

# TEKNOLOGI BATU CURAH (*DUMP STONES*) SEBAGAI PENGAMAN TEBING SUNGAI

Unik Srimulatsih<sup>1)</sup>, Galih Habsoro Sundoro<sup>2)</sup>

<sup>1), 2)</sup> Balai Sungai Puslitbang Sumber Daya Air

Jl. Solo-Kartasura KM7 PO BOX 159 Surakarta 57101 telp. (0271) 719429, Fax. (0271)716406

E-Mail: uniksrilmulatsih@yahoo.co.id

Diterima: 25 Februari 2011; Disetujui: 20 Mei 2011

## ABSTRAK

*Salah satu kerusakan yang terjadi pada sungai adalah keruntuhan pada tebing sungai. Keruntuhan ini disebabkan oleh kerusakan kecil yang semakin lama akan semakin membesar dan mengancam stabilitas tebing. Kondisi ini harus segera diatasi agar tidak membahayakan bangunan dan prasarana yang ada di tepi sungai. Untuk menanggulangnya maka perlu adanya struktur pengamanan tebing, salah satunya yaitu pelindung tebing sungai dengan batu curah (dump stones). Batu curah sebagai pelindung tebing harus dapat diperhitungkan mengenai kestabilannya, sehingga dalam penerapannya benar-benar dapat menjadi solusi dalam mengatasi kerusakan tebing sungai. Dengan perencanaan yang baik, pelindung tebing sungai dengan batu curah akan dapat menjadi pelindung tebing yang lebih efisien.*

**Kata kunci:** Teknologi, kerusakan, pelindung, tebing sungai, batu curah.

## ABSTRACT

*One of river damage case is riverbank slide. Riverbank slide caused by a small damage that continuously become a bigger damage and it would threaten the stability of riverbank. This condition must be solved urgently to endanger the the existing buildings and infrastructure on the river bank. To solve this problem a riverbank protector structure must be build. One of riverbank protector structure is riverbank protector with dump stones. Dump stones as a riverbank protector should have an accountable stability, so the application of dump stones riverbank protector can actually be a solution in overcoming the damage to the riverbank. Therefore, before this riverbank protection applied, stability of dump stones must be calculated. With a good planning, riverbank protector with dump stones will be able to become more efficient riverbank protector.*

**Key words:** Technology, slide, protective, riverbank, dump stones.

## PENDAHULUAN

Sungai adalah kekayaan alam yang memberikan banyak manfaat bagi kehidupan manusia. Namun saat ini banyak sungai yang telah mengalami kerusakan. Berawal dari kerusakan-kerusakan kecil pada alur sungai seperti erosi dan degradasi yang semakin lama jika dibiarkan akan berkembang menjadi kerusakan besar yang dapat menyebabkan bencana seperti banjir dan longsornya tebing sungai.

Salah satu penyebab kerusakan tebing sungai adalah gerusan kaki tebing yang tidak mampu menahan gerusan arus. Gerusan ini semakin lama berkembang menjadi lebih dalam sehingga mengurangi stabilitas tebing. Jika tidak segera diatasi maka akan menyebabkan kerusakan yang lebih parah. Kerusakan yang terjadi pada tebing sungai akan merusak bangunan-bangunan persungai dan membahayakan keselamatan masyarakat disekitar sungai. Salah satu upaya yang

perlu dilakukan untuk mengatasinya ialah membuat pelindung tebing sungai.

Beberapa macam pelindung tebing sungai yang telah dikenal dan telah pula digunakan di berbagai tempat, antara lain *bio engineering*, gebalan rumput, hamparan anyaman dahan, anyaman bambu yang diisi batu, bronjong kawat berisi batu, blok beton, pasangan batu, pasangan blok beton, serta pelindung tebing dengan batu curah atau *dump stones*.

Semua alternatif pelindung tebing sungai mempunyai kelebihan dan kekurangan, sehingga penerapannya perlu disesuaikan dengan kondisi sungai. Rekayasa persungai harus mempertimbangkan jenis struktur yang tepat, murah, dan mudah dalam pelaksanaannya.

Pelindung tebing sungai dengan penerapan teknologi batu curah memiliki kelebihan, diantaranya:

- 1 Pelaksanaan struktur ini relatif mudah sehingga waktu pelaksanaannya pun relatif singkat.
- 2 Tidak memerlukan bahan penunjang lain, seperti spesi maupun anyaman kawat.
- 3 Mudah menyesuaikan apabila terjadi perubahan dasar maupun tebing sungai oleh adanya aliran.
- 4 Dapat dan mudah dikombinasikan dengan struktur pelindung tebing lain seperti krib, bronjong batu, pasangan batu, dan lainnya.

Disamping kelebihan-kelebihan tersebut, pelindung tebing sungai dengan penerapan teknologi batu curah juga memiliki beberapa kekurangan, diantaranya:

- 1 Batu yang dicurahkan cenderung terpasang pada posisi acak dan tidak teratur, jika dipandang dari sudut estetika struktur ini relatif kurang indah.
- 2 Kualitas maupun kuantitas pekerjaan yang terletak di bawah air sulit dikontrol.
- 3 Untuk daerah yang sulit mendapatkan batu, struktur ini relatif mahal karena harus mendatangkan batu dari luar daerah.

Melihat dari kelebihan pelindung tebing sungai dengan penerapan teknologi batu curah dengan tidak mengesampingkan kekurangannya, batu curah memiliki potensi yang cukup baik sebagai salah satu solusi dalam menangani kerusakan tebing sungai di Indonesia.

Pelindung tebing sungai yang baik harus dapat diperhitungkan mengenai kestabilannya sehingga dalam penerapannya benar-benar dapat menjadi solusi dalam mengatasi kerusakan tebing sungai, bukan justru menjadi beban bagi tebing sungai yang bersangkutan. Oleh karena itu sebelum diterapkan di lapangan, kestabilan pelindung tebing sungai dengan penerapan teknologi batu curah harus di perhitungkan terlebih dahulu.

## KAJIAN PUSTAKA

Tebing sungai merupakan bagian yang penting pada kestabilan alur sungai, karena menjadi dinding batas sungai sisi kiri dan kanan dari palung sungai. Menurut asal mulanya, tebing sungai ini dapat dibagi menjadi dua yaitu tebing sungai asli dan tebing sungai buatan yang dapat berupa timbunan (tanggul) maupun galian.

Sungai di daerah hulu pada umumnya mengalir di antara pegunungan berupa lembah maupun palung maka tebing sungai ini masih merupakan tebing alam. Sedangkan di daerah rendah pada sungai-sungai yang sering terjadi

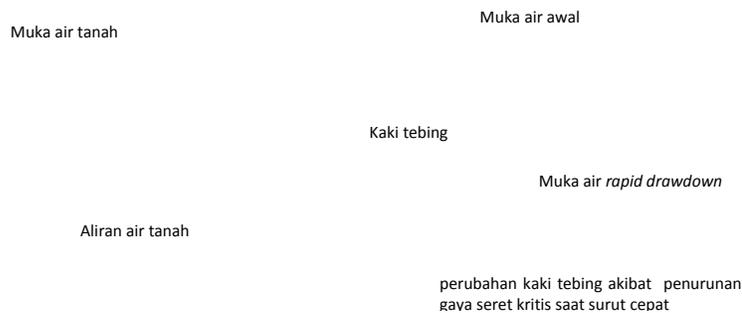
banjir, dibuat tanggul-tanggul sungai untuk mencegah meluapnya aliran sungai yang membahayakan daerah sekitarnya.

### 1 Longsoran Tebing Sungai

Terjadinya longsoran pada suatu lereng/tebing sungai disebabkan oleh ketidakmampuan lereng tebing tersebut, baik lereng yang terjadi secara alami maupun buatan manusia. Ketidakmampuan ini terjadi pada saat kondisi gaya yang akan mengakibatkan longsornya suatu tebing lebih besar dari pada gaya yang menahannya. Jenis longsoran dibedakan menurut bentuk bidang longsoran yaitu longsoran rotasi dan/atau longsoran translasi.

Faktor penyebab terjadinya longsoran suatu lereng/tebing sungai dipengaruhi oleh kondisi alam dan dari aktivitas manusia. Faktor-faktor utama antara lain adalah sebagai berikut :

- 1) Faktor hidrologi, yaitu adanya musim hujan dengan curah hujan yang cukup besar sehingga terjadi erosi yang disebabkan oleh air hujan yang mengalir mengangkut butiran tanah tebing sungai.
- 2) Faktor hidrolika yaitu adanya pengaruh aliran yang deras di bagian tebing sungai sehingga terjadi pengikisan serta adanya pusaran aliran helikoidal, terutama pada tikungan bagian luar. Adanya pengaruh gelombang air yang ditimbulkan oleh lalu-lintas sungai sehingga tebing sungai terkikis.
- 3) Faktor aktivitas manusia yaitu dengan membuat pemukiman di tebing atas sungai dan sarana-sarana lainnya.
- 4) Faktor tekanan tambahan antara lain akibat adanya lalu-lintas darat di tepi tebing sungai.
- 5) Faktor topografi yaitu adanya lereng/tebing sungai yang curam yang mempunyai tendensi longsor yang lebih besar dari pada lereng yang landai (khususnya pada sungai alluvial). Potensi longsor akan lebih besar jika lereng/tebing tersebut terdiri dari lapisan tanah yang tebal sedangkan batuan dasar terletak pada lapisan yang cukup dalam.
- 6) Faktor geologi pada kondisi struktur tanah (batuan) cukup besar pengaruhnya terhadap stabilitas suatu lereng. Suatu lereng yang tertutup oleh tanah yang mengandung retakan-retakan sering mempunyai tendensi longsor yang tinggi.
- 7) Faktor erosi buluh akibat rembesan air atau piping. Lapisan tebing sungai dari jenis tanah lanau pasir atau pasir lanauan adalah lapisan tanah yang paling mudah mengalami piping sehingga mudah terjadi longsoran.



**Gambar 1** Sketsa aliran air tanah pada kondisi surut cepat

8) Perubahan surut muka air secara cepat setelah banjir (*rapid drawdown*) terutama untuk tebing sungai yang terbentuk dari tanah berbutir halus (banyak kandungan lempung-lanau). Tanah jenis ini berpermeabilitas rendah sehingga saat banjir surut, air yang terdapat dalam rongga pori tanah yang semula tanahnya terendam menimbulkan tambahan beban pada lereng. Kondisi ini ditunjukkan pada Gambar 1.

Faktor yang lainnya adalah disebabkan adanya penurunan muka tanah yang tidak merata sehingga menimbulkan retakan (*settlement crack*) dan retakan susut (*shrinkage crack*).

Beberapa kondisi tebing sungai yang memerlukan perlindungan, yaitu:

- 1) Tebing di sisi tikungan luar sungai.
- 2) Tebing pada ruas yang lurus, tetapi dasar sungai mengalami degradasi sehingga tebing sungai menjadi tidak stabil. Kondisi ini ditunjukkan pada Gambar 2.
- 3) Tebing sungai yang menghadapi masalah gerusan pada kaki tebing.



**Gambar 2** Contoh tebing yang memerlukan perlindungan

## 2 Perlindungan Tebing Sungai

Secara garis besar perlindungan tebing sungai dapat dikelompokkan menjadi dua macam yaitu: perlindungan tebing secara langsung dan perlindungan tebing secara tidak langsung.

- 1) Bangunan Pelindung Tebing Sungai Langsung (*Revetment*). *Revetment* yang berfungsi sebagai

perkuatan lereng/tebing adalah bangunan yang ditempatkan pada permukaan suatu lereng guna melindungi suatu tebing sungai terhadap gerusan arus yang dapat mengakibatkan terjadinya gerusan pada tebing dan dasar sungai. Biasanya yang dilindungi adalah tebing alur sungai bagian bawah (*low water channel*). Namun, bisa juga untuk melindungi tebing hingga pada kondisi *high water channel*, yang dimaksud disini adalah bagian tanggul banjir. Tergerusnya tebing sungai akibat aliran sungai pada umumnya tergantung pada kecepatan dan/atau gaya seret kritis material tebing. Besar kecepatan dan/atau gaya seret kritis tersebut ditentukan oleh besar dan bentuk serta rapat massa material, turbulensi, dan kemiringan tebing.

- 2) Bangunan Pelindung Tebing Secara Tidak Langsung. Bangunan pelindung tebing tidak langsung pada umumnya berupa krib yang biasanya dipasang sejajar, tegak lurus, atau membentuk sudut terhadap arah aliran. Tata letak krib terhadap arah aliran ditentukan oleh permasalahan yang dihadapi, kondisi stabil tebing yang diharapkan, dan tujuan-tujuan pemasangan krib. Alternatif lain struktur pelindung tebing tidak langsung yang biasa digunakan adalah panel-panel dasar sungai (*bottom panels*).

## 3 Pengertian Batu curah

Batu curah atau *dump stones* merupakan salah satu tipe bangunan pelindung sungai terhadap ancaman gerusan atau erosi oleh aliran air sungai. Bangunan ini berupa timbunan batu-batu, berukuran relatif besar yang dapat dicurahkan dari atas tebing dan/atau disusun dari arah dasar sungai yang akan dilindungi. Bangunan pelindung tebing ini relatif murah karena baik desain maupun pelaksanaan pembangunannya dikerjakan dengan cara sederhana.

Batu curah berfungsi untuk meningkatkan stabilitas tebing sungai dan daya tahan material

dasar sungai karena batu curah dapat bertindak sebagai lapisan pelindung (*armouring layer*). Selain itu, batu curah juga berfungsi menambah kekasaran aliran di kaki tebing sungai yang bersangkutan, kondisi ini dapat menyebabkan kecepatan aliran berkurang sehingga dapat terjadi endapan pada permukaan batu curah tersebut. Endapan tersebut merupakan ikatan antara butiran batuan batu curah sehingga kaki tebing sungai bertambah stabil. Sketsa struktur batu curah ditunjukkan pada Gambar 3.

Struktur batu curah dapat melindungi tebing dengan baik, jika memenuhi syarat sebagai berikut:

- a) Bahan :
  - a) Diameter dan bentuk batu disesuaikan dengan kondisi aliran, rapat massa (*specific gravity*) batu, dan kondisi tanah dasar.
  - b) Bentuk batu yang baik untuk struktur ini adalah batu pecah. Tidak menggunakan bentuk batu yang bulat-bulat atau batu gundul.
  - c) Bergradasi dengan dominasi diameter yang lebih besar daripada diameter desain batu agar antara masing-masing batu dapat saling mengunci.
- b) Tipe konstruksi:
  - a) Kemiringan batu curah tegak lurus arah aliran bervariasi, biasanya stabil dengan perbandingan arah tegak dan arah datar 1:1 sampai dengan 1:2.

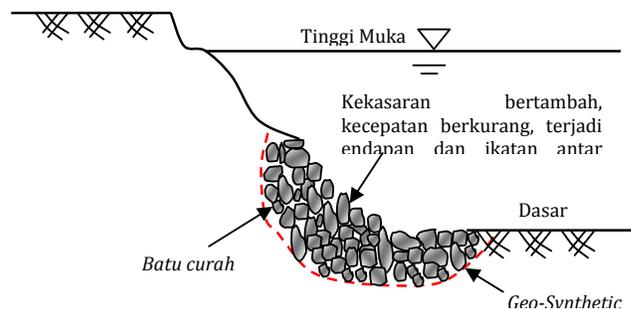
- b) Batu curah dipasang di kaki tebing untuk melindungi terjadinya penggerusan.
- c) Pemasangan batu curah tidak boleh terlalu tinggi hingga mencapai bagian atas tebing karena dapat menjadi beban bagi stabilitas lereng itu sendiri.

#### 4 Jenis Struktur Batu curah

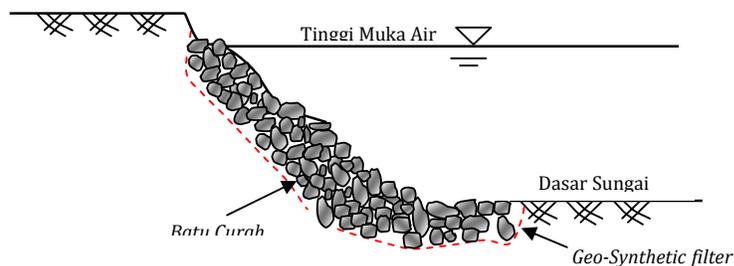
Berdasarkan jenis strukturnya, beberapa macam batu curah, yaitu :

- 1) Jenis struktur batu curah pada elevasi muka air maksimum. Timbunan batu dibuat sampai pada elevasi di atas muka air maksimum karena longsoran tebing sudah cukup parah, sehingga mengancam bangunan yang berada di atasnya, seperti mercu tanggul, jalan raya, dan lain-lain. Jenis struktur ini ditunjukkan pada Gambar 4.
- 2) Timbunan batu hanya pada kaki tebing sungai.
- 3) Timbunan ini merupakan upaya untuk mengantisipasi kerusakan kaki tebing sungai yang lebih parah. Jenis struktur ini ditunjukkan pada Gambar 5.

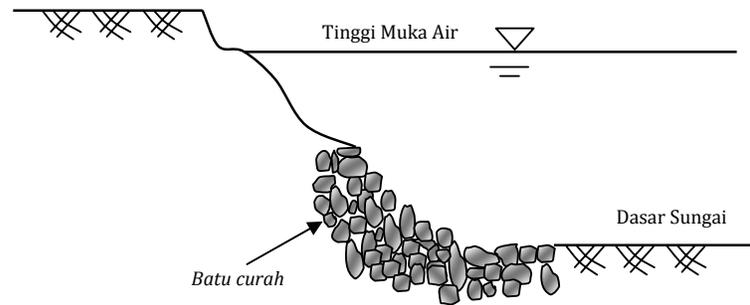
Struktur batu curah diperkuat dengan bronjong. Kombinasi batu curah dengan bronjong batu merupakan perpaduan antara struktur fleksibel dan semi fleksibel. Bronjong batu diletakkan di atas batu curah, dalam hal ini batu curah sebagai pondasi. Kombinasi struktur seperti ini sangat menguntungkan untuk kondisi di mana kedalaman aliran relatif dalam. Sketsa struktur ini ditunjukkan pada Gambar 6.



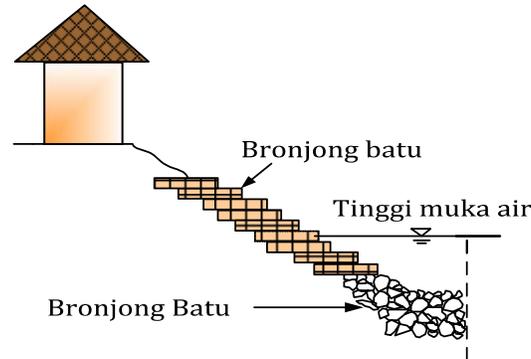
Gambar 3 Sketsa batu curah sebagai pelindung gerusan kaki tebing



Gambar 4 Batu curah pada elevasi muka air maksimum



**Gambar 5** Timbunan batu hanya pada kaki tebing sungai



**Gambar 6** Batu curah diperkuat dengan bronjong

## 5 Material Batu curah

Penggunaan material batu curah dipengaruhi oleh jenis tanah dasar tebing sungai. Jika tanah dasar berupa tanah lunak, maka sebelum penumpukan batu perlu dihamparkan terlebih dahulu lapisan perangkat dan pendistribusian tegangan. Lapisan ini bisa berupa *geo-grid* atau *geo-synthetic filter*. Batuan yang dipakai disesuaikan juga dengan ketersediaan di lokasi. Secara umum jenis batuan yang tersedia berbentuk bulat, bersegi, bersudut, dan pipih.

Bahan batuan yang digunakan harus mempunyai diameter dan berat tertentu yang didasarkan pada besar kecepatan dan/atau gaya gesek desain sehingga batu-batu tersebut tetap stabil.

## 6 Stabilitas Lereng Tebing Sungai dengan Batu Curah

Batu curah yang dipasang pada kaki tebing sungai merupakan satu kesatuan konstruksi dengan tebing sungai sendiri, sehingga kestabilan lereng merupakan kestabilan struktur secara keseluruhan. Bangunan batu curah dikatakan stabil jika tidak terjadi penurunan yang berkelanjutan atau perubahan bentuk yang bisa diamati secara visual. Penurunan yang relatif kecil dan tidak berkelanjutan merupakan akibat proses konsolidasi struktur yang tidak mengganggu stabilitas bangunan. Struktur batu curah lama-

kelamaan akan mencari keseimbangannya sendiri selama umur bangunan.

Secara umum kestabilan batu curah dipengaruhi oleh arah aliran, kecepatan aliran, kedalaman aliran, dan material dari batu curah yang digunakan:

- 1) Arah Aliran yang mengenai batu curah dapat menimbulkan turbulensi. Bila turbulensi aliran mengakibatkan penurunan gaya seret kritis batu curah secara signifikan sehingga lebih rendah daripada gaya seret aliran, maka letak batu curah akan bergeser. Sebaliknya bila turbulensi aliran tidak mengakibatkan penurunan gaya seret kritis secara signifikan maka struktur tetap stabil.
- 2) Kecepatan Aliran. Kecepatan aliran memiliki daya seret. Bila daya seret lebih besar dari daya tahan struktur batu curah maka letak struktur akan bergeser, dan sebaliknya bila daya dorong lebih kecil dari daya tahan struktur batu curah, maka letak batu curah tetap.
- 3) Kedalaman Aliran. Tingkat kedalaman aliran akan membedakan tingkat gaya seret aliran yang dialami struktur batu curah. Semakin dalam alirannya maka tekanan yang diterima struktur semakin besar.
- 4) Material batu curah. Perbedaan jenis, sifat, bentuk, dan diameter batu yang digunakan akan berpengaruh pada daya tahan konstruksi batu

curah. Batu yang bulat memiliki daya ikat yang berbeda dengan batu yang pipih.

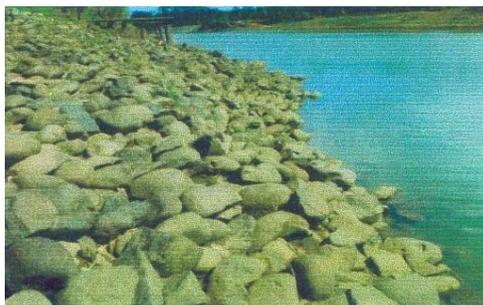
Struktur batu curah yang handal adalah batu curah yang stabil dan mampu melindungi tebing. Adapun parameter struktur batu curah yang menentukan keandalan perencanaan adalah sebagai berikut:

- 1) Material batu: diameter, rapat massa jenis, kekerasan batu, dan bentuk batu. Makin besar, berat, dan keras jenis batu yang digunakan akan menghasilkan bangunan yang handal tetapi perlu diperhitungkan daya dukung material dasar sungai.
- 2) Dimensi bangunan: tinggi tebing dan kemiringan tebing. Makin landai struktur batu curah, akan menghasilkan bangunan yang makin stabil tetapi makin boros
- 3) Posisi bangunan terhadap bentuk alur sungai dan pusat aliran. Posisi dan bentuk struktur batu curah akan menentukan gaya-gaya hidraulik yang harus dihadapi. Struktur batu curah pada tikungan luar sungai akan memikul gaya-gaya yang lebih besar daripada struktur yang berada pada ruas yang lurus.

Bangunan pelindung tebing sungai dengan batu curah mempunyai kemungkinan mengalami kegagalan, hal ini disebabkan karena:

- 1) Timbunan melampaui batas desain sehingga menjadi beban terhadap lereng, dan mengakibatkan lereng tersebut menjadi tidak stabil.
- 2) Pemilihan diameter dan jenis batu yang kurang tepat, sehingga tebing sungai tetap tidak stabil.

Salah satu contoh pelindung tebing sungai dengan batu curah yang dilaksanakan di Sungai Citanduy ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7 Batu curah S. Citanduy di Panisian

## PEMBAHASAN

### 1 Perencanaan Batu curah

Perencanaan adalah kegiatan yang meliputi perkiraan dan perhitungan berdasarkan data yang memadai sebagai dasar mengenai kegiatan yang

akan dilaksanakan. Perencanaan dimaksudkan agar pelaksanaan konstruksi dapat berjalan sesuai dengan yang diharapkan dan diperoleh struktur batu curah yang stabil. Dalam perencanaan konstruksi batu curah terdapat beberapa tahapan antara lain survei, pembuatan gambar rencana, perhitungan volume batu curah, persiapan material, perhitungan dimensi batu, analisis stabilitas dan daya dukung batu curah, serta penurunan tanah saat pencurahan

- 1) Survei. Survei merupakan awal dari pelaksanaan pekerjaan, survei dilakukan untuk mendapatkan data yang dibutuhkan dalam pelaksanaan pekerjaan. Survei ini meliputi pengukuran, pengambilan sampel tanah, pengambilan sampel material dasar sungai, dan pengambilan foto dokumentasi kondisi sungai.
- 2) Pembuatan Gambar Rencana. Sebelum dilaksanakan konstruksi batu curah maka terlebih dahulu harus dibuat gambar rencana yang sesuai dengan lokasi pekerjaan dan hasil pengukuran. Gambar rencana meliputi: gambar penampang melintang sungai, gambar penampang memanjang sungai, dan gambar rencana konstruksi batu curah.

### 2 Perhitungan Volume Batu curah

Perhitungan batu curah merupakan perhitungan volume batu yang dicurahkan pada tebing yang akan dilindungi. Perhitungan ini menggunakan data geometri. Perhitungan volume batu curah dapat dilakukan dengan tahapan sebagai berikut :

- 1) Membagi ruas panjang tebing yang tergerus menjadi beberapa pias dapat ditunjukkan pada Gambar 8.
- 2) Data yang digunakan untuk menghitung adalah data lebar dasar konstruksi batu curah, panjang tebing yang akan dilindungi, panjang kemiringan konstruksi batu curah, dan panjang sisi ruas sungai yang tebingnya tergerus. Data tersebut ditunjukkan pada Gambar 9.
- 3) Membuat sketsa dimensi batu curah tiap pias, yang dapat diskematisasikan dan digambar dengan bentuk standar misalnya bentuk prisma segitiga ditunjukkan pada Gambar 10.
- 4) Menghitung volume tiap-tiap pias dengan menggunakan rumus volume segitiga tidak beraturan

$$V = Z \times L \times \text{Koeff.batu} \quad (1)$$

$$L = \sqrt{(S \times (S - P) \times (S - F) \times (S - X))} \quad (2)$$

$$S = \frac{P + F + X}{2} \quad (3)$$

$Koeff\ batu = 1.20$  (Berdasarkan pengalaman di lapangan)

Keterangan:

$V$ , Volume konstruksi batu curah ( $m^3$ )

$L$ , Luas segitiga ( $m^2$ )

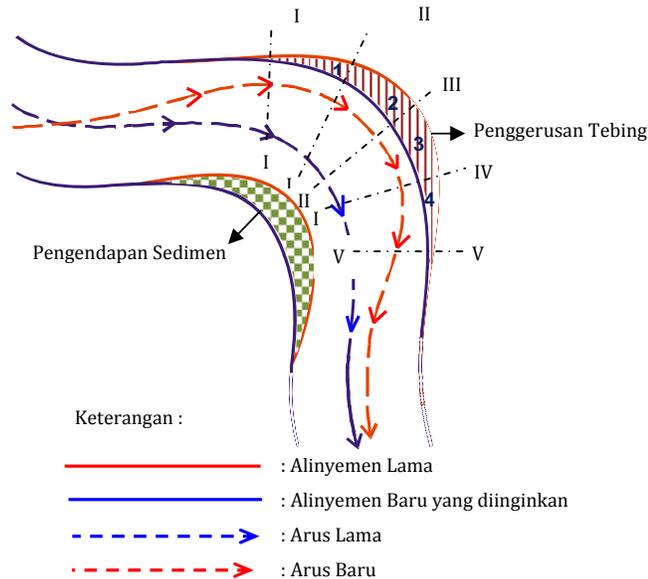
$F$ , Lebar dasar konstruksi batu curah (m)

$S$ , Setengah keliling (m)

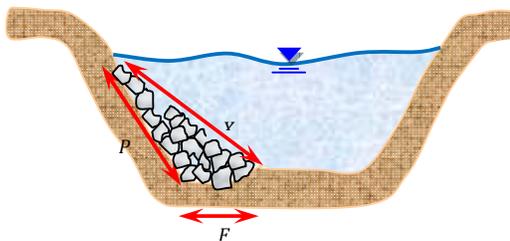
$Z$ , Panjang sisi ruas sungai yang tebingnya tergerus (m)

$P$ , Panjang tebing yang akan dilindungi (m)

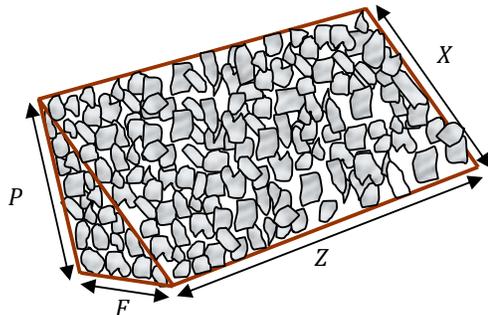
$X$ , Panjang kemiringan konstruksi batu curah (m)



**Gambar 8** Ruas panjang tebing yang tergerus dibagi beberapa pias



**Gambar 9** Penampang melintang sungai



**Gambar 10** Sketsa dimensi batu curah

### 3 Persiapan Material

Untuk menghindari harga material yang tinggi perlu penentuan lokasi pengambilan material (*quarry*) yang dekat dengan lokasi pekerjaan. Dalam hal ini penentuan lokasi pengambilan material juga harus disesuaikan perkiraan mutu yang sesuai dengan persyaratan dan dengan memerhatikan dampak lingkungan.

### 4 Dimensi Batu

Stabilitas batu pada tebing sungai didasarkan pada grafik *Shields* dengan mengambil nilai  $\psi_{cr} = 0.03$  dan untuk material seragam  $ks = D$ , dimana:

$$\psi_{cr} = \frac{\tau_{cr}}{(\rho_s - \rho_a) \times g \times D} \quad (4)$$

$$\Delta = \frac{\rho_s - \rho_a}{\rho_a} \quad (5)$$

Dimensi batu dapat dihitung dengan rumus-rumus sebagai berikut:

1) *Shields* (1936), mengemukakan formulasi sebagai berikut

$$D = \frac{H \times I}{\Delta \times \psi} \quad (6)$$

2) *Isbach* (1935) mengabaikan pengaruh  $h/D$ , dan mengemukakan formulasi empirik seperti berikut

$$\bar{U}_{cr} = 1,70\sqrt{\Delta g D} \quad (7)$$

3) *Goncharov*, memberikan persamaan seperti berikut

$$\frac{\bar{U}_{cr}}{\sqrt{\Delta \times g \times D}} = 1,07 \log \frac{8,80h}{D} \quad (8)$$

Keterangan:

- $\psi_{cr}$  , Gaya geser kritis (-)
- $\tau_{cr}$  , Tegangan geser kritis ( $N/ms^2$ )
- $\psi$  , Parameter aliran (-)
- $k_s$  , Kekasaran dasar sungai (m)
- $\tau_c$  , Tegangan geser kritis ( $N/ms^2$ )
- $\rho_s$  , Rapat massa material ( $ton/m^3$ )
- $\rho_a$  , Rapat massa air ( $ton/m^3$ )
- $g$  , Percepatan gravitasi bumi ( $m/s^2$ )
- $D$  , Diameter batu (m)
- $\bar{U}$  , Kecepatan aliran rata-rata (m/s)
- $U_*$  , Kecepatan seret (m/s)
- $\bar{U}_{cr}$  , Kecepatan rata-rata kritis (m/s)
- $R$  , Radius hidraulik (m)
- $H$  , Kedalaman air (m)

### 5 Analisis Stabilitas Batu Curah pada Tebing Sungai

Perencanaan pelindung tebing sungai dengan batu curah perlu dianalisis stabilitasnya, terutama butiran batu curah yang berada di dasar sungai maupun di tebing sungai.

Stabilitas butiran batu curah akibat aliran air sungai disebut gaya seret ( $\tau_\theta$ ). Dimana gaya seret yang terjadi dirumuskan sebagai berikut :

$$\tau_{\theta d} = \rho_a \cdot g \cdot H \cdot I \quad (9)$$

$$\tau_{\theta t} = 0,76 \cdot \rho_a \cdot g \cdot H \cdot I \quad (10)$$

Keterangan:

- $\tau_{\theta d}$  , Tegangan geser/seret pada dasar sungai ( $N/m^2$ )
  - $\tau_{\theta t}$  , Tegangan geser pada tebing sungai ( $N/m^2$ )
  - $\rho_a$  , Rapat massa air ( $ton/m^3$ )
  - $g$  , Percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )
  - $H$  , Kedalaman rata-rata sungai (m)
  - $I$  , Kemiringan dasar sungai
- Distribusi tegangan geser penampang sungai ditunjukkan pada Gambar 11.

Stabilitas butiran pada aliran sungai dapat di analisis dengan membandingkan nilai tegangan geser yang terjadi ( $\tau_\theta$ ) dan tegangan geser kritis ( $\tau_{cr}$ ) dengan ketentuan sebagai berikut:

- 1) Jika  $\tau_\theta > \tau_{cr}$  maka butiran bergerak/tidak stabil
- 2) Jika  $\tau_\theta = \tau_{cr}$  maka butiran berada pada kondisi transisi/seimbang
- 3) Jika  $\tau_\theta < \tau_{cr}$  maka butiran diam/stabil

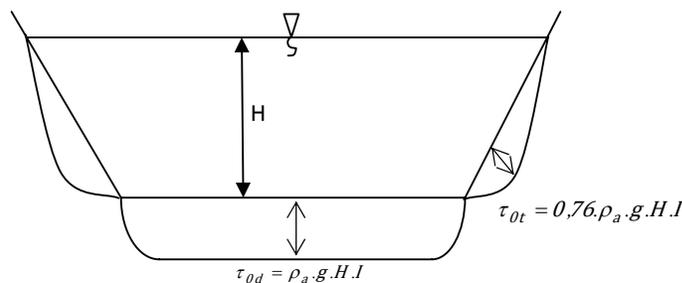
Perbandingan antara tegangan geser kritis sepanjang tebing ( $\tau_{crt}$ ) dengan tegangan geser/seret kritis pada dasar sungai ( $\tau_{crd}$ ) dapat ditulis sebagai fungsi dari sudut kemiringan tebing sungai ( $\beta$ ) dengan sudut alami butiran ( $\theta$ ) dirumuskan sebagai berikut :

$$\frac{\tau_{crt}}{\tau_{crd}} = \cos \beta \cdot \sqrt{I - \frac{\tan^2 \beta}{\tan^2 \theta}} = K \quad (11)$$

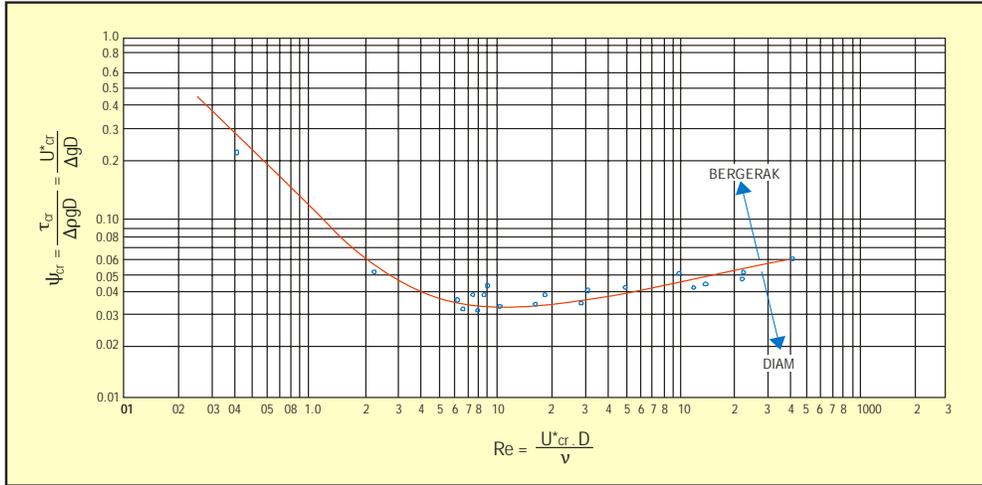
Keterangan:

- $\tau_{crt}$  , Tegangan geser kritis sepanjang tebing ( $N/m^2$ )
- $\tau_{crd}$  , Tegangan geser/seret kritis pada dasar sungai ( $N/m^2$ )
- $\beta$  , Sudut kemiringan tebing sungai
- $\theta$  , Sudut alami butiran
- $K$  , Koreksi kemiringan tebing sungai

Nilai tegangan geser kritis pada dasar sungai ( $\tau_{crd}$ ) dapat diketahui dari diagram *Shields* yang membandingkan antara parameter aliran kritis ( $\psi_{cr}$ ) dengan nilai *Reynold Number* ( $R_e^*$ ), ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 11 Distribusi tegangan geser pada sungai



Sumber : Alter Vanoni (1964)

**Gambar 12** Diagram Shields hubungan tegangan geser dengan Angka Reynold

Untuk mengetahui nilai  $\tau_{crd}$  maka terlebih dahulu harus mengetahui nilai  $\psi_{cr}$  yang dapat dibaca dari diagram Shields dengan memasukkan nilai  $Re^*$  yang dirumuskan sebagai berikut :

$$Re^* = \frac{U^* D}{\nu} \quad (12)$$

$$U^* = \sqrt{g.H.I}$$

$$\psi_{cr} = \frac{\tau_{cr}}{(\rho_s - \rho_a).g.D}$$

$$\tau_{crd} = \psi_{cr} (\rho_s - \rho_a).g.D$$

Namun demikian, untuk kemudahan dan keamanan desain dengan memperhatikan variasi nilai  $\rho_s$ , ketidakteragaman butir batu dan kemungkinan terjadinya turbulensi aliran, maka dapat diambil harga  $\psi_{cr} = 0,03$

Keterangan:

$Re^*$  , Reynold Number

$\bar{U}^*$  , Kecepatan geser (m/s)

$D$  , Diameter rata-rata batuan (m)

$\nu$  , Kekentalan kinematik (m<sup>2</sup>/s)

$g$  , Percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

$H$  , Kedalaman air rata-rata sungai (m)

$I$  , Kemiringan dasar sungai

$\psi_{cr}$  , Gaya geser kritis

$\rho_s$  , Rapat massa batuan (ton/m<sup>3</sup>)

$\rho_a$  , Rapat massa air (ton/m<sup>3</sup>)

Nilai  $\tau_{crd}$  dapat dihitung dengan persamaan 11. Dengan nilai  $\theta$  yang didapat dari diagram yang membandingkan antara sudut geser dalam batuan ( $\theta$ ) dengan diameter rata-rata batuan ( $D$ ) dapat ditunjukkan pada Gambar 13.

## 6 Daya Dukung Tanah Dasar terhadap Beban Batu Curah

Berat sendiri batu curah akan memberikan tegangan pada tanah dasar sungai dan tebing sungai

$$\sigma = \gamma_{batu} \times h \quad (13)$$

Keterangan:

$h$  , Tinggi maksimum penumpukan batuan

$\gamma_{batu}$  , Berat volume batuan (kN/m<sup>3</sup>)

Tanah dasar harus cukup kuat menopang beban batu curah tersebut, bila tidak akan terjadi penurunan berlebihan atau amblesan pada tanah dasar.

Daya dukung *ultimate* ( $q_u$ ) tanah dasar dalam menopang timbunan batuan dapat dihitung berdasarkan persamaan daya dukung Terzaghi

$$q_u = c. N_c + 0,05 F_\gamma N_\gamma \quad (14)$$

Keterangan :

$q_u$  , Daya dukung ultimate tanah dasar

$c$  , Kohesi tanah dasar (kN/m<sup>2</sup>)

$N_c$  , Faktor daya dukung Terzaghi yang tergantung dari nilai sudut geser dalam ( $\theta$ ) tanah dasar

$F$  , Lebar dasar batu curah (m)

$N_\gamma$  , Faktor daya dukung Terzaghi yang tergantung dari nilai sudut geser dalam ( $\theta$ ) tanah dasar

Daya dukung *ultimate* ( $q_u$ ) untuk tanah dominan lunak

$$q_u = c. N_c \quad (15)$$

Faktor-faktor kapasitas daya dukung Terzaghi, harga  $N_c$ ,  $N_q$ , dan  $N_\gamma$  bisa didapatkan dari:

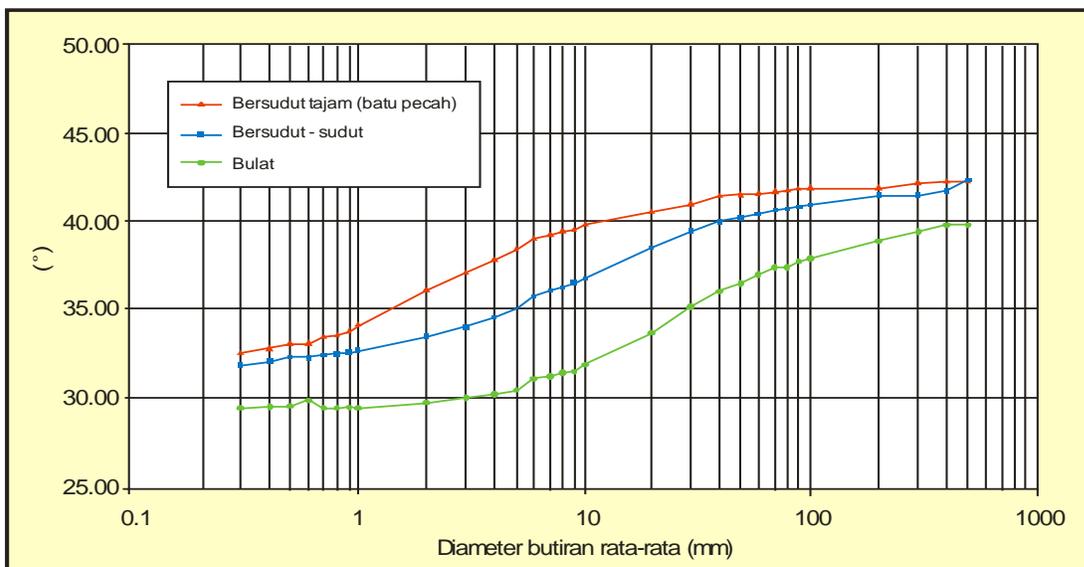
- 1) Cara analitis dengan memasukan harga  $\phi$  tanah pada persamaan 16.
- 2) Bantuan Tabel 1.
- 3) Cara grafis dapat ditunjukkan pada Gambar 14. Perlu diperhatikan bahwa pada cara grafis untuk  $\phi = 0$ , harga  $N_c = 5.40$ , dan  $N_\gamma = 0$

$$\left. \begin{aligned} N_q &= \frac{a^2}{2 \cos^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2}\right)} \\ a &= e^{\left(0.75\pi - \frac{\phi}{2}\right) \tan \phi} \\ N_c &= (N_q - 1) \cot g \phi \\ N_\gamma &= \frac{\tan \phi}{2} \left( \frac{Kp_\gamma}{\cos^2 \phi} - 1 \right) \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

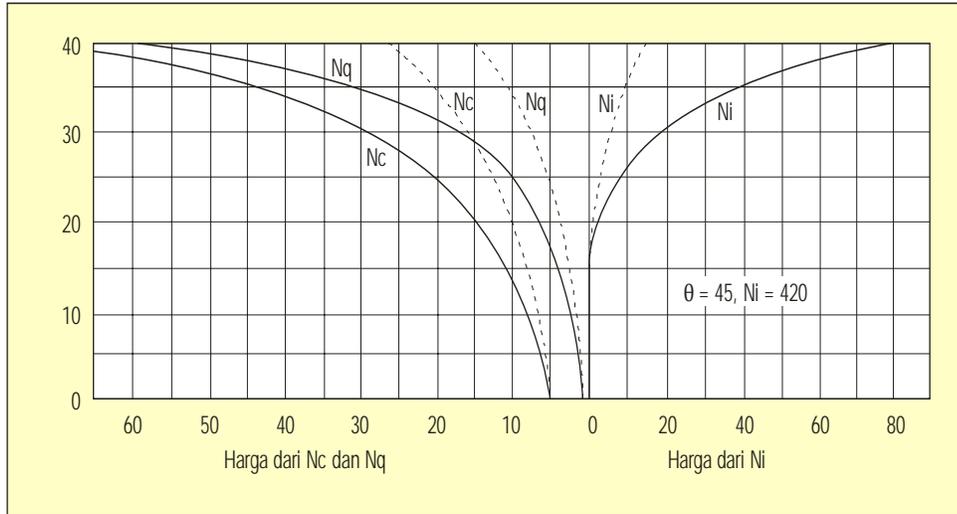
**Tabel 1** Faktor daya dukung Terzaghi

$\phi$ , deg	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$	$K_{p\gamma}$
0,00	5,70+	1,00	10,80	
5,00	7,30	1,60	0,50	12,20
10,00	9,60	2,70	1,20	14,70
15,00	12,90	4,40	2,50	18,60
20,00	17,70	7,40	5,00	25,00
25,00	25,10	12,70	9,70	35,00
30,00	37,20	22,50	19,70	52,00
34,00	52,60	36,50	35,00	
35,00	57,80	41,40	42,40	82,00
40,00	95,70	81,30	100,40	141,00
45,00	172,30	173,30	297,50	298,00
48,00	258,30	287,90	780,10	
50,00	347,50	415,10	1153,20	800,00

+ 15π +1



**Gambar 13** Diagram untuk menentukan sudut geser dalam



Gambar 14 Grafis Nilai Faktor Terzhagi

Nilai  $c$  dan  $\theta$  diperoleh dari uji kuat geser tanah dasar. Nilai  $\gamma$  diperoleh dari uji berat volume tanah di laboratorium. Sedangkan faktor daya dukung Terzaghi,  $N_c$  dan  $N_\gamma$  merupakan fungsi dari sudut geser dalam ( $\theta$ ) tanah.

### 7 Penurunan Tanah Saat Pencurahan

Penurunan tanah akibat beban material yang bekerja pada batu curah dapat diklasifikasikan kedalam 2 (dua) jenis yaitu: Penurunan Seketika (*Immediately Settlement*) dan Penurunan Konsolidasi (*Consolidation Settlement*). Penurunan tanah pada pelaksanaan konstruksi batu curah dapat dijadikan acuan untuk menghitung koreksi tambahan volume batuan, yaitu perkalian antara luas tanah yang akan ditimbun batuan dengan penurunan tanahnya.

Dalam memperhitungkan penurunan tanah akibat pencurahan batu yang penting adalah mengetahui besarnya tegangan tanah (*soil pressure*) yang bekerja pada lapis/massa tanah yang bersangkutan. Persamaan besarnya penurunan tanah total ( $S_t$ ) yang terjadi adalah:

$$S_t = S_i + S_c \quad (17)$$

$$S_i = q \cdot B \frac{1 - \mu^2}{E_s} I_w \quad (18)$$

$$S_c = S_{cp} + S_{cs} \quad (19)$$

Keterangan:

$S_t$  , Penurunan total (m)

$S_i$  , Penurunan seketika (m)

$S_c$  , Penurunan konsolidasi (m)

$S_{cp}$  , Penurunan konsolidasi primer (m)

$S_{cs}$  , Penurunan konsolidasi sekunder (m)

$q$  , Besarnya tegangan yang bekerja ( $N/m^2$ )

$B$  , Lebar area pembebanan (m)

$\mu$  , Poisson's Ratio, sebagaimana tabel 2.

$E_s$  , Modulus elastisitas tanah ( $N/m^2$ ), dapat dilihat pada tabel 3.

$I_w$  , Faktor pengaruh tergantung dari bentuk pembebanan

Karena konstruksi batu curah memiliki bentuk yang tidak beraturan, maka nilai  $B$  dapat dihitung per 1 m lebar dan  $I_w$  dapat diasumsikan 1.

Tabel 2 Harga Poisson's Ratio menurut jenis tanah

Jenis Tanah	Harga Poisson's Ratio ( $\mu$ )
Pasir lepas	0,20 – 0,40
Pasir agak padat	0,25 – 0,40
Pasir Padat	0,30 – 0,45
Pasir berlanau	0,20 – 0,40
Lempung lembek	0,15 – 0,25
Lempung agak kaku	0,20 – 0,50

Sumber : Braja M. Das (1985)

Tabel 3 Modulus Elastisitas Tanah

Jenis Tanah	Modulus Elastisitas Tanah	
	$E_s$ (Mpa)	$E_s$ rata-rata (Mpa)
Lempung Sangat Lunak	2,00 – 15,00	6,50
Lempung Sedang	15,00 – 50,00	32,50
Lempung Sangat Keras	50,00 – 100,00	75,00
Lanau	2,00 – 20,00	9,00
Pasir Lepas	10,00 – 25,00	12,50
Pasir Padat	50,00 – 81,00	65,00

Sumber : Bowles, J.E (1988)

Penurunan konsolidasi ada dua macam, yaitu: penurunan konsolidasi primer dan penurunan konsolidasi sekunder. Penurunan tanah konsolidasi sekunder adalah penurunan tanah konsolidasi yang terjadi pada akhir konsolidasi primer (yaitu setelah tekanan air pori sama dengan nol) dan berlangsung dalam waktu yang cukup lama, sebagai akibat dari penyesuaian plastis butiran tanah sehingga dalam perhitungan koreksi penambahan volume batuan batu curah, penurunan konsolidasi sekunder tidak diperhitungkan.

Penurunan tanah konsolidasi primer di bedakan menjadi dua yaitu : kondisi tanah normal konsolidasi dan kondisi tanah over konsolidasi.

Penurunan konsolidasi primer kondisi normal konsolidasi:

$$S_{cp} = \frac{C_c \cdot H}{1 + eo} \left( \log \frac{P_o + \Delta P}{P_o} \right) \quad (20)$$

Penurunan konsolidasi primer kondisi over konsolidasi :

1 Untuk  $P_o + \Delta P \leq P_c$

$$S_{cp} = \frac{C_r \cdot H}{1 + eo} \left( \log \frac{P_o + \Delta P}{P_o} \right) \quad (21)$$

2 Untuk  $P_o + \Delta P > P_c$

$$S_{cp} = \frac{C_r \cdot H}{1 + eo} \left( \log \frac{P_c}{P_o} \right) + \frac{C_c \cdot H}{1 + eo} \left( \log \frac{P_o + \Delta P}{P_c} \right) \quad (22)$$

Perhitungan Indeks Pemampatan ( $C_c$ ) menurut Terzaghi dan Peck (1967) adalah sebagai berikut:

1 Untuk lempung yang struktur tanahnya belum rusak (*undisturbed*)

$$C_c = 0,009 (LL - 10) \quad (23)$$

2 Untuk lempung terbentuk kembali (*remolded*)

$$C_c = 0,007 (LL - 10) \quad (24)$$

Keterangan:

$\Delta P$  , Tambahan tegangan (N/m<sup>2</sup>)

$eo$  , Angka pori

$C_c$  , Indeks pemampatan

$P_o$  , Tekanan efektif overburden (N/m<sup>2</sup>)

$C_r$  , Indeks pemuai,  $C_r = 1/5 C_c$  s.d.  $1/10 C_c$

$H$  , Tinggi lapisan yang terkonsolidasi (m)

$P_c$  , Tegangan pra-konsolidasi (N/m<sup>2</sup>)

$LL$  , Batas cair (%)

## 8 Pelaksanaan konstruksi batu curah

Pelaksanaan konstruksi batu curah pada dasarnya bersifat kondisional, maka harus disesuaikan dengan situasi dan kondisi tebing sungai yang akan dilindungi. Terkait dengan sifat pekerjaan dilapangan pelaksanaan konstruksi batu curah dibedakan menjadi dua yaitu pelaksanaan

dalam kondisi normal dan pelaksanaan yang bersifat darurat.

Hal-hal yang harus diperhatikan sebelum pelaksanaan konstruksi batu curah adalah sebagai berikut:

1 Pada sungai yang tanah dasarnya keras dapat menggunakan batuan dengan rapat massa besar sebagai bahan batu curah. Namun, pada sungai dengan tanah dasar yang lunak lebih baik menggunakan batuan dengan rapat massa kecil karena bila tanah dasar sungai tidak kuat, maka akan dapat menyebabkan terjadinya amblesan timbunan batu curah. Selain itu dapat juga dilakukan dengan cara menghamparkan lapisan pendistribusi tegangan sebelum dilakukan penumpukan batu. Lapisan ini dapat berupa gabungan *geo-grid* dan *geo-synthetic filter*.

2 Tebal batu curah pada permukaan lereng harus cukup kuat menahan gaya geser akibat gerakan tanah, terutama saat terjadinya *rapid drawdown* (kondisi surut cepat setelah terjadinya banjir). Ketebalan batu curah yang dipasang pada tebing sungai tidak boleh mengakibatkan bertambahnya beban lereng.

3 Diperlukan perhitungan daya dukung tanah dasar sungai untuk dapat memprediksi kekuatan tanah dalam menahan beban batu curah. Jika daya dukung tanah dasar sungai terlampaui maka akan mengakibatkan batu curah tidak stabil. Dalam kondisi ini dapat dilakukan upaya peningkatan daya dukung tanah pondasi dengan struktur *geo-grid* untuk meratakan beban.

4 Pemasangan batu curah harus dimulai dari bawah (dari dasar tebing sungai terlebih dahulu).

5 Pelaksanaan konstruksi batu curah sebaiknya dilaksanakan pada saat musim kemarau (pada kondisi muka air sungai rendah) agar mempermudah pelaksanaan pekerjaan.

Secara umum tahapan pelaksanaan konstruksi batu curah pada kondisi normal adalah sebagai berikut:

1 Membuat jalan kerja serta mempersiapkan lokasi pelaksanaan konstruksi batu curah. Pembuatan jalan kerja dan persiapan lokasi bertujuan untuk mempermudah pekerjaan serta memperlancar mobilisasi truk pengangkut material, pekerja, maupun alat-alat berat ke lokasi konstruksi batu curah.

2. Persiapan tebing sungai yang akan dilindungi. Persiapan tebing sungai yang akan dilindungi meliputi pekerjaan pembersihan tebing sungai. Pembersihan tebing sungai dilakukan dengan maksud untuk membersihkan tebing sungai dari benda-benda yang dapat mengurangi kekuatan konstruksi batu curah dikemudian hari seperti; batang kayu, sampah, tumbuh-tumbuhan, dan sebagainya.
3. Pencurahan batu curah. Tahapan dalam pencurahan batu curah adalah sebagai berikut :
  - 1) Menyiapkan lokasi pencurahan dengan memberi papan kayu atau plat baja pada permukaan tanah yang nantinya akan digunakan sebagai pijakan truk pengangkut material. Hal ini dilakukan hanya jika permukaan tanah tempat pencurahan tidak cukup kuat menahan beban truk pengangkut material.
  - 2) Membawa truk yang berisi material ke bibir tebing sungai yang akan dilindungi dengan posisi truk membelakangi sungai.
  - 3) Mencurahan batu dengan kemiringan bak truk berkisar antara 30-40 derajat.
  - 4) Pencurahan dilakukan secara bertahap dimulai dengan mengisi sepanjang bagian kaki tebing sungai terlebih dahulu.
4. Merapikan batu yang telah dicurahan agar sesuai dengan kemiringan tebing yang telah direncanakan. Jika batu yang digunakan memiliki ukuran dan rapat massa yang besar, maka untuk merapikan konstruksi batu curah dapat menggunakan alat berat seperti *backhoe*. Namun, jika batu yang digunakan memiliki ukuran dan rapat massa yang kecil, maka dapat menggunakan tenaga manusia.
5. Melakukan pengontrolan terhadap konstruksi batu curah, apakah sudah mengisi seluruh bagian tebing yang akan dilindungi atau belum.

Gambar pelaksanaan pekerjaan pelindung tebing sungai dengan batu curah dapat dilihat pada lampiran 1 s.d. 4.

Pelaksanaan konstruksi batu curah pada kerusakan tebing sungai yang bersifat darurat dilakukan dalam situasi mendesak/darurat yaitu pada kondisi tebing sungai yang bermasalah harus segera ditangani dengan berbagai alasan sebagai berikut:

1. Tebing sungai yang mengalami kerusakan berada di daerah kawasan pemukiman yang berpotensi menimbulkan korban jiwa dan kerugian materi yang besar.
2. Tebing sungai yang bermasalah berdekatan dengan jembatan, jalan, atau fasilitas pelayanan publik yang vital, yang berpotensi

menghambat akses transportasi dan kegiatan ekonomi atau aktivitas penting masyarakat.

3. Tebing sungai yang mengalami kerusakan parah, apabila tidak segera ditangani dikhawatirkan akan semakin meluas kerusakannya.

Pelaksanaan konstruksi batu curah yang bersifat darurat dapat dilakukan dengan tahap-tahap sebagai berikut:

1. Melakukan pengukuran. Pengukuran dilakukan secara sederhana, misalnya menggunakan meteran ulur, untuk memastikan dimensi lahan yang mengalami kerusakan atau pada kawasan tebing yang akan dilindungi.
2. Memperkirakan kebutuhan volume batu curah. Perkiraan volume batu curah yang dibutuhkan berdasarkan dimensi lahan yang rusak atau lahan yang akan dilindungi.
3. Membersihkan tebing sungai yang akan diberi batu curah. Pembersihan tebing sungai dari benda-benda yang dapat mengurangi kekuatan konstruksi batu curah dikemudian hari seperti; batang kayu, sampah, tumbuh-tumbuhan, sisa akar tanaman, dan sebagainya.
4. Pencurahan batu curah. Pencurahan batu curah dilaksanakan sesuai pekerjaan pencurahan yang telah dijelaskan sebelumnya pada pelaksanaan normal. Mengenai pekerjaan merapikan konstruksi batu curah tidak perlu dilakukan karena batu yang telah dicurahan lama-kelamaan akan mencari keseimbangannya sendiri selama umur bangunan.
5. Melakukan pemeriksaan berkala terhadap konstruksi batu curah terpasang. Pemeriksaan berkala, misalnya sebulan atau beberapa bulan setelah pemasangan, dimaksudkan untuk mengetahui apakah seluruh bagian tebing yang akan dilindungi sudah terisi semua dengan batu curah atau belum. Pemeriksaan dilakukan dengan cara sederhana yaitu dengan mengamati kemungkinan penurunan karena lapisan tanah terlalu lunak, penggerusan tanah dasar, longsor, atau terjadinya kerusakan baru yang memerlukan penanganan cepat. Parameter-parameter kondisi dan penanganan tebing sungai dapat dilihat pada tabel 4, 5, dan 6.

**Tabel 4** Parameter tingkat kerusakan berat tebing sungai

Tingkat Kerusakan	Parameter Penilaian	Besarnya Penilaian	Dampak/ Pengaruh		Jenis Penanganan
			Keselamatan Umum	Geometri Sungai	
BERAT	Kelandaian Tebing Kualitas Tanah Panjang Kerusakan	Curam > 30° Lunak > 250 m	Berpengaruh	Berpengaruh	Penanganan Darurat
	Kelandaian Tebing Kualitas Tanah Panjang Kerusakan	Curam > 30° Lunak > 250 m	Tidak Berpengaruh	Berpengaruh	Penanganan Darurat
	Kelandaian Tebing Kualitas Tanah Panjang Kerusakan	Curam > 30° Lunak > 250 m	Berpengaruh	Tidak Berpengaruh	Penanganan Darurat
	Kelandaian Tebing Kualitas Tanah Panjang Kerusakan	Curam > 30° Lunak > 250 m	Tidak Berpengaruh	Tidak Berpengaruh	Penanganan Normal
	Kelandaian Tebing Kualitas Tanah Panjang Kerusakan	Curam > 30° Keras > 250 m	Berpengaruh	Berpengaruh	Penanganan Darurat
	Kelandaian Tebing Kualitas Tanah Panjang Kerusakan	Curam > 30° Keras > 250 m	Tidak Berpengaruh	Berpengaruh	Penanganan Darurat
	Kelandaian Tebing Kualitas Tanah Panjang Kerusakan	Curam > 30° Keras > 250 m	Berpengaruh	Tidak Berpengaruh	Penanganan Darurat
	Kelandaian Tebing Kualitas Tanah Panjang Kerusakan	Curam > 30° Keras > 250 m	Tidak Berpengaruh	Tidak Berpengaruh	Penanganan Normal

**Tabel 5** Parameter tingkat kerusakan sedang tebing sungai

Tingkat Kerusakan	Parameter Penilaian	Besarnya Penilaian	Dampak/ Pengaruh		Jenis Penanganan
			Keselamatan Umum	Geometri Sungai	
SEDANG	Kelandaian Tebing Kualitas Tanah Panjang Kerusakan	Curam > 30° Lunak > 100 - 250 m	Berpengaruh	Berpengaruh	Penanganan Darurat
	Kelandaian Tebing Kualitas Tanah Panjang Kerusakan	Curam > 30° Lunak > 100 - 250 m	Tidak Berpengaruh	Berpengaruh	Penanganan Darurat
	Kelandaian Tebing Kualitas Tanah Panjang Kerusakan	Curam > 30° Lunak > 100 - 250 m	Berpengaruh	Tidak Berpengaruh	Penanganan Darurat
	Kelandaian Tebing Kualitas Tanah Panjang Kerusakan	Curam > 30° Lunak > 100 - 250 m	Tidak Berpengaruh	Tidak Berpengaruh	Penanganan Normal
	Kelandaian Tebing Kualitas Tanah Panjang Kerusakan	Curam > 30° Keras > 100 - 250 m	Berpengaruh	Berpengaruh	Penanganan Darurat
	Kelandaian Tebing Kualitas Tanah Panjang Kerusakan	Curam > 30° Keras > 100 - 250 m	Tidak Berpengaruh	Berpengaruh	Penanganan Darurat
	Kelandaian Tebing Kualitas Tanah Panjang Kerusakan	Curam > 30° Keras > 100 - 250 m	Berpengaruh	Tidak Berpengaruh	Penanganan Darurat
	Kelandaian Tebing Kualitas Tanah Panjang Kerusakan	Curam > 30° Keras > 100 - 250 m	Tidak Berpengaruh	Tidak Berpengaruh	Penanganan Normal

**Tabel 6** Parameter tingkat kerusakan ringan tebing sungai

Tingkat Kerusakan	Parameter Penilaian	Besarnya Penilaian	Dampak/ Pengaruh		Jenis Penanganan
			Keselamatan Umum	Geometri Sungai	
RINGAN	Kelandaian Tebing Kualitas Tanah Panjang Kerusakan	Landai < 30° Lunak < 100 m	Berpengaruh	Berpengaruh	Penanganan Normal
	Kelandaian Tebing Kualitas Tanah Panjang Kerusakan	Landai < 30° Lunak < 100 m	Tidak Berpengaruh	Berpengaruh	Penanganan Normal
	Kelandaian Tebing Kualitas Tanah Panjang Kerusakan	Landai < 30° Lunak < 100 m	Berpengaruh	Tidak Berpengaruh	Penanganan Normal
	Kelandaian Tebing Kualitas Tanah Panjang Kerusakan	Landai < 30° Lunak < 100 m	Tidak Berpengaruh	Tidak Berpengaruh	Penanganan Normal
	Kelandaian Tebing Kualitas Tanah Panjang Kerusakan	Landai < 30° Keras < 100 m	Berpengaruh	Berpengaruh	Penanganan Normal
	Kelandaian Tebing Kualitas Tanah Panjang Kerusakan	Landai < 30° Keras < 100 m	Tidak Berpengaruh	Berpengaruh	Penanganan Normal
	Kelandaian Tebing Kualitas Tanah Panjang Kerusakan	Landai < 30° Keras < 100 m	Berpengaruh	Tidak Berpengaruh	Penanganan Normal
	Kelandaian Tebing Kualitas Tanah Panjang Kerusakan	Landai < 30° Keras < 100 m	Tidak Berpengaruh	Tidak Berpengaruh	Penanganan Normal

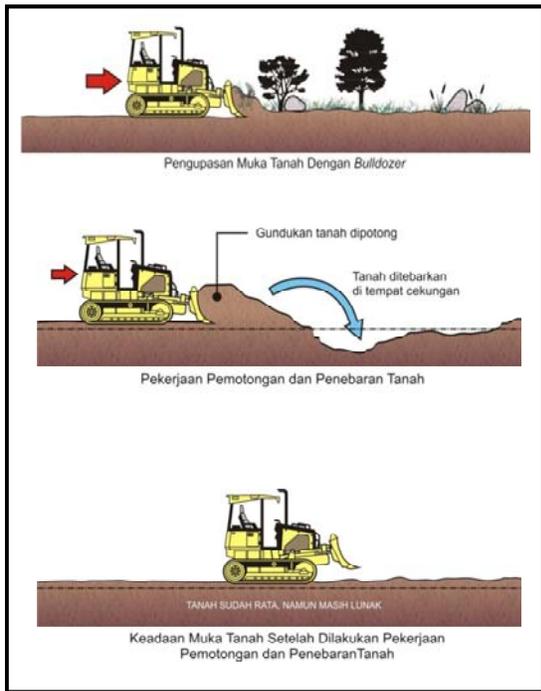
## KESIMPULAN

Stabilitas pelindung tebing dengan batu curah dipengaruhi oleh adanya gaya seret aliran sungai dan daya dukung tanah dasar. Dalam pelaksanaan konstruksi batu curah harus memperhitungkan mengenai stabilitas batu curah agar setelah dilaksanakan dapat berperan maksimal dalam mengatasi kerusakan tebing sungai. Pada kondisi yang darurat, pelaksanaan konstruksi batu curah dapat dilakukan tanpa perencanaan yang terlalu detail. Pelindung tebing sungai dengan batu curah sangat mudah dilaksanakan, sehingga pembangunannya dapat dilakukan secara swadaya oleh masyarakat.

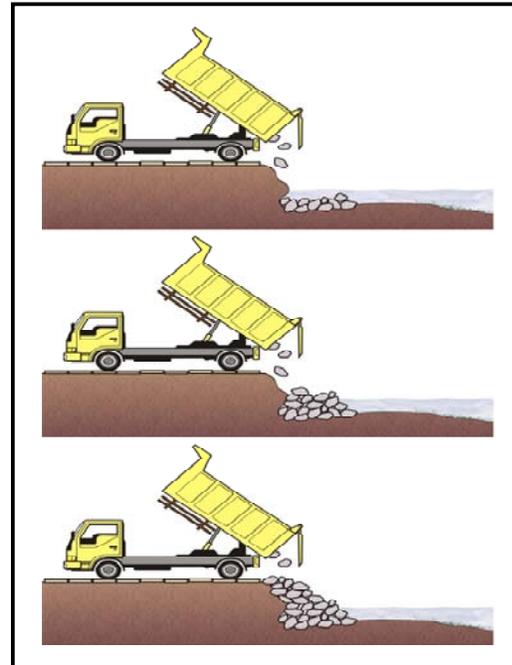
## DAFTAR PUSTAKA

- Balai Sungai. 2003. *Modul Pengamanan Sungai*. Pusat Litbang Sumber Daya Air. Bandung.
- Budi Santoso, dkk. 2004. *Pemantauan Evaluasi Prototip Dump Stone Sebagai Pelindung Tebing Sungai*. Balai Sungai, Pusat Litbang Sumber Daya Air. Bandung.
- Detpartemen Pekerjaan Umum. 1987. *Petunjuk Penanggulangan Longsoran*. Yayasan Badan Penerbit PU.
- Irwan Syafri, dkk. 2001. *Penelitian Penerapan Teknologi Perlindungan Tebing Sungai Dengan Dumpstone*. Balai Sungai, Pusat Litbang Sumber Daya Air. Bandung.
- Josep E Bowles. 1988. *Foundation Design and Analysis*. Printice Hall. New York.
- Rahardjanto, dkk. 2003. *Penelitian Dumpstone dan Broken Rocks Sebagai Pelindung Tebing Sungai*. Balai Sungai, Pusat Litbang Sumber Daya Air. Bandung.
- Rukiyati, dkk. 2002. *Pengkajian Dumpstone sebagai Pelindung Tebing Sungai*. Balai Sungai, Pusat Litbang Sumber Daya Air. Bandung.
- Stephenson, David. 1979. *Rockfill in Hydraulic Engineering*. Elseiver Scientific Publishing Company. Amsterdam-Oxford-New York.
- Suyono Sosrodarsono. *Hidraulika II*. Beta Offset. Yogyakarta.
- Wesley L.D. 1977. *Mekanika Tanah*. Badan Penerbit Pekerjaan Umum. Jakarta Selatan.
- Yiniarti, Ir. Dipl. HE. *Hidraulika Sungai Dan Angkutan Sedimen (River Hydraulic and Sediment Transport)*. Pusat Litbang Sumber Daya Air. Bandung.

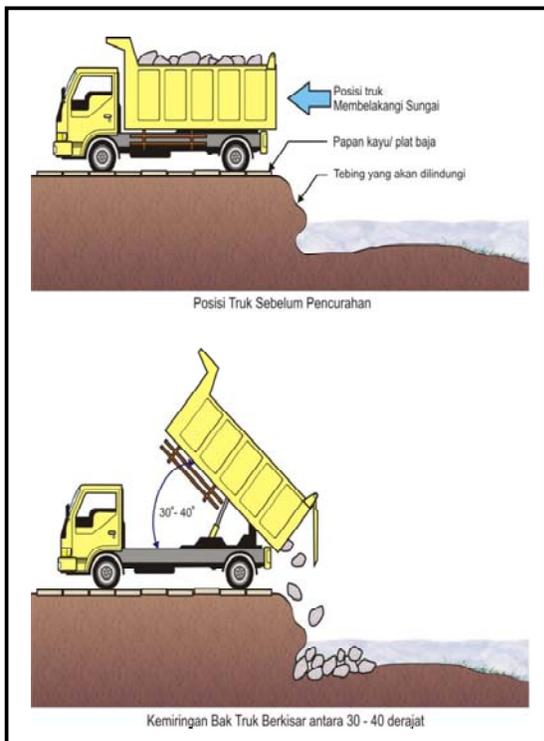
LAMPIRAN



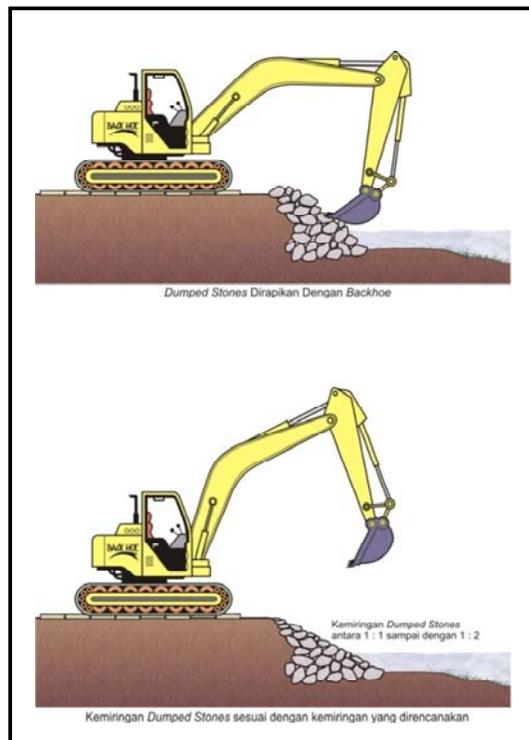
Lampiran 1 Gambar Pekerjaan pembersihan, pemotongan dan penebaran tanah



Lampiran 3 Gambar Pencurahan batu dimulai dengan mengisi sepanjang kaki tebing sungai.



Lampiran 2 Gambar Pekerjaan pencurahan batu.



Lampiran 4 Gambar Pekerjaan perapian konstruksi batu curah dengan backhoe.