

# MODEL PERENCANAAN BANGUNAN SABO UNTUK PENGENDALIAN ALIRAN DEBRIS (*DEBRIS FLOW*)

I Made Udiana <sup>\*)</sup>

## ABSTRAK

Pengembangan aplikasi teknologi Sabo untuk pengendalian aliran sedimen di Indonesia tidak terbatas hanya di daerah vulkanik saja, akan tetapi juga di daerah non vulkanik. Model perencanaan sabo untuk pengendalian aliran debris (*debris flow*) ini merupakan suatu model perencanaan Sabo yang diatur untuk melindungi sasaran yang berpencair atau tersebar memanjang di daerah hilir sungai kecil.

Metode yang digunakan untuk memformulasikan Perencanaan Sabo (pengendalian sedimen) agar dapat mengurangi akibat bencana tersebut yaitu: metode kuantitatif dan metode kualitatif. Hasil kajian menunjukkan, bahwa : (1) Untuk penanggulangan aliran debris (pasir dan krikil) adalah dengan bangunan Sabo; (2) Aliran debris disebabkan oleh pengaliran air yang berlangsung pada permukaan lapisan endapan pada dasar sungai; (3) Untuk memformulasikan Perencanaan Sabo suatu DAS tertentu, mula-mula harus ditentukan suatu titik referensi (*Sabo Basic Point*); (4) Penentuan skala perencanaan pengendalian sedimen sangat tergantung pada jenis sumber, cara estimasi sedimen yang mengalir dan tingkat bahayanya; (5) Prinsip perencanaan Sabo adalah membuang sejumlah material debris/sedimen yang mengalir sepanjang sungai di daerah hilir; (6) Fasilitas bangunan Sabo yang dapat diterapkan untuk pengendalian sedimen meliputi: dam pengendali, tanggul, kantong pasir, saluran pengatur kanal, tanggul terbuka dan perlindungan tebing.

Kata kunci: Sabo, aliran debris, perencanaan, pengendalian

## I. PENDAHULUAN

Di Indonesia akhir-akhir ini semakin banyak terdengar berita tentang besarnya potensi kejadian bencana alam sedimen seperti terjadinya tanah-tanah longsor di beberapa tempat, baik di Jawa maupun di luar Jawa, yang sering menimbulkan korban jiwa yang tidak sedikit serta kerugian moril dan materiil yang cukup besar.

Tanah longsor adalah gerakan tanah, merupakan kejadian alam yang menyangkut perpindahan massa tanah atau batuan pada arah tegak, mendatar atau miring dari kedudukan semula. Longsoran tanah kalau bercampur air (air hujan atau air sungai), dapat bergerak menjadi aliran rombakan tanah/aliran debris (*debris flow*), seperti Lahar di Jawa, Galodog di Sumatra dan sebagainya.

Untuk menanggulangi ataupun kalau bisa mencegah terjadinya bencana tanah longsor, sangat sulit dilakukan apalagi penanggulangan/pengendalian aliran debris yang menyangkut permasalahan yang sangat kompleks. Penanggulangan dan pengendalian tanah longsor di Indonesia dimulai dari PELITA I menerapkan cara "*SABO WORK*" terutama pada proyek-proyek penanggulangan bencana alam akibat letusan gunung api.

---

<sup>\*)</sup> Dosen Teknik Sipil FST Undana

Pengembangan aplikasi teknologi Sabo untuk pengendalian aliran sedimen di Indonesia tidak terbatas hanya di daerah vulkanik saja, akan tetapi juga di daerah non vulkanik. Model perencanaan Sabo untuk pengendalian aliran debris (*debris flow*) ini merupakan suatu model perencanaan Sabo yang diatur untuk melindungi sasaran yang berpencar atau tersebar memanjang di daerah hilir sungai kecil.

## II. PENGKAJIAN

### Bangunan Sabo

Sabo suatu terminologi teknik berasal dari bahasa Jepang, yaitu Sa = *Sand* = pasir dan bo = pengendali, jadi Sabo adalah pengendali pasir, dimana Sabo dalam pengertian secara luas berarti *erosion and sediment control works* atau pekerjaan pengendalian erosi dan sedimentasi. Istilah Bangunan Sabo berarti bangunan untuk penanggulangan pasir dan krikil yang pada hakekatnya merupakan usaha untuk mencegah lahan pegunungan terhadap kerusakan akibat erosi, melindungi penduduk dan infrastruktur di bagian hilir terhadap bencana akibat erosi dan sedimentasi sesuai Foto 1.



Foto 1. Bangunan Sabo

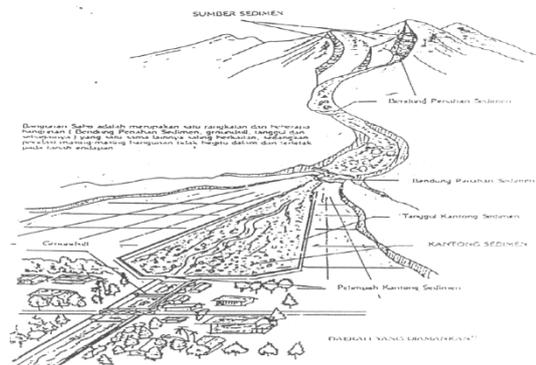
### Fasilitas Bangunan Sabo

Ada berbagai macam fasilitas bangunan Sabo yang dapat diterapkan untuk pengendalian sedimen mulai dari sumber sedimen, aliran sedimen sampai pengendapan sedimen sesuai Gambar 1, antara lain meliputi:

- a. Dam pengendali (*sabo dam*) yang berfungsi: memperlandai kemiringan dasar sungai, sehingga mengurangi kecepatan aliran dan mencegah terjadinya erosi vertikal, mengatur arah aliran untuk mencegah terjadinya erosi lateral, menstabilkan kaki bukit untuk mencegah terjadinya longsorn lereng bukit dan

menahan dan mengendalikan sedimen yang akan mengalir ke hilir dengan mengurangi debit puncak.

- b. Tanggul (*training dike*) yang berfungsi: mencegah aliran Debris menuju tempat yang aman dan mencegah limpasan debris, sehingga harus mempunyai kapasitas tampang yang cukup untuk mengalirkan debit puncak.
- c. Kantong pasir (*sand pocket*) yang berfungsi menampung dan membatasi penyebaran aliran Debris.
- d. Saluran pengatur kanal (*channel works*) yang berfungsi: untuk meluruskan alur, sehingga mempercepat aliran debris menuju ke arah hilir tanpa menimbulkan kerusakan.
- e. Tanggul terbuka (*levees*) yang berfungsi: untuk mengendalikan arah aliran supaya tetap melalui alur yang tersedia, tidak melimpas menuju arah yang tidak dikehendaki.
- f. Perlindungan tebing (*bank protection*) yang berfungsi: untuk melindungi tebing dari ancaman erosi.



**Gambar 1. Fasilitas Bangunan Sabo**

### **Aliran Debris**

Aliran debris adalah suatu fenomena dari gerakan sedimen yang berada di tebing gunung atau pada lembah dengan kemiringan lebih dari  $15^\circ$  dan disebabkan oleh hujan di daerah *torrent* atau akibat salju. Aliran air yang bercampur batu, tanah, pasir dan batang kayu mengalir dengan kecepatan tinggi dan mempunyai daya rusak yang besar. Bencana aliran debris sangat berbahaya dapat merusak rumah, sawah, jalan dan bangunan lain bahkan menghilangkan jiwa manusia. Meskipun berbagai cara komputer telah diterapkan pada penelitian gerakan tanah, pada saat ini belum dapat diperoleh cara setepat-tepatnya yang dapat memenuhi persyaratan untuk keperluan pelaksanaan

bangunan teknik. Untuk lingkungan yang lebih longgar, pada dasarnya masalah peramalan gerakan tanah didekati dengan memanfaatkan gagasan.

Gerakan tanah paling sedikit dikuasai oleh lima peubah/variabel, yaitu antara lain: batuan, lereng, penggunaan lahan, curah hujan dan gempa, secara umum persamaan dapat ditulis sebagai berikut:

$$Y = (B, L, T, H, G) \dots\dots\dots(1).$$

Di mana :

- Y = gerakan tanah
- B = batuan, yang meliputi: jenis, struktur batuan.
- L = lereng, dalam arti derajat kemiringan medan.
- T = penggunaan lahan (termasuk tanamannya).
- H = faktor hidrologi (curah hujan).
- G = faktor gempa

B, L dan T dapat kita anggap peubah tak bebas, H dan G kita anggap peubah bebas.

Bangunan Sabo untuk mencegah atau mengurangi bencana aliran debris, antara lain bangunan dam penahan sedimen (*check dam*), konstruksi ”*gravity sabo dam*” dari beton, pasangan batu dan dam terbuka baja (*open dam steel*). Konstruksi ini cukup mahal dan memerlukan waktu lama dalam pembangunannya pada seluruh daerah yang diperkirakan akan mendapat bahaya dari aliran debris.

### **Sumber Aliran Debris**

#### 1. Hujan yang deras

Pada waktu musim hujan dengan hujan yang deras di daerah hulu, akan terjadi pula aliran yang besar dan akan membawa atau mengangkut rombakan dari longsoran tersebut ke daerah yang lebih rendah/hilirnya. Yang patut diwaspadai pada kondisi ini adalah apabila musim hujan, curah hujan 70 mm/jam, jika ada gejala-gejala seperti : hujan turun, tetapi air sungai surut dan ada beberapa batang pohon dan kayu yang hanyut di sungai.

#### 2. Longsoran

Terjadinya longsoran-longsoran pada tebing yang terjal (misalnya tebing-tebing sungai yang terjal), sehingga terjadi pembendungan pada sungai, yang merupakan kolam/empang. Akibat hujan, tekanan air terus bertambah, maka akan mengakibatkan terjadinya limpas atau bobol, bila pembendungan tersebut tidak

kuat menahan air (tekanan air), sehingga terjadi banjir bersama-sama rombakan tersebut.

3. Letusan gunung berapi

Indonesia terletak pada deretan zona vulkanik aktif Trans Asiatik dan Sirkum Pasifik yang merupakan sumber bencana alam aliran debris. Adanya aktivitas gunung berapi menyebabkan timbunan bebatuan dan tanah di atas gunung menjadi runtuh dan akan terus turun bersama air hujan melalui aliran sungai dan menjadi aliran debris. Terjadinya letusan gunung api, magma yang keluar dari kepundan/kawahnya merupakan rombakan batuan-batuan, sehingga terjadi akumulasi rombakan di daerah hulu. Bila terjadi hujan di daerah timbunan atau sebelah hulunya dan tergantung besar kecilnya curah hujan tersebut, maka akan terjadi proses gerakan debris/rombakan.

4. Gempa bumi

Gempa bumi dapat disebabkan oleh kegiatan gunung api dan gerakan patahan bumi. Adanya gempa bumi menyebabkan tanah bergetar, sehingga timbunan bebatuan dan tanah di atas gunung menjadi runtuh dan akan terus turun bersama air hujan melalui aliran sungai dan menjadi aliran debris.

**Proses Kejadian Aliran Debris**

Aliran debris disebabkan oleh pengaliran air yang berlangsung pada permukaan lapisan endapan pada dasar sungai, dengan memakai persamaan stabilitas pada kemiringan dasar sungai sembarang, Takahashi mengemukakan formula berikut ini (1977):

$$A \geq \frac{3,6}{r} \left[ \frac{8 \cdot g \cdot \sin \theta}{fr} \right]^{1/2} \cdot \left[ C * \left( \frac{\sigma}{\rho} - 1 \right) \cdot \left( \frac{\tan \phi}{\tan \theta} - 1 \right) - 1 \right]^{3/2} \cdot d^{3/2} \cdot B \dots\dots\dots(2).$$

**Sifat-Sifat Pengaliran pada Aliran Debris**

Pengaliran pada aliran Debris ditinjau sifat-sifat kecepatan aliran. Bagnold mempori studi kecepatan aliran rata-rata pada bagian depan dari aliran debris sebagai pengaliran yang menyebar dan menghasilkan persamaan semi empirik dari hasil percobaannya (a sin α adalah koefisien Bagnold). Menurut Takahashi dari percobaannya mendapatkan a sin α = 0,02

$$U = 2,8 \cdot [g \cdot \sin \theta]^{1/2} \cdot \left[ Cd + (1 - Cd) \cdot \frac{\rho}{\sigma} \right]^{1/2} \cdot \left[ \left( \frac{C *}{Cd} \right)^{1/3} - 1 \right] \cdot \frac{h^{3/2}}{d} \dots\dots\dots(3).$$

Rumus (3) diperoleh dari koefisien Bagnold  $a \sin \alpha = 0,02$ , didapat Kecepatan geser :

$$U = \sqrt{g \cdot h \cdot I} = (g \cdot h \cdot \tan \theta)^{1/2} \dots\dots\dots(4).$$

### **Perencanaan Sabo Untuk Pengendalian Debris Flow**

Perencanaan Sabo (*Sabo plan*) dilaksanakan untuk mendapatkan suatu karakteristik dari pada tingkat bencana yang timbul dan biasanya evaluasi dilakukan terhadap jumlah sedimen dan metode untuk mengontrolnya. Tetapi sebenarnya perencanaan Sabo harus mendukung rencana setempat dalam mengatasi masalah bencana sedimen dan memajukan aktivitas perekonomian setempat. Sehingga perencanaan Sabo harus dilakukan melalui proses yang sama seperti pada pekerjaan jalan, sungai, pelabuhan dan pekerjaan-pekerjaan umum lainnya.

Metode yang digunakan untuk memformulasikan perencanaan Sabo (pengendalian sedimen) agar dapat mengurangi akibat bencana tersebut ada dua metode, yaitu antara lain:

1. Metode Kuantitatif: penentuan banyaknya fasilitas bangunan Sabo yang direncanakan berdasarkan pada estimasi jumlah aliran sedimen yang merusakkan.
2. Metode Kualitatif : merencanakan fasilitas bangunan Sabo sepanjang sungai secara bertahap sedemikian rupa sebagai suatu rencana sementara (*provisional plan*) berdasar kondisi setempat dan karakteristik di lapangan, sambil dilaksanakan monitor terhadap fluktuasi dasar sungai, perubahan alur sungai, keamanan struktur bangunan yang sudah ada dan variasi alam yang lain.

Penentuan skala perencanaan pengendalian sedimen sangat tergantung pada jenis sumber sedimen, cara estimasi jumlah sedimen yang mengalir dan tingkat bahayanya. Estimasi jumlah sedimen yang mengalir untuk memformulasikan perencanaan fasilitas sabo dapat dilakukan dengan metode sebagai berikut:

- Debit sedimen yang mengalir dalam satu detik ( $m^3/dt$ ),
- Jumlah sedimen yang mengalir dalam satu kali banjir ( $m^3/satu$  kali banjir),
- Jumlah sedimen yang mengalir dalam satu tahun ( $m^3/satu$  tahun),
- Jumlah volume sedimen yang berpotensi mengalir dalam kurun waktu tertentu ( $m^3/satu$  kurun waktu).

Untuk itu ada tiga macam dalam perencanaan Sabo yang memperhatikan jangka waktu, karakteristik dan isi dari masing-masing rencana sesuai Tabel 1 di bawah ini.

**Tabel 1. Jangka Waktu, Karakteristik dan Isi Perencanaan Sabo**

Macam Rencana	Tahun Pencapaian Tujuan	Karakter Setiap Perencanaan	Isi Masing2 Perencanaan
Jangka Panjang	Setelah 20 tahun	- Rencana keseluruhan - Menjelaskan objeknya	- Rencana pengembangan perekonomian - Rencana pengembangan terpadu - Kepentingan pemerintah setempat dan masyarakatnya
Jangka Menengah	Setelah 10 tahun	- Perencanaan di dalam rencana keseluruhan - Untuk perlihatkan situasi kemajuan	- Menentukan besarnya investasi/jumlah uang ter tanam 10 tahun kedepan - Jumlah uang pada setiap proyek/awal buat model evaluasi efektivitas biaya
Jangka Pendek	Setelah 5 tahun	- Rencana nyata dalam perencanaan penting - Menentukan pekerjaan dilaksanakan	- Prioritas untuk jangka 5 tahun - Pemilihan tempat yang fisibel - Distribusi anggaran

Sumber: Proyek Pengembangan Teknik Sabo, 1987: 22.

Prinsip dasar dalam proses perencanaan Sabo dapat diurutkan sebagai Tabel 2 berikut:

**Tabel 2. Urutan Prinsip Dasar Dalam Proses Perencanaan Sabo**

Proses 1	: Berdasarkan permintaan suatu proyek Sabo, kita harus mengestimasi jumlah sedimen secara mendasar.
Proses 2	: Membuat suatu rencana pengaturan sedimen dengan evaluasi fungsi, rencana pengaturan dan penentuan prioritas.
Proses 3	: Proses evaluasi ekonomis untuk mengontrol kemungkinan keuntungan yang berkaitan dengan investasi yang tertanam.
Proses 4	: Meneliti biaya investasi untuk suatu daerah memenuhi atau tidak, dengan memperhatikan kemampuan biaya yang tersedia dalam proyek itu.
Proses 5	: Prioritas ditentukan setelah rencana tahunan dibuat berdasarkan proses 4 di atas, proses 1-5 disebut sebagai Perencanaan Dasar ( <i>Basic Plan</i> ).
Proses 6	: Menentukan ukuran dan detail bangunan pada setiap lokasi pelaksanaan proyek berdasarkan rencana pengaturan fasilitas dan survei Sabo.
Proses 7	: Survei detail dan geologi berdasarkan pada rencana pengaturan fasilitas dan survei sabo untuk mengkonfirmasi kemungkinan proses 6 di atas.
Proses 8	: Membuat desain pelaksanaannya berdasarkan hal-hal yang dikerjakan dalam kegiatan proses 6 dan proses 7 di atas.
Proses 9	: Membangun fasilitas bangunan Sabo berdasarkan kegiatan dari desain pelaksanaan pada kegiatan proses 8 di atas.
Proses 10	: Mengontrol efektivitas dari pada fasilitas Sabo terhadap kapasitas yang diharapkan semula sehingga setiap fasilitas memenuhi syarat.

Sumber: Proyek Pengembangan Teknik Sabo, 1987: 29.

Rangkaian proses dari 6 sampai 10 disebut “ Suatu rencana pelaksanaan “ dan hal ini dibedakan dari “ Suatu rencana dasar “.

## **Dasar Pemikiran Dalam Setiap Model Perencanaan Sabo**

Telah dijelaskan perlunya pengadaan model di dalam perencanaan jangka panjang, menengah dan menengah pada Tabel 1 dan Tabel 2, kita tambahkan beberapa penjelasan tentang proses secara umum produksi sedimen dan transportasi, fungsi fasilitas-fasilitas Sabo dan metode perencanaan pengendalian sedimen tanpa memperhatikan setiap model.

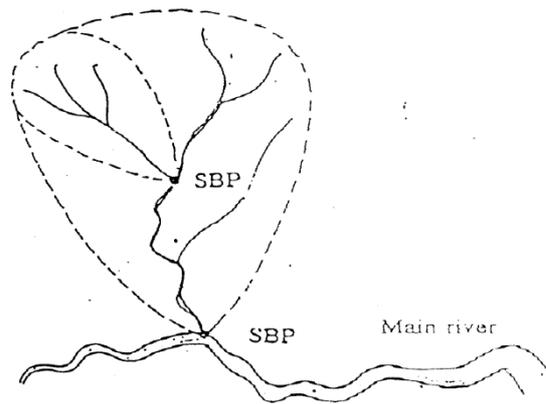
Apabila kita sementara waktu membuat rencana berdasar pada estimasi sedimen dan rencana penyebaran fasilitas yang telah disebutkan di atas, karakteristik daerah setempat harus cukup dipertimbangkan dan suatu model yang memadai harus dipilih dari beberapa model perencanaan. Karena bila kita membandingkan dua model, perencanaan Sabo untuk pengendalian aliran debris, kita dapatkan secara jelas kesamaan karakteristik dalam tujuan proyek Sabo tersebut, cara pembuatan perencanaan maupun metode evaluasi proyeknya. Akan dijelaskan tentang hal-hal yang perlu untuk dipertimbangkan bila kita akan membuat model.

### **Model Perencanaan Sabo Untuk Pengendalian Debris Flow**

Model perencanaan Sabo untuk pengendalian aliran debris (*debris flow*) ini merupakan suatu model perencanaan Sabo yang diatur untuk melindungi sasaran yang berpencar atau tersebar memanjang di daerah hilir sungai kecil. Tujuan tersebut dapat disesuaikan dengan kapasitas banjir yang ada dibagian hilir sungai. Biasanya semua fasilitas yang direncanakan terhadap aliran debris sungai yang berbahaya (62.272 buah sungai di Jepang pada saat ini), dihasilkan dari suatu kriteria survei yang dikaitkan dengan penanggulangan terhadap aliran debris.

Untuk memformulasikan perencanaan Sabo suatu DAS tertentu, mula-mula harus ditentukan suatu titik referensi/titik dasar Sabo yang disebut "*Sabo Basic Point*". *Sabo Basic Point (SBP)* adalah suatu titik di alur sungai yang dipergunakan sebagai titik dasar dalam menghitung jumlah sedimen yang harus dikendalikan di daerah sasaran sesuai Gambar 2. Titik di alur sungai yang dapat dipertimbangkan untuk dipilih sebagai *Sabo Basic Point* adalah:

1. Titik pertemuan sungai dengan cabangnya (*confluence point*),
2. Titik puncak kipas alluvial,
3. Titik limpasan (*overtopping pint*),
4. Titik peralihan antara daerah aliran debris dan aliran sedimen.

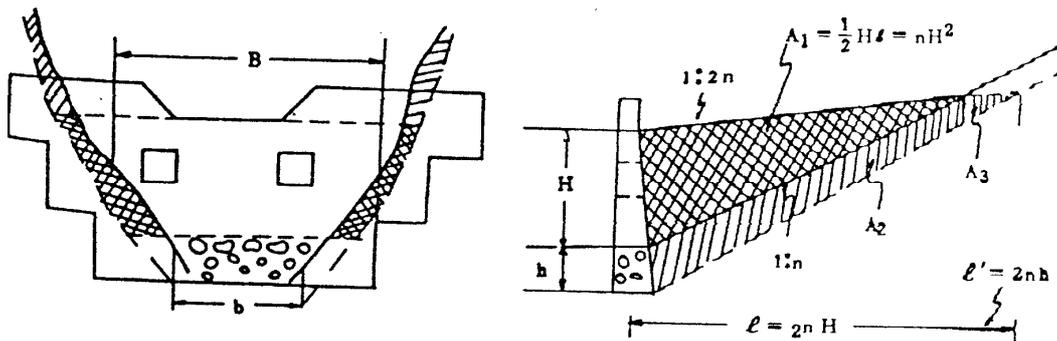


**Gambar 2. Titik Dasar Sabo (Sabo Basic Point)**

Jumlah sedimen dasar biasanya dalam sungai-sungai aliran debris yang berbahaya, bila kita memperhatikan, dimana koefisien aliran permukaan untuk jumlah produksi sedimen harus 1,0 di samping itu biasanya sulit untuk dapat menduga jumlah sedimen yang diatur dalam alur sungai di bagian hilir.

Sungai-sungai semacam ini biasanya termasuk dalam orde sungai pertama dan kedua, sehingga kita menetapkan jumlah sedimen yang diijinkan pada titik dasar (*basic point*) di hilir adalah D. Pada prinsipnya, volume desain dan volume kontrol diestimasi sebagai efektivitas dari pada fasilitas.

Volume efektif sedimen dari pada fasilitas harus diestimasi secara teliti dengan menggunakan peta survei detail. Dalam banyak kejadian volume tampungan (*storage volum*) dan volume desain dihitung dengan rumus sesuai Gambar 3.



**Gambar 3. Estimasi Volume Efektif Sedimen**

1. Volume Tampungan:

$$V_s = n.B.H^2 \dots\dots\dots(5).$$

2. Volume Dasain :

- a. Volume desain di dasar sungai ( $V_{rb}$ )

$$Vrb = (A2 + A3) \cdot b$$

$$= (2 \cdot n \cdot H \cdot h + n \cdot H^2) \cdot b$$

$$Vrb = n \cdot H \cdot (2 \cdot h + H) \cdot b \dots\dots\dots(6).$$

b. Volume desain di tebing sungai (Vrs)

$$Vrs = 2 \cdot n \cdot H^2 \cdot d \dots\dots\dots(7).$$

c. Total dari volume desain sabo (Vds)

$$Vds = Vrb + Vrs$$

$$= \{n \cdot H \cdot (2 \cdot h + H) \cdot b\} + 2 \cdot n \cdot H^2 \cdot d$$

$$Vds = n \cdot \{ H \cdot (2 \cdot h + H) \cdot b + 2 \cdot H^2 \cdot d\} \dots\dots\dots(8).$$

Apabila kita mengatur fasilitas di dalam sungai-sungai aliran debris yang berbahaya, pertama kali kita harus mengetahui karakteristik aliran debrisnya. Dan berdasarkan karakteristik tersebut kita harus mengatur fasilitas secara efektif.

Sebagai contoh, di daerah produksi sedimen yang cenderung terjadi aliran debris, ternyata sangat sulit untuk membuat jalan masuk karena kemiringan yang curam. Sehingga dalam pengaturan berbagai macam fasilitas tersebut juga sulit.

Baru-baru ini untuk tujuan pengurangan dan pengklasifikasian energy, kita membuat dam balok tipe A (*A-type beam*) atau dam kisi-kisi baja (*latticed steel dam*). Seperti terlihat dalam Foto 2 dan 3. Dan pada daerah bagian hilir dibangun dam sabo (*sabo-dam*) besar dengan kapasitas tampungan (*storage capacity*) yang besar. Kita kadang-kadang dapat mengarahkan arah aliran sedimen dengan *training levee* yang terbuat dari bronjong sederhana, di mana energinya telah cukup berkurang dan telah mencapai bagian pengendapan.

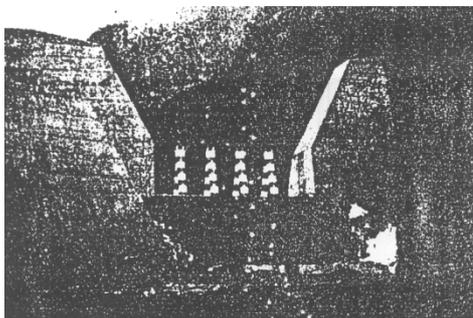


Foto 2

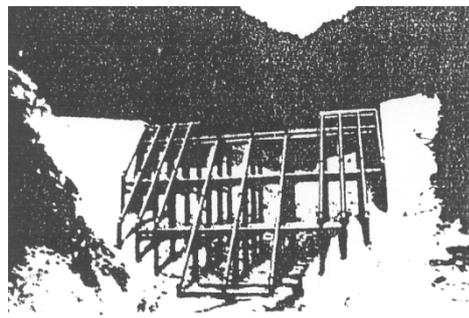


Foto 3

Di dalam menentukan prioritas pelaksanaan fasilitas terhadap aliran debris, kita harus membuat ranking prioritas secara kasar atas sungai yang menjadi sasaran. Untuk itulah

perlu indeks untuk memperlihatkan tingkat bahaya dengan mengombinasikan kuantitas dari objek yang dilindungi dan tingkat bahaya kejadian aliran debris.

Dalam Tabel 3 di bawah, maka A, B dan C diklasifikasikan tingkat kejadian aliran debris ke dalam tiga tingkatan, dan a, b dan c juga mengklasifikasikan rumah-rumah yang dilindungi ke dalam lebih dari 20 rumah, antara 10 dan 19 dan antara 5 dan 9.

**Tabel 3. Klasifikasi Tingkat bahaya dalam Daerah Aliran Debris**

Tingkat bahaya dari pada kejadiannya	Banyaknya rumah yang dilindungi		
	c 5 rumah sampai 9 rumah	b 10 rumah sampai 19 rumah	a lebih dari 20 rumah
A	Ac	Ab	Aa
B	Bc	Bb	Ba
C	Cc	Cb	Ca

Sumber: Proyek Pengembangan Teknik Sabo, 1987: 55.

Catatan:

- Untuk perencanaan sungai-sungai yang berbahaya pada saat ini, kurang dari 5 rumah tidak termasuk sasaran sebagai rumah yang dilindungi.
- Tingkat prioritas dari besar ke kecil: Aa, Ab, Ba, Bb, Ca, Ac, Cb, Bc, Cc.

Cara ini, kita mengklasifikasikan ke dalam 9 tingkatan bersama-sama dari Aa yang merupakan sungai paling berbahaya hingga Cc yang paling kecil tingkat bahayanya.

Kita tempatkan urutan tersebut untuk nprioritas pengaturan di bawah Tabel 3. Sering bahwa sasaran tersebut ditetapkan untuk menguji tingkat pencapaian dalam rencana 5 tahun. Kita dapat juga mengetahui tingkat pencapaian dengan pasti sesuai dengan apa yang akan kita capai pada tingkat prioritas Bb seperti dalam kejadian ini.

### III. PENUTUP

#### Simpulan

1. Untuk penanggulangan aliran debris (pasir dan krikil) adalah dengan bangunan Sabo yang pada hakekatnya merupakan usaha untuk mencegah lahan pegunungan terhadap kerusakan akibat erosi, melindungi penduduk dan infrastruktur di bagian hilir terhadap bencana akibat erosi dan sedimentasi.
2. Aliran debris disebabkan oleh pengaliran air yang berlangsung pada permukaan lapisan endapan pada dasar sungai dalam bentuk transport kolektif yang mengalir karena tenaga sedimen dan umumnya suatu aliran yang mempunyai sungai kurang

dari orde tiga (orde pertama dan orde kedua) dengan kemiringan dasar sungai lebih curam dari 1/30.

3. Untuk memformulasikan Perencanaan Sabo suatu DAS tertentu, mula-mula harus ditentukan suatu titik referensi suatu di alur sungai yang dipergunakan sebagai titik dasar dalam menghitung jumlah sedimen yang harus dikendalikan di daerah sasaran (*Sabo Basic Point*).
4. Penentuan skala perencanaan pengendalian sedimen sangat tergantung pada jenis sumber sedimen, cara estimasi jumlah sedimen yang mengalir dan tingkat bahayanya.
5. Prinsip perencanaan Sabo adalah membuang sejumlah material debris/sedimen yang mengalir sepanjang sungai di daerah hilir untuk mencegah bencana pada daerah sasaran sehingga sungai yang bersangkutan dapat berfungsi secara normal dan efektif ditinjau dari pengendalian banjir dan rencana pengembangan sungai.
6. Ada berbagai macam fasilitas bangunan Sabo yang dapat diterapkan untuk pengendalian sedimen mulai dari sumber sedimen, aliran sedimen sampai pengendapan sedimen, meliputi: dam pengendali (*sabo dam*), tanggul (*training dike*), kantong pasir (*sand pocket*), saluran pengatur kanal (*channel works*), tanggul terbuka (*levees*) dan perlindungan tebing (*bank protection*)

### **Rekomendasi**

1. Agar dapat merumuskan Perencanaan Sabo yang sesuai dengan skala bencana sebelumnya, daerah-daerah yang penting, manfaat proyek dan sebagainya harus dievaluasi secara menyeluruh.
2. Estimasi produksi debris/sedimen untuk setiap jumlah material yang dapat tererosi, selain longsoran yang sudah ada, selain material sisa longsoran lama dan erosi sekunder secara praktis dilaksanakan dengan perhitungan pada suatu daerah yang termasuk dalam suatu DAS (karakteristik morfologi dari produksi debris/sedimen harus ditinjau/distudi dalam waktu yang sama.
3. Sebagai efek pengaturan dan fungsi kontrol dari Sabo dam, jumlah yang sesungguhnya dari debris/sedimen agak lebih besar dari pada jumlah perkiraan, yaitu kira-kira sebesar 10%-20% dari seluruh jumlah endapan.

4. Fasilitas sabo misalnya: sabo dam, kantong pasir dan sebagainya harus diformulasikan juga terhadap estimasi produksi debris/sedimen yang terjadi dalam kala ulang tertentu sesuai kala ulang bangunan utama.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Anonimous. 1989. *Debris Flow*, Dirjen Pengairan (Departemen PU), Proyek Pengembangan Teknik Sabo (*Sabo Technical Centre*), Yogyakarta.
- . 2003. *Manual Sabo Pengantar Teknik Sabo*, Dirjen Sumber Daya Air (Departemen Perumahan dan Prasarana Wilayah), Proyek Perencanaan Program Pengendalian Banjir, Bagian Proyek Pengembangan dan Rekayasa Sabo, Yogyakarta.
- . 2005. *Mengenal Sabo*, Dirjen Sumber Daya Air-Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Priyantoro.D. 1987. *Teknik Pengangkutan Sedimen*, Himpunan Mahasiswa Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.
- Sosrodarsono. S, dkk. 1994. *Perbaikan dan Pengaturan Sungai*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Tokuhiro. 1989. *Sabo And Its Environment*, Dirjen Pengairan-Departemen PU, Proyek Pengembangan Teknik Sabo (*Sabo Technical Centre*), Yogyakarta.
- Yang Chih Ted. 1996. *Sediment Transport: Theory and Practice*, McGraw-Hill Book Co, Singapore.