



**ANALISA GERUSAN LOKAL
PADA JEMBATAN DAN TIPIKAL PENANGANANNYA**



DIREKTORAT JENDERAL BINA MARGA

PRAKATA

Salah satu aspek penting untuk menunjang keberhasilan pembinaan dibidang Jembatan adalah dengan tersedianya Norma, Standar , Prosedur dan Kriteria (NSPK) yang dapat diterapkan dilapangan dengan mudah

Untuk mengatasi permasalahan di atas, Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum telah menyusun Manual Analisa Gerusan Lokal pada Jembatan dan Tipikal Penanganannya.

Manual ini disusun dengan proses pembahasan beberapa tim ahli yang berkompeten dibidang pekerjaan jembatan, Manual Analisa Gerusan Lokal pada Jembatan dan Tipikal Penanganannya.

Manual ini digunakan untuk mendapatkan tingkat pelayanan maksimum penggunaan / umur layan jembatan dengan meminimumkan resiko / bahaya gerusan air sungai terhadap jembatan dan bangunan pelengkapannya.

Manual ini secara garis besar berisi tahapan-tahapan analisis yang diperlukan dalam memperkirakan gerusan lokal di sekitar jembatan termasuk alternatif-alteratif tipikal penanggulangan yang dapat dilakukan.

Apabila dalam pelaksanaan ditemui adanya kekurangan ataupun terdapat kekeliruan pada manual ini, mohon saran dan kritik dapat disampaikan untuk perbaikan dan penyempurnaan dikemudian hari.

DIREKTUR JENDERAL BINA MARGA



Ir. DJOKO MURJANTO, MSc

Pendahuluan

Salah satu infrastruktur utama yang menunjang sistem transportasi adalah bangunan jembatan. Jembatan dibangun untuk menghubungkan antara satu ruas jalan dengan ruas jalan yang lain, yang dipisahkan oleh sungai, lembah, atau selat. Dari kenyataan yang ada saat ini sebagian besar jembatan yang dibangun berada di atas / menyeberangi sungai.

Di sisi lain, sungai merupakan salah satu kenampakan alam yang mempunyai sifat yang sangat dinamis. Secara alami, seiring waktu, sungai terus berubah menuju keseimbangan sistem dari hulu sampai muara, dan jika ada suatu gangguan pada ruas sungai, sungai akan memberikan respon menuju keseimbangan baru. Gangguan yang terjadi dapat berupa aktivitas manusia seperti galian C ataupun pembuatan bangunan seperti bangunan jembatan.

Pada saat ini aliran air sungai menjadi salah satu masalah yang sering ditemui di lapangan yang menyebabkan terjadinya penggerusan baik itu pada gerusan pada tebing sungai di sekitar jembatan maupun gerusan lokal pada pondasi jembatan. Keruntuhan pada tebing sungai dan pondasi menjadi hal yang umum ditemui terutama pada saat-saat musim hujan dengan debit dan kecepatan air cukup tinggi.

Untuk menghindari permasalahan-permasalahan tersebut, diperlukan upaya penyelarasan antara rencana / pembangunan jembatan yang ada dengan perilaku sungai, agar fungsi jembatan dapat tercapai secara optimal. Upaya penyelarasan tersebut dituangkan dalam manual ini dengan harapan para perencana maupun pelaksana lapangan dapat bertindak tepat dalam perencanaan pengamanan jembatan terkait bahaya gerusan lokal yang dapat terjadi di kemudian hari.

Daftar Isi

Kata Pengantar	i
Pendahuluan	ii
Daftar isi	iii
1. Ruang lingkup	1
2. Acuan normatif	1
3. Istilah dan definisi	2
4. Tahapan Analisa <i>Gerusan lokal</i> pada Jembatan	6
4.1 Pengukuran Topografi Sungai	7
4.2 Pengumpulan Data Debit Sungai	8
4.3 Pengukuran Data Jenis dan Gradasi Butiran Material Dasar Sungai	8
4.4 Perhitungan Laju Angkutan Sedimen dan Kalibrasi	8
4.5 Identifikasi Aktivitas / Perubahan Lingkungan	11
4.6 Analisa Perubahan Morfologi Sungai Arah Vertikal	11
4.7 Identifikasi Tikungan Sungai / <i>Meandering</i>	13
4.8 Analisa <i>Gerusan lokal</i> Akibat Pilar Jembatan	14
5 Formulasi Kasus dan Penanggulangan	21
Daftar Referensi	25

ANALISA GERUSAN LOKAL PADA JEMBATAN

1 Ruang lingkup

Secara umum permasalahan gerusan lokal pada jembatan dipengaruhi oleh 3 jenis perilaku sungai, yaitu:

- 1) Perilaku perubahan morfologi sungai dalam arah vertikal / degradasi dasar sungai. Perilaku ini merupakan proses alami sungai dalam menuju keseimbangan secara keseluruhan baik secara alamiah maupun akibat gangguan aktivitas manusia (galian C, sudetan, dll.).
- 2) Adanya bangunan pilar jembatan yang mengurangi luas penampang basah pada alur sungai dan adanya tumbukan aliran ke pilar yang dipantulkan ke dasar sungai di bawah pilar jembatan.
- 3) Adanya perubahan morfologi sungai dalam arah horisontal / *meander* yang disebabkan oleh keseimbangan alamiah, sudetan sungai, ataupun adanya bangunan air di sekitar jembatan.

Dalam manual ini akan dibahas secara detail cara perhitungan untuk butir 1) dan 2) termasuk beberapa alternatif tipikal penanggulangan yang dilakukan berdasarkan pengalaman lapangan, sedangkan butir 3) hanya disinggung secara sekilas kebutuhan analisis dan alternatif penanggulangannya.

Batasan dalam pemakaian manual ini adalah gerusan lokal hanya terkait dengan bangunan bawah jembatan dan hanya jembatan yang berada pada sungai-sungai yang didominasi aliran air (bukan debris / lahar).

2 Acuan normatif

- | | |
|--------------------|---|
| • SNI 03-1962-1990 | Tata Cara Perencanaan Penanggulangan Longsoran |
| • SNI 03-1968-1990 | Metode pengujian tentang analisis saringan agregat halus dan kasar |
| • SNI 03-2400-1991 | Tata cara perencanaan umum krib sungai |
| • SNI 03-2401-1991 | Tata cara perencanaan umum bendung |
| • SNI 03-2414-1991 | Tata cara pengukuran debit aliran sungai dan saluran terbuka menggunakan alat ukur arus dan pelampung |
| • SNI 03-2415-1991 | Tata cara perhitungan debit banjir |
| • SNI 03-2526-1991 | Tata cara pemilihan lokasi pos duga arus air di sungai |
| • SNI 03-2851-1991 | Tata cara perencanaan teknis bendung penahan sedimen |
| • SNI 03-2819-1992 | Metode pengukuran debit sungai dan saluran terbuka dengan alat ukur tipe baling-baling |
| • SNI 03-2820-1992 | Metode pengukuran debit sungai dan saluran terbuka dengan pelampung permukaan |
| • SNI 03-2822-1992 | Metode pembuatan lengkung debit dan tabel sungai / saluran terbuka dengan analisis grafis |
| • SNI 03-2829-1992 | Tata cara perhitungan krib tiang pancang beton di sungai |

• SNI 03-2830-1992	Tata cara perhitungan tinggi muka air sungai dengan cara pias berdasarkan rumus Manning
• SNI 03-3412-1994	Metode perhitungan debit sungai harian
• SNI 03-3414-1994	Metode pengambilan contoh muatan sedimen layang di sungai dengan cara integrasi kedalaman berdasarkan pembagian debit
• SNI 03-3423-1994	Cara uji analisis ukuran butir tanah
• SNI 03-3432-1994	Tata cara penetapan banjir desain dan kapasitas pelimpah untuk bendung
• SNI 03-3441-1994	Tata cara perencanaan teknik pelindung tebing sungai dari pasangan batu
• SNI 03-3444-1994	Tata cara perhitungan tinggi muka air sungai penampang ganda dengan cara pias berdasarkan rumus Manning
• SNI 03-3961-1995	Metode pengujian kadar sedimen layang secara gravimetri dengan pengendapan
• SNI 03-3962-1995	Metode pengujian distribusi sedimen layang secara gravimetri dengan ayakan
• SNI 03-4145-1996	Metode pengujian berat sedimen layang dengan piknometer
• SNI 03-0090-1999	Spesifikasi bronjong kawat
• SNI 03-7043-2004	Tata cara desain hidraulik tubuh bendung tetap dengan peredam energi tipe MDL
• SNI 03-6467.2-2008	Tata cara pengukuran aliran air pada saluran terbuka secara tidak langsung dengan metode kemiringan luas
• RSNi T-05-2002	Tata cara desain hidraulik tubuh bendung tetap dengan peredam energi tipe MDO dan MDS
• Pd. T-06-2004-A	Peramalan debit aliran sungai
• Pd. T-10-2004-A	Pengukuran dan pemetaan teritris sungai
• Pd. T-12-2004-A	Perencanaan teknis bendung pengendali dasar sungai
• Manual No : 002/PW/2004	Perencanaan bangunan pengaman gerusan air sungai untuk konstruksi jalan dan jembatan

3 Istilah dan definisi

Istilah dan definisi yang digunakan dalam Manual ini adalah sebagai berikut:

3.1

agradasi

kenaikan elevasi dasar sungai akibat pengendapan sedimen.

3.2

alur penuh

kapasitas penuh saluran / badan sungai hingga bagian atas tebing pada kedua sisi (titik peralihan antara tebing dan bantaran banjir).

3.3

angkutan sedimen

sedimen / material dasar sungai yang terangkut atau terlarut dalam aliran sungai.

3.4

arus

aliran air sungai yang bergerak dari udik ke arah hilir.

3.5

bangunan pelindung

bangunan yang dimaksudkan untuk mencegah / menunda / mengurangi kerusakan akibat gaya hidraulik air.

3.6

bangunan pengendali aliran

bangunan yang berada di dalam atau di luar sungai yang bekerja sebagai bangunan pelindung dengan mengendalikan arah, kedalaman, atau kecepatan aliran air sungai.

3.7

bantaran banjir

dataran rendah yang membatasi sungai dan secara periodik (saat banjir) tergenang oleh air sungai.

3.8

bilangan Froude

bilangan tak berdimensi yang merepresentasikan rasio gaya inersia (kelembaman) terhadap gaya gravitasi. Bilangan Froude yang tinggi dapat menjadi indikasi kecepatan aliran yang tinggi dan berpotensi mengakibatkan gerusan.

3.9

D_{35}

ukuran partikel material dasar sungai dengan 35% dari material yang ada adalah lebih halus.

3.10

D_{50}

ukuran partikel material dasar sungai dengan 50% dari material yang ada adalah lebih halus.

3.11

D_{65}

ukuran partikel material dasar sungai dengan 65% dari material yang ada adalah lebih halus.

3.12

D_{90}

ukuran partikel material dasar sungai dengan 90% dari material yang ada adalah lebih halus.

3.13

D_m

ukuran rata-rata partikel material dasar sungai.

3.14

dasar sungai

bagian bawah penampang sungai yang dibatasi oleh tebing.

3.15

debit sungai

laju aliran pada sungai yang dinyatakan dalam volume per satuan waktu.

3.16

debit alur penuh

debit rata-rata yang mengisi alur sungai ke titik luapan.

3.17

debit harian

debit rata-rata yang mengalir pada alur sungai dalam satu hari.

3.18

degradasi

penurunan elevasi dasar sungai akibat terangkutnya material dasar sungai.

3.19

lantai beton

beton bertulang yang ditempatkan pada dasar sungai untuk melindungi erosi.

3.20

dinding penahan tanah

konstruksi dinding tahan erosi yang ditempatkan tepat pada tebing sungai untuk melindungi tebing dan erosi.

3.21

erosi

suatu proses terlepas / terlarutnya material tanah / batuan baik secara alami maupun akibat gangguan dari luar.

3.22

gaya geser dasar / gaya seret

gaya per satuan luas yang ditimbulkan oleh air yang mengalir melewati suatu batas stabil.

3.23

gerusan kontraksi

gerusan di saluran / sungai yang tidak terlokalisasi pada pilar, tembok pangkal (*abutment*), atau rintangan lain terhadap aliran. Dalam suatu aliran, gerusan kontraksi berasal dari kontraksi garis arus dan biasanya mempengaruhi sebagian atau seluruh lebar saluran / sungai.

3.24

kecepatan rata-rata

kecepatan pada penampang tertentu yang ditentukan dengan membagi debit dengan luas penampang.

3.25

kedalaman gerusan

jarak vertikal penurunan dasar sungai akibat gerusan di bawah elevasi acuan.

3.26

kekasaran dasar sungai

kekasaran material dasar sungai (seperti pasir, kerikil, atau kerakal) yang memberi kontribusi tahanan terhadap aliran sungai. Nilai kekasaran umumnya dinyatakan dengan menggunakan 'koefisien kekasaran Manning atau Chezy'.

3.27

kontraksi

pengaruh perubahan bentuk penampang alur sungai atau adanya rintangan pada garis arus

3.28

krib

struktur rangka atau masif yang dibangun melintang sungai untuk mengurangi energi dan mengarahkan aliran sungai menjauhi tebing / tanggul sungai.

3.29

longsoran

material yang tersebar di sepanjang dan sedalam saluran atau bantaran banjir, baik akibat proses alami maupun gangguan luar.

3.30

material dasar sungai

material yang berada di dasar sungai yang dapat terangkut menjadi muatan sedimen layang atau sedimen dasar.

3.31

penampang sungai

bentuk geometri alur sungai jika dilihat secara melintang dan tegak lurus terhadap arah aliran.

3.32

pengarah arus

bangunan yang melintang sungai dari tebing ke alur sungai yang dimaksudkan untuk menurunkan kecepatan aliran dan memantulkan arus menjauhi tebing sungai.

3.33

pengendapan

terhentinya / turunnya material yang terangkut air ke dasar saluran / sungai.

3.34

perlindungan tebing

pekerjaan teknis guna melindungi tebing sungai dari bahaya erosi atau longsoran.

3.35

saluran / alur sungai

dasar dan tebing yang melewati aliran permukaan sungai.

3.36

sudetan

saluran lurus baik alami maupun buatan yang menghubungkan dua titik sungai, sehingga memperpendek saluran awal dan mempunyai kemiringan dasar sungai yang lebih tajam.

3.37

tanggul pengendali aliran

bangunan lurus impermeabel untuk mengendalikan dan mengarahkan aliran pada bantaran.

3.38

tebing

lereng di sisi sungai yang bersinggungan langsung dengan aliran sungai.

3.39

tegangan geser kritis

besaran minimum untuk tegangan geser yang diperlukan untuk mengawali gerakan pada material dasar sungai.

3.40

muatan dasar (*bed load*)

pergerakan partikel yang berhubungan dengan dasar sungai dengan cara berguling, meluncur dan meloncat

3.41

muatan layang (*suspended load*)

pergerakan partikel dalam pusaran aliran dengan kecenderungan partikel untuk mengendap diimbangi dengan gerak difusi dari aliran turbulen

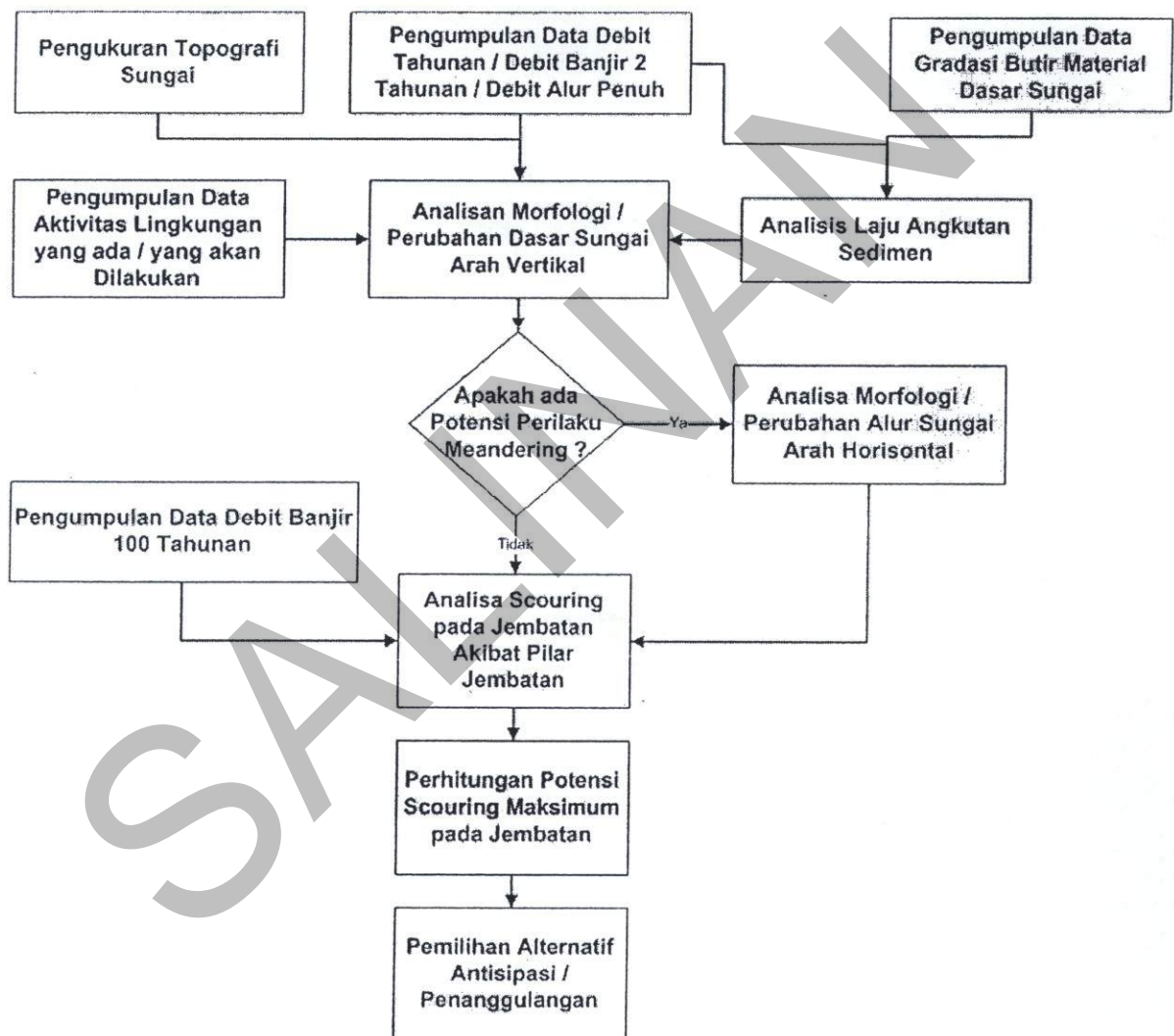
4 Tahapan Analisa Gerusan Lokal pada Jembatan

Secara umum tahapan dalam analisa gerusan lokal pada jembatan adalah sebagai berikut :

- a) Pengumpulan / pengukuran data topografi sungai di sekitar lokasi jembatan yang meliputi pengukuran penampang sungai yang dilengkapi dengan penggambaran kontur sungai.
- b) Pengumpulan data gradasi butir material dasar sungai di sekitar lokasi jembatan.
- c) Pengumpulan data aktivitas yang ada dan yang akan dilakukan di sekitar lokasi jembatan, antara lain ada aktivitas galian C, ada rencana sudetan sungai, ada rencana pembangunan bendung, dan lain sebagainya.
- d) Analisa morfologi sungai terkait perubahan dasar sungai arah vertikal.
- e) Identifikasi perilaku sungai berliku (*meandering*) yang berpotensi terhadap bahaya tebing sungai di sekitar lokasi jembatan (perubahan arah horisontal).
- f) Jika ditemui kecenderungan pada point e), diperlukan analisis perubahan morfologi sungai arah horisontal.

- g) Analisa gerusan lokal akibat pilar jembatan.
- h) Perhitungan besar potensi gerusan lokal yang terjadi di sekitar jembatan.
- i) Penentuan alternatif antisipasi / penanggulangan terhadap bahaya gerusan lokal yang dapat terjadi.

Rangkaian hubungan pentahapan seperti disebutkan di atas dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Alur Analisa Gerusan lokal pada Jembatan

4.1 Pengukuran Topografi Sungai

Pengukuran topografi yang diperlukan dalam analisa *gerusan lokal* jembatan meliputi pengukuran penampang sungai tiap jarak 50 m dengan batas pengukuran minimal 1 km dari

udik lokasi jembatan, sampai 1 km di hilir lokasi jembatan. Hasil pengukuran topografi ini selanjutnya diolah untuk disiapkan sebagai data masukan pada tahapan analisa berikutnya.

Langkah pengolahan data topografi sungai adalah sebagai berikut :

- a) Siapkan patok-patok rencana pengukuran penampang melintang sungai tiap jarak 50 m.
- b) Ukur koordinat dan elevasi masing-masing patok ukur, minimal mengacu pada koordinat lokal.
- c) Ukur penampang melintang sungai masing-masing patok ukur.
- d) Gambar topografi sepanjang sungai yang diukur.

Secara umum pelaksanaan pengukuran topografi sungai ini mengacu pada Standar Pedoman Pd. T-10-2004-A tentang pengukuran dan pemetaan teritris sungai.

4.2 Pengumpulan Data Debit Sungai

Untuk kebutuhan analisis morfologi sungai (arah vertikal), ada tiga alternatif metode pengumpulan data debit sesuai dengan prioritasnya, yaitu:

- a) Pengumpulan data dari hasil pencatatan debit harian sungai sepanjang tahun, yang mengacu pada standar SNI 03-2526-1991, SNI 03-2414-1991, SNI 03-2820-1992, SNI 03-2819-1992, SNI 03-3412-1994, dan SNI 03-6467-2008.
- b) Perhitungan debit banjir periode ulang 2 tahunan berdasarkan data hujan yang ada, dengan mengacu pada standar SNI 03-2415-1991.
- c) Estimasi debit banjir alur penuh sungai, yang mengacu pada standar SNI 03-2822-1992, SNI 03-2830-1992, SN 03-3444-1994, dan Pd. T-06-2004-A.

Sedangkan untuk kebutuhan analisis gerusan lokal akibat pilar jembatan, dilakukan perhitungan debit banjir periode ulang 100 tahunan berdasarkan data hujan yang ada, dengan mengacu pada standar SNI 03-2415-1991.

4.3 Pengukuran Data Jenis dan Gradasi Butiran Material Dasar Sungai

Data gradasi butir material dasar sungai didapatkan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- a) Pengambilan material dasar sungai yang mewakili semua kondisi butiran yang ada minimal di lokasi (rencana) jembatan pada 3 titik, yaitu kiri, tengah, dan kanan alur sungai.
- b) Analisa distribusi gradasi butiran material masing-masing data pengukuran dengan mengacu pada SNI 03-1968-1990 dan SNI 03-3423-1994.
- c) Hitung rata-rata D_{35} , D_{50} , D_{65} , D_{90} , dan D_m , dari ke-tiga titik pengambilan material dasar sungai.

4.4 Perhitungan Laju Angkutan Sedimen dan Kalibrasi

Perhitungan laju angkutan sedimen yang dibahas dalam manual ini dibatasi dalam 3 metode, yaitu Ackers-White (AW) dan Engelund-Hansen (EH) untuk sungai yang dominan muatan layang sedangkan Meyer-Peter-Meuller (MPM) untuk sungai yang dominan muatan dasar.

- a) Metode Ackers-White

Perhitungan laju angkutan sedimen dengan Metode Ackers-White menggunakan asumsi dan langkah-langkah sebagai berikut :

- 1). Kerapatan sedimen / material dasar sungai, $\rho_s = 2650 \text{ kg/m}^3$.
- 2). Kerapatan air sungai, $\rho_a = 1000 \text{ kg/m}^3$.

- 3). Dihitung kerapatan relatif sedimen dalam air, $\Delta = \frac{\rho_s - \rho_a}{\rho_a} = 1,65$.
- 4). Tentukan tinggi muka air di lokasi jembatan (h), berdasarkan debit rata-rata tahunan atau debit banjir periode ulang 2 tahunan, seperti dijelaskan pada Bab 4.2.
- 5). Hitung kemiringan rata-rata dasar sungai berdasarkan data pengukuran topografi, $i = \frac{\text{elevasi udik} - \text{elevasi hilir}}{\text{panjang sungai}}$.
- 6). Hitung kecepatan geser, $u_*' = \sqrt{g \cdot h \cdot i}$, dengan g adalah percepatan gravitasi (9,8 m/s²).
- 7). Hitung kecepatan rata-rata di lokasi jembatan, $\bar{U} = 5,75 \cdot u_*' \log \frac{12 \cdot h}{K_s}$, dengan nilai K_s = diameter butir D_{35} dalam meter.
- 8). Tentukan besarnya nilai kekentalan dinamik partikel sedimen dengan mengacu pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Besaran Kekentalan Dinamik Partikel Sedimen

T (°C)	0	5	10	20	25	30	40	100
ν ($\times 10^{-6}$ m ² /s)	1,794	1,519	1,31	1,01	0,894	0,804	0,659	0,30

Untuk sungai-sungai di Indonesia, suhu rata-rata yang ada adalah 20 °C.

- 9). Hitung besar parameter $D_{gr} = D_{35} \cdot \left(\frac{\Delta \rho}{\rho_s}\right)^{\frac{1}{3}}$. Catatan untuk dikoreksi rumus: ν^2
- 10). Hitung parameter n, A, c, dan m, dengan ketentuan sebagai berikut :
Untuk nilai $D_{gr} \geq 60$, maka nilai $n = 0$, $A = 0,17$; $c = 0,025$; dan $m = 1,5$.
Untuk nilai $D_{gr} < 60$, maka $n = 1,00 - 0,56 \cdot \log D_{gr}$

$$c = 10^{(2,86 \cdot \log D_{gr} - (\log D_{gr})^2 - 3,53)}$$

$$A = \frac{0,25}{\sqrt{D_{gr}}} + 0,14$$

$$m = \frac{9,66}{D_{gr}} + 1,34$$

- 11). Hitung nilai $U_*' = \frac{u}{5,64 \cdot \log \frac{12 \cdot h}{D_{35}}}$
- 12). Hitung parameter $F_{gr} = \frac{U_*'^n \cdot (U_*')^{1-n}}{(\Delta \rho \cdot D_{65})^{n-1}}$. catatan rumus: diganti D_{35}
- 13). Perhitungan nilai $G_{gr} = c \left(\frac{F_{gr}}{A} - 1 \right)^m$
- 14). Besarnya laju angkutan sedimen per meter lebar,
 $q_{st} = G_{gr} \cdot U \cdot D_{35} \cdot \left(\frac{U_*'}{u_*'} \right)^{-n}$
- 15). Besar laju angkutan sedimen bulk per meter lebar, $q_{sb} = \frac{q_{st}}{0,6}$

b) Metode Engelund-Hansen

Perhitungan laju angkutan sedimen dengan Metode Engelund-Hansen menggunakan asumsi dan langkah-langkah sebagai berikut :

- 1). Kerapatan sedimen / material dasar sungai, $\rho_s = 2650$ kg/m³.

- 2). Kerapatan air sungai, $\rho_a = 1000 \text{ kg/m}^3$.
- 3). Dihitung kerapatan relatif sedimen dalam air, $\Delta = \frac{\rho_s - \rho_a}{\rho_a} = 1,65$.
- 4). Tentukan tinggi muka air di lokasi jembatan (h), berdasarkan debit rata-rata tahunan atau debit banjir periode ulang 2 tahunan, seperti dijelaskan pada Bab 4.2.
- 5). Hitung kemiringan rata-rata dasar sungai berdasarkan data pengukuran topografi, $i = \frac{\text{elevasi udik} - \text{elevasi hilir}}{\text{panjang sungai}}$.
- 6). Hitung kecepatan geser, $u^* = \sqrt{g \cdot h \cdot i}$, dengan g adalah percepatan gravitasi ($9,8 \text{ m/s}^2$).
- 7). Hitung kecepatan rata-rata di lokasi jembatan, $u = 5,75 \cdot u^* \log \frac{12 \cdot h}{K_s}$, dengan nilai $K_s = 2,5 \times D_{50}$.
- 8). Hitung besar tegangan geser, $\tau = \rho_a \cdot g \cdot h \cdot i$.
- 9). Hitung nilai $f = \tau \cdot (0,5 \cdot \rho_a \cdot u^2)^{-1}$ Atau $f = 2g/C^2$
- 10). Perhitungkan besar nilai $\psi = u^2 \cdot (\Delta \cdot g \cdot D_{50})^{-1}$.
- 11). Hitung besar parameter $\Phi = 0,1 \times f^{-1} \times \psi^{2,5}$.
- 12). Besarnya laju angkutan sedimen per meter lebar,
 $q_{st} = \Phi \cdot D_{50}^{1,5} \cdot (g \cdot \Delta)^{0,5}$.
- 13). Besar laju angkutan sedimen bulk per meter lebar, $q_{sb} = \frac{q_{st}}{0,6}$.

c) Metode Meyer-Peter-Meuller

Perhitungan laju angkutan sedimen dengan Metode Meyer-Peter-Meuller menggunakan asumsi dan langkah-langkah sebagai berikut :

- 1). Kerapatan sedimen / material dasar sungai, $\rho_s = 2650 \text{ kg/m}^3$.
- 2). Kerapatan air sungai, $\rho_a = 1000 \text{ kg/m}^3$.
- 3). Dihitung kerapatan relatif sedimen dalam air, $\Delta = \frac{\rho_s - \rho_a}{\rho_a} = 1,65$.
- 4). Tentukan tinggi muka air di lokasi jembatan (h), berdasarkan debit rata-rata tahunan atau debit banjir periode ulang 2 tahunan, seperti dijelaskan pada Bab 4.2.
- 5). Hitung kemiringan rata-rata dasar sungai berdasarkan data pengukuran topografi, $i = \frac{\text{elevasi udik} - \text{elevasi hilir}}{\text{panjang sungai}}$.
- 6). Hitung kecepatan geser, $u^* = \sqrt{g \cdot h \cdot i}$, dengan g adalah percepatan gravitasi ($9,8 \text{ m/s}^2$).
- 7). Hitung kecepatan rata-rata di lokasi jembatan, $u = 5,75 \cdot u^* \log \frac{12 \cdot h}{K_s}$, dengan nilai $K_s = D_{90}$.
- 8). Hitung besar tegangan geser, $\tau = \rho_a \cdot g \cdot h \cdot i$.
- 9). Perhitungkan besar nilai $\psi = u^2 \cdot (\Delta \cdot g \cdot D_{90})^{-1}$.
- 10). Hitung besar parameter $c' = 18 \cdot \log 12 \cdot h \cdot (D_{90})^{-1}$.
- 11). Hitung tegangan geser butiran, $\tau' = \rho_a \cdot g \cdot \left(\frac{u}{c'}\right)^2$.
- 12). Hitung nilai $\mu = \frac{\tau'}{\tau}$.
- 13). Hitung koreksi parameter aliran, $\psi' = \mu \cdot u^2 \cdot (\Delta \cdot g \cdot D_{90})^{-1}$.
- 14). Hitung nilai $\Phi = (4 \cdot \psi' - 0,188)^{1,5}$.

15). Besarnya laju angkutan sedimen per meter lebar,

$$q_{st} = \Phi \cdot D_m^{1.5} \cdot (g \cdot \Delta)^{0.5}$$

16). Besar laju angkutan sedimen bulk per meter lebar, $q_{sb} = \frac{q_{st}}{0,6}$

Besar debit yang digunakan dalam perhitungan ke-tiga metode di atas didasarkan dengan data debit yang pernah diukur di lapangan (untuk keperluan kalibrasi).

Pemilihan metode perhitungan laju angkutan tersebut di atas perlu diperbandingkan (kalibrasi) dengan hasil pengukuran debit dan laju angkutan sedimen yang terjadi di lapangan. Tata cara pengukuran debit dan analisis laju angkutan sedimen yang terjadi di lapangan ini mengacu pada standar SNI 03-3414-1994, SNI 03-3961-1995, SNI 03-3962-1995, SNI 03-4145-1996, SNI 03-2819-1992, dan SNI 03-2414-1991.

Pengukuran debit dan laju angkutan sedimen dilakukan minimal 3 kali (untuk kondisi debit yang berbeda) di lokasi jembatan. Pemilihan metode perhitungan yang diambil adalah hasil perhitungan yang paling mendekati hasil pengukuran debit dan laju angkutan sedimen di lapangan.

4.5 Identifikasi Aktivitas / Perubahan Lingkungan

Identifikasi aktivitas / perubahan lingkungan baik saat sekarang maupun waktu yang akan datang harus dilakukan, sebagai pertimbangan dalam penentuan parameter analisis. Beberapa aktivitas / perubahan lingkungan yang perlu mendapat perhatian antara lain:

a) Aktivitas galian C

Aktivitas ini akan memberikan dampak terhadap bentuk penampang sungai yang selalu berubah (semakin turun) di lokasi galian C.

b) Rencana sudetan sungai di sekitar lokasi jembatan

Rencana ini akan memberikan dampak pada perubahan kemiringan dasar sungai yang semakin curam.

c) Adanya rencana pembuatan bendung / bendungan di udik jembatan

Rencana kegiatan ini akan membawa dampak terhentinya pasokan sedimen ke arah hilir.

4.6 Analisa Perubahan Morfologi Sungai Arah Vertikal

Prinsip dasar perhitungan dilakukan dengan menggunakan dua persamaan dasar, yaitu persamaan kontinuitas aliran air dan persamaan momentum aliran.

Persamaan untuk bagian hidrodinamik adalah persamaan kontinuitas air:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + b \frac{\partial h}{\partial t} = q$$

dengan:

Q = debit sungai [m³/s]

b = lebar sungai [m]

h = kedalaman air [m]

Δx = langkah jarak [m] catatan: symbol disamakan dgn rumus

Δt = langkah waktu [s] catatan: symbol disamakan dgn rumus

q = debit aliran lateral [m/s/m'].

Persamaan momentum:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{\beta Q^2}{A} \right] + gA \frac{\partial h}{\partial x} - gAS_f = 0$$

dengan:

A = luas basah [m²]

B = koefisien Bousinesq [-] catatan: koefisien disamakan "beta"

S_f = kemiringan energi [-]

$$\frac{Q[Q]}{K^2} \quad \text{catatan rumus: nilai [Q] merupakan nilai mutlak}$$

K = kapasitas pengaliran yang dihitung berdasarkan persamaan Manning

$$= \frac{AR^{2/3}}{n}$$

R = jari-jari hidraulik [m],

$$= \frac{A}{P}$$

P = keliling basah [m],

n = koefisien kekasaran Manning [m^{1/3}/s].

Berdasarkan pendekatan tersebut, perubahan morfologi sungai dalam arah vertikal ini dapat dilakukan dengan *spreadsheet* sederhana dengan beberapa penyederhanaan, maupun dengan perangkat lunak komersial.

Data masukan yang digunakan dalam analisis ini antara lain :

a) Data topografi, yang diolah dari data pengukuran topografi.

Proses pengolahan data topografi ini terbagai dalam dua (2) bagian yaitu memanjang sungai dan data penampang sungai.

- Untuk data penampang memanjang sungai, dibuat daftar patok ukur dalam bentuk tabel seperti terlihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Contoh Data Penampang Memanjang Sungai

No	Nama Patok	Jarak Kumulatif dari Titik Awal (m)
0	PT. 00	0
1	PT. 01	50
2	PT. 02	100
3	PT. 03	150
dst..	dst..	dst..
40	PT. 40	2000

- Untuk data penampang melintang sungai, dibuat daftar patok ukur dalam bentuk tabel seperti disampaikan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Contoh Data Penampang Melintang Sungai

Patok PT. 00			
No	Titik	Jarak Kumulatif dari Titik Awal (m)	Elevasi titik (m)
0	0	0	10
1	1	5	8
2	2	10	5
dst..	dst..	dst..	dst..
Patok PT. 01			
No	Titik	Jarak Kumulatif dari Titik Awal (m)	Elevasi titik (m)
0	0	0	10
1	1	5	8
2	2	10	5
dst..	dst..	dst..	dst..

- Data debit rata-rata tahunan atau debit banjir periode ulang 2 tahunan atau debit alur penuh.
- Data laju angkutan sedimen yang sesuai dengan gradasi butiran material dasar sungai dan metode yang mendekati kondisi lapangan.
- Data muka air di batas hilir sungai berdasarkan data debit yang digunakan (poin b), sesuai dengan perhitungan pada standar SNI 03-2822-1992 atau SNI 03-2830-1992.

4.7 Identifikasi Tikungan Sungai / Meandering

Identifikasi dilakukan dengan cara survei lapangan dan evaluasi terhadap hasil pengukuran topografi. Identifikasi dilakukan untuk memastikan keberadaan jembatan apakah berdekatan dengan tikungan sungai. Jika jembatan berada di dekat atau tepat di tikungan sungai, maka harus dipelajari lebih lanjut perilaku perubahan morfologi sungai dalam arah horisontal untuk melihat potensi gerusan tebing di sekitar pilar dan kepala jembatan.

Analisis yang harus dilakukan untuk melihat perubahan morfologi dalam arah horisontal ini antara lain dengan model numerik 2D atau dengan analisis model fisik 3D.

4.8 Analisis Gerusan Lokal Akibat Pilar Jembatan

Dalam manual ini untuk analisis *gerusan lokal* pada jembatan akibat pembuatan pilar, disampaikan 4 metode analisis. Keempat metode yang dibahas adalah Metode Sederhana, Metode New Zealand Railways, Metode C.R. Neill, dan Metode Faraday & Charlton. Perkiraan besar gerusan lokal yang dipilih adalah hasil perhitungan yang memberikan nilai yang paling besar.

a) Metode Sederhana

Prinsip dasar perhitungan pada metode ini adalah membatasi kecepatan aliran yang melewati bawah jembatan untuk membatasi kedalaman gerusan yang mungkin terjadi sesuai dengan kondisi material dasar sungai yang ada. Untuk suatu debit desain tertentu (Q), luas alur bukaan jembatan (A) yang diperlukan untuk membatasi besar kecepatan aliran ($v = \frac{Q}{A}$)

Kecepatan yang direncanakan / diijinkan harus lebih kecil dari kecepatan yang mengakibatkan bergeraknya material dasar sungai yang ada. Gambaran besar kecepatan aliran yang dapat mengakibatkan mulai bergeraknya material dan besar kecepatan yang diijinkan dalam metode ini dapat dilihat pada Tabel 4.4 dan Tabel 4.5.

Tabel 4.4. Perkiraan kecepatan aliran yang dapat mengakibatkan material mulai bergerak

Material Dasar Sungai	Jenis	Kecepatan Penggerusan (m/s)	Kecepatan Maksimum Ijin (m/s)
Lanau	-	< 0,3	0,5
Pasir	Halus	< 0,3	
	Kasar	0,4 - 0,6	
Kerikil	6 mm	0,6 - 0,9	1,5
	25 mm	1,3 - 1,5	
	1000 mm	2,0 - 3,0	
Tanah Lempungan	Lunak	0,3 - 0,6	2
	Sedang / Kaku	1,0 - 1,25	
	Keras	1,5 - 2,0	
Batu	150 mm	2,5 - 3,0	3,5
	300 mm	4,0 - 5,0	
Cadas	-	-	4,5

Tabel 4.5. Perkiraan Kecepatan Maksimum yang Dijinkan

Material Dasar Sungai	Jenis	Kecepatan Ijin (m/s)
Lanau, Pasir	-	0,5
Kerikil	6 mm	1,5
Lempung, Firm Loam	-	2
Kerikil	100 mm	2,5
Batu	≥ 150 mm	3,5
Cadas	-	4,5

b) Metode New Zealand Railways

Metode ini terdiri dari dua bagian perhitungan, yaitu perhitungan untuk gerusan umum dan gerusan lokal. Sehingga perkiraan kedalaman gerusan lokal merupakan penjumlahan dari gerusan umum dan gerusan lokal.

Persamaan yang digunakan dalam perhitungan gerusan umum adalah sebagai berikut :

$$D_{s1} = \frac{Y_r \cdot V_0 \cdot K}{\sqrt{\frac{A}{W}}} \text{ atau } Y_0 \text{ (diambil yang paling besar)}$$

$$V_0 = \frac{Q}{A} \left[\frac{Y_0}{A/W} \right]^{2/3} \times C$$

$$K = \sqrt{\frac{W}{4,83 Q^{1/2}}} \text{ dengan syarat } \geq 1,0$$

Keterangan :

D_{s1} = kedalaman gerusan umum diukur dari muka air ke permukaan dasar alur setelah tergerus (m).

Y_0 = kedalaman air maksimum di daerah gerusan dan di udiknya (m).

Y_r = kenaikan muka air tidak jauh di udik lokasi jembatan sampai dengan muka air banjir, diukur dari muka air normal (m).

V_0 = kecepatan aliran rata-rata pada potongan melintang di udik daerah gerusan (m/s).

K = faktor modifikasi (perbandingan antara lebar alur bukaan jembatan dengan lebar regim sungai dari Lacey).

A = luas penampang alur bukaan jembatan yang tegak lurus terhadap aliran, sebelum terjadinya gerusan, tanpa dikurangi oleh luas proyeksi dari pilar-pilar (m^2).

W = lebar total alur bukaan jembatan (m).

Q = debit banjir puncak di lokasi jembatan (m^3/s).

C = 1,2 untuk kondisi adanya penyempitan, dan 1,0 untuk kondisi lainnya.

Untuk perhitungan besar gerusan lokal, digunakan rumus-rumus sebagai berikut:

$$D_{s2} = 0,8 \sqrt{V_0 \cdot b}$$

$$V_0 = \frac{Q}{A} \left[\frac{Y_0}{A/W} \right]^{2/3} \times C$$

Keterangan :

D_{s2} = kedalaman gerusan lokal diukur dari dasar alur rata-rata (m).

V_0 = kecepatan aliran rata-rata pada potongan melintang di udik daerah gerusan (m/s).

b = lebar efektif proyeksi pilar (m).

Y_0 = kedalaman air maksimum di daerah gerusan dan di udiknya (m).

A = luas penampang alur bukaan jembatan yang tegak lurus terhadap aliran, sebelum terjadinya gerusan, tanpa dikurangi oleh luas proyeksi dari pilar-pilar (m^2).

W = lebar total alur bukaan jembatan (m).

Q = debit banjir puncak di lokasi jembatan (m^3/s).

C = 1,2 untuk kondisi adanya penyempitan, dan 1,0 untuk kondisi lainnya.

c) Metode C.R. Neill

Seperti halnya pada metode sebelumnya, metode ini juga terbagi dalam dua perhitungan, yaitu perhitungan untuk gerusan umum dan gerusan lokal. Sehingga perkiraan kedalaman gerusan lokal merupakan penjumlahan dari gerusan tersebut.

Persamaan yang digunakan dalam perhitungan gerusan umum rata-rata adalah sebagai berikut :

$$D_m = 0,5 \left[\frac{Q}{f} \right]^{1/3} \text{ catatan: notasi sama dengan diameter butiran}$$

$$f = 1,76 \sqrt{m}$$

Keterangan :

D_m = kedalaman gerusan rata-rata diukur dari muka air pada debit rencana (m).

Q = debit aliran di alur utama (m^3/s).

f = faktor *silt* dari Lacey.

m = ukuran butir material dasar sungai (mm).

Besaran nilai faktor *silt* dari Lacey (f) diambil dengan mengacu pada nilai yang tercantum pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6. Nilai Faktor *Silt* dari *Lacey*

No	Diameter Median Pasir Berdasarkan Berat - D_{50} (mm)	Nilai Faktor Silt (f)
1	0,06	0,4
2	0,1	0,6
3	0,2	0,8
4	0,3	1
5	0,5	1,2
6	0,7	1,5
7	1	1,8
8	1,3	2

Dalam perhitungan gerusan umum dengan metode ini, perkiraan gerusan maksimum yang dapat terjadi gerusan umum rata-rata yang dikalikan dengan faktor C, seperti disampaikan pada rumus berikut :

$$D_{maks} = C \cdot D_m$$

Keterangan :

D_{maks} = Perkiraan gerusan umum maksimum (m).

C = faktor pengali.

D_m = kedalaman gerusan rata-rata diukur dari muka air pada debit rencana (m).

Nilai faktor pengali (C) diambil berdasarkan besaran yang disampaikan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7. Faktor Pengali untuk Kedalaman Gerusan Maksimum

No	Ruas Sungai	Faktor Pengali (C)
1	Lurus	1,25
2	Belok tidak Tajam	1,5
3	Belok Tajam	1,75
4	Belok sangat Tajam / Menyiku	2

Untuk perhitungan besar gerusan lokal, metode ini menggunakan pendekatan perhitungan dengan rumus sebagai berikut :

$$D_s = C_L \cdot C_s \cdot W$$

Keterangan :

D_s = kedalaman gerusan lokal diukur dari permukaan dasar sungai rata-rata (m).

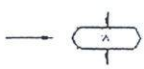

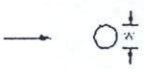



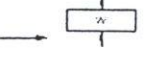

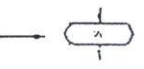

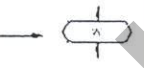

C_L = koefisien gerusan lokal.

C_s = koefisien arah.

W = diameter pilar efektif atau lebar efektif pilar diukur dekat permukaan dasar sungai rata-rata (m).

Besarnya nilai C_L dan C_s diambil berdasarkan data yang disampaikan pada Tabel 4.8 dan Tabel 4.9.

Tabel 4.8. Koefisien Gerusan Lokal (C_L) (catatan: tabel diganti dengan tabel baru)

BENTUK PILAR DALAM DENAH	BENTUK PILAR DALAM ARAH POTONGAN MEMANJANG: ARAH ALIRAN	KOEFISIEN GERUSAN LOKAL C_L	
		$C_L \leq 5W$	$C_L > 5W$
		1.5	2.3
		1.5	2.3
		1.2	1.8
		2.0	3.0
		1.0	1.5
		2.0	3.0

Sumber : BMS5-M6I-Panduan Penyelidikan Jembatan

Tabel 4.9. Koefisien Arah (C_s) (tabel ditulis ulang)

Sudut Arah Pilar terhadap Arah Aliran (θ)	Perbandingan antara Panjang dan Lebar Pilar		
	4	8	12
0°	1	1	1
15°	1,5	2	2,5
30°	2	2,5	3,5
45°	2,5	3,5	4,5

d) Metode Faraday & Charlton

Metode ini digunakan hanya untuk memperhitungkan gerusan lokal saja di sekitar pilar jembatan. Perhitungan besar potensi gerusan dibedakan pada bentuk pilar dan jenis tanah pada material dasar sungai.

Untuk pilar jembatan berbentuk silinder dengan jenis material tanah dasar sungai adalah material tidak berkoheesi, maka perhitungan perkiraan gerusan didasarkan pada Tabel 4.10, sedangkan khusus untuk tanah yang berkoheesi, besaran perkiraan gerusan lokal yang terjadi sesuai dengan data pada Tabel 4.11.

Tabel 4.10. Perkiraan Gerusan Lokal untuk Pilar-Pilar Berbentuk Silinder pada Tanah tidak Berkoheesi (tabel ditulis ulang)

Dasar Sungai	Kondisi Gerusan	Bilangan Froude, $F = U \cdot (g \cdot y)^{-0,5}$	Persamaan
Pasir	Air Jernih	-	$ds = 1,17 \cdot U_0^{0,62} \cdot b^{0,62}$
	Angkutan Sedimen	$F < 0,3$	$0,001 < D_{50} < 0,004$
			$ds = 1,8 \cdot y_0^{0,75} \cdot b^{0,25} - y_0$
			atau
			$ds = C \cdot y_0$
		dan	
		$y_0 = 0,38 \cdot q_0^{0,67} \cdot D_{50}^{-0,17}$	
		$F < 0,5$	$ds = 1,11 \cdot y_0^{0,5} \cdot b^{0,5}$
		$F > 0,5$	Harga yang lebih besar yang diambil :
	$ds = 1,59 \cdot U_0^{0,67} \cdot b^{0,67}$		
		atau	$ds = 1,11 \cdot y_0^{0,5} \cdot b^{0,5}$
Kerikil	Air Jernih	-	$ds = C \cdot y_0$
	Angkutan Sedimen	-	$y_0 = 0,23 (s - 1)^{-0,43} \cdot q_0^{0,86} \cdot D_{90}^{-0,29}$
			$ds = C \cdot y_0$
			$y_0 = 0,47 \cdot q_0^{0,8} \cdot D_{50}^{-0,12}$

Catatan : Jika nilai bilangan *Froude* melampaui nilai 0,8 untuk menentukan pengaruh gerusan, disarankan dilakukan dengan model fisik 3 D

Sumber : BMS5-M6I-Panduan Penyelidikan Jembatan

Keterangan :

- d_s = kedalaman gerusan diukur dari permukaan dasar sungai di udiknya (m).
- b = lebar pilar (m).
- U_0 = kecepatan aliran pendekat (m/s).
- y_0 = kedalaman aliran di udik pilar (m).
- q_0 = debit per satuan lebar di udik pilar (m^3/s).
- D_{50} = diameter median material dasar sungai (m).
- D_{90} = diameter material dasar sungai untuk 90% dari jumlah partikel mempunyai ukuran lebih kecil (m).

s = berat jenis material dasar sungai (N/m^3).

C = koefisien ($0,5 < C < 1,0$).

Tabel 4.11. Kedalaman Gerusan untuk Pilar-Pilar pada Tanah Berkohesi

Denah Bentuk Pilar	Kemiringan Permukaan Udik dan Hilir Pilar	Kedalaman Gerusan (m)
Lingkaran	Tegak	1,5 b
Persegi Panjang	Tegak	2,0 b
Lensa Cembung (Lenticular)	Tegak	1,2 b
Persegi Panjang dengan Permukaan Udik dan Hilir Berupa Bidang Lengkung	Tegak	1,5 b
	Dilihat dari atas miring kedalam dengan sudut terhadap arah tegak $> 20^\circ$	1,0 b
	Dilihat dari atas miring ke arah luar dengan sudut terhadap arah tegak $> 20^\circ$	2,0 b
Keterangan : b = lebar pilar		

Jika pilar yang digunakan tidak berbentuk silinder, maka perhitungan perkiraan gerusan lokal yang akan terjadi menggunakan rumus sebagai berikut :

Kedalaman gerusan = $d_s f_2 f_3$

Keterangan :

d_s = kedalaman gerusan untuk pilar silinder yang dihitung dengan menggunakan persamaan yang sesuai (Tabel 4.7).

f_2 = faktor untuk memperhitungkan bentuk pilar.

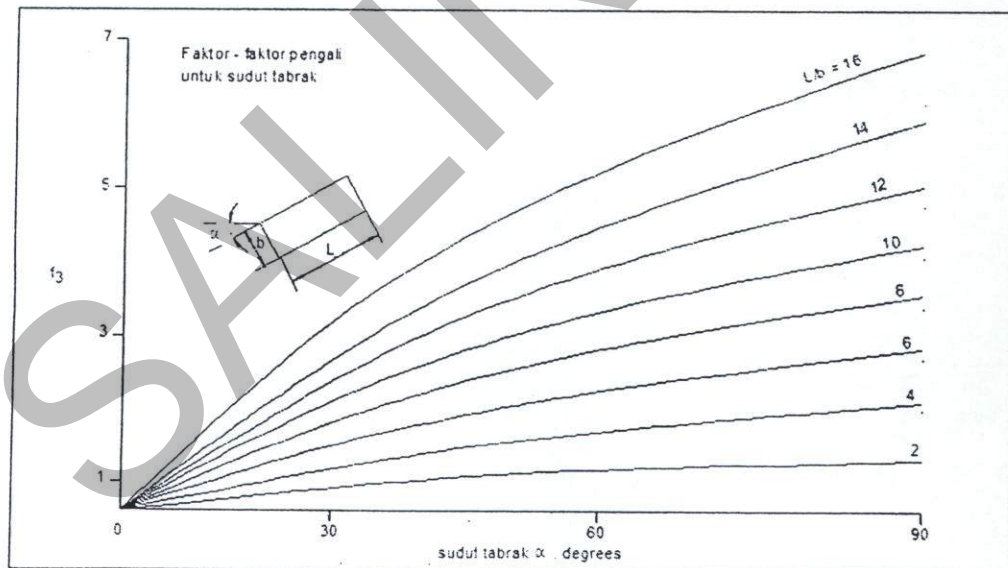
f_3 = faktor untuk memperhitungkan arah pilar yang tidak sejajar dengan arah aliran.

Besaran nilai faktor f_2 dan f_3 , mengacu pada besaran yang disampaikan pada Tabel 4.12 dan Gambar 4.2.

tabel 4.12. Faktor Koreksi Bentuk Pilar (tabel ditulis ulang)

Denah Bentuk Pilar	Perbandingan Panjang dan Lebar Pilar	f_2
Lingkaran	1	1,00
Lensa Cembung (<i>Lenticular</i>)	2	0,97
	3	0,76
	4	0,67
	7	0,41
Bidang Udik dan Hilir Parabola	-	0,80
Segitiga 60°	-	0,75
Segitiga 90°	-	1,25
Elips	2	0,75
	3	1,25
Bentuk Ogi (<i>Ogival</i>)	4	0,86
Persegi Panjang	2	1,11
	4	1,40
	6	1,11

Sumber : BMS5-M6I-Panduan Penyelidikan Jembatan



Gambar 4.36. Faktor Koreksi terhadap Arah Aliran (Sumber : BMS5-M6I-Panduan Penyelidikan Jembatan)

Sedangkan untuk memperkirakan besar gerusan pada pangkal jembatan didasarkan pada hasil perhitungan gerusan umum yang dikalikan dengan faktor pengali seperti disampaikan pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13. Faktor Pengali Gerusan Pangkal Jembatan (tabel ditulis ulang)

Lokasi	Faktor Pengali
Ujung dari krib atau tembok pengiring	2,0 - 2,75
Aliran menabrak tebing dalam arah tegak lurus	2,25
Aliran sejajar dengan tebing	1,5 - 2,0

5 Formulasi Kasus dan Tipikal Penanggulangan

Formulasi kasus dan tipikal penanggulangan yang disampaikan dalam manual ini didasarkan pada kasus-kasus dan penanggulangan yang pernah terjadi di lapangan. Secara umum formulasi kasus dan alternatif penanggulangan yang dapat dilakukan adalah sebagai berikut:

- Permasalahan degradasi dasar sungai, beberapa contoh penanganan yang dapat dilakukan antara lain: pemasangan rip-rap dari batu kali atau beton, dan pemasangan bangunan pengendali dasar sungai (*bottom controller*) di hilir jembatan.
- Permasalahan sungai berliku (*meandering*), dapat ditanggulangi dengan cara pemasangan bangunan pelindung tebing langsung (tembok pelindung tebing, dll) atau dengan pemasangan krib pengarah aliran.
- Gerusan akibat pilar jembatan, dapat diatasi dengan pemasangan struktur pelindung langsung (lantai beton) atau dengan pemasangan rip-rap batu / beton.

Rangkaian formulasi kasus dan alternatif pemilihan dalam penanggulangan selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14. Formulasi kasus gerusan lokal dan tipikal penanggulangan yang dapat dilakukan (acuan yang dipakai kalau belum dibuat tidak perlu dicantumkan) (tabel ditulis ulang)

No	Kriteria	Kebutuhan Data	Kebutuhan Analisis	Jenis Scouring	Alternatif Penanggulangan	Jenis Struktur	Acuan
1	Penentuan Segmen Sungai	Potongan Memanjang dan Melintang Sungai 1km ke arah udik, 1 km ke arah hilir, gradasi butir material dasar sungai, data debit 2th-an, dan debit desain ($Q_{100th-an}$)	Beda tinggi dasar sungai sepanjang sungai (terukur), analisis hidrodinamik, dan analisis angkutan sedimen	Degradasi dasar sungai	Pelindung kaki / tapak pilar dan abutmen	Rip-rap batu boulder	SNI 03-2401-1991
					Bangunan pengendali dasar sungai	Blok beton acak	SNI 03-2401-1991
						Blok beton terkunci	SNI 03-2401-1991
						Pasang batu	SNI 03-2401-1991
						Beton bertulang	SNI 03-2401-1991
			Blok beton terkunci	Blok beton terkunci	SNI 03-2401-1991		
			Bottom panels	Bronjong	SNI 03-2400-1991		
			Penentuan elevasi	-	-		
			Pengerukan	-	-		
			Gerusan tebing	Bentuk topografi alur sungai	Pelindung abutmen	Pasang batu	SNI 03-3441-1994
Beton bertulang	SNI 03-3441-1994						
Geosintetik	SNI 03-3441-1994						
Bronjong	SNI 03-2400-1991						
Krib pengarah aliran	Bronjong	SNI 03-2400-1991					
Tiang pancang	Tiang pancang	SNI 03-2400-1991					

Tabel 4.14. Formulasi kasus *gerusan lokal* dan alternatif-alternatif penanggulangan yang dapat dilakukan (lanjutan)

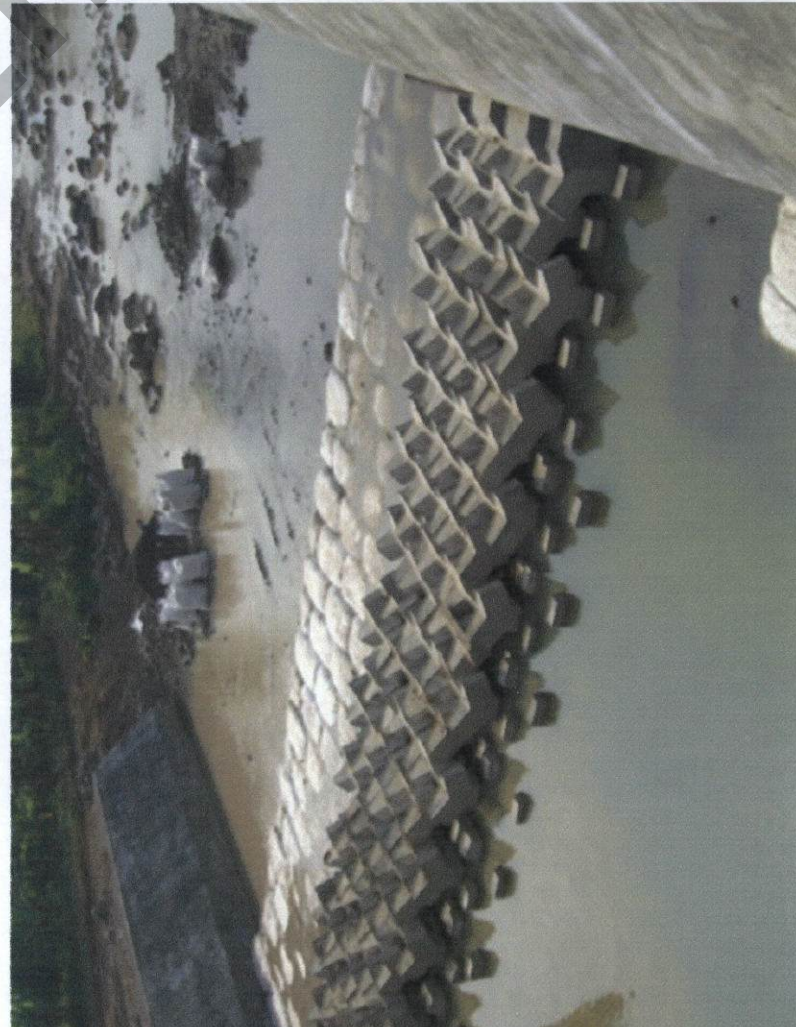
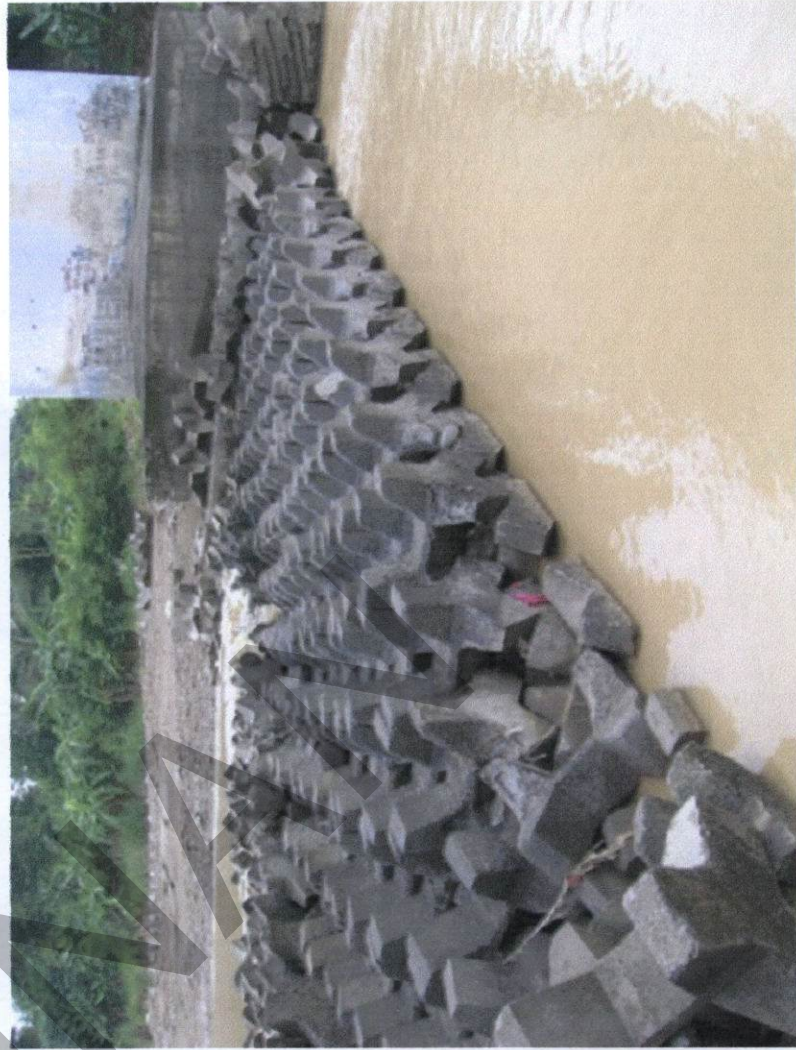
No	Kriteria	Kebutuhan Data	Kebutuhan Analisis	Jenis Scouring	Alternatif Penanggulangan	Jenis Struktur	Acuan
2	Aktivitas Eksternal	Bangunan Air di Udik dan Hilir	Pengaruh terhadap suply sedimen ke hilir	Degradasi dasar sungai	Pelindung kaki / tapak pilar dan abutmen	Rip-rap batu boulder	SNI 03-2401-1991
						Blok beton acak	SNI 03-2401-1991
						Blok beton terkunci	SNI 03-2401-1991
					Bangunan pengendali dasar sungai	Pasang batu	SNI 03-2401-1991
						Beton bertulang	SNI 03-2401-1991
						Blok beton terkunci	SNI 03-2401-1991
					<i>Bottom panels</i>	Bronjong	SNI 03-2400-1991
					Peninggian elevasi gelagar		-
			Pengaruh terhadap pengempangan (<i>back water</i>) ke arah udik	Agradasi dasar sungai	Pengerukan		-
							-
			Pengaruh terhadap pola aliran di sekitar lokasi jembatan	Gerusan tebing	Pelindung abutmen	Pasang batu	SNI 03-3441-1994
						Beton bertulang	SNI 03-3441-1994
						Geosintetik	SNI 03-3441-1994
						Bronjong	SNI 03-2400-1991
			Galian C	Degradasi dasar sungai	Krib pengarah aliran	Bronjong	SNI 03-2400-1991
						Tiang pancang	SNI 03-2400-1991
						Rip-rap batu boulder	SNI 03-2401-1991
						Blok beton acak	SNI 03-2401-1991
						Blok beton terkunci	SNI 03-2401-1991
						Pasang batu	SNI 03-2401-1991
						Beton bertulang	SNI 03-2401-1991
						Blok beton terkunci	SNI 03-2401-1991
					<i>Bottom panels</i>	Bronjong	SNI 03-2400-1991

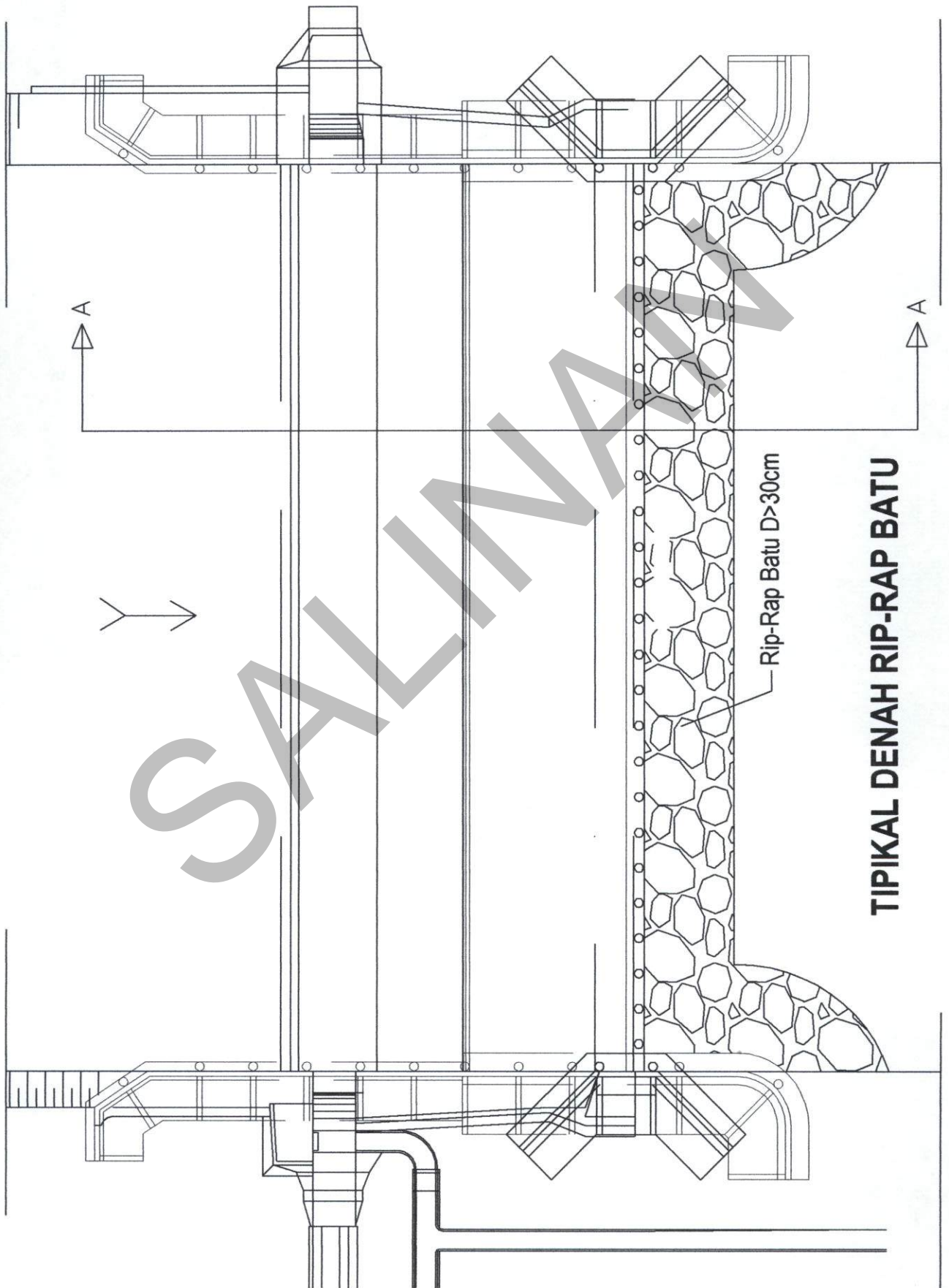
Tabel 4.14. Formulasi Kasus Gerusan lokal dan Alternatif-Alternatif Penanggulangan yang dapat Dilakukan (Lanjutan)

No	Kriteria	Kebutuhan Data	Kebutuhan Analisis	Jenis Scouring	Alternatif Penanggulangan	Jenis Struktur	Acuan
3	Tipe Pilar	Tipikal Desain Pilar	Gerusan kontraksi / defraksi	Gerusan lokal	Pelindung kaki / tapak pilar dan abutmen	Rip-rap batu boulder	SNI 03-2401-1991
						Blok beton acak	SNI 03-2401-1991
						Blok beton terkunci	SNI 03-2401-1991
						Pasang batu	SNI 03-2401-1991
						Beton bertulang	SNI 03-2401-1991
						Blok beton terkunci	SNI 03-2401-1991
					Bottom panels	Bronjong	SNI 03-2400-1991

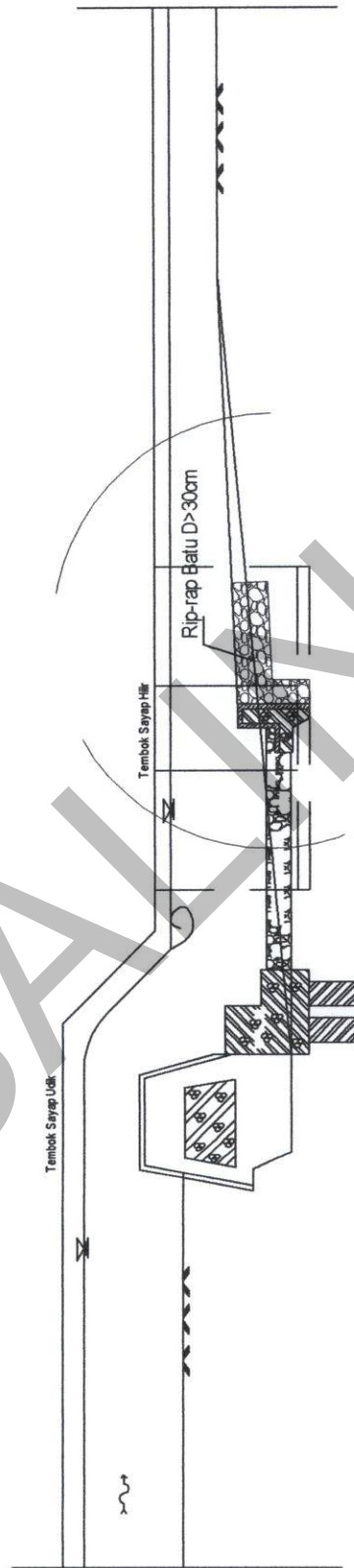
6 Daftar Referensi

- Ackers, P., (1982), *Meandering channel of bed material. Gravel-bed Rivers* (R.D. Hey, J.C. Bathurs & C.R. Thome, editor).
- Badan Standardisasi Nasional (BSN), (2000), *Pedoman Penulisan Standar Nasional Indonesia*, Jakarta.
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, (2004), *Pedoman Perencanaan Bangunan Pengaman Gerusan Air Sungai untuk Konstruksi Jalan dan Jembatan*, Jakarta.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia, (1993) *Panduan Penyelidikan Jembatan*, Jakarta.
- Federal Highway Administration, (2000), *HEC-11 : Design of Riprap Revetment*, US Department of Transportation, US.
- Federal Highway Administration, (2000), *HEC-18 : Evaluating Scour at Bridges (M)*, US Department of Transportation, US.
- Federal Highway Administration, (2000), *HEC-23 : Bridge Scour and Stream Stability Countermeasures*, US Department of Transportation, US.
- Federal Highway Administration, (2000), *Mannings : Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients*, US Department of Transportation, US.
- Jansen, P.Ph., Bendegom, L., Van Berg, J., Van Den, Vries, M. de (1979), *Principles of River Engineering. The non-Tidal Alluvial River*. London; Pitman Publ. Ltd.
- Peter C. G. Isaac, (1966), *River Management*, Maclaren & Sons Ltd., London.
- Petersen, M.S. (1986), *River Engineering*, Englewood Cliffs, New Jersey; Prentice-Hall Inc.
- R.E. Featherstone & C. Nalluri, (1988), *Civil Engineering Hydraulics*, Mackays of Chatham PLC.
- Rijn, Leo C., Van, (1993), *Principle of Sediment Transport in Rivers, Estuaries, and Coastal Seas*, Aqua Publications, The Netherlands.





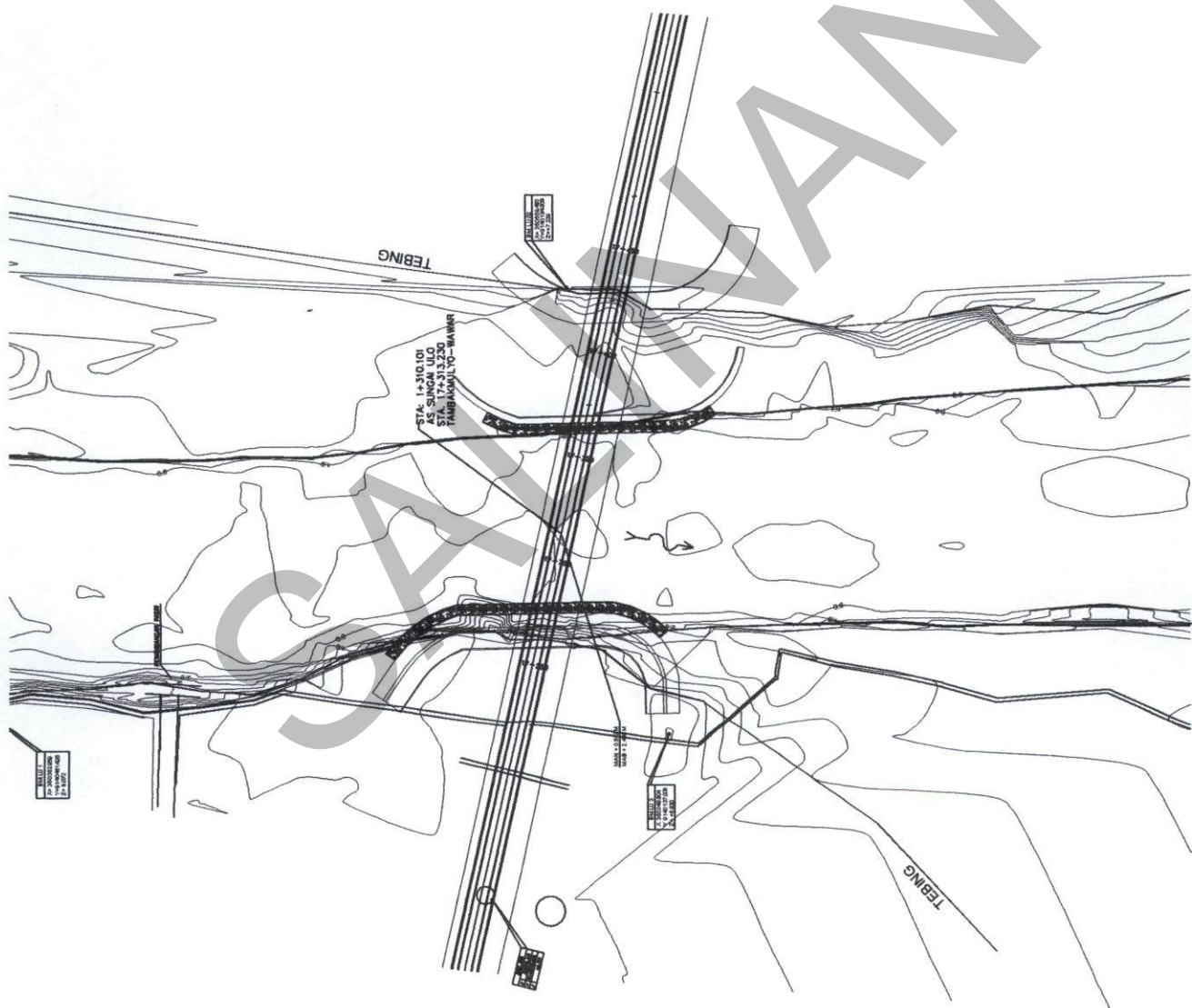
TIPIKAL DENAH RIP-RAP BATU



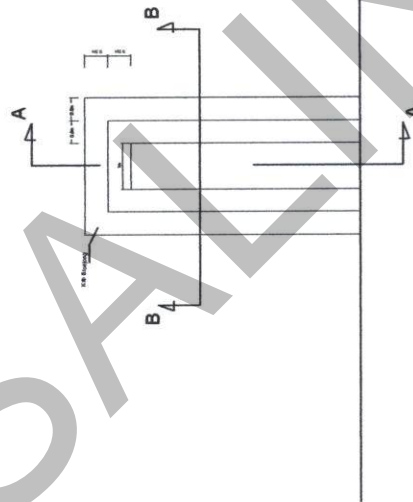
TIPIKAL POTONGAN A-A (RIP-RAP BATU BOULDER)



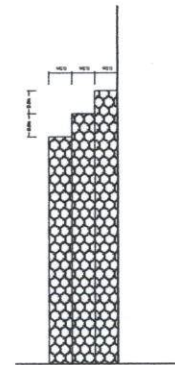
DENAH SUSUNAN KRIB BRONJONG



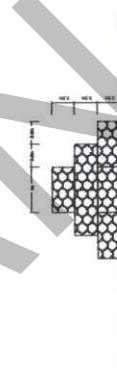
DENAH BANGUNAN PENGAMAN PILAR



LAYOUT KRIB BRONJONG

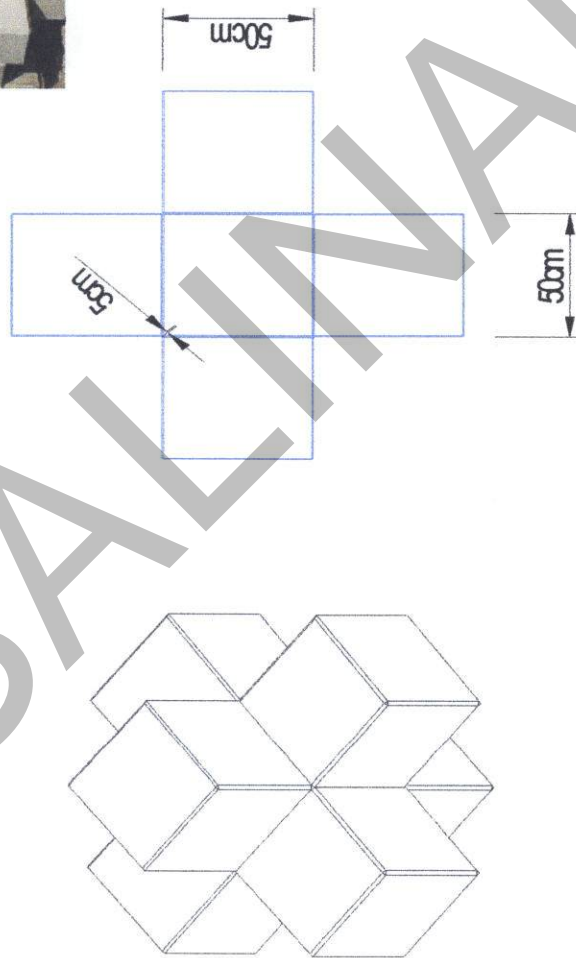
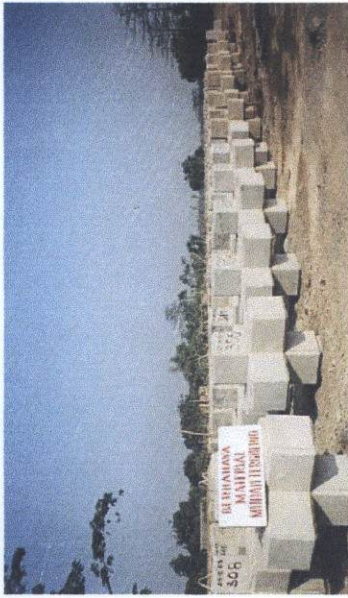


POTONGAN A-A

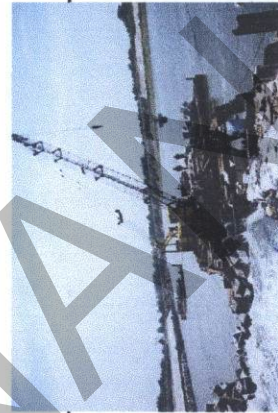
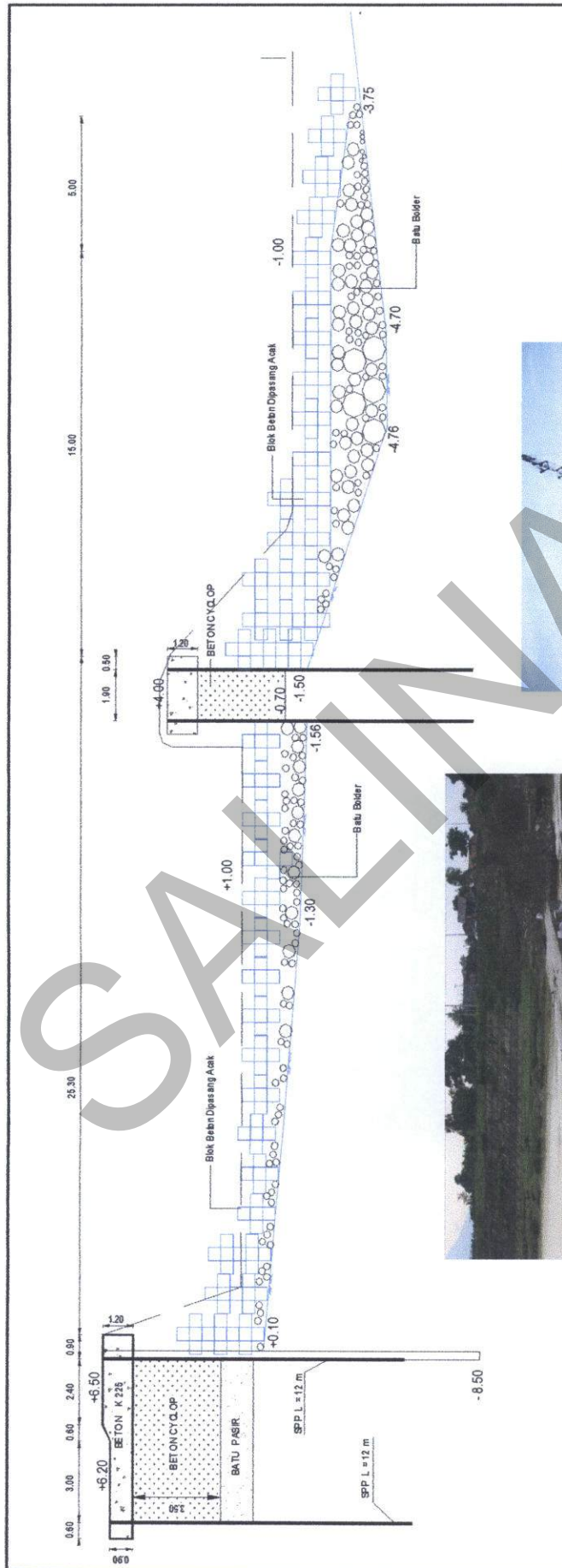


POTONGAN B-B

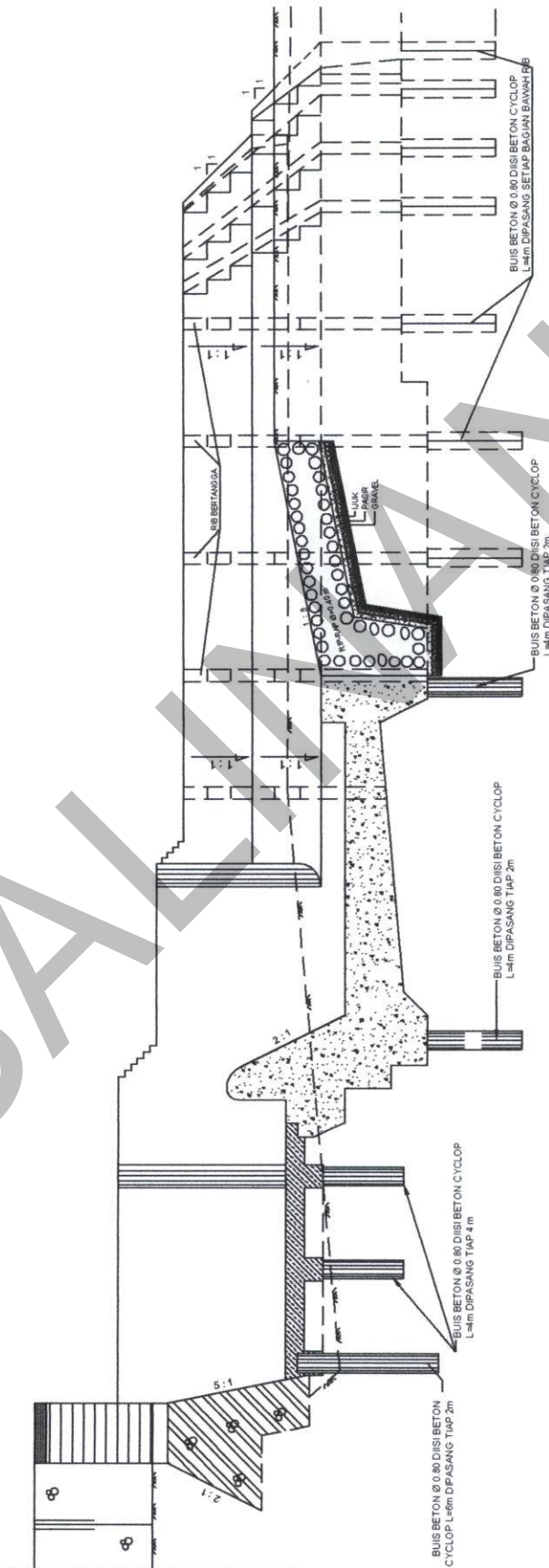




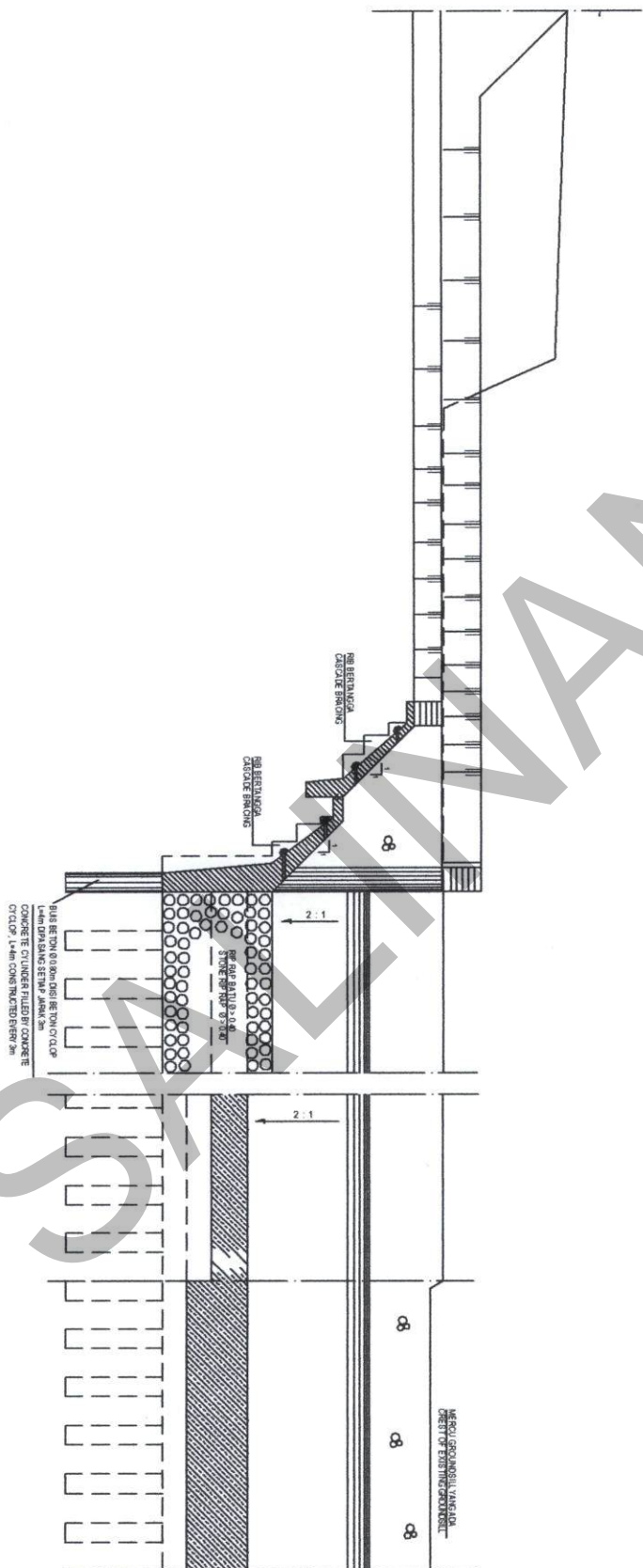
Tipikal Dimensi Blok Beton Kubus Kaki 6 (Pengganti Rip-Rap Batu) Dilengkapi dengan Tulangan Praktis



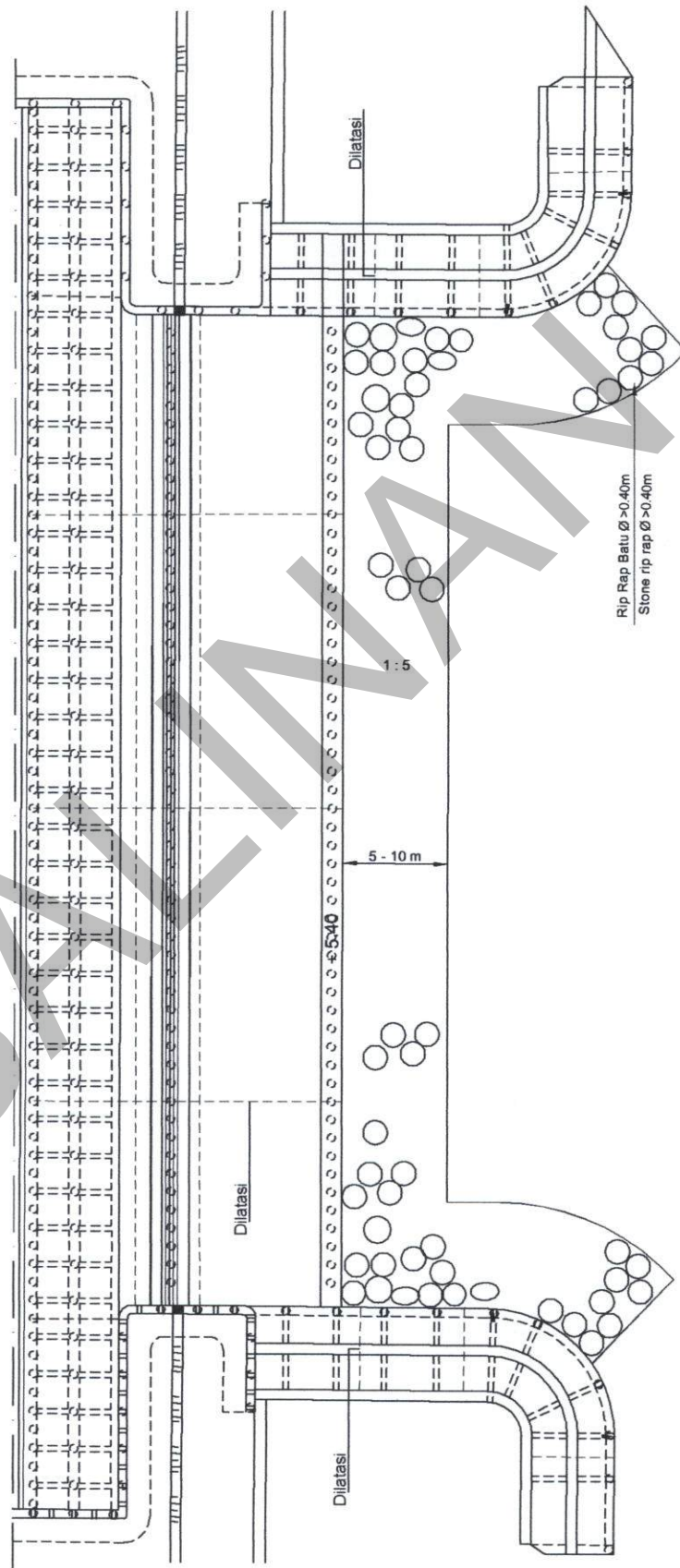
Contoh Tipikal Penerapan Blok Beton Kubus Kaki 6 : Disusun Acak di Sekitar Bangunan



Tipikal Cascade 1

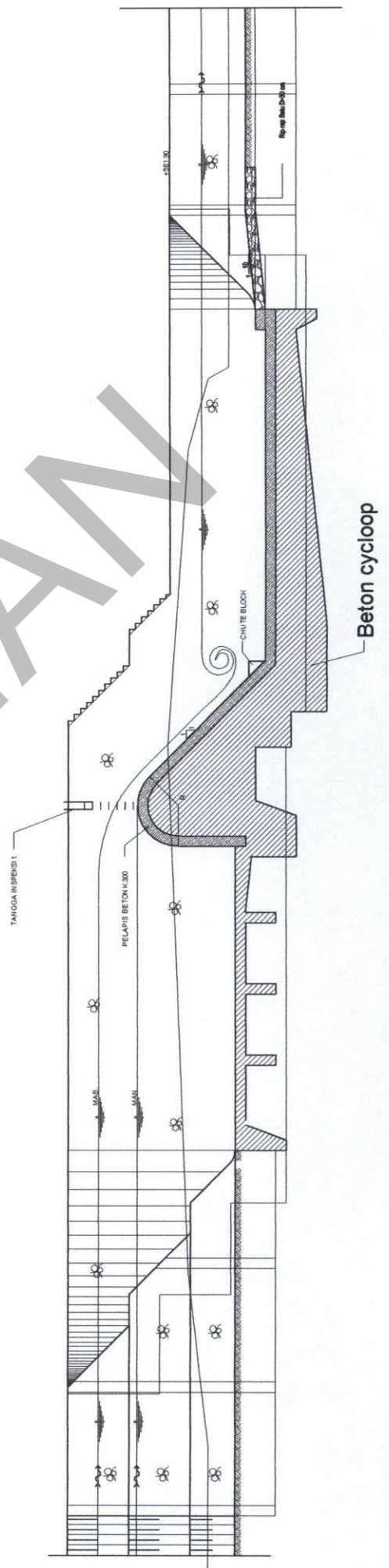


Tipikal Cascade 2a



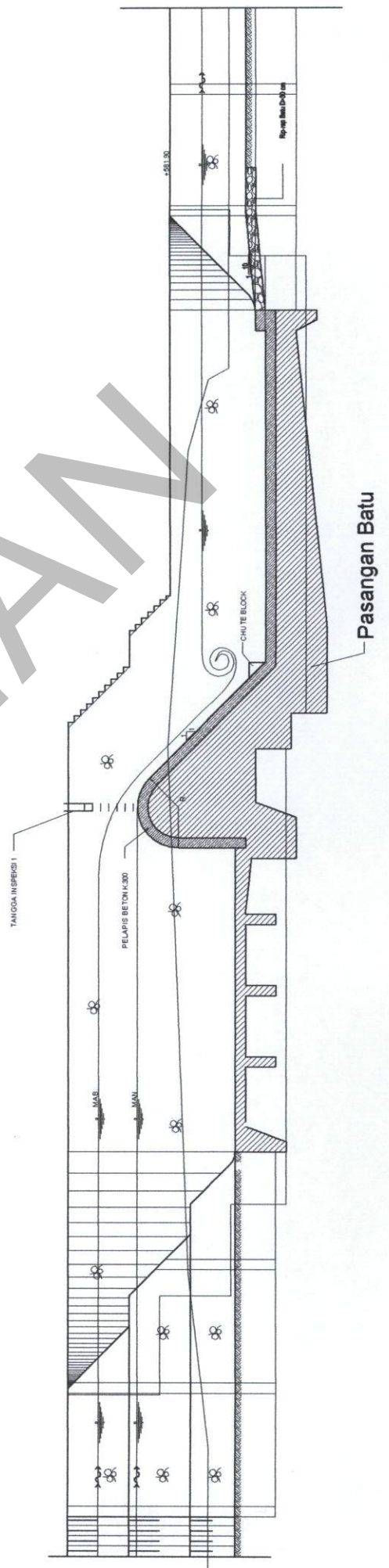
Tipikal CD Cascade

SALINAN



CONTOH TIPIKAL PEMANFAATAN BETON

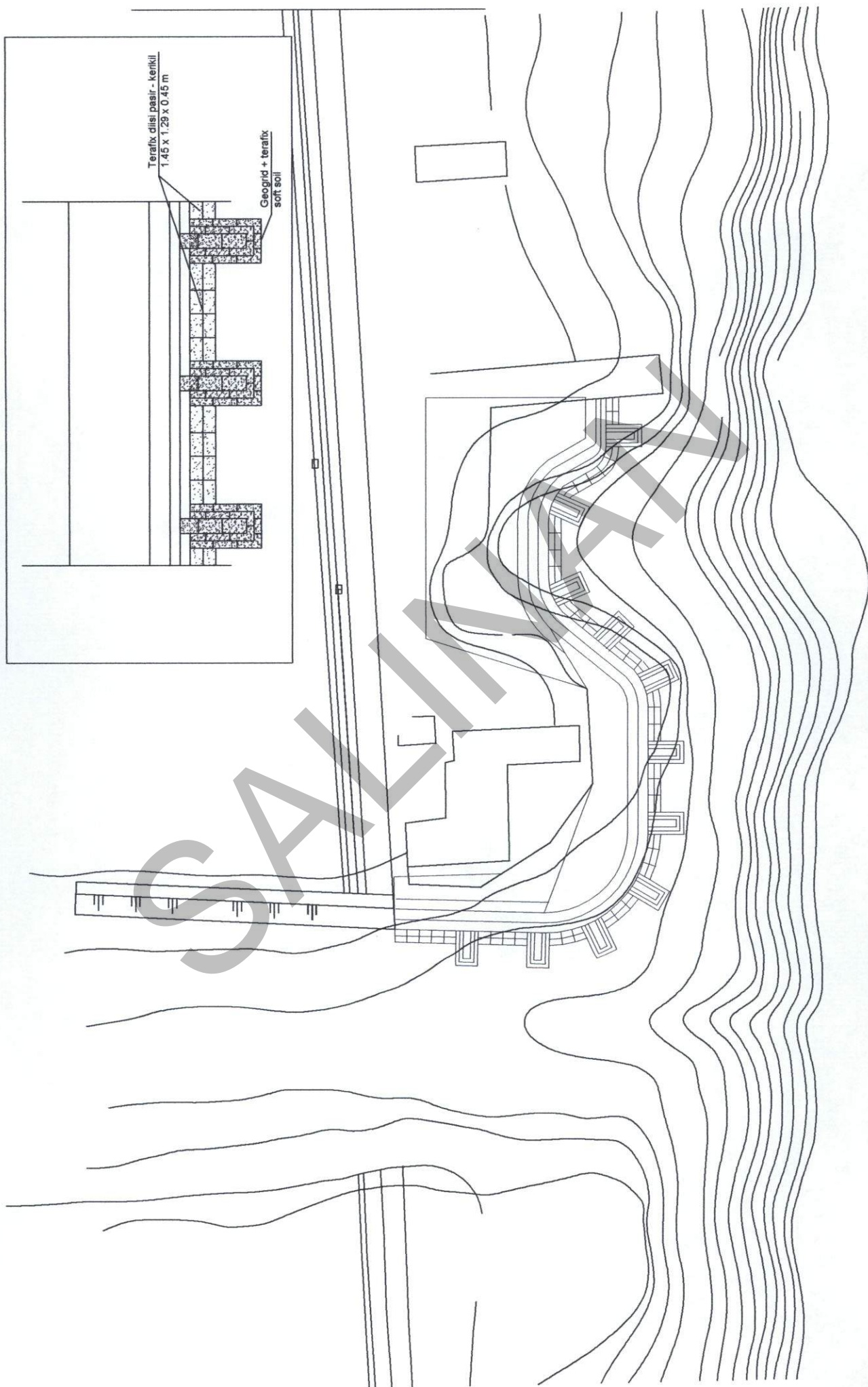
SALINAN

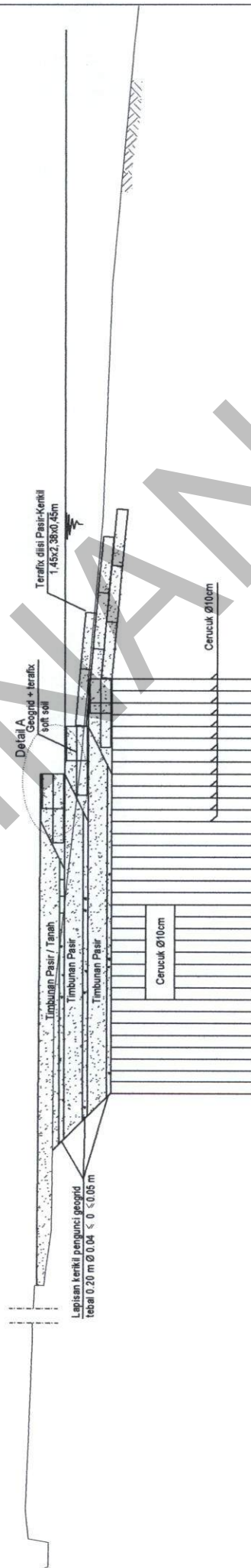
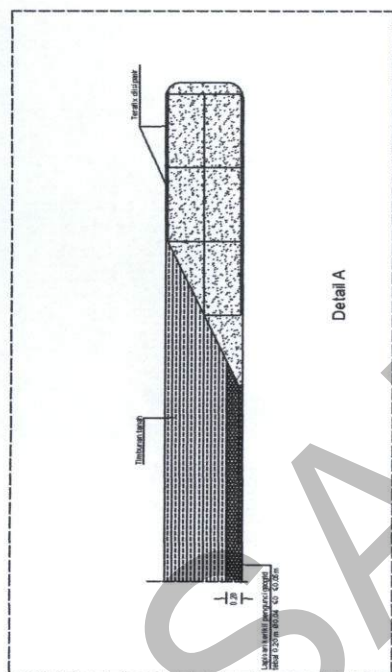


CONTOH TIPIKAL PEMANFAATAN PASANGAN BATU



CONTOH PENERAPAN GEOSINTETIK (DENAH)





TIPIKAL PENERAPAN GEOSINTETIK (POTONGAN)