuk sebagian besar pekerjaan dan

memampatkan lapisan-lapisan moraine 0,6 m sampai 0,8 m sampai antara 95 persen dan 100 persen Proctor Dimodifikasi dalam 8 sampai 10 kali pelewatan.

Filter (penyaring) yang meliputi urukan batuan dengan ukuran batu maksimum 0,3 m sampai 0,5 m dimampatkan dalam lapisan-lapisan antara 0,6 m dan 1,0 m dalam delapan kali pelewatan. Urukan batu kasar dengan ukuran batu maksimum kira-kira 0,7 m dimampatkan dalam lapisan-lapisan 2,0 m di dalam 10 kali pelewatan, sebanding dengan kapasitas kira-kira 1.000 m<sup>3</sup>/jam.

Uji dengan alat ukur pemampatan yang dipasang di atas mesin giling dilaksanakan di atas urukan morain maupun urukan baru halus dan kasar. Pelesakan permukaan ditentukan dengan pemeriksa perata dibandingkan dengan harga-harga yang dicatat oleh alat ukur pemampat. Banyak korelasi yang sangat baik diperoleh di antara pelesakan permukaan dan harga-harga yang dicatat oleh alat ukur pemampatan. Gambar 12.7.



**GAMBAR 12.7.** Korelasi di antara pelesakan permukaan dan harga-harga yang dicatat dengan alat ukur pemampatan di atas urukan batuan di Pembangkit Listrik Juktan. Hasil-hasil dari empat pengujian yang terpisah.

Di beberapa urukan pondasi, alat ukur pemampatan yang dipasang pada mesin-mesin giling getar yang berat dipergunakan untuk meyakinkan bahwa urukan yang dimampatkan memperoleh daya dukung yang tinggi dan seragam, Gambar 12.8.



**GAMBAR 12.8.** Pemampatan pondasi urukan batu untuk pabrik kertas di Frovifors, Swedia. Kontraktor: SIAB, Swedia.

## 12.7. MESIN GILING PENGUKUR

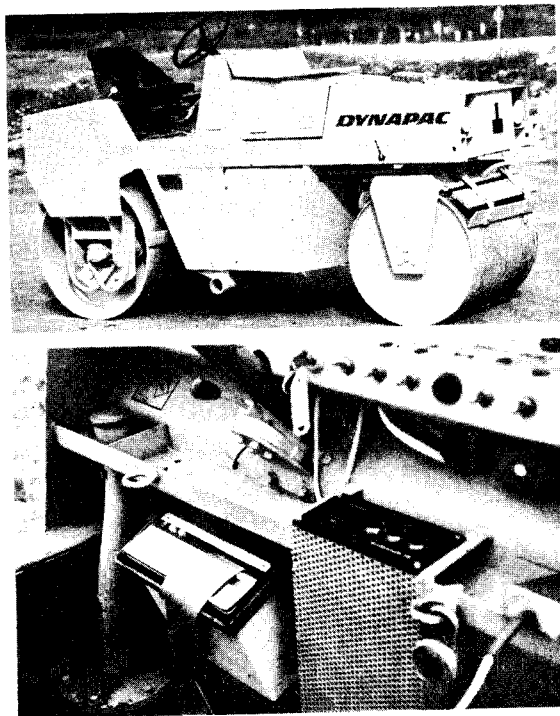
Sebuah mesin giling getar yang dapat dikemudikan dilengkapi dengan sebuah alat ukur pemampatan, lebih disukai dengan sebuah pencetak, dapat digunakan sebagai sebuah mesin giling pemeriksa, Gambar 12.9. Di dalam pembuatan jalan raya, mesin giling semacam itu dapat membuat pemeriksaan akhir tempat-tempat yang dimampatkan sebelum lapisan selanjutnya atau perataan permukaan dengan aspal di hamparkan. Sebuah keuntungan besar ialah bahwa seluruh daerah diuji tidak hanya tempat-tempat tertentu, yang sekarang hanya merupakan satu-satunya metode pemeriksaan pemampatan yang mungkin.

Unit jenis ini digunakan untuk memeriksa modulus elastisitas konstruksi dasar di jalan kereta api baru Paris-Lyons. Getaran-



getaran yang ditimbulkan oleh mesin giling dianggap memiliki besar sama dengan getaran-getaran yang ditimbulkan oleh lalu lintas kereta api di masa datang. Penggunaan mesin giling pengukur memungkinkan untuk memeriksa keseragaman lapisan-dasar balas dan melokalisasi tempat-tempat yang lemah pada saat itu.

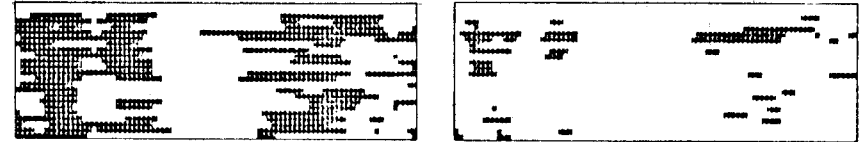
Hasil yang diperoleh dengan mesin giling pengukur yang digunakan untuk memeriksa sebuah urukan pondasi untuk sebuah proyek industri diperlihatkan di dalam diagram-diagram, Gambar 12.10, dihasilkan oleh sebuah komputer.<sup>70)</sup>



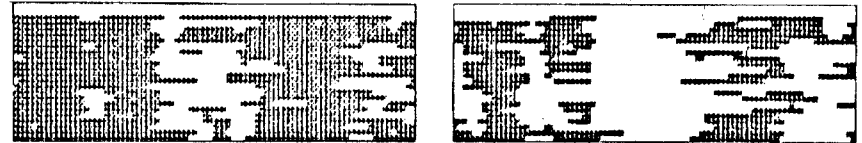
**GAMBAR 12.9.** Mesin giling pengukur dengan alat ukur pemampatan dan pencetak

Harga-harga alat ukur pemampatan  
 $> 60$   $> 70$

Setelah dua kali pelewatan



Setelah empat kali pelewatan



**GAMBAR 12.10.** Harga-harga alat ukur pemampatan yang diperoleh dengan mesin giling pengukur pada urukan pondasi untuk proyek industri, Dingolfing, Jerman Barat. Grafik-grafik yang dihasilkan komputer

## 12.8. KESIMPULAN

Alat ukur pemampatan mencatat sebuah harga relatif modulus elastisitas dinamis tanah (daya dukung). Dalam banyak hal, daya dukung ini adalah sebuah nilai yang lebih berlaku sehubungan dengan sifat kualitas dibandingkan dengan kerapatan. Korelasi di antara harga-harga alat ukur pemampatan dan kerapatan lapangan harus ditentukan.

Pada urukan baruan, alat ukur pemampatan adalah sebuah metode unik untuk pemeriksaan pemampatan karena tak terdapat metode-metode sederhana lainnya. Metode ini juga sangat cocok untuk batuan hancur dan kerikil. Di tanah berbutir-halus harga-harga yang diukur tergantung pada kandungan air dengan cara yang sama dengan modulus elastisitas statis atau dinamis. Oleh sebab itu, perlu juga untuk menentukan kandungan air dan membandingkannya dengan harga-harga alat ukur pemampatan.

Satu keuntungan utama dari alat ukur pemampatan adalah bahwa seluruh daerah urukan dapat diperiksa dengan cepat, dan tidak hanya tempat-tempat tertentu yang merupakan kasus jika menggunakan metode-metode konvensional.

Sebuah alat ukur pemampatan membuat pekerjaan operator mesin giling yang agak monoton menjadi lebih menarik.

### 13. PEMAKAIAN ENERGI PADA PEMAMPATAN

Masalah pemakaian energi telah menjadi suatu pertimbangan yang sangat penting di dalam pemilihan di antara metode-metode alternatif untuk sebagian besar tujuan industri. Di dalam industri konstruksi, kenaikan biaya bahan bakar diesel dengan cepat adalah sebuah faktor utama yang mempengaruhi naiknya biaya-biaya pembangunan.

Dalam jangka waktu yang singkat harga bahan bakar diesel telah lebih dari tiga kali lipat dan pada tingkat harga sekarang ini bahan bakar dan pelumas menyatakan di antara 10 dan 20 persen dari ongkos operasi total untuk mesin-mesin konstruksi ukuran-sedang. Persentase ini mungkin bahkan akan naik lebih jauh lagi.

#### 13.1. PRINSIP-PRINSIP PERHITUNGAN

Mesin-mesin diesel digunakan sebagai sumber daya dalam prakteknya untuk semua jenis peralatan pemampatan. Energi kimia di dalam bahan bakar mengandung kira-kira 40.000 kJ per kilogram yang diubah menjadi energi mekanis diukur dalam kWjam atau DKjam. Efisiensi daya adalah kira-kira 40 persen yang berarti bahwa kira-kira 0,25 liter minyak diesel akan menghasilkan 1 kWjam (1,36 DKjam) energi mekanis.

Perbandingan berikut ini di antara berbagai metode pemampatan yang berlainan dan jenis mesin giling mengasumsikan bahwa mesin-mesin dari berbagai macam alat yang beroperasi pada kira-kira 80 persen dari daya mesin nominalnya (faktor beban 0,8).

Tabel 13.1. Pemakaian energi dalam pemampatan

Pemakaian Jenis Mesin Giling	Berat Mesin Giling ton <sup>1)</sup>	Keluaran Mesin Di dalam Operasi Normal kW <sup>2)</sup>	Kapasitas      m <sup>3</sup> /jam <sup>3)</sup>	Pemakaian Energi kWjam/m <sup>3</sup> 4)
<b>Urukan batuan</b>				
Ms. gil. getar yang ditarik	6	65	500 (0,75)	0,12
Ms. gil. getar yang ditarik	10	100	1000 (1,5)	0,10
Ms. gil. getar yang ditarik	15	150	1500 (2,0)	0,10
Ms. gil. getar dikemudikan	10 (5)	65	700 (0,75)	0,09
Ms. gil. getar dikemudikan	15 (10)	100	1300 (1,5)	0,08
<b>Pasir, kerikil</b>				
Ms. gil. getar yang ditarik	6	60	500 (0,6)	0,12
Ms. gil. getar yang ditarik	10	100	900 (1,0)	0,11
Ms. gil. getar yang ditarik	15	150	1400 (1,5)	0,11
Ms. gil. getar dikemudikan	10 (5)	65	600 (0,5)	0,11
Ms. gil. getar dikemudikan	15 (10)	100	1200 (1,0)	0,08
Ms. gil. getar tandem	10	70	500 (0,5)	0,14
Ms. gil. tiga roga statis	10	45	200 (0,2)	0,23
Ms. gil. ban-udara (dikemudikan)	17	50	200 (0,2)	0,25
<b>Tanah liat</b>				
Ms. gil. getar ditarik (bantalan)	6	65	200 (0,3)	0,33
Ms. gil. getar ditarik (bantalan)	10	100	300 (0,4)	0,33
Ms. gil. getar dikemudikan (padft)	11 (7)	70	300 (0,3)	0,23
Ms. gil. getar dikemudikan (padft)	15 (10)	100	450 (0,4)	0,22
Ms. gil. padfood statis	25	180	700 (0,3)	0,26
Ms. gil. ban-udara (dikemudikan)	17	50	150 (0,2)	0,33
Ms. gil. ban-udara (ditarik)	40	150	450 (0,3)	0,33
<b>Perataan permukaan aspal</b>				
Ms. gil. getar tandem	2	20	20 (0,05)	1,0
Ms. gil. getar tandem	7	40	40 (0,05)	1,0
Ms. gil. getar tandem	10	70	65 (0,05)	1,1
Ms. gil. getar tandem	14	90	85 (0,05)	1,1
Ms. gil. tiga roda statis	10	45	30 (0,05)	1,5
Ms. gil. ban-udara		50	30 (0,05)	1,7

- 1) Bobot modul gelinding di dalam tanda kurung.
- 2) Untuk ms. giling ditarik: keluaran mesin traktor plus ms. giling.
- 3) Ketebalan lapisan yang berpadanan di dalam tanda kurung.
- 4) 1 kWjam =  $3,6 \cdot 10^6$  Nm

Harga-harga pemakaian energi per m<sup>3</sup> urukan yang dimampatkan yang dihitung untuk berbagai jenis dan ukuran alat pemampat diberikan di Tabel 13.1. Ukuran mesin dari berbagai macam alat pemampatan adalah harga rata-rata yang diambil dari katalog.

Kapasitas yang dihitung dapat didefinisikan sebagai kapasitas maksimum praktis dalam m<sup>3</sup>/jam selama pengoperasian yang kontinyu menurut prinsip-prinsip yang dibicarakan di Bab 9.

Harga-harga di Tabel 13.1. tentu saja tidak menyatakan semua jenis peralatan pemampatan dan semua pemakaian. Bahkan jika hasil-hasil itu harus dianggap sebagai agak bersifat perkiraan dan skematis mereka akan mencerminkan perbedaan-perbedaan prinsip di antara metode pemampatan alternatif dan jenis-jenis mesin giling.

Di dalam pemampatan dasar butiran, kapasitasnya secara kasar adalah setengah dari kapasitas yang diberikan di Tabel 13.1 untuk pasir dan kerikil. Hal ini berarti bahwa pemakaian energi adalah kira-kira dua kali setinggi yang dibandingkan dengan harga yang diberikan untuk pasir dan kerikil di dalam tabel.

Dari Tabel 13.1. perbandingan-perbandingan berikut ini dapat ditarik:

1. Pemakaian energi per m<sup>3</sup> urukan adalah rendah untuk pemampatan getar urukan batu dan tanah-tanah berbutir, berjumlah antara 0,08 dan 0,14 kWjam/m<sup>3</sup>. Mesin-mesin giling getar yang ditarik memberikan 20 sampai 30 persen pemakaian energi yang lebih tinggi (untuk traktor dan mesin giling) daripada mesin-mesin giling getar yang dapat dikemudikan. Untuk tanah-tanah butiran, mesin giling statis membutuhkan kira-kira dua kali pemakaian energi dari mesin-mesin giling getar yang dikemudikan.
2. Pemampatan tanah liat membutuhkan penaikan yang lebih rendah dan pemakaian energi yang lebih tinggi dengan harga-harga paling rendah untuk mesin-mesin giling getar yang dikemudikan dan mesin-mesin giling padfoot statis.

3. Beton aspal dimampatkan dalam penaikan-penaikan yang tipis dan pemakaian energinya komparatif tinggi, pada 1 kWjam/m<sup>3</sup> atau lebih.

### 13.2. PERBANDINGAN DENGAN UJI LABORATORIUM

Uji pemampatan laboratorium biasanya dilakukan dengan memampatkan bahan di dalam beberapa lapisan di dalam sebuah acuan dengan sebuah alat penumbuk jatuh. Energi yang digunakan di dalam pemampatan dapat dihitung dari jumlah lapisan, jumlah tumbukan per lapisan, massa alat penumbuk, dan tinggi jatuh, lihat Bab 4 dan Tabel 4.1.

Harga-harga energi berikut ini berlaku:

Proctor Standar	$5,9 \cdot 10^6 \text{ Nm/m}^3 = 0,16 \text{ kWjam/m}^3$
Proctor Dimodifikasi	$2,7 \cdot 10^6 \text{ Nm/m}^3 = 0,75 \text{ kWjam/m}^3$
Uji Marshall (50 tumbukan) <sup>1)</sup>	$3,3 \cdot 10^6 \text{ Nm/m}^3 = 0,91 \text{ kWjam/m}^3$
Uji Marshall (75 tumbukan) <sup>1)</sup>	$4,9 \cdot 10^6 \text{ Nm/m}^3 = 1,37 \text{ kWjam/m}^3$

- 1) Untuk beton aspal

Sebuah derajat pemampatan sebesar 100 persen Proctor Dimodifikasi tidak sering dispesifikasikan untuk tanah, 95 persen lah yang lebih umum. Untuk tanah-tanah berbutir nilai ini kira-kira sebanding dengan kira-kira 100 persen Proctor Standar dengan nilai energi sebesar 0,16 kWjam/m<sup>3</sup>. Pemakaian energi di dalam uji laboratorium dan di dalam operasi-operasi pemampatan skala-penuh karenanya mempunyai besar yang sama.

Untuk beton aspal, usaha pemampatan di dalam uji laboratorium adalah lebih tinggi daripada untuk tanah yang sebanding dengan kondisi-kondisi yang terdapat dalam praktek.

### 13.3. KESIMPULAN

Pemampatan getaran ditandai dengan penggunaan mesin-mesin yang komparatif ringan yang menghasilkan tingkat tekanan yang relatif rendah di dalam bahan-bahan yang dimampatkan. Oleh karenanya tidaklah mengherankan bahwa perhitungan-per-

hitungan menghasilkan nilai-nilai pemakaian energi yang rendah di dalam pemampatan getar urukan batu dan tanah-tanah butiran.

Dengan semua jenis alat pemampat, tanah liat membutuhkan pemampatan dalam lapisan-lapisan lebih tipis yang menghasilkan pemakaian energi yang tiga kali lebih tinggi daripada untuk tanah-tanah berbutir.

Beton aspal dimampatkan dalam lapisan-lapisan yang sangat tipis dibandingkan dengan tanah dan oleh karenanya membutuhkan jumlah energi yang jauh lebih tinggi. Penghematan energi yang besar dapat dicapai jika satu mesin giling getar dapat menggantikan dua atau tiga mesin giling statis.

## 14. PERHITUNGAN ONGKOS MESIN

Metode yang disederhanakan yang dijelaskan berikut ini sejak bertahun-tahun lalu telah digunakan secara umum untuk menghitung ongkos per jam untuk peralatan konstruksi jenis-jenis yang berlainan.

### 14.1. ONGKOS TETAP

#### Penyusutan

Di dalam sebuah metode yang disederhanakan, investasi, yang merupakan harga beli mesin termasuk peralatannya, pengangkutan, tarif pabean, dan lain-lain, dibagi dengan jumlah total jam yang diharapkan digunakan oleh mesin itu (usia yang diharapkan).

#### Bunga, Pajak, Asuransi

Bunga dan pajak pada investasi, bersama dengan asuransi pada mesin, dihitung sebagai persentase dari nilai investasi mesin rata-rata.

Nilai investasi rata-rata untuk sebuah periode penyusutan 5 tahun adalah 60 persen.

Nilai selama tahun ke-1	100%	
Nilai selama tahun ke-2	80%	
Nilai selama tahun ke-3	60%	Nilai investasi rata-rata
Nilai selama tahun ke-4	40%	60% dari biaya-biaya modal
Nilai selama tahun ke-5	20%	

Dengan misalnya tingkat suku bunga pada investasi modal sebesar 10 %, pajak 3 % dan asuransi 2 % (total 15 %), jumlah tahunan rata-rata akan menjadi:

$$\frac{15}{100} \cdot \frac{60}{100} = 9,0 \text{ persen dari harga penyerahan}$$

Jumlah ini harus dibagi dengan jumlah jam kerja per tahun.

Haruslah ditekankan bahwa perhitungan ini hanya memberikan sebuah hasil perkiraan. Jika angka-angka yang tepat diperlukan maka perlu untuk mengambil ongkos-ongkos sebenarnya, seperti yang dikeluarkannya, dan membaginya dengan jumlah jam mesin yang benar-benar telah dikerjakannya.

### 14.2. ONGKOS-ONGKOS OPERASI

#### Bahan Bakar dan Pelumas

Ongkos-ongkos sebenarnya untuk bahan bakar dan pelumas harus diperiksa secara lokal karena harga bisa berbeda-beda sangat besar.

Sebagai suatu petunjuk kasar, pemakaian bahan bakar diesel dapat dihitung dari ukuran mesin nominal. Pemakaian normalnya adalah 0,25 l/jam per kW daya mesin. Dengan sebuah faktor daya sebesar 0,8, maka pemakaian akan sebesar 0,2 l/jam per daya mesin nominal yang dinyatakan dalam kW (1 kW sama dengan 1,36 DK).

Ongkos-ongkos untuk pelumas dan oli secara rata-rata dapat dihitung sebagai 20 persen dari ongkos bahan bakar.

#### Perbaikan dan Pemeliharaan

Merupakan hal paling umum untuk menyatakan ongkos perbaikan dan pemeliharaan dalam persentase dari ongkos-ongkos penyusutan. Seperti yang bertentangan dengan penyusutan (depresiasi), biaya-biaya adalah nol pada saat pembelian dan kemudian naik berturut-turut jika mesin dipakai. Di sini juga, untuk

menyederhanakan, perhitungan-perhitungan biasanya dilakukan dengan ongkos yang didistribusikan merata selama umur mesin.

Ongkos-ongkos perbaikan dan pemeliharaan berbeda-beda sampai sejauh tertentu tergantung pada jenis dan kualitas mesin dan kepada sifat pekerjaan. Harga-harganya biasanya bervariasi di antara 50 dan 100 persen.

### Operator

Upah operator dinyatakan dalam dasar per jam. Penting di sini untuk memasukkan semua ongkos, seperti kompensasi liburan, ongkos-ongkos sosial, dan lain-lain.

Satu contoh dari perhitungan ongkos per jam untuk sebuah mesin giling getar diberikan di Tabel 14.1.

**Tabel 14.1. Perhitungan ongkos-ongkos operasi untuk mesin giling**

#### DATA DASAR

1. Mesin giling getar jenis yang dapat dikemudikan, 10 ton
2. Harga penyerahan \$ 50.000
3. Periode penyusutan 5 tahun 10.000 jam

#### ONGKOS-ONGKOS TETAP

##### 4. Penyusutan

$$\frac{\text{Harga penyerahan}}{\text{Periode penyusutan}} = \frac{\$ 50.000}{10.000} = \$ 5.00/\text{jam}$$

##### 5. Bunga, pajak, asuransi

$$\text{Persentase dr } \frac{\text{harga penyerahan}}{\text{jam setahun}} = \frac{9}{100} \cdot \frac{\$ 50.000}{2.000} =$$

$$\$ 2.25/\text{jam}$$

##### 6. Ikhtisar ongkos-ongkos tetap

$$\$ 7,25/\text{jam}$$

#### ONGKOS-ONGKOS OPERASI

##### 7. Bahan bakar

Harga perkiraan 0,2 l/kw ukuran mesin nominal  
(dengan mengasumsikan faktor beban 0,8)  
0,2. ukuran nominal mesin 80 kW. 0,25 (\$ per liter)

$$\$ 4,00/\text{jam}$$

##### 8. Pelumas dan oli

Nilai perkiraan 20% dari ongkos bahan bakar

$$\$ 0,80/\text{jam}$$

##### 9. Perbaikan dan pemeliharaan

Persentase dari penyusutan per jam

$$\frac{75}{100} \cdot \$ 5,00 = \$ 3,75/\text{jam}$$

##### 10. Upah operator

$$\$ 12,00/\text{jam}$$

##### 11. Ongkos operasi total per jam

$$\$ 27,80/\text{jam}$$

#### Rumus praktis

Ongkos operasi per jam dari sebuah mesin giling getar, tidak termasuk operator, yang dihitung menurut prinsip-prinsip yang diberikan di bab ini diperkirakan 0,03 sampai 0,04 persen dari harga penyerahan.

## 15. PENGOPERASIAN MESIN DI BAWAH KONDISI-KONDISI KHUSUS

### Ketinggian Besar

Jika mesin-mesin beroperasi pada ketinggian yang besar, suatu rugi keluaran mesin akan terjadi. Sebuah kandungan kelembasan udara sebesar 60 persen dan temperatur  $20^{\circ}\text{C}$  memberikan harga-harga berikut ini:

Ketinggian, m	Pengurangan efek persen
0	0
500	7
1000	14
1500	20
2000	26
2500	31
3000	37

Sangat umum pada operasi ketinggian besar bahwa tanjakan-tanjakan dan lerengan-lerengan lebih curam daripada biasanya yang ditemukan di daerah-daerah rendah. Kondisi temperatur bisa juga ekstrim dan, di bawah kondisi khusus, efek mesin bisa dikurangi dengan sebanyak 40 sampai 50 persen. Oleh karena itu, selalu perlu untuk memeriksa data penampilan mesin pada ketinggian besar untuk mesin-mesin yang akan beroperasi di bawah kondisi-kondisi tersebut.

### Iklim Panas

Sebuah rugi efek mesin tertentu ada kaitannya dengan suatu kenaikan temperatur sekitarnya. Harga-harganya bervariasi dengan jenis-jenis mesin. Sebuah harga normalnya adalah 4 persen untuk setiap  $10^{\circ}\text{C}$  di atas  $20^{\circ}\text{C}$ . Di banyak bagian dunia ini, peralatan konstruksi harus bekerja pada temperatur sekitar sampai + 40 sampai  $50^{\circ}\text{C}$ .

Penting bahwa pelumas harus cocok untuk rentang temperatur di mana mesin-mesin dioperasikan. Jika oli dengan kekentalan (viskositas) rendah, terdapat suatu bahaya bahwa mereka bisa menurunkan kualitas melumas mereka karena temperatur naik dan viskositas turun. Periksa dengan pembuat mesinnya dan petunjuk manual tentang jenis oli mana yang harus digunakan.

### Kelengasan (Humidity)

Pada kelengasan nol persen (iklim gurun) efek mesin pada  $30^{\circ}\text{C}$  kira-kira akan sebesar 3 persen lebih tinggi daripada suatu kelengasan sebesar 60 persen. Pada kelengasan 100 persen (iklim tropis) efek pada  $30^{\circ}\text{C}$  akan kira-kira 2 persen lebih kecil daripada suatu kelengasan sebesar 60 persen.

### Debu

Di daerah gurun dan negara-negara gersang, sejumlah besar debu dihasilkan pada lokasi-lokasi proyek konstruksi. Jika partikel-partikel debu diizinkan untuk memasuki ruang-ruang kompresi mesin melalui pemasukan udara, hasilnya akan merupakan keausan lebih cepat pada torak dan dinding-dinding silinder. Banyak contoh terjadi pada mesin-mesin diesel yang telah menjadi payah dalam kurang dari 100 jam. Oleh karenanya di kondisi-kondisi berdebu perlu untuk sangat hati-hati dengan pemilihan dan pemeliharaan penyaring udara. Penyaring-penyaring khusus untuk di gurun biasanya direkomendasikan oleh si pembuat mesin.

## Iklim Dingin <sup>71)</sup>

Kekentalan (viskositas) oli merupakan satu masalah utama di kondisi cuaca dingin maupun panas. Pelumas sintetis untuk operasi cuaca dingin telah dikembangkan. Cairan anti-beku harus dipergunakan untuk sistem pendinginan. Perlindungan sistem pendinginan dan kapasitas kipas yang berkurang mungkin juga perlu. Sebuah masalah lebih lanjut adalah sistem kelistrikan, terutama baterainya. Pada 50° C, reaksi-reaksi kimia praktis hilang. Oleh sebab itu baterai-baterai harus tetap bermuatan penuh dan panas.

Di bawah kondisi-kondisi dingin yang ekstrim, mesin-mesin lebih disukai harus ditempatkan di dalam garasi atau pelindung yang dipanaskan jika tidak digunakan.

Pembuatan-pembuatan jalan di Skandinavia dan Kanada dilakukan pada temperatur di bawah - 30° C pada usaha dan ongkos yang bisa diterima.

Masih pada temperatur-temperatur yang lebih rendah kesulitan-kesulitan bertambah banyak, di antaranya, yang disebabkan oleh kegetasan baja. Namun, traktor-traktor beroda-rantai telah digunakan pada temperatur di bawah - 50 ° C.

### Pengoperasian pada Lerengan-lerengan

Operasi pada lerengan tubuh jalan, bendungan tanah dan pelapisan saluran menempatkan permintaan khusus akan peralatan konstruksi. Untuk model-model mesin yang berbeda, elevasi-elevasi minimum di dalam arah yang berlainan diberikan oleh pembuatnya. Dengan tempat oli khusus yang ditawarkan sebagai peralatan tambahan, elevasi-elevasi kerja yang diizinkan dapat dinaikkan.

## 16. UKURAN TRAKTOR YANG SESUAI UNTUK MESIN GILING GETAR YANG DITARIK

Tarikan batang penarik dari sebuah traktor tergantung terutama pada dua faktor:

1. Beban pada roda kemudi atau track/lintasan (berat traktor).
2. Faktor traksi (kekuatan tarik).

Tarikan batang penarik maksimum dapat dihitung dengan rumus:

$$\boxed{\text{Tarikan batang penarik}} = \boxed{\text{Faktor Traksi}} \times \boxed{\text{Beban pada roda kemudi atau lintasan}}$$

Tarikan batang penarik bertambah dengan proporsi yang sama terhadap beban pada roda kemudi atau lintasan. Beban di roda belakang dari traktor beroda dengan dua gelinding kemudi biasanya kira-kira 65 persen dari berat traktor total. Di dalam beberapa hal, berat traktor beroda lebih berat daripada beban khusus pada traktor atau dengan balas di dalam ban.

Untuk traktor-traktor beroda juga sebuah hambatan gilingan disebabkan pada fleksi (kelenturan) ban dan deformasi permukaan tanah harus diperhitungkan. Rumus untuk hambatan gilingan adalah:

$$\boxed{\text{Hambatan gilingan}} = \boxed{\text{Koefisien hambatan gilingan}} \times \boxed{\text{Berat traktor}}$$



Traksi (kekuatan tarik) untuk berbagai macam kondisi tanah maupun koefisien hambatan gilingan diberikan di Tabel 16.1.<sup>72)</sup>

Pada pasir dan kerikil koefisien traksi bertambah besar dengan bertambahnya kandungan air. Pada tanah liat dan bahan lempung koefisien traksi itu turun dengan bertambahnya kandungan air.

Nilai tarikan batang penarik yang nominal ataupun maksimum yang diberikan oleh pabrik-traktornya didasarkan pada sebuah faktor traksi sama dengan 1,0 yang secara praktis tidak pernah diketemukan di bawah kondisi-kondisi kerja sebenarnya, lihat Tabel 16.1.

Tabel 16.1. Faktor-faktor Traksi dan hambatan gilingan untuk traktor-traktor

Jenis Bahan	Faktor-faktor Traksi		Koefisien hambatan gilingan Traktor roda
	Traktor roda	Traktor	
Jalan beton dan aspal	~0,9	~0,45	~0,02
Batuan hancur	~0,65	~0,55	~0,03
Jalan kerikil	~0,4	~0,5	~0,05
Pasir basah	~0,4	~0,45	~0,10
Pasir kerikil	~0,2	~0,3	~0,15
Urukan tanah liat	~0,4	~0,5	~0,10

Tarikan batang penarik yang terjadi juga dipengaruhi oleh gradien (kemiringan). Kira-kira kenaikan satu persen dalam kemiringan akan menaikkan gaya tarik yang diperlukan dengan satu persen berat mesin.

Jadi rumusnya akan menjadi:

$$\boxed{\text{Hambatan tanjakan}} = \boxed{0,01} \times \boxed{\text{Berat traktor dan mesin giling}} \times \boxed{\text{kemiringan dalam persen}}$$

Tabel 16.2. Ukuran-ukuran traktor yang disarankan untuk mesin giling getar yang ditarik  
(1 kW = 1,36 DK)

Berat Statis Mesin Giling, ton	KONDISI TRAKSI BAIK Bahan-bahan keras yang digradasi-baik misal: bahan-bahan untuk dasar		KONDISI TRAKSI SEDANG Bahan-bahan untuk normal dari kerikil, pasir, lumpur, tanah liat, misal: urukan batu.		KONDISI TRAKSI BURUK Pasir kering, tanah liat basah, dan lain-lainnya.	
	Traktor roda	Traktor roda-rantai	Traktor beroda	Traktor roda-rantai	Traktor beroda	Traktor roda rantai
5	3 - 5 ton 30 - 50 kW	< 4 ton < 40 kW	4 - 6 ton <sup>1)</sup> 30 - 60 kW	4 - 6 ton 30 - 60 kW	— —	8 - 12 ton 60 - 100 kW
10	4 - 6 ton <sup>1)</sup> 30 - 60 kW	4 - 6 ton 30 - 60 kW	6 - 10 ton <sup>1)</sup> 40 - 80 kW	6 - 10 ton 40 - 80 kW	— —	15 - 25 ton 100 - 200 kW
15	6 - 8 ton <sup>1)</sup> 40 - 70 kW	6 - 8 ton 40 - 70 kW	10 - 15 ton <sup>1)</sup> 70 - 120 kW	10 - 15 ton 70 - 120 kW	— —	20 - 30 ton 150 - 250 kW

1) Semua roda-kemudi

## Traktor Beroda

Tarikan batang penarik, yang ditentukan oleh faktor traksi, sebagiannya tergantung pada slippage (longsoran) roda. Dimensi dan desain ban mempunyai pengaruh yang komparatif besar terhadap traksi. Sebuah ban dengan diameter besar pada umumnya memberikan kemampuan traksi yang lebih besar dan kecil. Tekanan udara di dalam ban mempunyai pengaruh yang komparatif besar terhadap traksi. Pada permukaan yang kendur (gembur) tekanan-udara yang kurang memberikan faktor traksi yang lebih besar. Pada sebuah permukaan yang kering dan mantap hambatan gilingan sebaliknya turun dengan naiknya tekanan udara.

## Tarikan Batang Penarik yang Diperlukan untuk Mesin Giling Getar

Tarikan batang penarik yang diperlukan untuk mesin getar jenis yang ditarik sangat berbeda-beda tergantung pada kondisi-kondisi tanah. Sebuah harga minimum praktis untuk tarikan batang penarik yang diperlukan pada tanah yang mantap adalah  $0,2 \times$  berat mesin giling. Pada tanah yang kendur mesin giling masuk dengan sendirinya ke dalam tanah dan tarikan batang penarik yang diperlukan naik menjadi  $0,5 \times$  berat mesin giling atau lebih.

Tabel 16.2. memperlihatkan jenis-jenis dan ukuran traktor yang cocok untuk mesin giling getar jenis yang ditarik pada berbagai jenis bahan urukan.

## 17. KERUSAKAN PADA BANGUNAN-BANGUNAN YANG DISEBABKAN OLEH GETARAN TANAH YANG DITIMBULKAN OLEH ALAT PEMAMPATAN GETAR

Alat pemampat getar menimbulkan getaran pada tanah yang sering dapat dirasakan pada jarak jauh dari mesin. Jenis getaran tanah yang sama dihasilkan oleh lalu lintas jalan, pemancangan tiang, pemasangan turap, operasi-operasi peledakan. Getaran-getaran tanah di atas besar tertentu dapat menyebabkan kerusakan pada bangunan dan konstruksi lainnya.

### 17.1. ATURAN-ATURAN DASAR

Sebuah alat pemampat getar yang bekerja di atas tanah menghasilkan gelombang-gelombang tekan (kompresi) dan geseran yang disebut dengan gelombang-gelombang tubuh, maupun juga gelombang-gelombang permukaan (terutama gelombang Rayleigh), Gambar 17.1. <sup>73)</sup> Gelombang-gelombang permukaan adalah jenis gelombang yang terutama berkepentingan dengan bangunan-bangunan di permukaan atau dekat permukaan tanah. Amplitudo-amplitudo dari gelombang permukaan turun dengan cepat jika jarak dari alat penggetar bertambah, sampai sejauh tertentu yang tergantung pada penurunan dalam energi gelombang yang disebabkan oleh propagasi lingkaran dari gelombang-gelombang tersebut, Gambar 17.2.

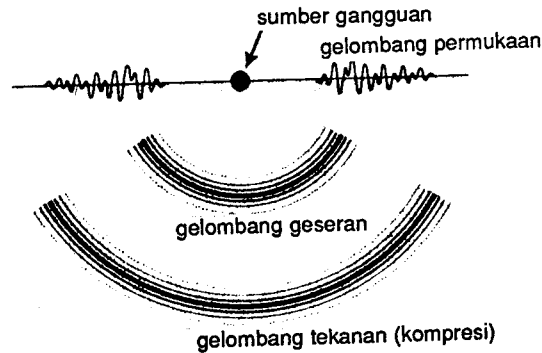
Sebuah gerakan gelombang ditandai dengan frekuensi dan amplitudo, Gambar 17.3. Pada umumnya telah diterima bahwa risiko kerusakan ditentukan oleh kecepatan maksimum dari getaran tanah yang dapat dihitung menurut rumus ini:

$$v = 2 \pi f \cdot s$$

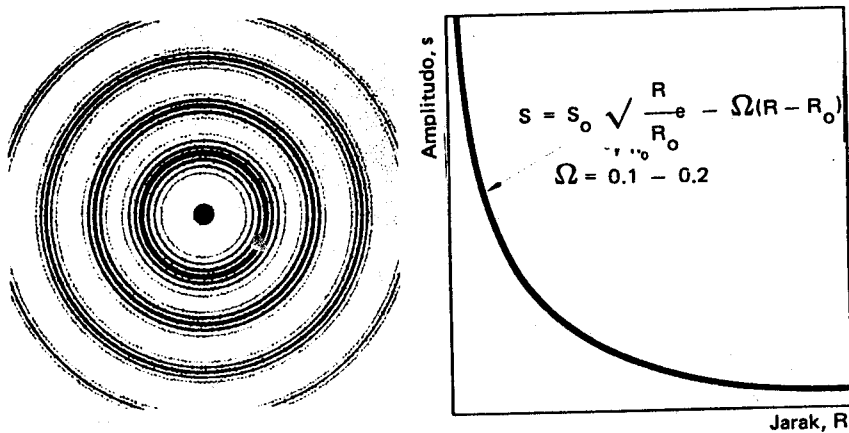
Di mana  $v$  = kecepatan maksimum selama gerakan gelombang, mm/detik

$f$  = frekuensi, Hz

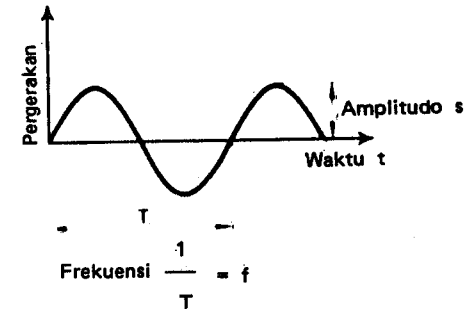
$s$  = amplitudo, mm



**GAMBAR 17.1.** Gelombang tekanan, gelombang geseran dan gelombang permukaan, yang dihasilkan oleh sebuah penggetar yang bekerja pada permukaan tanah.



**GAMBAR 17.2.** Propagasi gelombang (kiri) dan penurunan amplitudo (kanan) di dalam propagasi gelombang bidang lingkaran



**GAMBAR 17.3.** Osilasi sinusoidal

## 17.2. KRITERIA KEAMANAN

Sebagai suatu aturan yang hampir tepat dan umum, telah diketemukan, bahwa getaran-getaran tanah yang ditimbulkan oleh lalu lintas jalan, pemancangan tiang dan alat-alat pemampat getar dengan kecepatan kurang dari kira-kira 10 mm/detik tidak menyebabkan kerusakan pada bangunan-bangunan dengan pondasi di atas tanah. <sup>26), 73)</sup>. Perhatikan bahwa batas-batas keamanan yang jauh lebih tinggi, di sekitar 50 mm/detik, berlaku untuk getaran-getaran yang ditimbulkan oleh pekerjaan peledakan dan yang mempengaruhi bangunan-bangunan dengan pondasi di atas batuan. <sup>73)</sup>

Juga perhatikan bahwa getaran-getaran di dalam pondasi bangunan lebih kecil daripada getaran-getaran di tanah sekitarnya.

Jika kecepatan gelombang di dalam tanah, tepat di luar dan di dalam bangunan diukur serentak, kecepatan gelombang di dalam pondasi bangunan adalah 2 sampai 5 kali lebih rendah. Getaran-getaran tanah dengan sebuah kecepatan maksimum sebesar 10 mm/detik oleh karenanya sebanding dengan getaran-getaran yang diukur di dalam bangunan-bangunan dengan besar 2 sampai 5 mm/detik.

Batas-batas keamanan untuk bangunan pada pondasi tanah diberikan di dalam Tabel 17.1. <sup>74)</sup>

**Tabel 17.1. Kecepatan gelombang maksimum yang diizinkan sehubungan dengan risiko akan kerusakan.**

Getaran-getaran diukur di dalam pondasi bangunan.

Kecepatan gelombang maksimum yang diizinkan, mm/detik	Efek pada bangunan	Reaksi manusia
2	Batas risiko untuk puing-puing dan monumen-monumen kuno.	Getaran-getaran dapat dilihat
5	Batas risiko untuk kerusakan "arsitektural" sampai rumah-rumah kediaman biasa dengan dinding dan langit-langit di tembok.	Getaran-getaran bersifat mengganggu
10	Batas risiko untuk kerusakan pada rumah-rumah kediaman biasa.	Getaran-getaran tidak mengenakan.
10 – 40	Batas risiko untuk bangunan-bangunan beton bangunan-bangunan industri, dan lain-lain.	Getaran-getaran tidak mengenakan sampai tidak dapat diterima.

Catatan: Aturan khusus dan yang lebih berat berlaku untuk jenis-jenis tertentu mesin bengkel presisi tinggi, dan peralatan elektronik, seperti misalnya instrumen-instrumen dan komputer. Di dalam hal ini, tingkat percepatan diperkirakan merupakan faktor yang menentukan bukannya kecepatan gelombang. <sup>74)</sup>

Tabel 17.1. memperlihatkan bahwa getaran-getaran dianggap tidak menyenangkan oleh orang di dalam sebuah bangunan pada harga-harga kecepatan gelombang yang komparatif rendah. Sebagai akibatnya si pemilik, sering dengan percaya penuh, bisa membuat tuntutan untuk kerusakan-kerusakan yang tidak disebabkan oleh mesin

giling getar. Penyelidikan teknis dan resmi dari kasus-kasus semacam itu sering sulit.

Pengukuran-pengukuran lapangan yang dibuat oleh Departemen Penelitian Dynapac, pada berbagai kondisi tanah yang berbeda (beberapa contoh di berikan di Gambar 17.4) memperlihatkan bahwa batas risiko untuk kerusakan "arsitektural" sebanding dengan jarak keamanan untuk berbagai jenis dan ukuran mesin giling diberikan di bawah ini:

JARAK KEAMANAN UNTUK MESIN-MESIN GILING GETAR
Mesin giling getar yang dikemudikan dan ditarik dengan roda-roda kemudi ban-udara. Biasanya dengan amplitudo besar (digunakan di tanah) Jarak keamanan dalam meter = 1,5 kali bobot modul gelinding <sup>1)</sup>
Mesin-mesin giling getar tandem Biasanya dengan amplitudo kecil sampai sedang (digunakan di tanah dan aspal) Jarak keamanan dalam meter = 1,0 x bobot modul gelinding <sup>1)</sup>

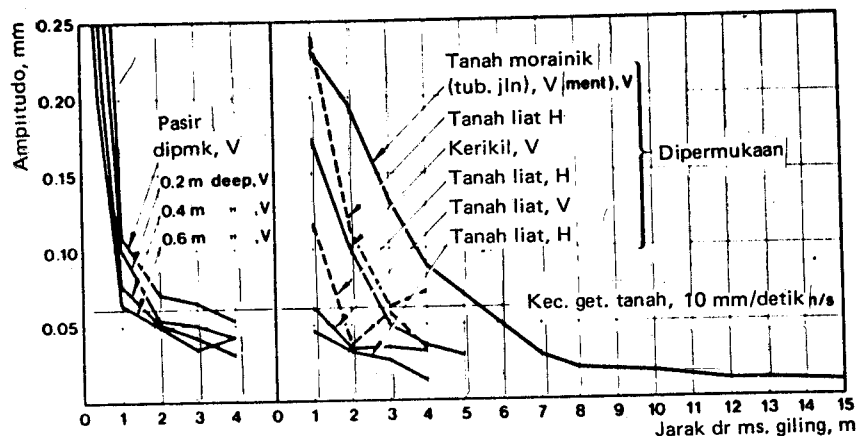
1) Bobot modul gelinding didefinisikan sebagai berat statis dari gelinding plus berat rangka yang disalurkan ke gelinding.

Ini berarti sebuah limit keamanan sebesar 7,5 m untuk sebuah mesin giling getar yang dikemudikan dengan bobot modul gelinding 5 ton. Sebagai suatu aturan umum, mesin-mesin giling dengan bobot modul gelinding maksimum lebih besar daripada kira-kira 5 ton pada umumnya sebaiknya tidak digunakan di jalan-jalan kota dengan bangunan yang berdekatan. Kehati-hatian yang khusus biasanya tidak diperlukan untuk alat pemampat getar berukuran kecil, seperti misalnya alat pemampat plat biasa dan mesin-mesin giling getar tandem dengan bobot statis di bawah 2 sampai 3 ton.

Badan Penelitian Jalan Australia (The Australian Road Research Board) <sup>75)</sup> telah menunjukkan batas-batas keamanan dengan besar sama seperti yang ditunjukkan di atas. Mereka juga menyatakan bahwa untuk membuat tuntutan dan keluhan semi-

nimum mungkin, jarak kerja dua kali jarak keamanan yang harus digunakan. ✓

Jika batas-batas keamanan dibicarakan, haruslah diamati bahwa variasi-variasi yang sangat besar terjadi di dalam praktek sebenarnya, seperti yang diberikan ilustrasinya untuk contoh oleh Gambar 17.4.



GAMBAR 17.4. Amplitudo yang diukur pada permukaan tanah dan pada kedalaman-kedalaman yang berbeda selama pemampatan dengan sebuah mesin giling getar yang ditarik seberat 3,3 ton. V menunjukkan amplitudo vertikal dan H amplitudo horisontal.

Faktor-faktor yang harus dipertimbangkan meliputi:

- Jenis tanah dan profil-profil tanah berbeda besar. Getaran-getaran tanah yang terkuat ditemukan di dalam lumpur dan tanah yang terkuat ditemukan di dalam lumpur dan tanah liat dengan kandungan air yang tinggi.
- Di tanah beku, getaran-getaran tanah mungkin lebih kuat daripada selama kondisi-kondisi tidak beku.
- Jenis pondasi, maupun desain-desain struktur dan kondisi-kondisi bangunan memperlihatkan variasi yang sangat besar.

- Gejala resonansi di berbagai bagian sebuah bangunan yang berlainan, seperti misalnya poros-cerobong, bisa menaikkan risiko kerusakan.
- Jika batas tegangan (stress limit) di dalam sebuah bahan telah dicapai, seperti yang sering terjadi dalam kasus dinding-dinding tembok, tegangan tambahan yang sangat kecil bisa menyebabkan kerusakan-kerusakan.
- Memulai dan menghentikan getaran untuk sementara menambah getaran tanah karena frekuensi resonansi dari sistem penggetar tanah harus dilewati, lihat Sub-bab 7.2. Getaran-getaran resonansi di dalam struktur bangunan juga dapat dikembangkan. Getaran-getaran oleh karenanya lebih disukai jangan dimulai atau dihentikan di dekat sebuah bangunan.

Satu contoh dari variasi-variasi besar yang terjadi ialah bahwa pengujian lapangan khusus yang dibuat dengan sebuah mesin giling getar yang bekerja tepat di luar sebuah bangunan tidak menghasilkan kerusakan yang dapat dilihat terhadap bangunan itu.<sup>76)</sup>

Di Swedia, di mana batas-batas keamanan yang diberikan di atas telah digunakan untuk bertahun-tahun, penelitian memperlihatkan bahwa sejumlah bukti kasus kerusakan terhadap bangunan-bangunan yang disebabkan oleh alat pemampat getar, sangat terbatas dan tidak lebih dari beberapa kasus setiap tahunnya.

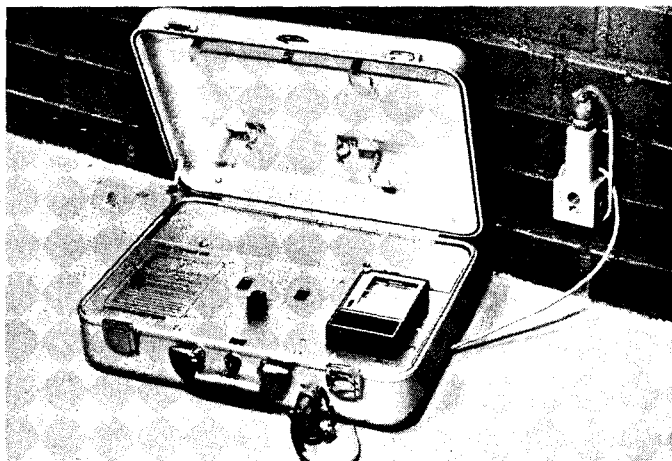
### 17.3. PENGUKURAN-PENGUKURAN GETARAN TANAH

Kesulitan untuk meramalkan getaran tanah sering membuat pengukuran lapangan yang diinginkan. Untuk maksud ini, alat-alat ukur getaran yang dipergunakan untuk memeriksa getaran tanah dalam hubungannya dengan pelaksanaan peledakan sangatlah berguna. Banyak konsultan dan kontraktor memperoleh pengalaman baik dari pengukuran-pengukuran semacam itu dan evaluasi mereka.

Di lokasi-lokasi konstruksi, di mana jenis mesin giling getar yang lebih besar telah digunakan untuk pemampatan bahan-bahan urukan atau tanah alam yang berdekatan dengan sebuah bangunan

yang ada, pengukuran-pengukuran getaran telah dibuat di dalam bangunan itu. Mesin giling telah diperbolehkan untuk bekerja makin lama makin dekat pada bangunan itu, berhenti jika intensitas getaran-getaran menjadi terlalu tinggi.

Sebagai contoh, pemampatan untuk perluasan sebuah bangunan industri di Tomelila di Swedia bagian selatan dapat diajukan. Sebuah mesin giling Dynapac CK 50 yang ditarik sebesar 10 ton, digunakan untuk memampatkan tanah alam yang terdiri dari pasir dengan kerapatan rendah. Pengukuran-pengukuran getaran di lantai bawah dari bangunan yang ada dengan sebuah alat ukur getaran (vibration meter), Gambar 17.5, memperlihatkan bahwa kecepatan gelombang besarnya sampai 4 mm/detik jika mesin giling dioperasikan pada jarak 10 m dari bangunan. Getaran-getaran sebesar ini dianggap tepat di bawah batas keamanan untuk sebuah bangunan macam ini. Daerah pada jarak lebih dari 10 m dari bangunan itu dimampatkan dengan mesin giling berat 10 ton, sedangkan daerah yang lebih dekat dari 10 m dimampatkan dengan mesin giling 5 ton.



**GAMBAR 17.5.** Alat ukur getar jenis Nitro-Nobel Combigraf.

#### 17.4. INSPEKSI

Sebuah pra-inspeksi sistematis terhadap bangunan-bangunan, sehubungan dengan retak-retak yang terjadi, dan lain-lain, sering diinginkan sebelum memulai pekerjaan konstruksi di dalam atau dekat daerah-daerah pemukiman.

#### 17.5. PELESAKAN-PELESAKAN

Pasir dan kerikil adalah jenis-jenis tanah yang paling mudah dimampatkan dengan getaran. Kenaikan kecil tertentu dalam kerapatan dapat dicapai pada percepatan-percepatan yang serendah 0,2 g sampai 0,5 g.<sup>26)</sup> Di dalam rentang frekuensi yang biasanya digunakan untuk pemampatan tanah dengan getaran, sebuah percepatan sebesar 0,2 g sebanding dengan sebuah kecepatan getaran tanah di dalam orde 10 mm/detik, yang merupakan kriteria yang sama seperti yang diberikan sehubungan dengan kerusakan-kerusakan yang langsung disebabkan, oleh getaran-getaran. Resikonya biasanya sangat kecil pada pemampatan tanah dengan getaran, bahwa tanah di bawah pondasi bangunan biasa dipadatkan dan menyebabkan pelesakan-pelesakan. Namun, lerengan-lerengan bisa tidak stabil dan dalam hal ini, meskipun getaran yang sangat kecilpun di bawah kondisi yang tidak menguntungkan, bisa menimbulkan pelesakan-pelesakan dan pergerakan-pergerakan. Oleh sebab itu perlu diambil tindakan ekstra hati-hati.

#### 17.6. KESIMPULAN

Meskipun makin lama makin banyak mesin giling getar yang dioperasikan, jumlah kerusakan pada bangunan yang disebabkan oleh getaran tanah yang dihasilkan oleh pemampatan tanah dengan getaran sangatlah terbatas. Namun, risiko akan kerusakan-kerusakan harus selalu diperhatikan. Aturan-aturan yang mencakup jarak keamanan untuk berbagai macam ukuran mesin giling yang berlainan yang diberikan di bab ini sangatlah membantu. Penerangan yang diperlukan harus diberikan kepada personil yang terlibat.

## 18. BEBAN PADA PIPA DAN BANGUNAN LAINNYA YANG DISEBABKAN OLEH PEMADATAN DENGAN GETARAN

Efek pemampatan dari sebuah mesin giling getar atau alat pemampat plat sampai derajat yang tinggi ditentukan oleh besarnya tegangan statis dan dinamis yang dihasilkan di dalam tanah. Tegangan-tegangan ini juga menentukan beban yang disalurkan ke pipa-pipa yang diletakkan di dalam urukan tanah yang dimampatkan dengan alat-alat pemampat getar, maupun beban yang bekerja pada dinding-dinding atau dinding penahan selama pemampatan dengan getaran.

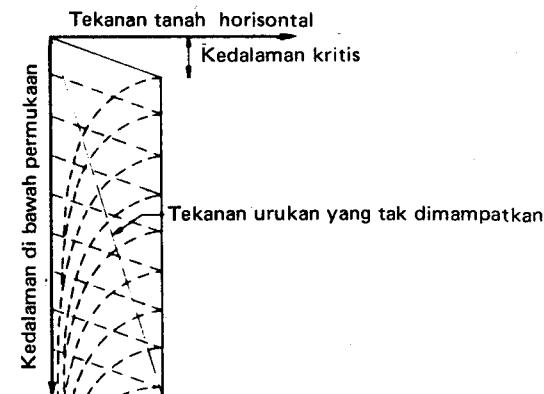
Pengukuran-pengukuran tekanan yang dibuat didalam tanah selama pemampatan dengan getaran telah dijelaskan di Bab 6. Jika tegangan-tegangan yang diizinkan, misalnya di dalam pipa-pipa diketahui, risiko terhadap kerusakan yang disebabkan oleh pemampatan tanah dengan getaran pada pipa di dalam parit dan tubuh jalan dapat dihitung.

Disebabkan risiko kerusakan yang komparatif ringan, alat pemampat plat dengan berat di bawah 300 kg, dan alat pemampat balas ringan sebaiknya digunakan untuk pemampatan di dalam daerah tepat di atas pipa-pipa tersebut.<sup>77)</sup>

Tekanan horisontal dari tanah terhadap dinding-dinding yang disebabkan pemampatan telah dihitung dan diukur.<sup>78). 79)</sup>

Pada prinsipnya tekanan tanah segitiga yang diperoleh tanpa pemampatan tanah digantikan dengan sebuah tekanan tanah yang konstan, lihat Gambar 18.1. dan Tabel 18.1. Pemampatan lapisan per lapisan menciptakan, seperti yang ditunjukkan oleh garis-

garis putus di dalam Gambar 18.1., sebuah tekanan horisontal yang konstan sampai sebuah kedalaman kritis di bawah permukaan.



**GAMBAR 18.1. Tekanan tanah horisontal pada sebuah dinding di dalam tanah non-kohefif yang dimampatkan**

Jika tanah-tanah kohesif dipergunakan sebagai urukan pendukung tekanan tanah yang lebih tinggi daripada di dalam tanah non-kohefif dapat diciptakan jika lapisan demi lapisan dimampatkan secara efisien di dekat sebuah bangunan.

Beban titik yang dihasilkan oleh sebuah mesin giling getar yang sedang bekerja, misalnya di dekat sebuah dinding, kira-kira dapat dihitung menurut teori-teori distribusi beban yang berlaku untuk sebuah mesin giling statis dengan berat sama dan dengan mengalikan gaya statis yang dihitung dengan dua sebagai akibat dari efek dinamis.

Tabel 18.1. Tekanan tanah horisontal maksimum yang disebabkan karena pemampatan yang dekat pada bangunan vertikal di tanah yang non-kohefif

Jenis alat	Tekanan tanah horison- tal maksimum, kN/m <sup>2</sup>	Kedalaman kritis m
Alat pemampat getar dari plat 120 kg	11,5	0,3
Alat pemampat getar dari plat 400 kg	16,0	0,45
Mesin giling getar 1,4 ton	12,5	0,35
Mesin giling getar 3,3 ton	19,0	0,5
Mesin giling dengan 3 roda-statis 10 ton	20,0	0,6
Mesin giling getar 5 ton	20,0	0,55
Mesin giling getar 10 ton	27,0	0,75

## 19. APENDIKS

### Peristilahan dan Standar

Standar-standar berikut ini telah diterbitkan oleh asosiasi-asosiasi pembuat Pemampatan Eropa dan Amerika:

#### Committee for European Construction Equipment (CECE = Komite untuk Peralatan Konstruksi Eropa)

- Peristilahan yang diilustrasikan untuk mesin-mesin giling jalan dan alat pemampat berbagai macam jenis tanah lainnya. Diterbitkan 1969. Dengan perbaikan (1980).
- Standar Eropa untuk mesin-mesin giling jalan dan pemampat tanah. <sup>28)</sup> Diterbitkan tahun 1975.
- Standar Eropa untuk plat-plat dan alat pemampat balas getar. <sup>28)</sup> Diterbitkan tahun 1976.

#### Construction Industry Manufacturers Association (CIMA = Asosiasi Para Pembuat Industri Konstruksi), Amerika

- Vibratory Roller Handbook (Buku Pegangan Mesin Giling Getar). Diterbitkan tahun 1978. <sup>29)</sup>

CECE telah menetapkan istilah-istilah yang dibakukan berikut ini untuk mesin giling getar:

Pengukuran:

- Dimensi-dimensi utama.
- Kelonggaran tanah.



- Radius (jari-jari) pembelokan.
- Ruang bebas yang perlu yang pembelokan.
- Overhang lateral.

#### Data teknis

- Bobot pada saat beroperasi.  
Didefinisikan sebagai bobot mati termasuk bobot semua alat, tangki bahan bakar setelah penuh, tangki air penyemprot setengah penuh, tangki minyak/oli penuh dan tambahan sebesar 75 kg untuk berat operator.

- Beban linier.
- Massa gelinding getar.
- Rangka Massa
- Frekuensi.
- Gaya sentrifugal.
- Amplitudo nominal.
- Kecepatan dan persneling.
- Kecepatan dan persneling.
- Kemampuan tanjakan.

#### Mesin-mesin.

- Kapasitas tangki.
- Rem.
- Peralatan hidrolik.

Istilah-istilah yang dibakukan oleh CIMA pada prakteknya sama dengan yang diberikan oleh CECE. Namun, CIMA menspesifikasikan bobot dengan tangki bahan bakar penuh (berlawanan dengan setengah penuh untuk CECE) dan menggunakan berat operator 80 kg.

## 20. REFERENSI

1. "Earth manual", Biro Reklamasi, Denver, Amerika.
2. "Standard specifications for transportation materials and methods of sampling and testing", diambil oleh The American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Washington DC., Amerika.
3. *Broms, B dan Forsblad L.*, "Classification of soils with reference to compaction", Institut Geoteknik Swedia, Stockholm, Swedia 1966.
4. "Specifications for Road and bridge works", Kementerian Pengerahan angkutan, Her Majesty's Stationery Office, London.
5. "Recommandations pour les terrassements routiers. 3. Compaction des remblais et des couches de form," Ministere de L'Equipement, Paris, 1976.
6. *Proctor R.R.*, "Fundamental principles of soil compaction", Engineering Record, August, Amerika, 1933.
7. "Annual book of ASTM Standards", American Society for Testing and Materials", Philadelphia, Amerika.
8. "Soil density control methods", Dewan Penelitian Jalan Raya, Bulletin 159. Washington DC., Amerika, 1957.
9. *Johnson, A.W. dan Sallberg, J.R.*, "Factors influencing compaction test results", Dewan Penelitian Jalan Raya, Buletin 319, Washington DC., Amerika, 1962.
10. *Krebs, R.D. dan Walker, R.D.*, "Highway materials" McGraw-Hill, New York, 1971.
11. *Frost R.I.* "Some testing experiences and characteristics of boulder-gravel earth dams" ASTM Special technical Publication 523, Amerika, 1973.

12. *Terzaghi, K. dan Peck, R.* "Soil mechanics in engineering practice", John Wiley and Sons, New York.
13. "Evaluation of relative density and its roll in geotechnical projects - involving cohesionless soils", Publikasi teknik Khusus ASTM 523, Amerika, 1973.
14. Laporan-laporan oleh 1) *Cariou, J.* dan *Menard, J.*, 2) *Chevrier J.P.*, *Gabily, Y.* dan *Sabot, A.*, 3) *De Jager, W.F.I.*, *Janse, E.* *Jonker, J.F.I.*, dan *Lubking, P.*, 4) *Du Mesnil-Adelev, M.*, *Lebas, M.* dan *Peybernard, J.*, 5) *Gorski, M.*, 6) *Leflaive, E.*, *Schaeffner, M.* *Leny, G.*, dan *Puig, J.*, 7) *Morel, G.*, *Franceschina, R.*, dan *Schaeffner, M.*, 8) *Przeddecki, T.*, dan *Szumski, M.*, 9) *Szumski, M.*, Konperensi International mengenai Pemampatan, Paris, 1980.
15. *Sherman, G.B.*, *Watkins, R.O.*, dan *Prysock, R.H.*, "A statistical analysis of embankment compaction", Dewan Penelitian Jalan Raya, Dokumen 177, Washington DC, Amerika, 1967.
16. *Tholen, O.*, "Falling weight deflectometer. A device for bearing capacity measurement: Properties and performance", Departemen Kerekayasaan Jalan Raya, Institut Teknologi Kerajaan, Stockholm, Swedia, 1980.
17. *Koole, R.C.*, "Overlay design with the falling weight deflectometer", Simposium Evaluasi Pengerasan dan Desain Overlay, Pertemuan Dewan Penelitian Transportasi, Washington DC, Amerika, Januari, 1979.
18. "Evaluation of the Lane-Wells Dynaflect", Laporan Penelitian, Divisi Jalan Raya, Negara Bagian California, Amerika, 1968.
19. "Recomendations pour les terrassements routiers", Ministere de L'Equipement, Paris, 1976.
20. *Chaigne, P.*, *Leflaive, E.*, dan *Schaeffner, M.*, "Une nouvelle conception des prescriptions de compactage des remblais routiers", Konperensi International mengenai Pemampatan, Paris, 1980.
21. "Liste d'Aptitude compacteurs vibrants", "Seconde liste d'aptitude des compacteurs vibrants", Ministere de l'Equipement, Paris.
22. *Chappat, M.*, "Les listes d'aptitude de compacteurs vibrants", Konperensi Internasional mengenai Pemampatan, Paris, 1980.
23. *Lewis, W.A.*, "Investigation of the performance of pneumatic-ty red rollers in the compaction of soil", Makalah Teknis Penelitian Jalan No. 45, Inggris, 1959.
24. *Menard, L.*, dan *Broise, Y.*, "Theoretical and practical aspects of dynamic consolidation", Geoteknik, No. 1., 1975.
25. *Lukas, R.G.* "Densification of loose deposits by pounding", Jurnal ASCE, Divisi Kerekayasaan Geoteknik, April, 1980.
26. *Forssblad, L.*, "Investigation of soil compaction by vibration" Politeknik Acta Skandinavia, Stockholm, Swedia, 1965.
27. *D'Appolonia, D.J.D.*, *Whitman, R.V.*, dan *D'Appolonia, E.*, "Sand compaction with vibratory rollers", Hasil-hasil ASCE, SM 1, Januari, 1969.
28. "European standard for road rollers and soil compactors" "European standard for vibrating plates and tampers", Komite untuk Peralatan Konstruksi Eropa (CECE), VDMA, Frankfurt, Jerman Barat, 1975 dan 1976.
29. "Vibratory roller handbook", Asosiasi Pembuat Industri Konstruksi (CIMA), Milwaukee, Amerika, 1978.
30. *Machet, J.M.*, "Interpretation de l'efficacite des compacteurs vibrants" Rapport de recherche No. 59, Laboratoire Central des Ponts et Chaussees, Paris, 1976.
31. *Yoo, T.S.*, dan *Selig, E.T.* "Dynamics of vibratory roller compaction" Jurnal ASCE, Divisi Kerekayasaan Geoteknik, Oktober 1979.
32. *Yoo, T.S.*, dan *Selig, E.T.* "New concepts for Vibratory compaction of soil", Konperensi Internasional mengenai Pemampatan, 1980.
33. *Chaigne, P.*, *Oczkowski, J.*, *Franceschina, R.*, *Morel, G.* dan *Quibel, A.*, "Compactage des terrassements" Rapport de recherche No. 33, Laboratoire Central des Ponts et Chaussees, Paris, 1974.
34. *Morel, G.*, dan *Valeux, J.C.*, "Compactage de materiaux traites aux liants hydrauliques pour assises de chaussées", Bull liaison Laboratoire Central des Ponts et Chaussees, Paris, 1973.
35. *Garbotz, G.*, "Compacting effect and capacity of vibrating rollers" Jurnal Kontrak, 30 Juni, Inggris, 1966.
36. *O'Flaherty, C.A.*, "Highways, Vol. 1, Highways and traffic engineering", Edward Arnold, London, 1974.
37. *Sherard, J.L.*, *Woodward, R.J.*, *Gizienski, S.F.* dan *Clevenger, W.A.*, "Earth and earth-rock dams", John Wiley and Sons, New York, 1963.

38. *Lindblom, U.*, "Kompressionsegenskaper hos traktorutbredda sprängningsfyllningar" (Karakteristik-karakteristik kompresi dari urukan batu yang disebarkan oleh traktor) Departemen Kerekayasa Geoteknik, Chalmers University of Technology, Swedia, 1972.
39. "Landvetter-Gothenburg's new international airport" *Vibro-Teknik* No. 13, Dynapac, 1977.
40. *Lindgren, S.*, "Scanraff provides eight million tons of oil a year", *Vibro-teknik* No. 7, Dynapac, 1974.
41. *Elliot, J.*, "Creating an earthfill dam in Sweden", *International al Construction*, Desember 1971, London, juga Laporan Teknik 82 19, Dynapac, 1972.
42. *Converse, F.J.*, "Compaction of cohesive soils by low frequency vibration" *Publilasi Teknik Khusus ASTM* No. 206, Philadelphia, Amerika, 1957.
43. *Tynan, A.E.*, dan *Morris, P.O.* "The performance of three heavy rollers in compacting a medium clay", Hasil-hasil Konferensi ke V, Dewan Penelitian Jalan Raya Australia, Melbourne, 1970.
44. *Gidigas, M.D.*, "Laterite soil engineering", Elsevier, Amsterdam Negeri Belanda, 1976.
45. *Morel, G.*, "Vibrating padfoot roller on lime-stabilized silt" *Vonro Teknik* No. 15, Dynapac, 1979.
46. *Vines, F.R.*, dan *Falconer, G.D.*, "Experience with coral and volcanic road construction materials in Western Samoa" *Penelitian Jalan Raya Australia*, No. 1, Maret, 1980.
47. *Forssblad, L.* dan *Gessier, S.*, "Vibratory asphalt compaction", *Dunapac*, 1977.
48. *Sherwood, P.T.*, "The properties of cement stabilized materials", *Laboratorium Penelitian Jalan*, Laporan LR 205, Inggris, 1968.
49. *Weckstrom, L.*, "Cement stabilized gaining ground in Finland", *Vibro-Teknik* No. 10, Dynapac, 1975.
50. "The storage of nuclear waste in primaturrock", Laporan Dynapac No. 1, Dynapac, 1980.
51. *Blumer, M.*, "Praktische Strassenbau", *Baufachverlag A.G. Zurich Dientikon*, Swiss, 1977.

52. *Forssblad, L.*, "Expansion of the Jeddah Harbour", *Vibro-Teknik* No. 14, Dynapac, 1978.
53. *Ery, J.J.* dan *Larcher, M.E.*, "Compaction at low natural moisture content. Test section in Gao", *Program Pengembangan PBB*, New York, 1970.
54. *Larcher, M.E.*, *Kone, Biore Z., J.* dan *Fry, J.J.* "compactage des sols a teneur en lan natirelle en Zone oride" *Konperensi Internasional mengenai pemampatan*, Paris, 1980.
55. *Morel, G.*, dan *Autret, P.*, "Compactage a teneur en eau quasi nulle", *Konperensi Internasional mengenai Pemampatan*, Paris, 1980.
56. *Forssblad, L.*, "New method for laboratory soil compaction by vibration", *Dokumen Penelitian Jalan Raya* No. 177, Dewan Penelitian Jalan Raya, Washington DC, 1967.
57. *Moorhouse, D.C.*, dan *Barker, G.L.*, "Sand densification by heavy vibratory compactor", *Jurnal Mekanika Tanah dan Sistem Pondasi, ASCE*, Juli, 1969.
58. *Burns, C.D.*, "Compaction study of zero-slump concrete", *Korps Zenie AD Amerika*, Stasiun Percobaan Jalan-air, Amerika, Agustus, 1976.
59. *Cannon, R.W.*, "Compaction of mass concrete with vibratory roller", *Jurnal ACI*, Oktober, Amerika, 1974.
60. "Roller compacted concrete", *Dilaporkan oleh Komite ACI 207, Jurnal ACI*, Juli - Agustus, Amerika, 1980.
61. *Moffat, A.I.B.*, dan *Price, A.C.*, "The roller dry lean concrete gravity dam" *Konstruksi PLTA dan Bendungan*, Juli, London, 1978.
62. *Spesifikasi Konstruksi Umum* No. G. 48 untuk "Roller compacter concrete", *Otorita Lembah Tennessee*, Knoxville, TN, Amerika.
63. "International Conference on the use of fabrics in geotechnics" *Volume I - III*, *Laboratoire Central des Ponts et Chaussees-Ecole Nationale des Ponts et Chaussees*, Paris, 1977.
64. "Symposium on earth reinforcement", *Persatuan Sarjana Sipil Amerika*, New York, 1979.
65. *Heiner, A.*, "Strength and compaction properties of frozen soils", *Divisi mekanika tanah*, Institut Teknologi Kerajaan, Stockholm, Swedia, 1971.
66. *Bieganousku, W.A.* dan *Lovell, C.W.*, "Do earth work in cold weather?" *Jalan Volume Rendah: Konferensi Internasional Kedua, Dokumen Po-*

I, Washing

67. *Brandt, H.*, "Construction and compaction of 100 m – 200 m highway embankments", Konperensi Internasional mengenai Pemampatan, Paris, 1980.
68. "Vibratory compaction prevents spontaneous combustion in coal storage piles", Vibro-Teknik No. 10, Dynapac, 1975.
69. Laporan-laporan oleh 1) *Thurner, H.* dan *Sandstrom, A.*, 2) *Forsblad, L.*, 3) *Hansbo, S.* dan *Pramborg, B.*, Konperensi Internasional mengenai Pemampatan, Paris, 1980.
70. *Gruber, N.*, "Hoher Wirtschaftlichkeit und effektive Kontrolle", Tiefbau No. 6, Jerman Barat, 1980.
71. "Cold weather operation", Caterpillar tractor Co. Peoria, Illinois, Amerika.
72. "Caterpillar performance handbook", caterpillar Tractor Co, Peoria, Illinois, Amerika.
73. *Richart, F.E.*, *Woods, R.D.* dan *Hall, J.R.*, "Vibrations of soils foundations", Prentice-Hall Inc., New Jersey, 1970.
74. *Whiffin, A.C.* dan *Leonard, D.K.*, "A Survey of traffic-induced vibrations", Laporan RL 418, Laboratorium Penelitian Jalan Raya, Inggris, 1971.
75. *Tynan, A.E.*, "Ground vibrations: Damaging effects to buildings", Laporan Khusus No. 11, Dewan Penelitian Jalan Raya Australia, 1973.
76. *Brown, L.M.*, "Measurements of vibrations caused by construction equipment and blasting", Departemen Jalan Raya, Ontario, Laporan No. RR 172, 1971.
77. "Merkblatt fur das Zufullen von Leitungsraben", Forschungsge-sellschaft fur das Strassenwesen, Koln, Jerman Barat, 1979.
78. *Broms, B.*, "Lateral earth pressures due to compaction of cohesionless soils", Laporan-laporan Cetakan ulang dan pendahuluan No. 52, Institut Geoteknik Swedia, Stockholm, 1973.
79. *Ingold, T.S.*, "Lateral earth pressures induced by compaction" Konperensi Internasional mengenai Pemampatan, Paris, 1980.

Proyek Pembinaan Perpustakaan  
Jawa Timur  
1997 / 1998

24.151 130.441/PD/E/97  
OR FORSSBLAD, Lars  
Kompaksi ururkan  
tanah ...