

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pengertian Dinding Diafragma

Dinding diafragma atau *slurry wall* (istilah yang dipakai di Amerika) adalah suatu konstruksi dinding beton bertulang yang dibuat dengan cara *slurry trenching* yaitu mengisikan beton pada galian *trench* (parit) yang sudah dibuat lebih dahulu dan diisi dengan *slurry bentonite* sebagai stabilisator dinding galian, kemudian diisi dengan beton setelah sangkar tulangan dipasang (Awal Surono , 1997).

2.2 Fungsi Dinding Diafragma

Fungsi dinding diafragma dapat dibagi atas :

1. *cut of wall*

sebagai penutup lapisan-lapisan pembawa air (*water proofing structure*) pada konstruksi bawah tanah

2. *retaining wall*

sebagai pemikul tekanan tanah dan tekanan hidrostatik yang besar.

3. *load bearing wall*

sebagai suatu struktur yang dapat memikul beban vertikal yang besar. Pada proyek dermaga ini digunakan sebagai fondasi *crane rail*.

2.3 Jenis Dinding Diafragma

Melihat dari penggunaan *slurry* (lumpur) serta metoda pelaksanaannya, maka dinding diafragma dapat dibedakan atas dua macam sistem.

1. *The continuous bored pile wall*

terdiri dari tiang-tiang bor yang disusun secara berhimpit beruntun dan membentuk suatu dinding.

2. *The mud filled bore hole*

terdiri dari panel-panel yang disambung menjadi satu membentuk suatu dinding.

2.4 Penggunaan

Sejak tahun 1959 bendungan *Santa Maria* di Dolomites Italia dibangun dengan sistem dinding diafragma, kemudian perkembangannya semakin banyak menggunakan sistem ini di berbagai proyek di negara-negara Eropa lainnya, Amerika Serikat, sampai negara Asia seperti Jepang, Hongkong, Taipei dan Indonesia. Mulai dari bangunan bawah tanah (*basement, sub-way, under pass*), bendungan, dam sampai pada dermaga. Dengan begitu banyaknya contoh penggunaan sistem ini, membuat kita berpikir apa sebenarnya kelebihan dari sistem atau metode ini.

2.5 Keunggulan dan Kelemahan

2.5.1 Keunggulan

Dinding diafragma mempunyai beberapa keunggulan antara lain:

1. secara teori dapat dilaksanakan dalam berbagai macam jenis tanah dan berbagai kedalaman, tanpa memperhatikan air tanah. Kedalaman praktis dibatasi hanya oleh kemampuan mesin saja
2. suatu dinding diafragma dimungkinkan dapat memenuhi tugas dari *sheeting* (lembar dinding penahan), *water proofing* (kedap air), *load bearing* (pemikul beban). Sejak tugas-tugas ini dapat dipikul hanya oleh satu jenis struktur yaitu dinding diafragma dalam satu operasi pelaksanaan, berarti penghematan waktu dan uang
3. setiap fase pelaksanaan dilaksanakan dengan mekanisasi, sehingga upah buruh minimal dan produktifitas tinggi
4. dibandingkan dengan pemancangan *sheet pile* yang menggunakan *hammer* pengendali, maka sistem dinding diafragma tidak menimbulkan getaran dan tidak berisik
5. dalam lingkungan yang telah padat dengan bangunan, serta jarak yang terbatas antar bangunan, sistem dinding diafragma adalah solusi yang tepat.

2.5.2 Kelemahan

Sebagaimana umumnya setiap metode konstruksi, disamping keunggulan yang ada tentunya dinding diafragma ini juga mempunyai beberapa kelemahan, diantaranya :

1. mutu permukaan dinding tidak halus
2. mengatasi polusi yang disebabkan *slurry* (lumpur) terhadap lingkungan sekitar proyek, sehingga perlu usaha-usaha pencegahan khusus
3. dinding diafragma dapat dibuat setelah kesiapan kerja pada kasus-kasus berikut :
 - a) dalam air
 - b) dalam pemadatan tanah urugan
 - c) tidak diketahui keberadaan gudang bawah tanah, gua-gua, utilitas dan pipa saluran (air, minyak, gas)
 - d) dekat dengan bangunan gedung atau jika pipa saluran gua dan bangunan lama bawah tanah, tidak diketahui keberadaannya.

2.6 Stabilitas Parit

Faktor-faktor yang sangat mempengaruhi kestabilan dinding parit dari kelongsoran adalah sebagai berikut;

2.6.1 Guide wall

Guide wall adalah suatu konstruksi beton bertulang yang bersifat sementara, dibangun sejajar dengan permukaan parit. Adapun fungsi dari *guide wall* ini adalah sebagai berikut :

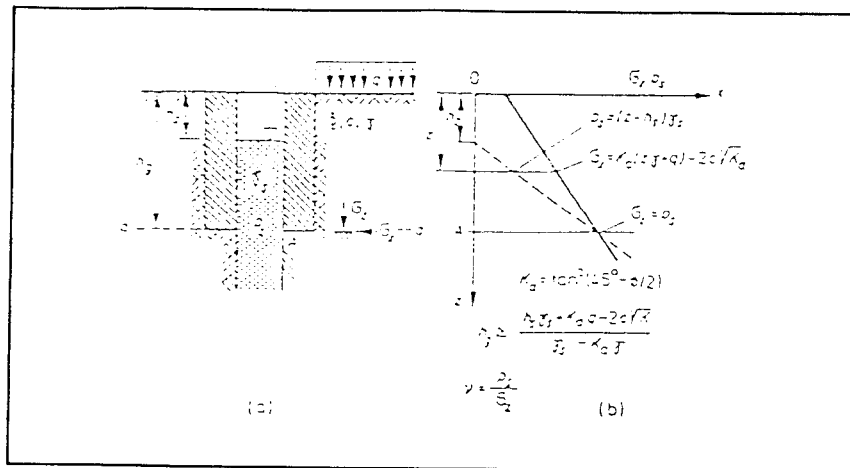
1. melindungi sisi atas panel dari kerusakan akibat alat gali

2. mencegah dan mengurangi pergerakan horizontal lapisan tanah permukaan pada saat penggalian
3. mencegah keruntuhan pada lapisan tanah permukaan
4. bilamana perlu dapat dibuat lebih tinggi dari permukaan tanah asli.
Dengan demikian tekanan pada dinding dapat lebih besar dan dinding dapat lebih stabil
5. sebagai saluran pengantar *slurry* kedalam dan keluar parit.

Agar *guide wall* dapat berfungsi dengan baik, harus memenuhi kriteria di bawah ini :

1. permukaan *guide wall* harus datar dan rata, sehingga dapat dipasang rel untuk landasan kerja alat gali
2. konstruksinya harus benar-benar vertikal
3. garis tengah *guide wall* harus segaris dengan dinding diafragma
4. jarak bersih antara *guide wall*, lebih besar 5 cm dari lebar dinding diafragma
5. penopang dari timber perlu dipasang untuk menghindari pergerakan atau keruntuhan dari *guide wall*
6. dipasang tulangan baja
7. desain berdasarkan beban yang akan bekerja di atasnya.

Rumus-rumus yang dipakai untuk memperhitungkan kesetimbangan lobang sekitar *guide wall* :



Gambar 2.1 Kesetimbangan parit pada dasar *guide wall*
(oleh I. Hajnal dkk., *Construction of Diaphragm Walls* 1984)

Dari gambar 2.1 didapat persamaan sebagai berikut :

a) tegangan horizontal

$$\sigma_x = K_a (h_g \cdot \gamma + q) - 2 c \cdot \sqrt{K_a} \quad (2.1)$$

b) tekanan slurry

$$(2.2)$$

$$P_s = (h_g - h_s) \gamma_s$$

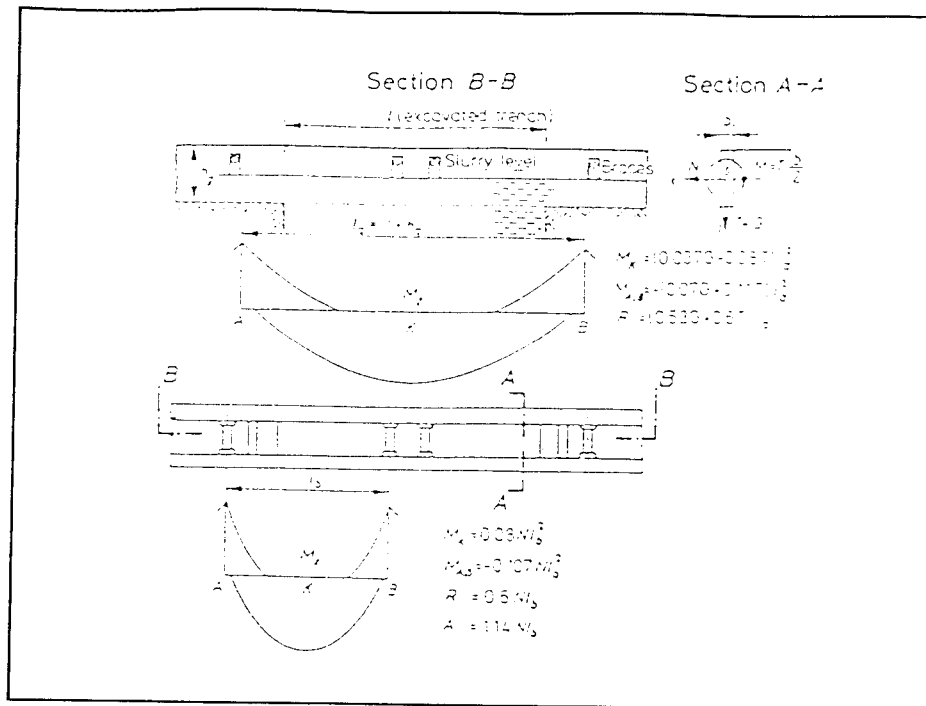
c) tinggi *guide wall*

$$h_g > \frac{h_s \cdot \gamma_s + K_a \cdot q - 2 c \cdot \sqrt{K_a}}{\gamma_s - K_a \cdot \gamma} \quad (2.3)$$

d) faktor Keamanan

$$V = P_s / \sigma \quad (2.4)$$

Tegangan pada *guide wall* dapat dihitung seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.2 dibawah ini:



Gambar 2.2 Tegangan-tegangan pada *guide wall*
(oleh I. Hajnal dkk., *Construction of Diaphragm Walls* 1984)

e) beban vertikal

$$M_z = (0.037 G + 0.08 T) la^2 \quad (2.5)$$

$$M_{AB} = -(0.07 G + 0.11 T) la^2 \quad (2.6)$$

$$R = (0.053 G + 0.6) la \quad (2.7)$$

f) beban horizontal

$$M_x = 0.08 N lb^2 \quad (2.8)$$

$$M_{AB} = -0.107 N lb^2 \quad (2.9)$$

$$R = 0.6 N lb \quad (2.10)$$

g) momen torsi

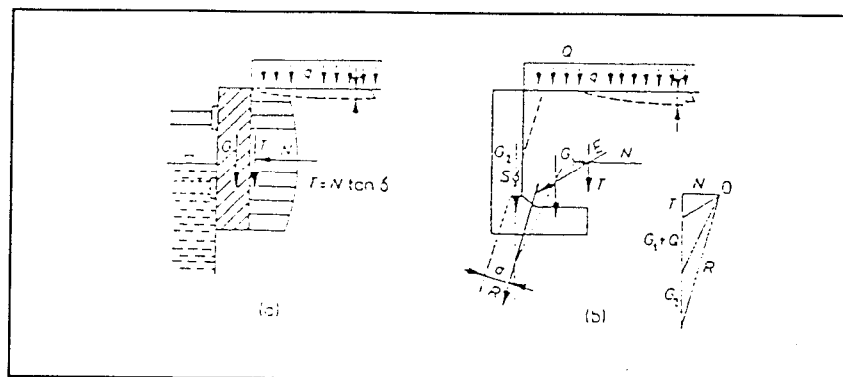
$$M = T.b/2 \quad (2.11)$$

dimana :

G = beban mati guide wall

b = tebal guide wall

T dan N = komponen tekanan tanah seperti yang terlihat pada gambar 2.3



Gambar 2.3 Gaya-gaya yang bekerja pada *guide wall*
(oleh I. Hajnal dkk., *Construction of Diaphragm Walls* 1984)

2.6.2 Slurry bentonite

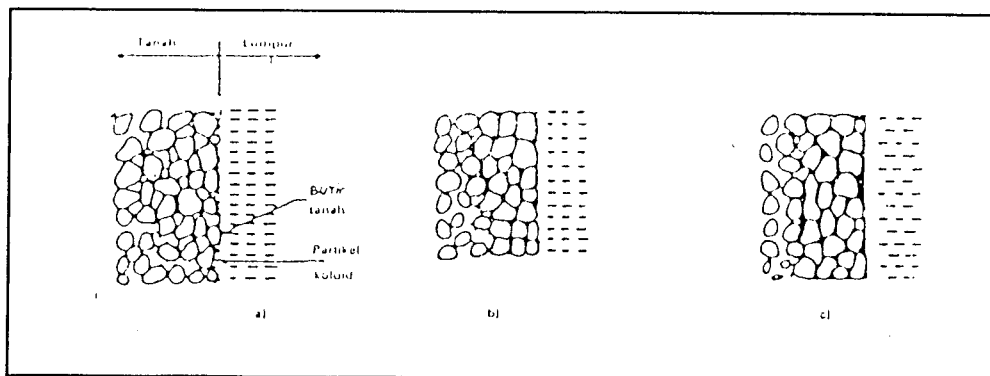
Slurry bentonite atau lumpur *bentonite* merupakan bahan yang digunakan pada pembuatan dinding diafragma, yang sifatnya untuk menjaga dinding galian agar tetap stabil, karena adanya tekanan hidrostatik dari *slurry*.

Stabilitas parit akan terjadi lebih efisien dan efektif, mengingat hal-hal sebagai berikut :

1. lumpur *bentonite* mempunyai berat jenis yang lebih besar daripada air (1.05 --- 1.10), sehingga memberi tekanan yang lebih besar kepada

dinding parit dan karenanya memberi efek pemantapan yang lebih besar

2. larutan *slurry bentonite* secara perlahan-lahan merembes ke dalam pori-pori tanah sambil mengendapkan partikel-partikel koloid di dalamnya, disusul dengan terbentuknya suatu lapisan lempung tipis pada permukaan dinding, lapisan lempung permukaan ini sangat kedap air, sehingga tekanan dari *slurry* dapat bekerja penuh pada permukaan dinding parit, yang akan menghasilkan efek pemantapan dinding yang maksimal dan lapisan yang terpenetrasi oleh partikel-partikel koloid ini sering disebut *bentonite cake* atau tahu lumpur (lihat gambar 2.4)



Gambar 2.4. Pembentukan tahu lumpur:(a) pengendapan partikel koloid didalam pori tanah (b) agar-agar(gel) membentuk tahu lumpur (c) pembentukan lapisan permukaan yang kedap air (Oleh Prof. Wiratman Wangsadinata , Konstruksi 1990)

3. karena *slurry bentonite* mempunyai berat jenis dan kekentalan yang lebih tinggi dari air maka selama proses pengeboran/penggalian, hasil galian (*cutting*) dapat dipertahankan dalam larutan dan terbawa dengan mudah dalam sirkulasi *slurry bentonite*

4. pada dinding parit terbentuk lapisan permukaan yang sangat kedap air, maka *slurry bentonite* tidak kehilangan kadar airnya dengan cepat.

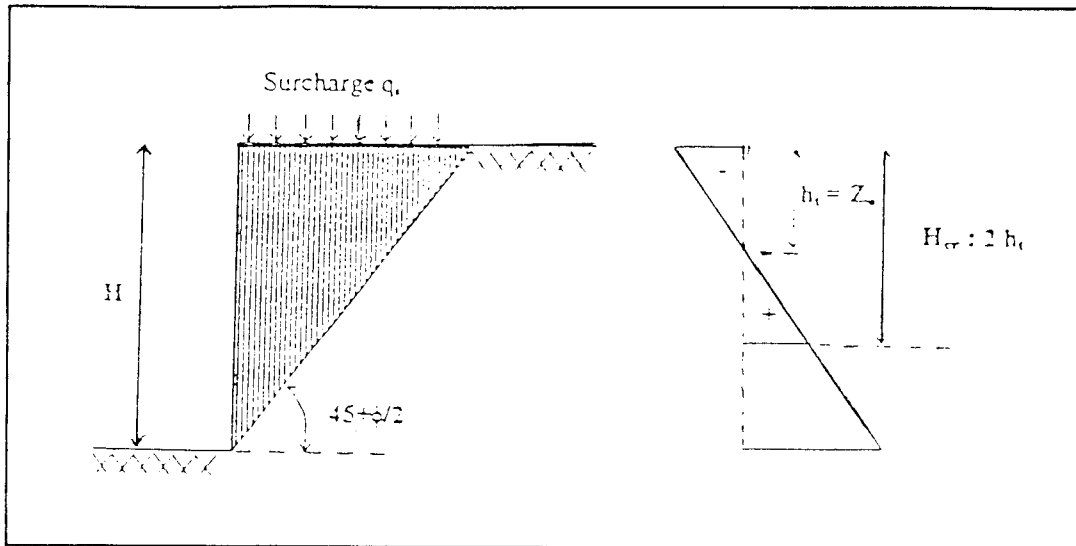
Keunggulan *slurry bentonite* terhadap air dalam memantapkan dinding parit, terletak pada sifat *thixotropy* dari *slurry bentonite*, yaitu:

1. *lubricity* (bersifat seperti pelumas)
2. *thickerring* (bersifat menebal)
3. *gelling* (bersifat seperti agar-agar/semisolid)
4. *plastring/sealing ability* (bersifat dapat melapis)

dengan kata lain bahwa *slurry bentonite* mempunyai sifat dapat menjadi cair apabila diaduk-aduk dan kembali menjadi agar-agar (*gel*) apabila didiamkan *gel* yang kedap air inilah yang terbentuk didalam pori-pori tanah membentuk tahu lumpur.

Supaya tekanan *slurry bentonite* pada dinding parit tersebut cukup efektif, pada umumnya permukaan-permukaan lumpur didalam parit harus berada paling sedikit 1.00 meter di atas permukaan air tanah.

Secara teoritis dapat dijelaskan peranan *slurry bentonite* dalam menahan terjadinya kelongsoran pada dinding galian seperti di bawah ini



Gambar 2.5 Diagram tegangan tanah horisontal

Z_o : kedalaman dimana tegangan horisontal = 0

K_a : *lateral active earth pressure coefficient* : $\tan^2 (45 - \phi/2)$

γ : berat jenis tanah

H_{cr} : tinggi galian maksimum yang masih stabil SF : 1

ϕ : sudut geser tanah

q_s : beban luar

Tegangan sama dengan nol akan terjadi pada kedalaman h_t

Besarnya h_t dihitung sebagai berikut:

$$\sigma_3 = (q_s + \gamma h_t)K_a - 2c\sqrt{K_a} = 0$$

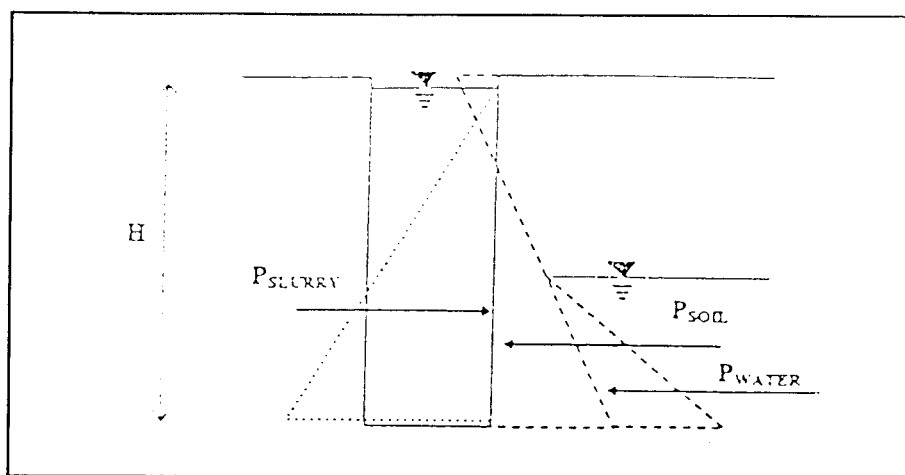
$$h_t = \frac{2c\sqrt{K_a}}{\gamma.K_a} - \frac{q_s - K_a}{\gamma.K_a} \quad (2.12)$$

$$\text{Apabila tidak ada beban luar maka } h_t = \frac{2c\sqrt{K_a}}{\gamma.K_a} \Rightarrow h_t = \frac{2c}{\gamma\sqrt{K_a}} \quad (2.13)$$

Apabila tanah adalah clay, maka ϕ (sudut geser) dapat dianggap : 0

$$\text{jadi } h_t = \frac{2c}{\gamma} \quad (2.14)$$

Dengan menambahkan *slurry bentonite* pada lubang galian akan terjadi lapisan *filter* pada dinding galian yang akan menghambat larinya *slurry* keluar dari lubang galian. Tekanan tanah aktif dan tekanan air tanah akan diimbangi oleh tekanan hidrostatik dari *slurry* sehingga posisi tegangan : 0 berada lebih dalam atau kedalaman galian kritis h_t lebih besar.



Gambar 2.6a Diagram tegangan *slurry* akibat air tanah

$$P_{slurry} = 1/2 \gamma_{slurry} H^2 \quad (2.15)$$

$$P_{soil} = 1/2 (\gamma_{soil} - \gamma_{water}) K_a H^2 - 2c\sqrt{K_a} H \quad (2.16)$$

$$P_{water} = 1/2 \gamma_{water} H^2 w \quad (2.17)$$

Posisi tegangan didapat dari persamaan tekanan di bawah ini :

$$P_{slurry} \geq P_{soil} + P_{water} \quad (2.18)$$

Dari persamaan diatas akan didapat besarnya H sebagai fungsi dari (γ_{slurry} , γ_{water} , γ_{soil} dan kohesi c merupakan besaran konstanta)

Besarnya H yang menunjukkan kedalaman galian dapat diatur sedemikian rupa disesuaikan dengan kondisi tanah setempat dengan jalan mengatur

jumlah *bentonite* yang digunakan sesuai dengan besarnya γ_{slurry} yang diinginkan agar didapat galian yang stabil terhadap kelongsoran.

Kelongsoran pada dinding dapat diakibatkan oleh tekanan tanah lateral dengan adanya tambahan beban. Tekanan tanah lateral pada dinding dengan tambahan beban berdasarkan teori elastisitas Boussinesq dimana dengan adanya beban titik atau terpusat P adalah sebagai berikut;

Dianggap bilangan Poisson $\nu = 0.50$

$$\Delta p_x = \sigma_x = \frac{P}{2\pi} \left(\frac{3x^2 \cdot z}{L^2} \right) \quad (2.19)$$

dalam hal ini $L = \sqrt{x^2 + z^2}$

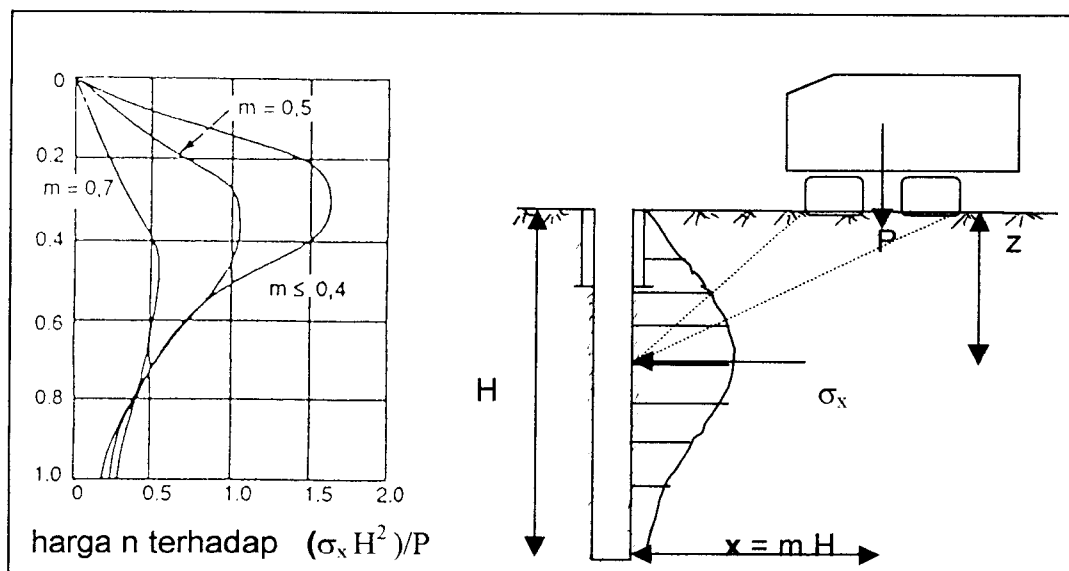
substitusi $x = mH$ dan $z = nH$ ke dalam persamaan (2.19) sehingga :

$$\sigma_x = \frac{3P}{2\pi \cdot H^2} \cdot \frac{m^2 \cdot n}{(m^2 + n^2)^{3/2}} \quad (2.20)$$

berdasarkan eksperimen oleh Gerber (1929) dan Spangler (1938), persamaan (2.20) telah diubah sesuai dengan kenyataan sebagai berikut :

Rumus 1 (R_1) untuk $m > 0.40$

$$\sigma_x = \frac{1.77 P}{H^2} \cdot \frac{m^2 \cdot n^2}{(m^2 + n^2)^3} \quad (2.21)$$



Gambar 2.26b Tekanan lateral karena beban titik

Rumus 2 (R_2) untuk $m \leq 0.40$

$$\sigma_x = \frac{0.28 P}{H^2} \cdot \frac{n^2}{(0.16^2 + n^2)^3} \quad (2.22)$$

2.7 Metoda Pelaksanaan

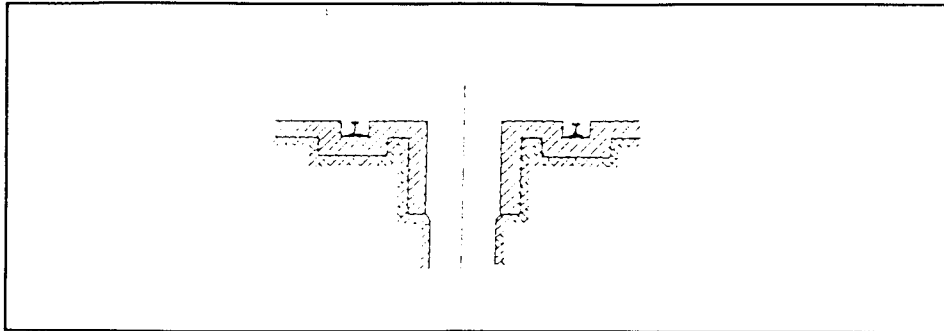
2.7.1 Pekerjaan Persiapan

Sebelum dilakukan pembuatan dinding diafragma perlu dilakukan pekerjaan-pekerjaan persiapan untuk kelancaran pekerjaan dan untuk menjaga mutu *slurry bentonite*. Pekerjaan persiapan yang tersebut diatas adalah :

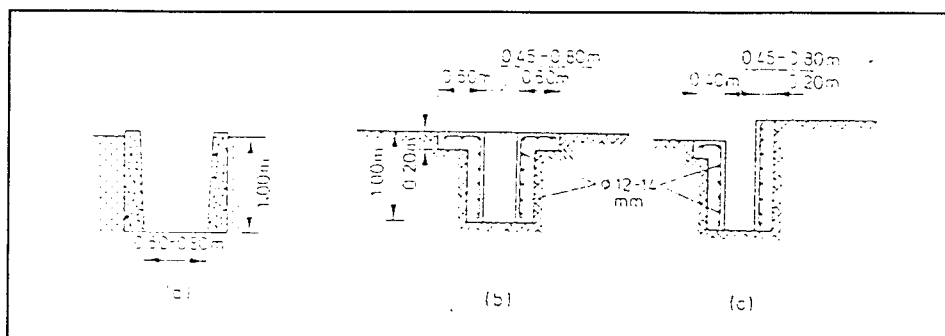
1. pembuatan laboratorium *bentonite* dilapangan
2. pembuatan jalan kerja atau *concrete platform* untuk landasan *crawler crane*, *concrete mixer truck*, dan *dump truck* pengangkut tanah galian
3. pembuatan gudang *spareparts* dan bengkel kerja
4. pembuatan sumur untuk penyediaan air kerja
5. penyimpanan pembersian serta pembuatan sangkar tulangan (*reinforcement cage*)
6. pembuatan instalasi pencampuran (*mixing*) dan *desanding/recycling slurry bentonite*

2.7.2 Pembuatan *guide wall*

Ada beberapa tipe *guide wall*, yang dapat dipilih, tergantung kebutuhan situasi proyek atau metoda yang dipakai.



Gambar 2.7 *Guide wall* dengan rel
(oleh I. Hajnal dkk., *Construction of Diaphragm Walls* 1984)



Gambar 2.8 Variasi tipe *guide wall*
(oleh I. Hajnal dkk., *Construction of Diaphragm Walls*, 1984)

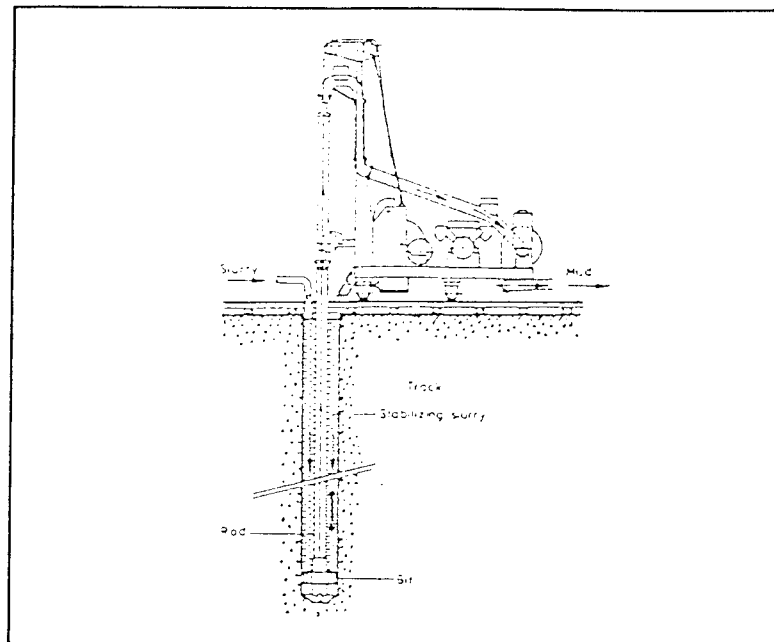
Pada gambar 2.7 diperlihatkan *guide wall* yang dilengkapi rel, yang digunakan untuk mesin *trenching* selama pelaksanaan penggalian. Sedang pada gambar 2.8 adalah beberapa tipe *guide wall*.

2.7.3 Pembuatan parit (*trenching*)

Dalam pembuatan parit dikenal beberapa metoda yang dipakai sebagai berikut;

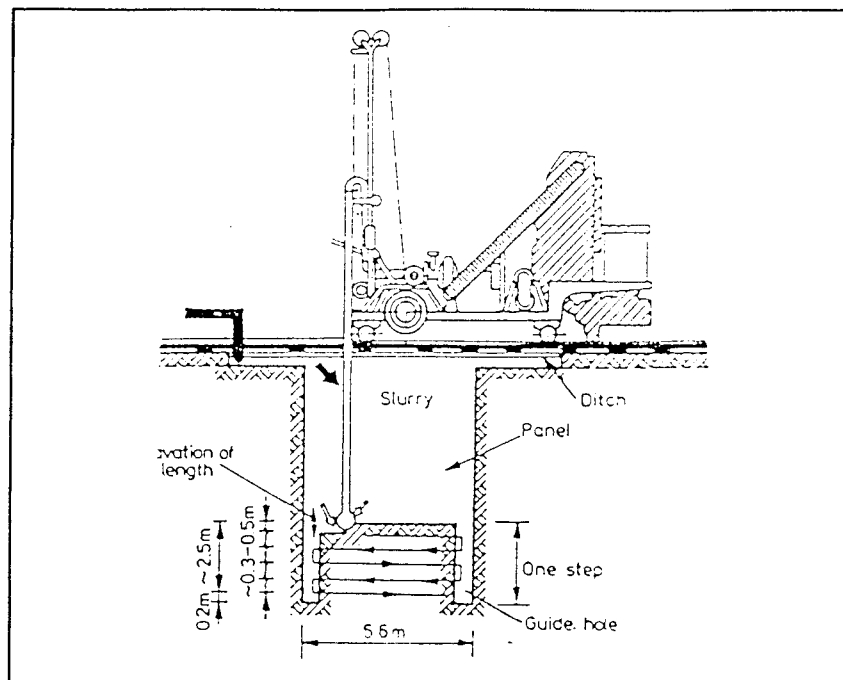
1. *trenching* dengan *drill*

digunakan untuk pembuatan tiang bor beruntun(*continuous bore pile*) juga untuk pembuatan panel-panel dinding diafragma. Untuk pembuatan dinding tiang bor beruntun, *drill* bekerja secara vertikal.



Gambar 2. 9 Pengeboran untuk tiang bor beruntun
(The Radio Company)

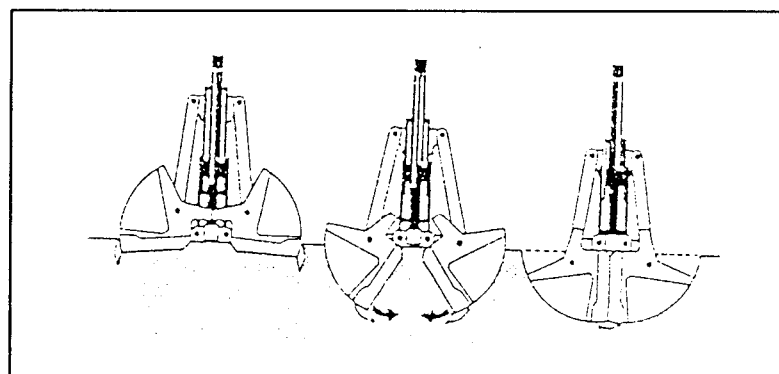
Sedangkan pada pembuatan panel-panel dinding diafragma, metoda kerjanya *drill* adalah pertama membuat lobang di kedua ujung panel sampai ke dasar parit (Gambar 2.10) sesuai rencana kedalaman yang diinginkan, kemudian alat *drill* ini akan memotong tanah yang ada diantara kedua lobang tersebut sampai ke dasar parit.



Gambar 2.10 Pembuatan panel dengan alat *drill* (the CIS-Type Equipment)

2. *trenching* dengan *grab*

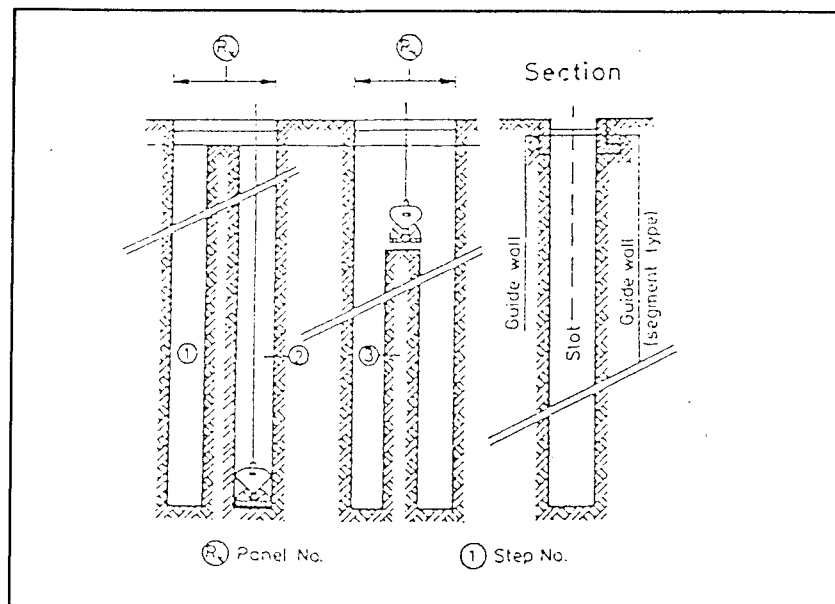
dimana *grab* adalah sebuah *bucket* yang pada ujung-ujungnya terdapat gigi-gigi, yang digerakkan secara mekanik atau hidrolis



Gambar 2.11 Cara kerja *grab* (P.Xanthakos)

Penggalian parit dengan *grab* harus mengikuti langkah-langkah berikut; pertama adalah menggali pada salah satu sisi panel (1),

kemudian dilanjutkan pada sisi satunya (2), dan terakhir penggalian di tengah-tengah panel, seperti yang terlukis pada sketsa gambar 2.12

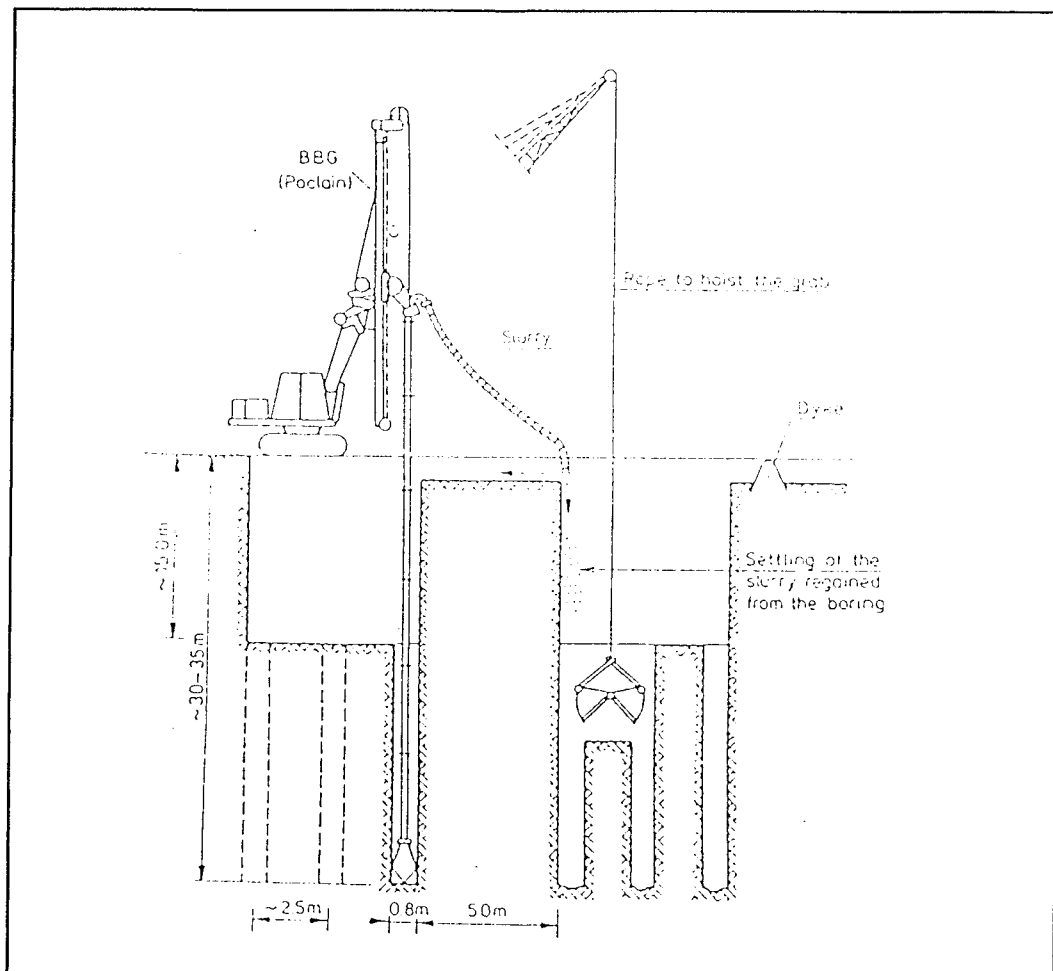


Gambar 2.12 Pembuatan panel dengan grab
(oleh I. Hajnal dkk, *Construction of Diaphragm Walls* 1984)

3. *trenching* dengan metoda kombinasi

yaitu memakai *grab* dan *drill* sekaligus dalam pembuatan parit

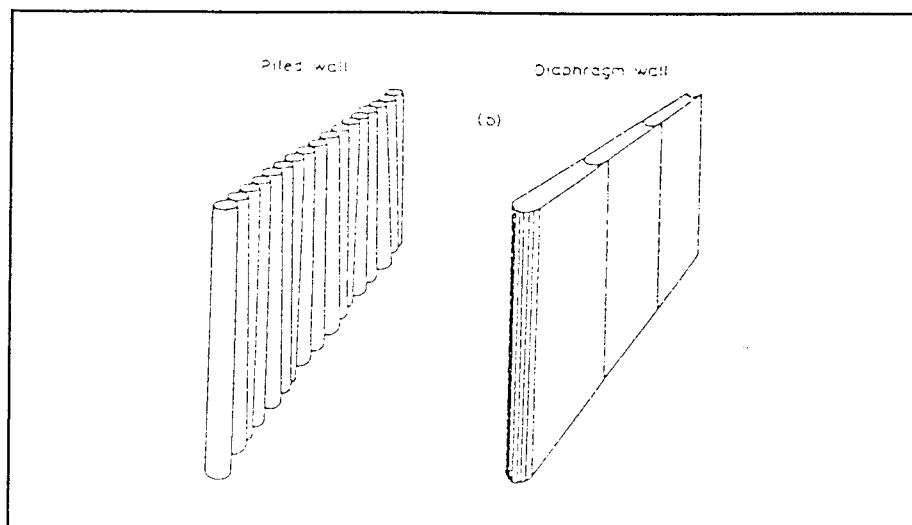
Gambar 2.13 (Schulz, 1968)



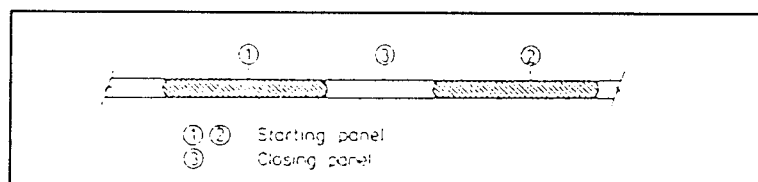
Gambar 2. 13 Metoda kombinasi *grab* dan *drill*

2.7.4 Sistem penyambungan tiang bor dan panel

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa pembuatan dinding diafragma adalah dengan menyambung panel-panel, (gambar 2.14b) dan pembuatan panel (penggalian *trench* dan pengecoran) tidak dilakukan pada panel yang berurutan, tapi dilakukan "dengan antara" (gambar 15),

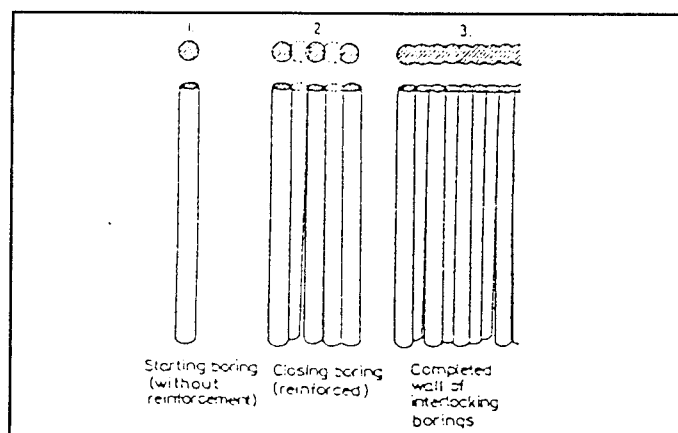


Gambar 2.14 (a) Dinding tiang bor beruntun.
 (b) Dinding diafragma
 (oleh I. Hajnal dkk, *Construction of Diaphragm Walls* 1984)



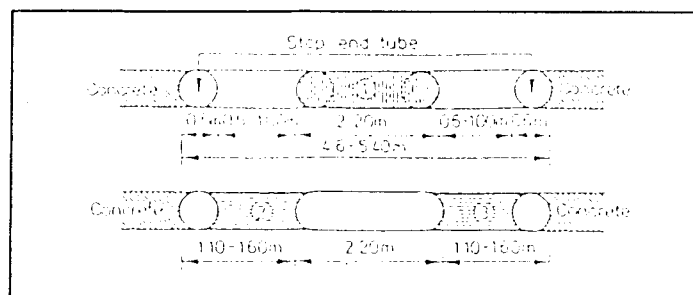
Gambar 2.15 Metoda pembuatan parit
 (oleh I. Hajnal dkk, *Construction of Diaphragm Walls* 1984)

Ditutup dengan panel penutup antara. Demikian juga dengan tiang bor beruntun Gambar 2.14 a) , pembuatan dinding tiang bor “dengan antara” tiang bor (gambar 2.16).



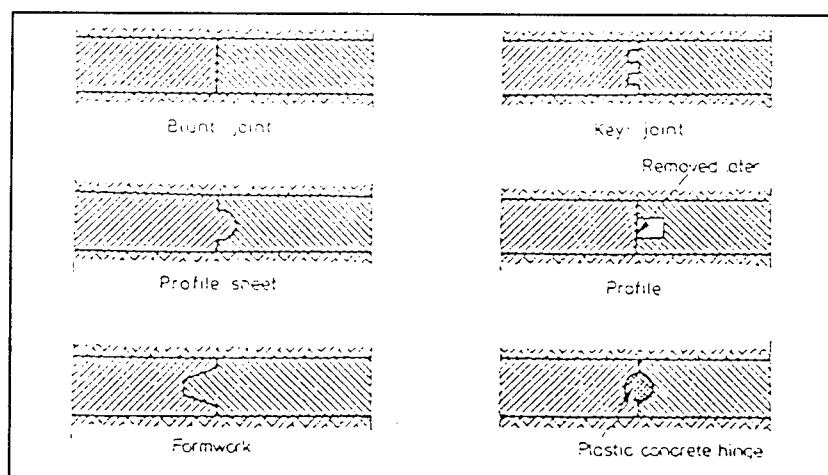
Gambar 2.16 Penyambungan tiang bor
 (oleh I. Hajnal dkk, *Construction of Diaphragm Walls* 1984)

Perlu dijelaskan disini bahwa untuk pembuatan sebuah panel diperlukan *stop-end* yang dipasang ke dalam parit secara vertikal pada kedua sisi daripada panel (gambar 2.17).



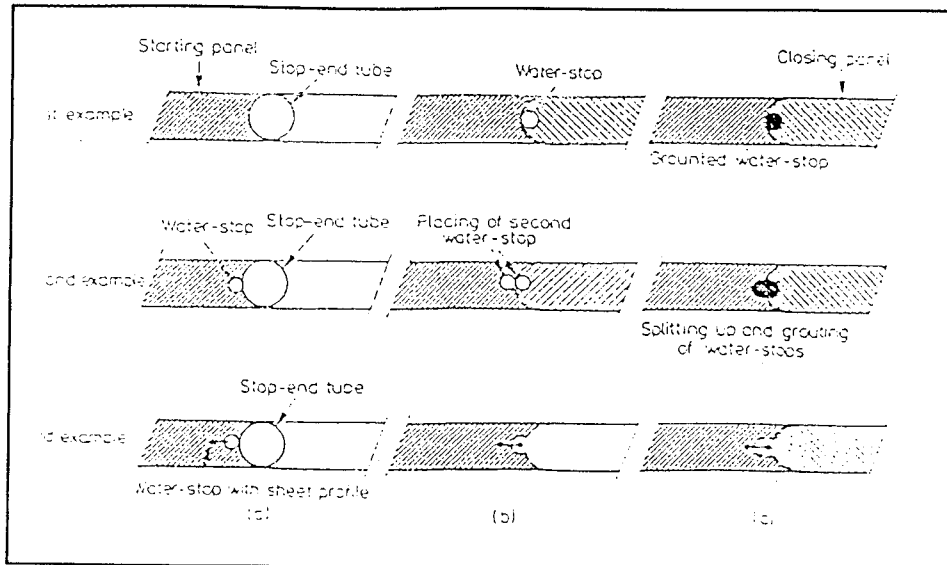
Gambar 2.17 Pemakaian *stop-end*
(oleh I. Hajnal dkk, *Construction of Diaphragm Walls* 1984)

Selain daripada itu, juga ada beberapa tipe-tipe *joint* untuk penyambungan antara panel (gambar 2.18)



Gambar 2.18 Yang biasa dipakai pada *joint* panel
(Oleh I. Hajnal dkk, *Construction of Diaphragm Walls* 1984)

Pada penyambungan panel-panel, supaya tidak ada rembesan air pada dinding diafragma, maka dipakai/dipasang *water stop* pada setiap sambungan panel (*joint*). Contoh pemakaian *water-stop* ini dapat dilihat pada gambar 2.19



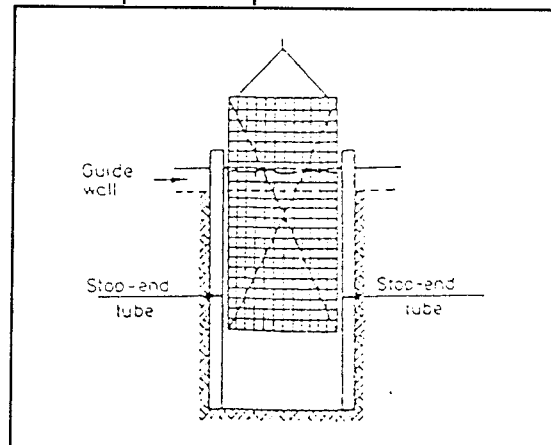
Gambar 2.19 Variasi *water stop*
(oleh I. Hajnal dkk, *Construction of Diaphragm Walls* 1984)

2.7.5 Pembetonan

Setelah *stop end* dan *water stop* dipasang pada kedua sisi panel, maka proses selanjutnya adalah pembetonan, dengan tahapan sebagai berikut :

1. penulangan

tulangan yang digunakan berupa rangka baja yang benar-benar kaku, untuk menghindari perubahan bentuk. Sangkar tulangan ini dapat dibuat di lokasi atau dipesan di pabrik.



Gambar 2.20 Pemasangan sangkar
(oleh I. Hajnal dkk, *Construction of Diaphragm Walls* 1984)

2. pengecoran beton

beton sebagai penguat dan pengaku struktur dinding diafragma, harus memenuhi syarat-syarat adukan beton segar sebagai berikut :

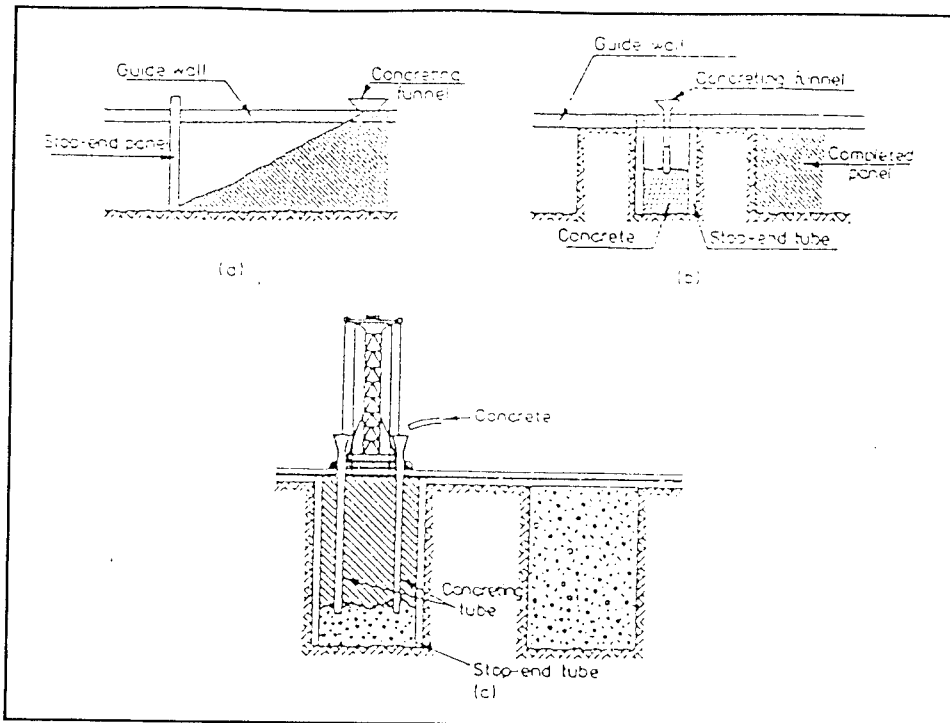
- a) adukan beton segar harus dapat mengalir melalui pipa *tremie* akibat gaya gravitasi
- b) beton segar harus cukup kohesif untuk menghindari segregasi dan *bledding*
- c) pengikatan awal *setting time* tidak boleh terlalu cepat, harus diperhitungkan sampai penuangan beton selesai.

Kuat desak beton yang disarankan untuk dinding diafragma antara 210 Kg/cm sampai 315 Kg/cm².

Pada waktu mengalirkan beton ke dalam parit tidak memerlukan *vibrator* untuk meratakan adukannya, tetapi dibiarkan mengalir sendiri melalui pipa *tremie* dan akan mengisi parit mulai dari dasar parit sampai ke atas. Diameter pipa *tremie* tergantung pada lebar parit dan besarnya agregat maksimum.

Apabila pada pengadukan beton ada ketidaksempurnaan pengadukan, maka akan terjadi penyumbatan pada *tremie* dan bercampurnya beton dengan *slurry*. Maka dari itu untuk menghindari ketidaksempurnaan tersebut, perlu diperhatikan hal-hal sebagai berikut :

- a) sifat mudah dikerjakan (*workability*), dapat ditentukan dengan *slump test*
- b) jumlah air yang dipakai serta mutu dan jumlah semen



Gambar 2.21 Metode pengecoran
(oleh I. Hajnal dkk, *Construction of Diaphragm Walls* 1984)

Pada gambar 2.21 diperlihatkan tiga metoda pengecoran , gambar 2.21(a) menunjukkan pengisian dengan metode *free slope*, yaitu pipa akhir (*stop end*) ditempatkan pada satu sisi panel. Gambar 2.21(b) menunjukkan metode dengan menggunakan pipa akhir (*stop end*) pada kedua sisi panel. Gambar 2.21(c) menggunakan dua *tremie*, metoda ini digunakan jika panjang dari panel lebih dari 6 meter.

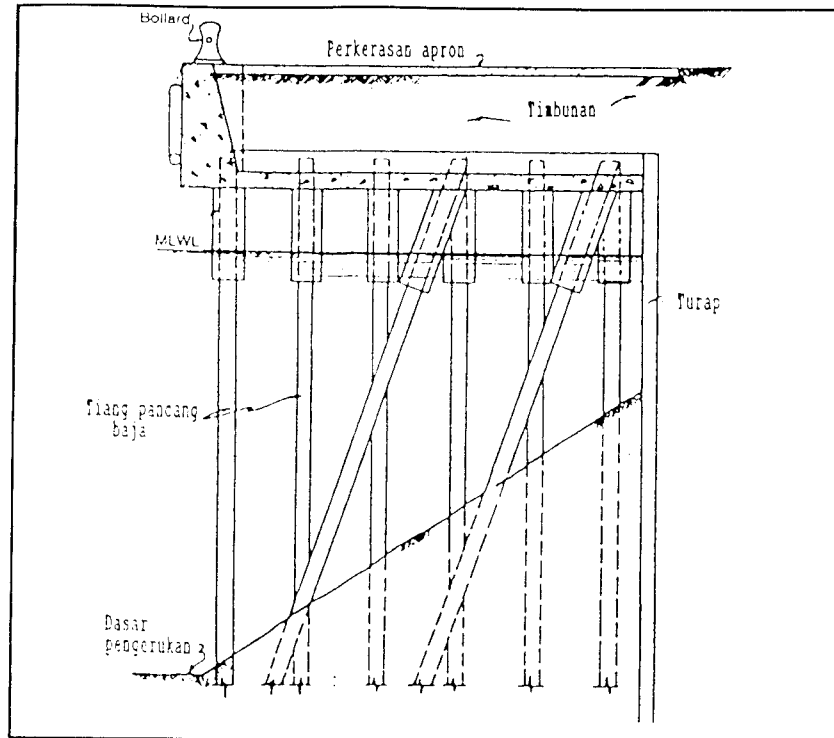
Diutamakan untuk memulai pengecoran adalah secepat mungkin, dan tidak kurang dari 4 sampai 5 jam sesudah penyempurnaan dari penggalian parit. Pengecoran harus dibatasi dalam waktu 6 sampai 10 jam, dan penuangannya tergantung dari dimensi panel, volume, *suply* pengecoran, dan diameter dari pipa *tremie* yang digunakan.

2.8 Dinding Diafragma Pada Dermaga

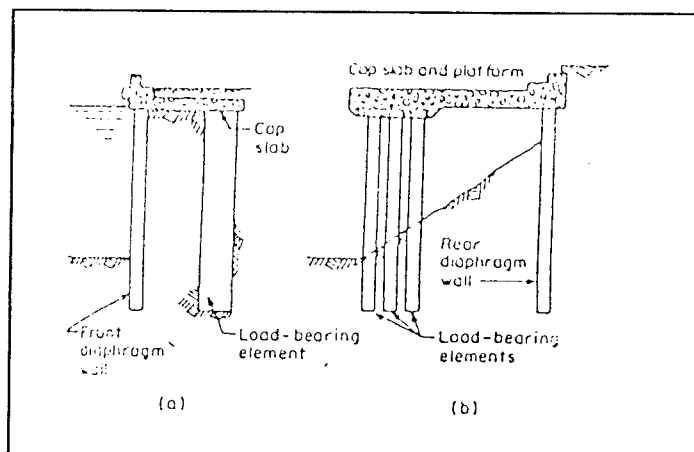
Dermaga adalah suatu bangunan pelabuhan yang digunakan untuk merapat dan menambatkan kapal yang melakukan bongkar muat barang dan menaik-turunkan penumpang (Bambang Triatmodjo, 1996), dapat dibedakan atas dua tipe yaitu *jetty* atau *pier* dan *wharf* atau *quay*.

Wharf atau *quay*, menurut strukturnya dapat dibedakan atas dua tipe yaitu :

1. dermaga konstruksi terbuka, dimana lantai dermaga didukung oleh tiang-tiang pancang (gambar 2.22)
2. dermaga konstruksi tertutup atau *solid*, seperti dinding massa, kaison, turap dan dinding penahan tanah. Struktur dinding penahan tanah untuk dermaga yaitu *sheet pile wall*, *gravity wall* dan *diaphragm wall* (Awal Surono 1997).



Gambar 2.22 Wharf konstruksi terbuka



Gambar 2.23 Skema tipe dermaga sistem dinding diafragma
(Oleh I. Hajnal dkk, *Construction of Diaphragm Walls* 1984)

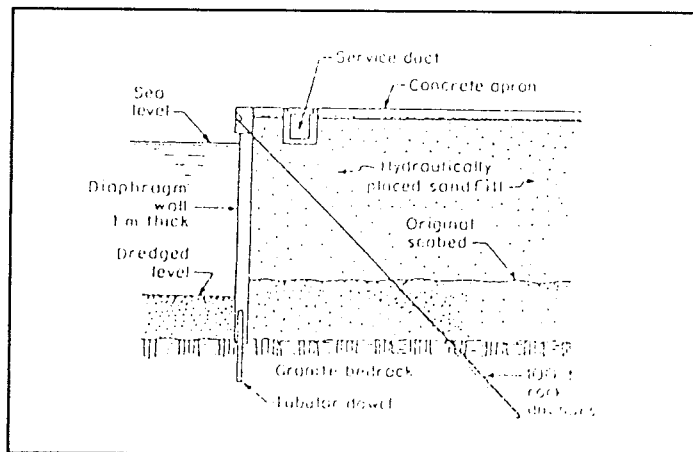
Pada gambar 2. 23 (a) adalah tipe dinding gravitasi yang cara kerjanya berdasarkan gaya gravitasi. Bagian atas (*cap slab*) biasanya dibuat slab beton. Tipe dinding gravitasi dapat menahan penggulingan jika *cap slab* mengikat kaku pada dinding dan jika dasar dinding adalah tanah

padat. Pada gambar terlihat dinding diafragma diletakkan di depan dermaga.

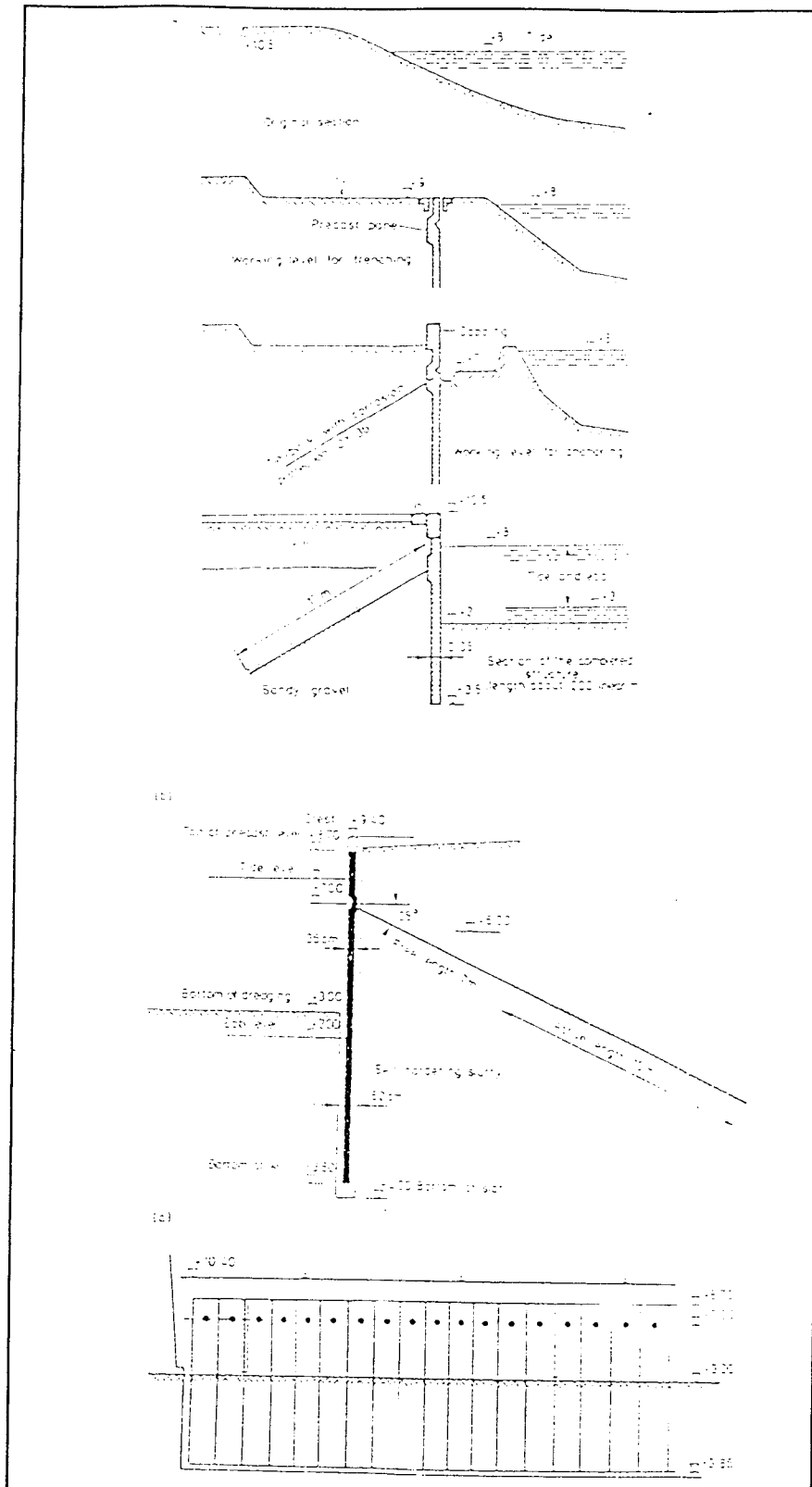
Pada gambar 2.23. (b) adalah kombinasi antara sebagian tipe dinding gravitasi dan sebagian *free cantilever*. Tipe ini biasanya digunakan dalam situasi dimana *cab slab* menahan beban-beban besar (*loading crane* dan lain-lain). Untuk mendapat hasil yang baik, dinding diafragma yang diletakkan dibelakang tersebut harus dibangun pada tanah padat.

- Contoh proyek dinding diafragma pada dermaga

Pada gambar 2.24 diperlihatkan *quay wall* untuk pelabuhan *Peterhead* Inggris, dimana tebal dinding diafragma 1 meter. Dorongan lateral pada dinding bagian atas ditahan oleh *ground anchor*



Gambar 2.24 Quay wall pada pelabuhan Peterhead Inggris (oleh I. Hajnal dkk, *Construction of Diaphragm Walls* 1984)



Gambar 2.25 Pembuatan dermaga bentuk *wharf* di pelabuhan *Deauville-Trouville*, Perancis.

(oleh I. Hajnal dkk, *Construction of Diaphragm Walls* 1984)

- (a) rangkaian tahap pelaksanaan
- (b) susunan tiap bagian
- (c) tampak depan dermaga *wharf*

Pada gambar 2.25 diatas , adalah proyek konstruksi *wharf* pada tahun 1977 oleh *Soletanche Company* , untuk pelabuhan *Deauville-Trouville* Perancis. Pada proyek tersebut dinding diafragma panjangnya 200 meter yang terdiri dari 80 buah panel, tiap panel panjangnya 12.5 meter dengan ketebalan 35 cm.