



UNIVERSITAS GADJAH MADA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK SIPIL DAN LINGKUNGAN

DESAIN TEKNIS REHABILITASI GROUNDSILL KRETEK DI SUNGAI OPAK



DISAMPAIKAN KEPADA
BIDANG BINA MARGA DINAS KIMPRASWIL
PROVINSI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA

10 JULI 2007

PENGANTAR

Pada 25 Juni 2007, groundsill pengaman Jembatan Kretek yang melintasi Sungai Opak di Kabupaten Bantul mengalami kegagalan fungsi. Sebagian groundsill, sepanjang 31 m di bagian tengah dari 185 m seluruh bentang groundsill, telah runtuh. Sebagian groundsill yang lain telah pula dalam posisi miring atau condong ke arah hilir. Akibat dari kerusakan ini adalah turunnya dasar sungai dan terancamnya pilar jembatan. Untuk menanggulangi kerusakan lebih lanjut, Bidang Bina Marga Dinas Kimpraswil Provinsi DI Yogyakarta segera mengambil tindakan penanganan kerusakan, yang diawali dengan desain teknik rehabilitasi Groundsill Kretek.

Laporan ini menyajikan analisis teknis kerusakan yang terjadi serta desain teknis rehabilitasi Groundsill Kretek. Desain rehabilitasi berpijak pada pertimbangan kesegeraan dan kemudahan pelaksanaan rehabilitasi, serta kaidah teknis struktur groundsill. Pelaksanaan rehabilitasi, dengan demikian diharapkan sesegera mungkin dilaksanakan untuk mencegah kerusakan groundsill yang lebih parah.

Desain teknis rehabilitasi ini dikerjakan oleh tim teknis dari Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan FT UGM. Dalam pelaksanaan desain, tim melakukan kerjasama yang erat dengan tim teknis dari Bidang Bina Marga Dinas Kimpraswil Provinsi DI Yogyakarta.

Yogyakarta, Juli 2007

Dr. Ir. Istiarto, M.Eng.
Ketua Tim

DAFTAR ISI

Pengantar	ii
Daftar Isi.....	iii
Daftar Tabel	iv
Daftar Gambar.....	v
Desain Teknis Rehabilitasi Groundsill Kretek di Sungai Opak.....	1
A Pengantar.....	1
B Groundsill Kretek.....	1
C Penyebab Kegagalan Groundsill	5
C.1 Struktur Groundsill	5
C.2 Degradasi Dasar Sungai	6
D Penanganan Kerusakan Groundsill.....	7
D.1 Penanganan Darurat	9
D.2 Perbaikan Groundsill.....	9
E Konsep Perencanaan.....	11
E.1 Data Teknis.....	11
E.2 Stabilitas terhadap Gaya Eksternal	11
E.3 Rayapan di Bawah Groundsill	13

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Nilai kuat geser tanah.	12
Tabel 2 Nilai weighted creep ratio, WCR.	14

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Lokasi Groundsill Kretek (Bina Marga, 2003).....	2
Gambar 2	Groundsill Kretek sesudah (atas) dan sebelum (bawah) kerusakan.....	3
Gambar 3	Potongan memanjang groundsill.	3
Gambar 4	Potongan melintang groundsill (Bina Marga, 2003)	4
Gambar 5	Detail sheet pile groundsill (Bina Marga, 2003).	4
Gambar 6	Root-cause analysis.....	5
Gambar 7	Profil melintang dasar sungai di as groundsill. Atas: Gambar perencanaan (Bina Marga, 2003). Bawah: Hasil pengukuran (Adhi Karya, 2007).	8
Gambar 8	Alternatif perbaikan groundsill. Dari atas ke bawah: Alternatif I, Alternatif II, Alternatif III	11
Gambar 9	Skema perhitungan rayapan.	14

DESAIN TEKNIS REHABILITASI GROUNDSILL KRETEK DI SUNGAI OPAK

A Pengantar

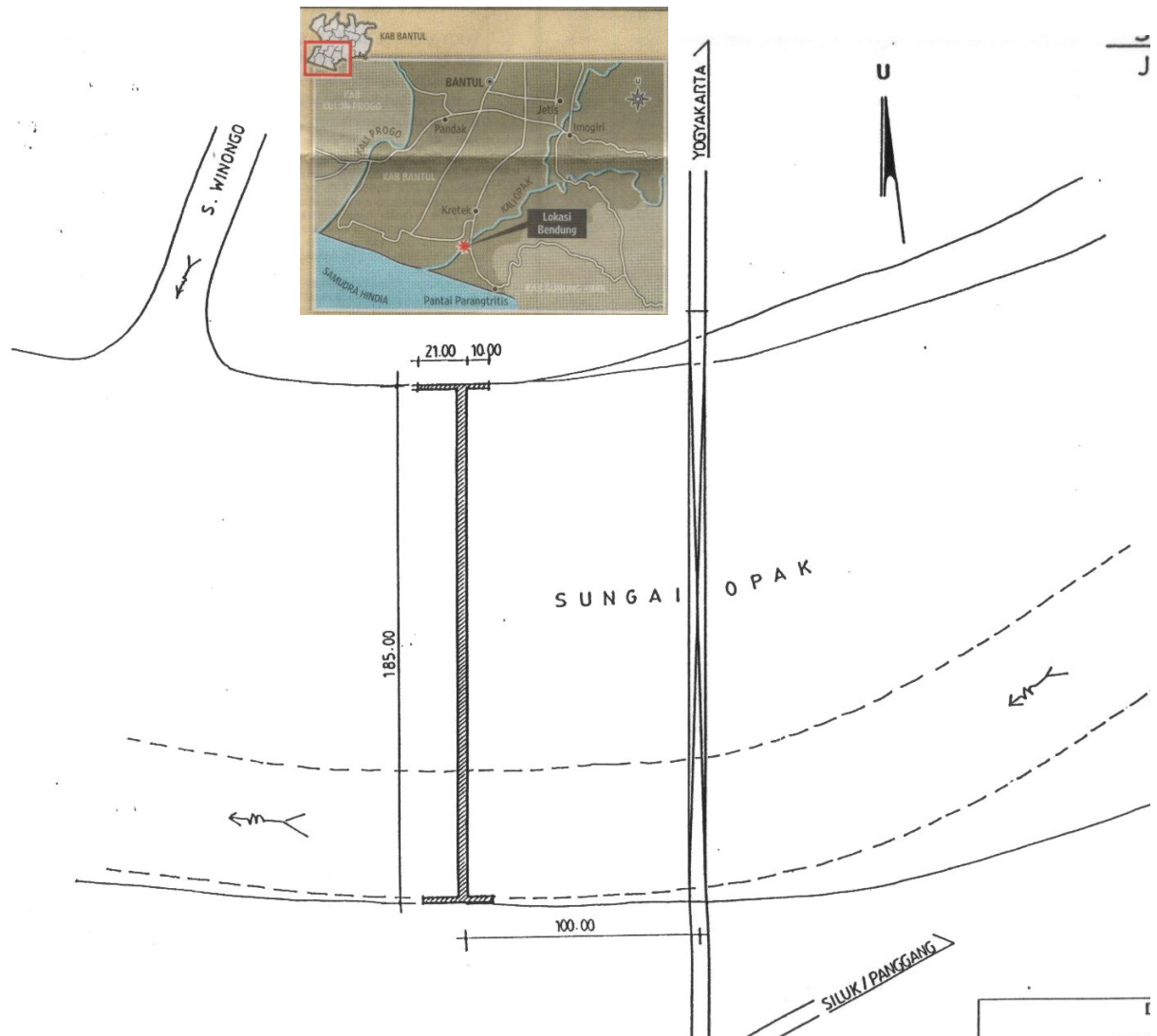
Pada 25 Juni 2007, groundsill pengaman Jembatan Kretek yang melintasi Sungai Opak di Kabupaten Bantul mengalami kegagalan yang mengakibatkan runtuhnya struktur groundsill di bagian tengah bentang sepanjang lebih kurang 31 m. Dengan total bentang groundsill 185 m, sisa groundsill yang masih berdiri sekitar 154 m. Namun, sebagian groundsill pada lokasi patah juga mengalami kerusakan dan dalam posisi miring atau condong ke arah hilir.

Kegagalan Groundsill Kretek telah menambah jumlah groundsill pengaman jembatan di Yogyakarta yang mengalami kegagalan. Sebelumnya, groundsill pengaman Jembatan Kebon Agung I yang melintasi Sungai Progo, serta groundsill pengaman Jembatan Prambanan telah mengalami kegagalan. Berbagai penyebab kegagalan ini antara lain kelemahan struktur groundsill, gerusan di hilir groundsill, serta degradasi dasar sungai. Paparan berikut ini mencoba menganalisa penyebab kegagalan Groundsill Kretek dari sisi teknis.

B Groundsill Kretek

Groundsill Kretek dibangun pada tahun 2003 m oleh Bidang Bina Marga Dinas Permukiman dan Prasarana Wilayah Provinsi DIY. Groundsill berada 100 m di hilir Jembatan Kretek dan dimaksudkan sebagai pengaman pilar jembatan terhadap ancaman degradasi dasar sungai. Gambaran situasi di lokasi Groundsill Kretek disajikan pada Gambar 1. Foto pada Gambar 2 menunjukkan situasi groundsill setelah mengalami kegagalan serta saat masih berfungsi.

Groundsill terdiri dari dua baris sheet pile beton pratekan mutu K700 dengan jarak antar sheet pile 2 m dan panjang bentang 185 m. Elevasi muka sheet pile baris hulu lebih tinggi satu meter dari elevasi muka sheet pile baris hilir. Ujung groundsill kanan dan kiri (masing-masing sepanjang 5 m) dibuat lebih tinggi satu meter terhadap muka groundsill di bagian tengah. Sheet pile yang digunakan mempunyai panjang 7 m, dipancang sedalam lebih kurang 6 m. Bagian tengah groundsill antara kedua baris sheet pile diisi bronjong sedalam 1 m di bawah muka tanah asli. Struktur Groundsill Kretek disajikan pada Gambar 3 s.d. Gambar 5.

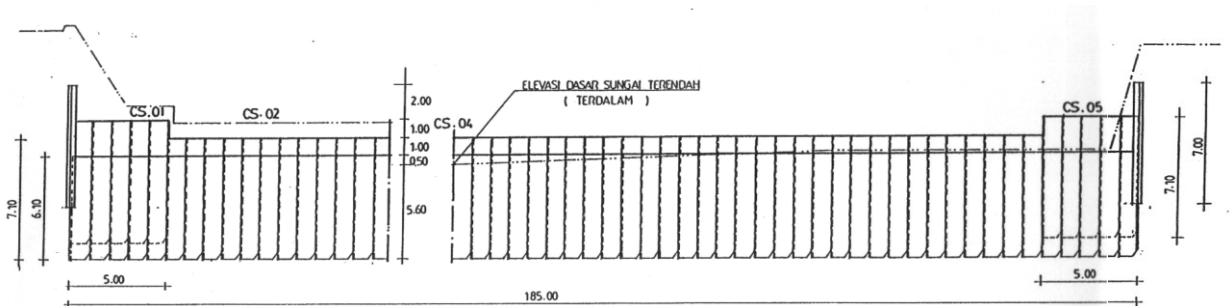


Gambar 1 Lokasi Groundsill Kretek (Bina Marga, 2003).

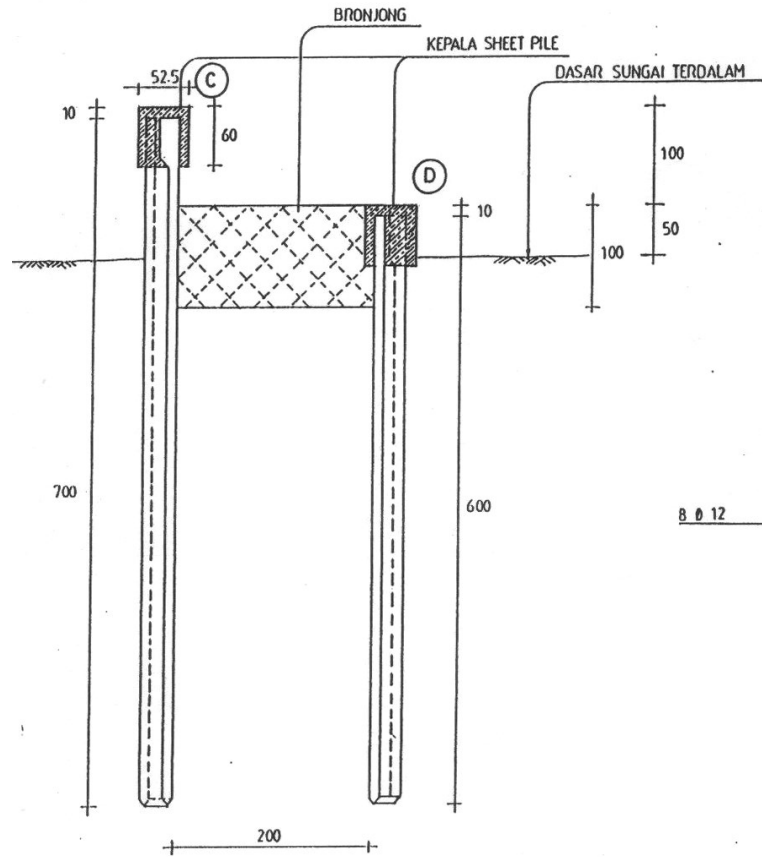




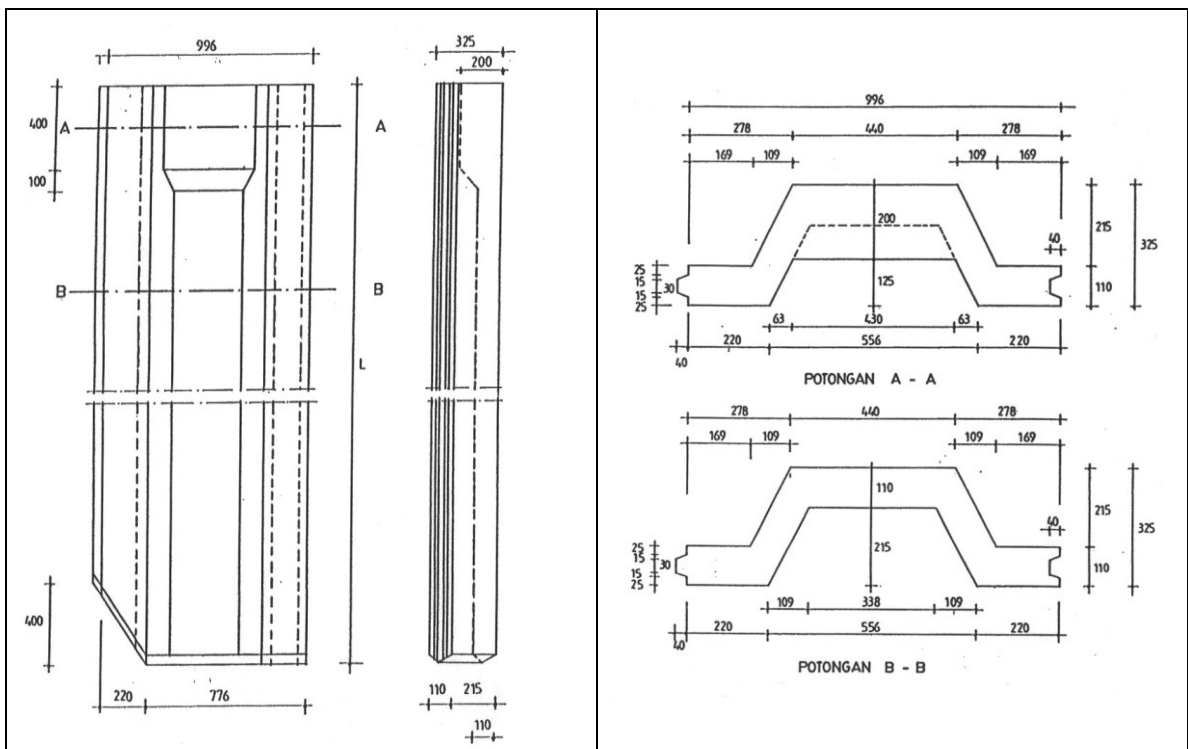
Gambar 2 Groundsill Kretek sesudah (atas) dan sebelum (bawah) kerusakan.



Gambar 3 Potongan memanjang groundsill.



Gambar 4 Potongan melintang groundsill (Bina Marga, 2003)



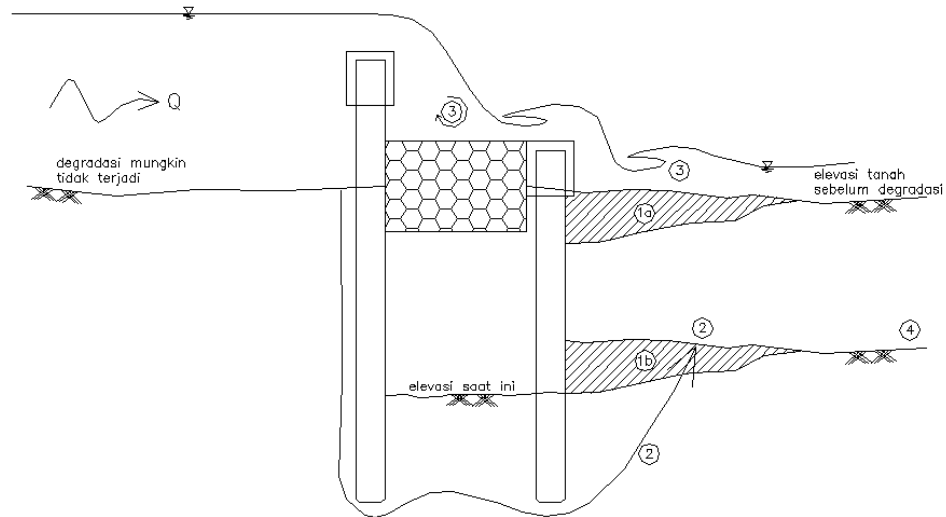
Tampak sheetpile

Detail sheet pile

Gambar 5 Detail sheet pile groundsill (Bina Marga, 2003).

C Penyebab Kegagalan Groundsill

Berdasarkan paparan mengenai struktur Groundsill Kretek, pada bagian ini dikaji akar permasalahan yang mungkin menyebabkan kegagalan groundsill. Gambar 6 di bawah ini memberikan ilustrasi proses yang terjadi, yang berujung pada kegagalan groundsill.



Gambar 6 Root-cause analysis.

Ada dua hal yang diduga menjadi penyebab utama kegagalan Groundsill Kretek yaitu kelemahan hidraulis struktur groundsill serta degradasi dasar sungai.

C.1 Struktur Groundsill

Secara teknis, Groundsill Kretek tidak memenuhi kaidah-kaidah teknis-hidraulis bangunan melintang sungai seperti dipaparkan di bawah ini.

1 Perlindungan terhadap gerusan lokal

Di hilir groundsill, gerusan lokal terjadi karena adanya terjunan melewati mercu groundsill yang memiliki energi kinetik aliran cukup besar dan menumbuk bagian hilir groundsill. Bagian ini seharusnya dilindungi dengan material yang cukup keras dan kuat yang mampu mencegah tergerusnya dasar sungai (gerusan lokal). Dari gambar potongan melintang groundsill (Gambar 6) tampak bahwa Groundsill Kretek tidak dilengkapi dengan perlindungan terhadap gerusan lokal. Dasar sungai di hilir groundsill dibiarkan terbuka tanpa dilindungi oleh struktur pelindung terhadap gerusan lokal. Gerusan lokal diperparah oleh energi aliran yang jatuh dari puncak groundsill. Gerusan lokal dapat menyebabkan turunnya dasar sungai di hilir groundsill dan mengurangi kestabilan struktur groundsill (item 1a).

2 Seepage dan piping

Seepage adalah merembesnya air melalui pori-pori tanah di bawah struktur. Apabila aliran tersebut membawa partikel-partikel tanah yang dilaluinya dan membentuk alur-alur kecil di bawah tanah, terjadilah piping. Seepage dapat diketahui dengan mudah apabila pada musim kemarau, di saat air tidak mampu atau hanya sedikit yang mengalir melalui mercu groundsill, ditemukan aliran di sebelah hilir groundsill yang muncul dari dalam tanah dasar sungai. Apabila seepage mengakibatkan piping, rongga di tanah di bawah groundsill akan semakin besar dan kuat dukung tanah akan mengecil dan dapat menyebabkan kegagalan struktur yang di atasnya.

Pada kasus kegagalan Groundsill Kretek, sampai saat ini belum dilakukan investigasi terhadap kemungkinan terjadinya seepage dan piping. Indikasi terhadap hal ini biasanya ditunjukkan dengan adanya aliran yang muncul di hilir groundsill pada saat musim kemarau, padahal muka air di hulu groundsill berada di bawah mercu (item 2).

3 Struktur pemecah energi

Aliran akan mengalami peningkatan kecepatan yang signifikan setelah melalui mercu groundsill. Energi kinetik aliran yang paling besar terjadi apabila aliran melalui mercu groundsill merupakan aliran jatuh bebas. Apabila tidak diredam, energi aliran ini berpotensi merusak struktur di bagian hilir groundsill serta memperbesar gerusan lokal. Untuk mencegah hal ini, perlu dibuat struktur pemecah energi di hilir mercu groundsill. Struktur pemecah energi (*energy dissipator*) dibuat pada bagian-bagian berikut ini:

- dasar sungai di hilir groundsill,
- tempat aliran jatuh bebas, atau
- di hilir groundsill tempat aliran kembali ke sungai.

Dari gambar potongan melintang Groundsill Kretek (Gambar 4) tampak bahwa groundsill tidak dilengkapi dengan struktur pemecah energi. Kemungkinan yang terjadi adalah aliran menumbuk dasar sungai di hilir groundsill dengan energi yang besar dan menyebabkan tergerusnya dasar sungai. Dengan tergerusnya dasar sungai, elevasi dasar sungai di hilir groundsill turun, yang pada akhirnya berakibat pada terganggunya kestabilan struktur groundsill (item 3). Groundsill (sheet pile) tidak mampu menahan momen guling.

C.2 Degradasi Dasar Sungai

Degradasi dasar sungai merupakan fenomena yang terjadi di Sungai Opak dan sungai-sungai lain di Yogyakarta. Degradasi dasar sungai dapat dipicu oleh tiga hal, yaitu peningkatan kecepatan aliran, berkurangnya suplai sedimen dari hulu, atau penurunan dasar sungai (muka air) di hilir. Dalam kasus sungai-sungai di Yogyakarta, tampaknya dua hal terakhir yang lebih dominan.

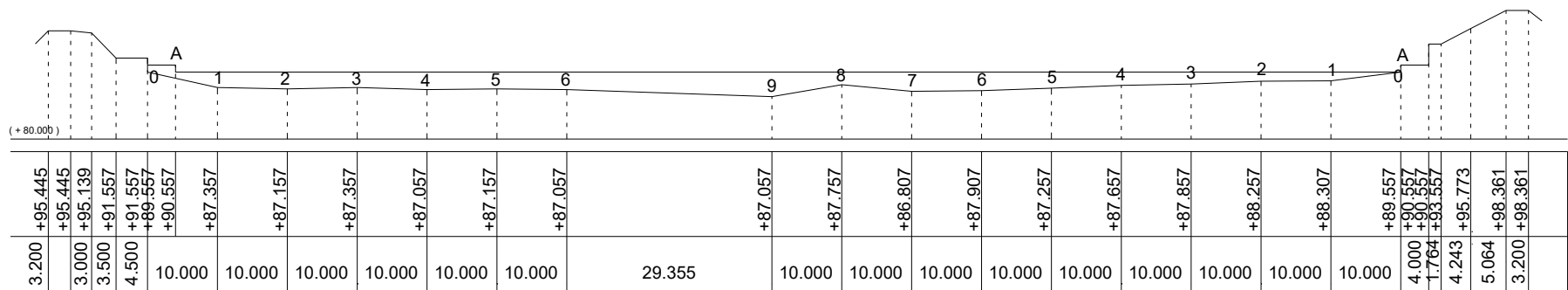
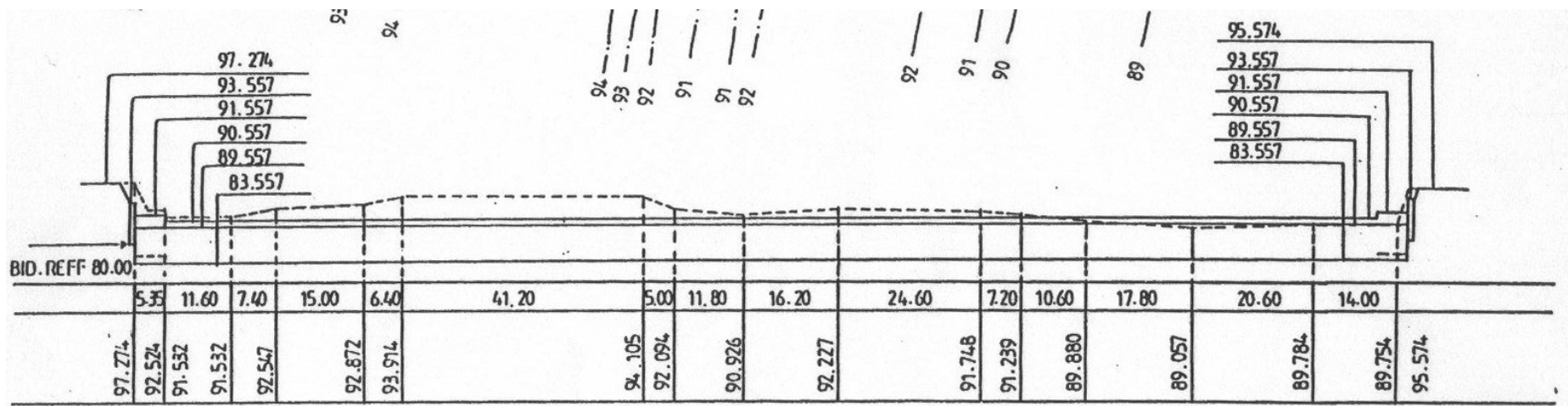
Berkurangnya suplai sedimen dari hulu menyebabkan perubahan imbalan transpor sedimen di sepanjang sungai. Apabila suplai sedimen berkurang, maka kapasitas angkut aliran akan melebihi jumlah sedimen yang dibawanya. Konsekuensi yang timbul adalah aliran mengerosi/menggerus material dasar sungai dan terjadilah degradasi dasar sungai. Suplai sedimen berkurang dapat diakibatkan oleh tertahannya sedimen atau pengambilan sedimen yang melebihi suplai dari hulu.

Penambangan sedimen (pasir) yang melebihi suplai sedimen, yang marak terjadi di bagian hulu sungai, patut dicurigai sebagai aktor penyebab degradasi dasar sungai. Penambangan pasir menyebabkan berkurangnya ketersediaan material sedimen yang dapat diangkut oleh aliran. Dengan berkurangnya volume sedimen yang tersedia, aliran akan mempertahankan keseimbangannya dengan mengambil dan membawa material dasar sungai yang menyebabkan degradasi dasar sungai. Degradasi baru akan berhenti setelah dasar sungai mencapai lapisan tanah keras yang tidak mungkin tergerus oleh aliran.

Degradasi dasar sungai dapat pula dipicu oleh penurunan dasar sungai di hilir. Penurunan dasar sungai ini berakibat pada penurunan muka air dan meningkatkan kemiringan serta memperbesar kecepatan aliran. Kecepatan aliran meningkat akan mengakibatkan erosi dasar sungai dan pada akhirnya terjadi degradasi. Degradasi di sebelah hilir groundsill dapat mengganggu stabilitas groundsill terlebih bila elevasi dasar sungai sudah mendekati atau mencapai elevasi dasar fondasi groundsill (item 4). Pengaruh gerusan lokal akibat aliran di sebelah hilir groundsill juga meningkat apabila dasar sungai semakin turun dan tinggi jatuh aliran melalui mercu groundsill semakin besar (item 1b).

D Penanganan Kerusakan Groundsill

Selain terjadi kerusakan pada struktur groundsill, patahnya Groundsill Kretek juga mengakibatkan turunnya dasar sungai di sekitar lokasi patahan. Elevasi dasar sungai pada lokasi patahan saat groundsill direncanakan adalah +90,926 m (Bina Marga, 2003) sedangkan elevasi dasar sungai sekarang pada lokasi yang sama adalah +87,057 m (hasil pengukuran oleh Adhi Karya pada 30 Juni 2007). Penurunan elevasi dasar sungai ini dapat terus berlanjut apabila tidak dilakukan penanganan yang tepat karena aliran akan terkonsentrasi melalui daerah patahan saja. Gambar 7 menyajikan perubahan dasar sungai pada as groundsill di lokasi patahan.



**Gambar 7 Profil melintang dasar sungai di as ground sill. Atas: Gambar perencanaan (Bina Marga, 2003).
Bawah: Hasil pengukuran (Adhi Karya, 2007).**

Pada paparan berikut ini disajikan dua macam penanganan kerusakan Groundsill Kretek, yang dibedakan menurut prioritasnya: penanganan darurat dan perbaikan groundsill.

D.1 Penanganan Darurat

Penanganan darurat perlu segera dilakukan terhadap struktur groundsill sesegera mungkin setelah kegagalan. Hal ini perlu dilakukan untuk mencegah meluasnya kerusakan dan meminimumkan dampak kerugian yang ditimbulkannya, baik dari sisi kerusakan struktur maupun efek kerusakan yang dapat mengganggu proses perbaikan nantinya. Pada prinsipnya, penanganan darurat yang perlu segera dilakukan terhadap Groundsill Kretek adalah sebagai berikut:

1 Melokalisir kerusakan

Kerusakan yang ada harus dilokalisir agar tidak menyebabkan kerusakan yang lebih parah terhadap bagian lain, khususnya di kedua ujung bagian yang patah. Lokalisasi kerusakan dapat dilakukan dengan memotong segmen-segmen di ujung patahan yang sudah rusak/miring. Apabila segmen yang rusak ini dibiarkan, dikhawatirkan akan menjadi beban bagi struktur yang masih utuh, sehingga menyebabkan kerusakan pada segmen yang saat ini masih kuat. Apabila struktur groundsill disatukan dengan tulangan-tulangan baja, maka tulangan tersebut harus dipotong agar segmen yang rusak benar-benar terpisah dari segmen yang masih utuh.

2 Melindungi lokasi yang rawan rusak

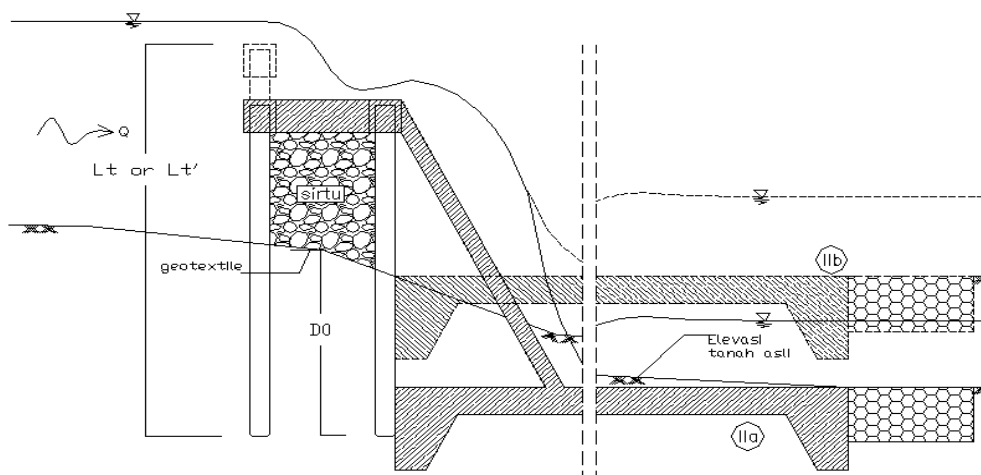
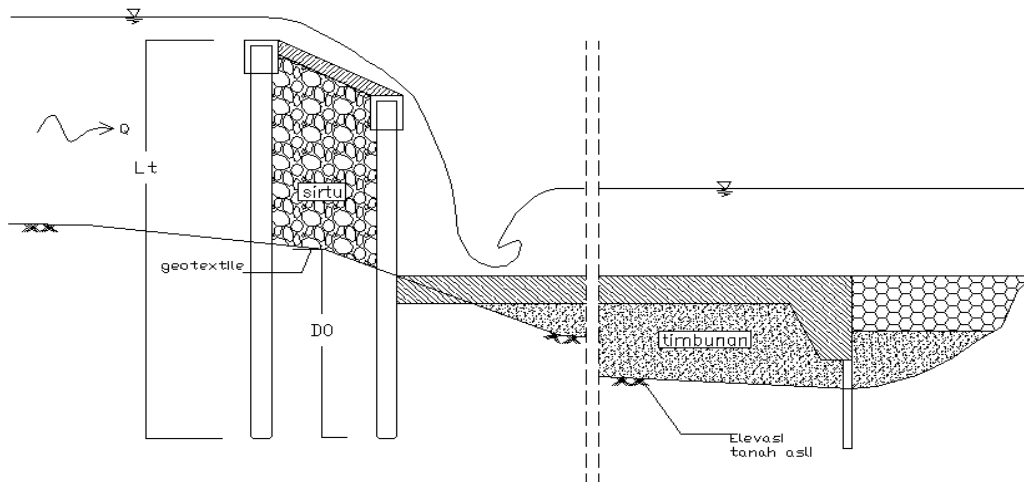
Ujung-ujung groundsill pada bagian yang patah merupakan struktur yang rawan rusak; oleh karena itu, perlu segera dilakukan perlindungan terhadapnya. Perlindungan dapat dilakukan dengan menempatkan bronjong atau memasang sheet pile mengelilingi ujung-ujung patahan groundsill untuk mengurangi erosi dasar sungai yang dapat memperparah kerusakan di tempat ini.

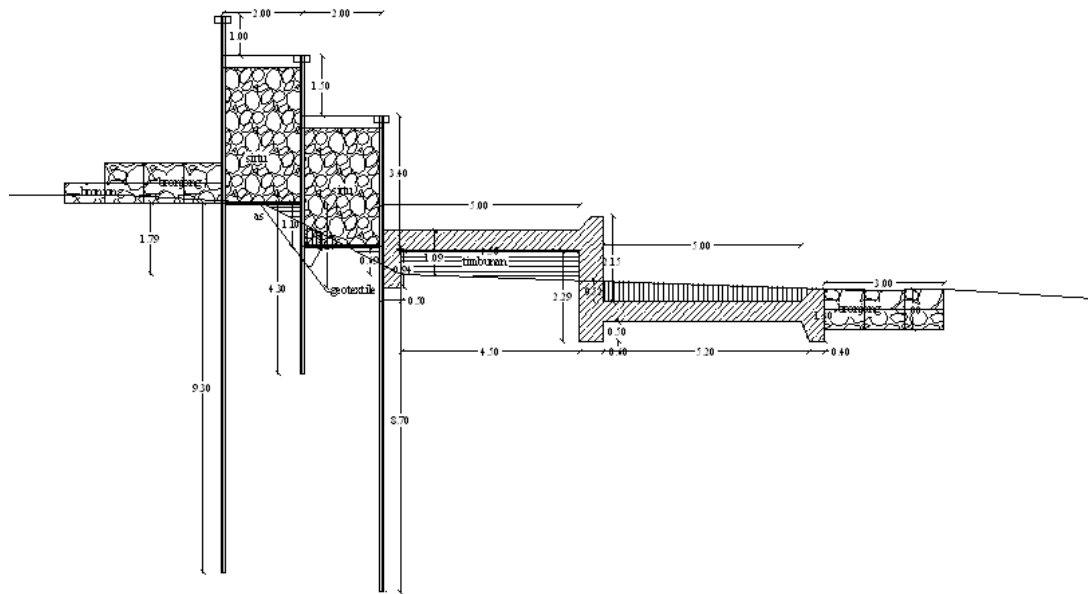
D.2 Perbaikan Groundsill

Dengan memperhatikan kaidah-kaidah teknis yang dipaparkan di atas, serta memperhatikan kemudahan pelaksanaan, beberapa desain di bawah ini ditawarkan sebagai alternatif perbaikan groundsill. Setiap alternatif dilengkapi dengan penjelasan secukupnya mengenai konsep perencanaan dan formula yang digunakan. Ada 3 alternatif yang ditawarkan, yaitu:

- Perbaikan dengan menggunakan desain groundsill lama, namun dilengkapi dengan perlindungan di sisi hulu dan hilir; desain ini selanjutnya disebut Alternatif I.

- Perbaikan dengan menggunakan groundsill dengan dua baris sheet pile yang mempunyai ketinggian yang sama, dilengkapi dengan perlindungan hilir; desain ini selanjutnya disebut Alternatif II.
- Perbaikan dengan menggunakan *stepped weir* menggunakan sheet pile baja, dilengkapi dengan perlindungan hulu dan hilir; desain ini selanjutnya disebut Alternatif III.





Gambar 8 Alternatif perbaikan groundsill.
Dari atas ke bawah: Alternatif I, Alternatif II, Alternatif III

E Konsep Perencanaan

Dari tiga alternatif di atas, sesuai dengan pembicaraan pihak Bina Marga, Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan FT UGM, serta PT Adhi Karya, alternatif III disepakati untuk ditindaklanjuti. Selanjutnya, dengan data teknis yang ada, alternatif III akan dihitung stabilitas struktur serta rayapan yang mungkin terjadi pada beberapa kondisi di lapangan.

E.1 Data Teknis

Dari hasil pengukuran Adhi Karya pada tanggal 30 Juni 2007, data teknis yang digunakan dalam perancangan dan perhitungan adalah sebagai berikut.

Elevasi muka air banjir	= +93,557 m
Elevasi dasar sungai terendah pada As	= +87,057 m
Elevasi front sheet pile	= + 90,557 m
Elevasi rear sheet pile	= + 89,557 m
Elevasi dasar sungai di hilir groundsill	= + 85,307 m

E.2 Stabilitas terhadap Gaya Eksternal

Gaya yang bekerja pada turap, tekanan tanah aktif dan tekanan tanah pasif, termasuk gaya hidrostatis dan hidrodinamis dihitung dengan menggunakan persamaan-persamaan berikut.

Tekanan tanah aktif (E_a) dan tekanan tanah pasif (E_p)

$$Ea = \frac{1}{2} h^2 \gamma_t Ka \text{ dan } Ep = \frac{1}{2} h^2 \gamma_t Kp$$

Dalam persamaan di atas,

Ea = tekanan tanah aktif

Ep = tekanan tanah pasif

h = tebal lapisan tanah

γ_t = berat volume tanah, dan

Ka = koefisien tekanan tanah aktif

Kp = koefisien tekanan tanah pasif

Koefisien tekanan tanah aktif dan koefisien tekanan tanah pasif diperoleh dengan persamaan berikut:

$$Ka = tg^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) \text{ dan } Kp = tg^2 \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right)$$

φ adalah sudut geser/kuat geser tanah.

Pada tanah granular, kuat geser yang diperoleh dari pengujian *drained* relevan digunakan dalam praktek. Tabel di bawah ini menunjukkan nilai kuat geser φ pada masing-masing kondisi tanah.

Tabel 1 Nilai kuat geser tanah.

Jenis tanah	sudut-geser-dalam efektif (φ)	
	tidak padat	padat
Pasir bulat, seragam	27	35
Pasir gradasi baik, bersudut	33	45
Kerikil berpasir	35	50
Pasir berlanau	27-30	30-34

(sumber : Mekanika Tanah I, HCH: 2002)

Secara matematis, gaya hidrostatis yang terjadi dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$P = \frac{1}{2} h^2 \gamma_w$$

Dalam persamaan tersebut,

h = tinggi air

γ_w = berat volume air

Gaya hidrodinamis diasumsikan sebagai akibat dari pengaruh getaran (gempa) atau terjunan air, yang dihitung sebagai berikut:

$$P_{hd} = 0.726c_m \gamma_w k_h H^2$$

Dalam persamaan di atas,

γ_w = berat jenis air

H = tinggi air

k_h = koefisien gempa horizontal (0.12 – 0.15)

c_m = 0.735

Panjang turap (*sheet pile*) ditentukan dengan memperhitungkan stabilitas turap terhadap momen yang terjadi akibat gaya/tekanan yang bekerja. Stabilitas turap tersebut dihitung terhadap titik D_0 (panjang turap yang ditanam) sebagai berikut.

$$\frac{\sum Mp}{\sum Ma} \geq 1.5 - 2.0$$

Analisis terhadap kekuatan bahan dilakukan dengan memperhitungkan momen maksimum yang terjadi, yaitu pada gaya geser sama dengan nol, dan membandingkan momen maksimum dengan kekuatan bahan.

Air pada keadaan statis di dalam tanah akan mengakibatkan tekanan hidrolis yang arahnya ke atas (gaya angkat/*uplift*). Teori Lane dapat digunakan untuk menghitung gaya angkat (up-lift) yang terjadi. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$p_x = H_x - \frac{L_x}{L} \Delta H$$

Dalam persamaan di atas

p_x = tekanan air ke atas di titik x

L = panjang rayapan total

L_x = panjang rayapan sampai dengan titik x

ΔH = beda tinggi energi

H_x = tinggi energi di hulu

x = titik tinjauan

E.3 Rayapan di Bawah Groundsill

Tekanan hidrodinamis berpengaruh besar terhadap stabilitas tanah terhadap rembesan, yang merupakan fungsi dari gradien hidrolik. Keamanan bangunan terhadap bahaya *piping* ditentukan berdasarkan persamaan dari pendekatan empiris dari Lane (1935) dalam Hardyatmo (2002) yang ditunjukkan dengan nilai WCR (*weighted creep ratio*) melalui persamaan berikut:

$$WCR = \frac{\sum L_w}{H_1 - H_2}$$

Dalam persamaan tersebut,

H_1 = tinggi muka air hulu

H_2 = tinggi muka air hilir

dan

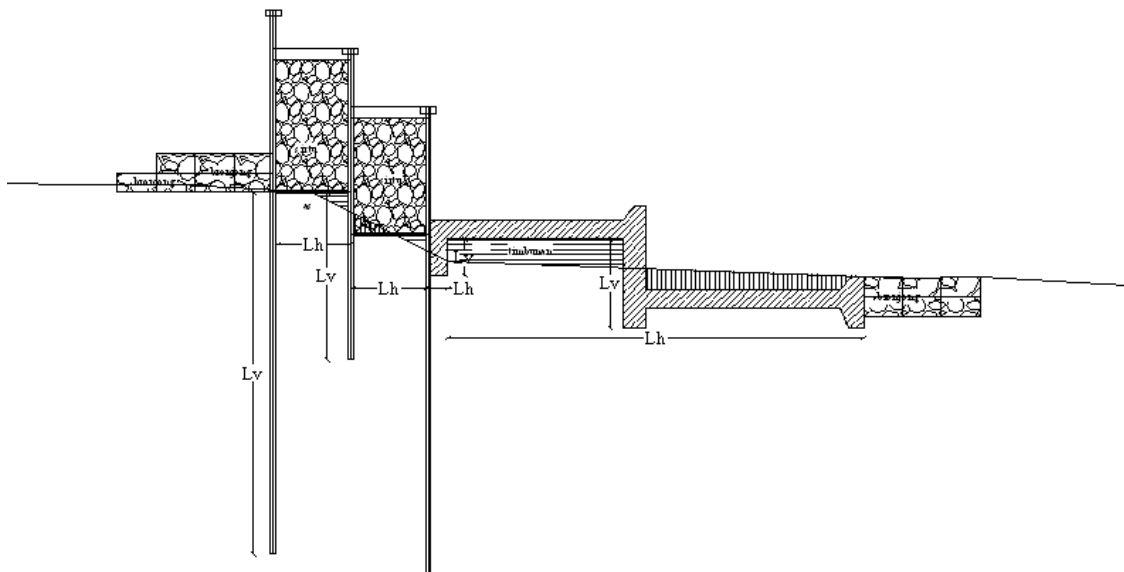
$$\sum L_w = \frac{\sum L_h}{3} + \sum L_v$$

dengan

L_w = *weighted-creep-distance*

$\sum L_h$ = jumlah jarak horizontal menurut lintasan terpendek

$\sum L_v$ = jumlah jarak vertikal menurut lintasan terpendek



Gambar 9 Skema perhitungan rayapan.

Nilai WCR harus lebih besar dari nilai angka aman seperti pada tabel di bawah ini.

Tabel 2 Nilai weighted creep ratio, WCR.

Tanah	Angka aman WCR
Pasir sangat halus atau lanau	8.5
Pasir halus	7.0
Pasir sedang	6.0
Pasir kasar	5.0

Tanah	Angka aman WCR
Kerikil halus	4.0
Kerikil kasar	3.0
Lempung lunak sampai sedang	2.0-3.0
Lempung keras	1.8
Cadas	1.6

F Hasil Perencanaan

Dari hasil perencanaan Alternatif III, dibutuhkan:

- Panjang sheet pile baja bagian depan = 14.00 m
- Panjang sheet pile yang masuk ke tanah = 9.30 m
- Elevasi sheet pile baja bagian depan = + 90,557 m
- Panjang sheet pile baja bagian tengah = 8.00 m
- Panjang sheet pile yang masuk ke tanah = 4.30 m
- Elevasi sheet pile baja bagian tengah = + 89,557 m
- Panjang sheet pile baja bagian belakang = 12.00 m
- Panjang sheet pile yang masuk ke tanah = 8.70 m
- Elevasi sheet pile baja bagian belakang = + 88,057 m
- Profil sheet pile = Larsen L605k

Pertimbangan pelaksanaan:

- Elevasi tanah keras tidak diketahui. Perlu dipertimbangkan apabila sheet pile dipancang sampai kedalaman di bawah tanah keras.
- Pelaksanaan pemancangan harus menjamin sheet pile dipancang tegak lurus sehingga mempunyai kekuatan jepit yang memenuhi.

