

PEDOMAN

Konstruksi dan Bangunan

Pengamanan bangunan sabo dari gerusan lokal

Keputusan Menteri Permukiman dan Prasarana Wilayah
Nomor : 360/KPTS/M/2004
Tanggal : 1 Oktober 2004



DEPARTEMEN PERMUKIMAN DAN PRASARANA WILAYAH

Prakata

Pedoman pengamanan bangunan sabo dari gerusan lokal ini masuk dalam Gugus Kerja Irigasi, Sabo, Rawa dan Pantai, Danau dan Sungai pada Sub Panitia Teknik Bidang Sumber Daya Air yang berada di bawah Panitia Teknik Konstruksi dan Bangunan, Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.

Penulisan pedoman ini mengacu kepada Pedoman BSN No.8 Tahun 2000 dan telah mendapat masukan dan koreksi dari ahli bahasa.

Perumusan pedoman ini dilakukan melalui proses pembahasan pada Gugus Kerja, Prakonsensus dan Konsensus pada tanggal 10 September 2003 di Pusat Litbang Sumber Daya Air Bandung serta proses penetapan pada Panitia Teknik yang melibatkan para narasumber dan pakar dari berbagai instansi terkait.

Pedoman ini digunakan sebagai acuan dan panduan bagi para praktisi sabo di lapangan dalam melaksanakan tindak pengamanan dini atas kemungkinan terjadinya kerusakan-kerusakan bangunan sabo yang disebabkan oleh proses interaksi degradasi dasar sungai dan gerusan lokal yang berkepanjangan.

Daftar isi

Prakata	i
Daftar isi	ii
Pendahuluan	iii
1 Ruang lingkup	1
2 Acuan normatif	1
3 Istilah dan definisi	1
4 Data dan informasi	2
4.1 Gambar terpasang	2
4.2 Riwayat bangunan	3
4.3 Data hidraulik sungai	3
4.4 Pelaksanaan	3
5 Ketentuan dan persyaratan	3
5.1 Umum	3
5.2 Teknis	4
6 Prosedur perencanaan teknis	4
6.1 Penentuan tinggi aliran	4
6.2 Penentuan ukuran batu pelindung dasar sungai	5
6.3 Penentuan kedalaman gerusan lokal	6
6.4 Pengkajian bangunan sabo	6
6.5 Konstruksi pelindung dasar sungai	6
6.6 Bangunan sabo sebagai pengikat dasar sungai	9
Lampiran A Gambar	10
Gambar A.1 Pengamanan bangunan sabo menggunakan pelindung dasar sungai ...	10
Gambar A.2 Pengamanan bangunan sabo menggunakan BPS pengikat dasar sungai	11
Gambar A.3 Blok beton tipe Beeive	12
Lampiran B Tabel	13

Tabel B.1	Kedalaman gerusan lokal	13
Tabel B.2	Ukuran blok beton Beehive	14
Lampiran C	Contoh Perhitungan	15
C.1	Perhitungan ukuran batu pelindung dasar sungai	15
C.2	Perhitungan ukuran beton pelindung dasar sungai (Beehive)	18
Lampiran E	Daftar nama dan lembaga	20
Bibliografi	21

Pendahuluan

Keberadaan bangunan penahan sedimen (BPS) akan mengakibatkan perubahan kemiringan dasar sungai yang ada (I_o), baik di sebelah hulu maupun hilirnya. Fluktuasi perubahan kemiringan ini berkisar di antara kemiringan dinamis (I_d) dan kemiringan statisnya (I_s). Lokasi bangunan yang kurang tepat mengakibatkan terjadinya kerusakan-kerusakan baik pada bangunan yang sudah ada maupun pada bangunannya itu sendiri.

Kerusakan terjadi akibat interaksi antara gerusan lokal di sekitar bangunan itu dan degradasi sungai di bagian hilirnya. Kedalaman gerusan lokal maksimum berkisar antara 3,00 m sampai dengan 4,00 m, sedangkan tingkat kedalaman degradasi banyak dipengaruhi oleh dimensi waktu dan faktor alamnya. Pada prakteknya para praktisi sabo mengadopsi tinggi subdam dengan 4,00 m sampai dengan 5,00 m termasuk penetrasi / keamanan sedalam 1,00 m, maka keamanan bangunan di lapangan seringkali kurang terjamin sehingga perlu diantisipasi dengan melakukan tindak pengamanan secara dini.

Pengamanan dilakukan terhadap bangunan sabo yang sudah ada, baik dengan menambahkan bangunan sabo yang baru maupun dengan membuat konstruksi pelindung dasar sungai sehingga bangunan tetap dapat berfungsi sesuai rencana. Perlindungan dasar sungai dilakukan dengan menggunakan butiran atau satu kesatuan butiran yang besar dan berat, misalnya beronjong, blok beton, pasangan batu sedemikian rupa hingga tahan terhadap gaya seret aliran. Diharapkan butiran mampu bergerak relatif vertikal sehingga dasar sungai selalu terlindung dari gerusan lokal baik sebelum, sewaktu, maupun setelah terjadi degradasi.

Oleh karena itu, pedoman ini memuat tahapan-tahapan mulai dari data dan informasi yang dibutuhkan, evaluasi lokasi bangunan, contoh penghitungan hingga penentuan jenis material yang digunakan sebagai pelindung dasar sungai.

Pengamanan bangunan sabo dari gerusan lokal

1 Ruang lingkup

Pedoman ini membahas persyaratan, ketentuan dan prosedur perencanaan teknis pengamanan bangunan sabo terhadap kerusakan yang terjadi akibat dari proses interaksi degradasi dan gerusan lokal.

2 Acuan normatif

- SNI-03-1724-1989 : Tata cara perencanaan hidrologi dan hidraulik untuk bangunan di sungai
- SNI-03-2415-1991 : Tata cara perhitungan debit banjir
- SNI-03-2851-1991 : Tata cara perencanaan teknis bendung penahan sedimen

3 Istilah dan definisi

3.1 Bangunan penahan sedimen adalah bangunan sungai yang dirancang seperti bendung tetap sehingga dapat berfungsi menampung dan / atau menahan sedimen untuk jangka waktu sementara atau tetap, dan harus tetap dapat melewatkan aliran air baik melalui mercu maupun tubuh bangunan.

3.2 Gerusan lokal adalah gejala angkutan muatan sebagai akibat terjadinya gangguan terhadap aliran sungai oleh struktur alam/buatan dengan parameter panjang, lebar, dalam, dan lokasinya.

3.3 Tindak pengamanan adalah tindakan fisik untuk mengamankan tubuh bangunan dari kerusakan-kerusakan yang diakibatkan oleh proses degradasi sungai dan gerusan lokal yang berkepanjangan.

3.4 Debit adalah jumlah/volume air yang mengalir melewati suatu penampang melintang saluran, sungai, atau jalur air yang lain per satuan waktu.

3.5 Tinggi efektif adalah tinggi tubuh bendung yang diukur dari permukaan apron hingga permukaan mercu pelimpah.

3.6 Kemiringan awal adalah kemiringan dasar sungai awal sebelum dilakukan pembuatan konstruksi bangunan di atasnya.

3.7 Kemiringan dinamis adalah kemiringan dasar sungai yang terbentuk segera setelah terjadi banjir.

3.8 Kemiringan statis adalah kemiringan dasar sungai yang terbentuk pada kondisi dasar sungai telah seimbang dan stabil.

3.9 Kemiringan rencana adalah kemiringan dasar sungai yang direncanakan akan seimbang dinamis dengan debit sedimen masuk sama dengan debit sedimen yang keluar.

3.10 Pengkajian adalah proses melakukan kajian terhadap bangunan-bangunan sabo, baik yang masih dalam tahap perancangan (belum dilaksanakan) maupun yang sudah dilaksanakan.

3.11 Perencanaan teknis adalah proses pembuatan rencana/disain teknis pengamanan bangunan sabo sebagai tindak lanjut atas pelaksanaan pengkajian.

4 Data dan informasi

Sebelum melakukan pengkajian maupun perencanaan, harus terlebih dahulu tersedia gambar-gambar bangunan secara lengkap, riwayat bangunan, gambar peta, serta informasi hidraulik yang terkait dengan bangunan yang dikaji maupun direncanakan.

4.1 Gambar terpasang

Gambar terpasang harus memuat gambar yang benar-benar dilaksanakan di lapangan termasuk dengan segala perubahan, penambahan, dan pengurangannya yang dituangkan dalam amandemen kontrak. Gambar tersebut sekurang-kurangnya memuat hal-hal berikut.

4.1.1 Peta rupabumi

Peta rupabumi harus merupakan peta yang mutakhir guna mendapatkan gambaran secara jelas mengenai elevasi dan/atau ketinggian badan sungai berikut letak bangunan sungai lengkap dengan bagian-bagiannya yang ada.

4.1.2 Peta situasi

Peta situasi sekurang-kurangnya selebar 50,00 m ke sisi kanan dan kiri badan sungai harus memuat geometri sungai berikut informasi teknis dan penggunaan lahan di atasnya.

4.1.3 Gambar potongan memanjang dan melintang sungai

Gambar potongan memanjang dan melintang sungai sekurang-kurangnya harus memuat gambar detail :

- a) bangunan sabo yang dikaji maupun yang direncanakan;
- b) bangunan sabo yang ada di sebelah hulu maupun hilir bangunan sabo di atas;
- c) jarak antarbangunan sabo di atas;
- d) Elevasi dan potongan sungai memanjang dan melintang.

4.1.4 Gambar detail bangunan

Gambar detail bangunan harus dibuat dengan skala sedemikian rupa sehingga dapat dibaca dengan jelas baik tulisan, angka, maupun garis-garis gambarnya, sekurang-kurangnya memuat:

- 1) elevasi mercu bendung utama dan subdam;
- 2) elevasi dasar bendung utama, apron, dan dasar subdam;
- 3) elevasi muka air di atas mercu bendung utama dan subdam;
- 4) garis kemiringan dasar sungai awal dan dasar sungai rencana.

4.2 Riwayat bangunan

Riwayat bangunan yang diperlukan harus memuat hal-hal sebagai berikut:

- a) semua catatan hasil pemantauan bangunan sabo sejak pertama kali dibangun sampai dengan saat dilakukan pengkajian maupun perencanaan teknis pengamanan bangunan sabo dari gerusan lokal;
- b) seluruh perbaikan, penambahan maupun perubahan-perubahan yang pernah dilakukan terhadap bangunan sabo tersebut.

4.3 Data hidraulik sungai

Data hidraulik sungai yang diperlukan untuk perencanaan teknis pengamanan bangunan sabo dari gerusan lokal adalah sebagai berikut:

- a) debit (Q), kemiringan dasar sungai (I) dan lebar sungai (b);
- b) rapat massa butiran (ρ_s) dan rapat massa air (ρ_w);
- c) percepatan gravitasi (g), koefisien hambatan ($C_D = \text{"drag coefficient"}$);
- d) ukuran butiran dasar d_{50} .

4.4 Pelaksanaan

Untuk melaksanakan pekerjaan di lapangan harus dipertimbangkan faktor iklim, cuaca, dan musim. Pelaksanaan pekerjaan di musim kemarau merupakan pilihan utama. Namun, dalam keadaan terpaksa yang harus dikerjakan di musim penghujan, maka harus ditetapkan terlebih dahulu langkah-langkah pengantisipasiannya.

5 Ketentuan dan persyaratan

5.1 Umum

Ketentuan umum yang harus diperhatikan dalam melakukan pengkajian dan perencanaan teknis pengamanan bangunan sabo adalah sebagai berikut.

- a) Pengkajian dilakukan apabila :
 - 1) gerusan lokal yang berproses di bagian hilir bangunan tersebut relatif masih dalam;
 - 2) kemiringan dasar sungai di sebelah hilir bangunan tersebut relatif masih curam;
 - 3) bangunan sabo (BPS) sebagai pengikat dasar sungai di sebelah hilir bangunan tersebut masih belum dibangun;
 - 4) BPS pengikat dasar sungai di sebelah hilir bangunan tersebut masih terlalu jauh letaknya.
- b) Perencanaan teknis dilakukan apabila :
 - 1) pengkajian telah selesai dilaksanakan;
 - 2) diperlukan konstruksi pelindung dasar sungai;
 - 3) diperlukan BPS pengikat dasar sungai;
 - 4) diperlukan keduanya, baik konstruksi pelindung dasar sungai maupun BPS pengikat dasar sungai.

5.2 Teknis

Ketentuan teknis yang harus dipenuhi dalam melaksanakan pengkajian dan perencanaan pengamanan bangunan sabo adalah sebagai berikut.

- a) Bangunan sabo harus dilengkapi dengan apron dan subdam.
- b) Bangunan sabo tanpa apron dan subdam harus terletak di atas pondasi batuan yang masif dan kuat, sehingga tidak direkomendasikan dalam pedoman ini.
- c) Pelindung dasar sungai harus terletak langsung di bagian hilir subdam dari bangunan sabo.
- d) BPS pengikat dasar sungai harus terletak pada lokasi yang aman berdasarkan hasil perencanaan teknis.

5.2.1 Kemiringan dasar sungai dan elevasi

- a) Kemiringan dasar sungai awal I_0 , ditetapkan berdasarkan keadaan lapangan.
- b) Kemiringan dasar sungai rencana adalah $I_p = 0,33 I_0 \sim 0,50 I_0$.
- c) Kemiringan dasar sungai dinamis adalah $I_d = 0,67 I_0 \sim 0,75 I_0$.
- d) Semua angka yang menunjukkan elevasi mercu dam utama, subdam, dasar pondasi dam utama, apron, dan dasar subdam harus dapat dibaca dengan jelas dan telah disesuaikan dengan keadaan di lapangan.
- e) Elevasi muka air di atas mercu dam utama dan subdam, garis kemiringan dasar sungai awal dan dasar sungai rencana serta jarak antarbangunan harus dapat dibaca dengan jelas dan telah sesuai dengan kondisi lapangan.

5.2.2 Material pelindung dasar sungai

- a) Persyaratan material

Penggunaan material pelindung dasar sungai harus memenuhi ketentuan berikut:

- 1) mampu melawan gaya seret aliran;
- 2) tidak menggelinding;
- 3) mampu menahan benturan-benturan;
- 4) tahan terhadap kandungan kimia aliran yang bersifat merusakkan;
- 5) berdiameter di atas 30 cm.

- b) Jenis material

Jenis material pelindung dasar sungai meliputi,

- 1) batu berukuran besar dan berat;
- 2) beronjong kawat yang diisi dengan batu berukuran di atas 30 cm;
- 3) pasangan batu dengan menggunakan batu berukuran di atas 30 cm;
- 4) blok beton, antara lain beehive, tetra/hexapod, blok-blok beton berangkur.

6 Prosedur perencanaan teknis

6.1 Penentuan tinggi aliran

Tinggi aliran dihitung dengan menggunakan formula:

Iwagaki:

$$U_{*cr}^2 = 80,9 \left(\frac{d_{50}}{100} \right) \dots\dots\dots (1)$$

$$U_{*cr}^2 = ghI \dots\dots\dots (2)$$

Graaf:

$$\frac{\bar{U}}{U_*} = 5,75 \text{Log} \left(\frac{h}{d_{50}} \right) + 3,25 \dots\dots\dots (3)$$

$$\bar{U} = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots (4)$$

dengan:

U_{*cr} adalah kecepatan gesek kritis (m/det)

d_{50} adalah diameter butir (m)

g adalah percepatan gravitasi (m/det²)

h adalah tinggi aliran di atas mercu (m)

I adalah kemiringan dasar sungai

\bar{U} adalah kecepatan rata-rata aliran (m/det)

U_* adalah kecepatan gesek (m/det)

Q adalah debit sungai (m³/det)

A adalah luas penampang basah (m²)

6.2 Penentuan ukuran batu pelindung dasar sungai

Diameter dan berat batu pelindung dasar sungai dihitung dengan menggunakan formula:

$$\frac{F_D}{W - B} \leq \tan \phi \dots\dots\dots (5)$$

$$F_D = \frac{1}{2} \rho_w C_D \frac{\pi d_{50}^2}{4} \bar{U}^2 \dots\dots\dots (6)$$

$$W = \rho_s \frac{\pi d_{50}^3}{6} \dots\dots\dots (7)$$

$$B = \rho_w \frac{\pi d_{50}^3}{6} \dots\dots\dots (8)$$

dengan:

F_D adalah gaya seret aliran ("drag force") (kN)

W adalah berat butir di udara ("weight") (ton)

B adalah gaya apung ("bouyant force") (ton)

ϕ adalah sudut lereng alam (*"angle of repose"*) ($^{\circ}$)

ρ_w adalah rapat massa air (ton/m^3)

ρ_s adalah rapat massa butiran (ton/m^3)

C_D adalah koefisien hambatan (*drag coefficient*)

6.3 Penentuan kedalaman gerusan lokal

Kedalaman maksimum gerusan lokal (D_{\max}) yang terjadi di bagian hilir bangunan sabo ditentukan berdasarkan Tabel B.1 sebagai berikut.

- Tentukan tinggi dam H (m) dari mercu hingga apron.
- Tentukan tinggi aliran di atas mercu dam h (m).
- Hitung $H + h$ (m).
- Besar butiran d_{50} (m) ditentukan melalui analisis butiran. Selanjutnya dari Tabel B.1 dan dengan harga d_{50} tersebut, kedalaman gerusan lokal maksimum ditentukan sebesar D_{\max} (m). Dalam hal $(H + h)$ kurang dari 5,00 m, maka diambil harga D_{\max} yang paling kecil dari tabel tersebut.

6.4 Pengkajian bangunan sabo

Kajian pengamanan bangunan sabo dilakukan sebagai berikut.

- Berdasarkan kemiringan dasar sungai awal (I_0) yang sudah diketahui di lapangan, maka besar fluktuasi kemiringan dasar sungai rencana ditentukan menurut formula berikut:

$$I_p = \left(\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2} \right) I_0 \dots\dots\dots (9)$$

- Garis I_p tersebut ditarik dari titik kontrol ke hulu hingga memotong bangunan sabo pada elevasi EL_{p0} dan untuk selanjutnya diperbandingkan dengan elevasi dasar subdam EL_{bs} .

- Keamanan terhadap degradasi dasar sungai

Kondisi: $(EL_{p0}) < (EL_{bs}) \rightarrow$ bangunan sabo menggantung;

$(EL_{p0}) > (EL_{bs}) \rightarrow$ bangunan sabo aman terhadap degradasi.

- Keamanan terhadap gerusan lokal

Dengan mengetahui elevasi EL_{p0} dan kedalaman maksimum gerusan lokal D_{\max} , maka elevasi gerusan lokal maksimum $EL_{SP} = (EL_{p0} - D_{\max})$.

Kondisi: $(EL_{SP}) < (EL_{bs}) \rightarrow$ bangunan sabo menggantung;

$(EL_{SP}) > (EL_{bs}) \rightarrow$ bangunan sabo aman terhadap gerusan lokal.

6.5 Konstruksi pelindung dasar sungai

- Pelindung dasar sungai harus dibuat sedini mungkin agar dasar sungai selalu terlindung dari gerusan lokal.
- Pelindung dasar sungai dibuat apabila BPS pengikat dasar sungai sudah dibangun di bagian hilirnya.
- Lebar dasar sungai yang dilindungi adalah selebar sungainya sendiri (b), sedangkan panjang ke hilir ditentukan berdasarkan formula empiris dari:

1. Hokkaido: $L_n = 3,2 \times h_{ds} + 0,5$ (m)..... (10)

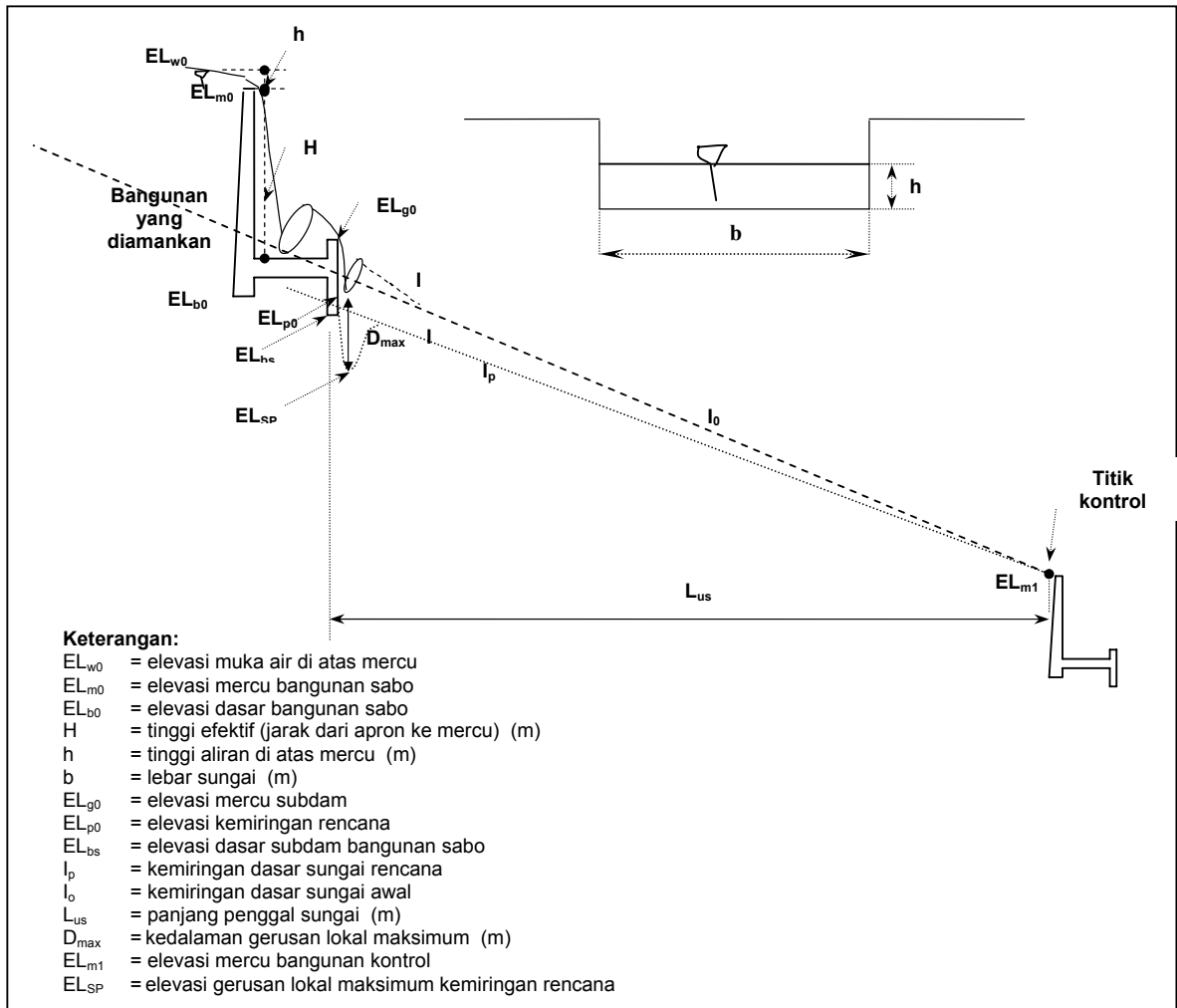
2. Bry: $L_n = 0,67 \times c \times \sqrt{q \times h_{ds}}$ (m)..... (11)

dengan: L_n adalah panjang ke hilir (m);

c adalah konstanta (untuk batu & kerikil diambil = 5)

h_{ds} adalah tinggi terjun di subdam (= $h + D_{max}$) (m);

q adalah debit spesifik ($= \frac{Q}{B}$) ($m^3/det/m'$)



Gambar 1 Notasi yang digunakan

3. Jumlah blok beton dihitung menurut formula empiris berikut:

- Searah aliran sungai:

$L_n = (n_L - 1) \times (0,9175 L_b + e_b) + L_b$ (12)

dengan: n_L adalah jumlah blok beton searah aliran sungai;

L_b adalah satuan panjang blok beton (dari Tabel B.2);

e_b adalah harga dari Tabel B.2

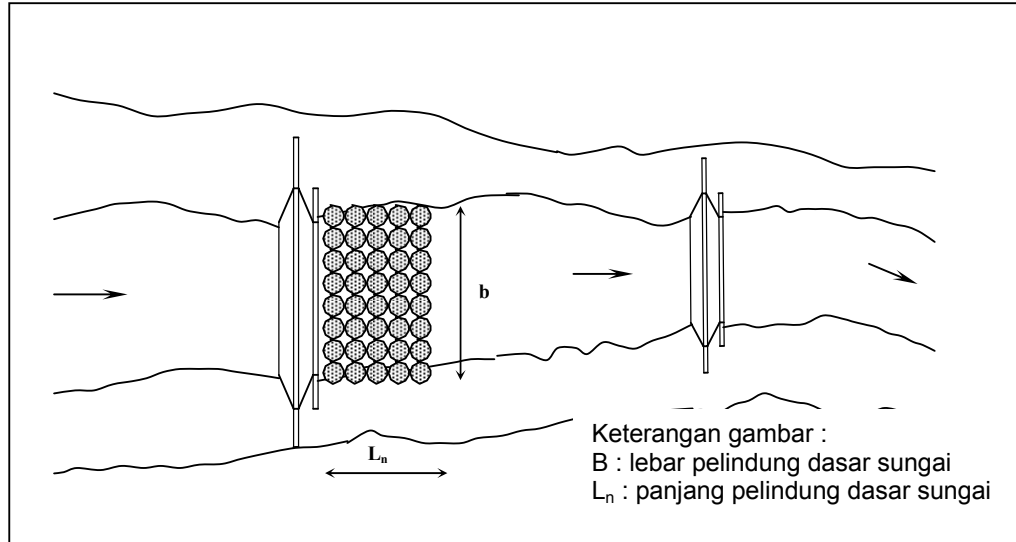
- Melintang aliran sungai:

$$B_n = (n_B + 0,5) \times H_b + (n_B - 0,5) \times b_b \dots\dots\dots (13)$$

dengan: n_B adalah jumlah blok beton melintang aliran sungai;

H_b adalah harga dari Tabel B.2

b_b adalah harga dari Tabel B.2



Gambar 2 Ukuran pelindung dasar sungai yang diperlukan

- d) Stabilitas konstruksi ditentukan berdasarkan ukuran batu yang telah dihitung dalam kajian terdahulu.
- e) Modifikasi konstruksi pelindung dasar sungai dengan beronjong, pasangan batu maupun beton harus selalu mengacu pada ukuran batu di atas. Untuk jenis blok beton beehive digunakan rumus empiris sebagai berikut:

$$F_D = C_D \rho_w \varepsilon S \frac{\bar{U}^2}{2g} \text{ (kN)} \dots\dots\dots (14)$$

dengan:

C_D adalah koefisien hambatan;

ρ_w adalah rapat massa air (ton/m^3);

ε adalah koefisien kelompok, diambil = 1 (untuk beehive tunggal);

S adalah luas permukaan blok beton, diambil $S_A = 0,3534 L^2$

atau $S_n = 0,3789 L^2$ tergantung posisi blok beton;

\bar{U} adalah kecepatan aliran rata-rata (m/det);

g adalah percepatan gravitasi (m/det^2).

$$R = \mu \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_w} \right) W \quad (\text{kN}) \dots\dots\dots (15)$$

dengan:

R adalah gaya hambat (kN);

μ adalah koefisien gesek (diambil 0,5);

ρ_s adalah rapat massa butiran (ton/m^3);

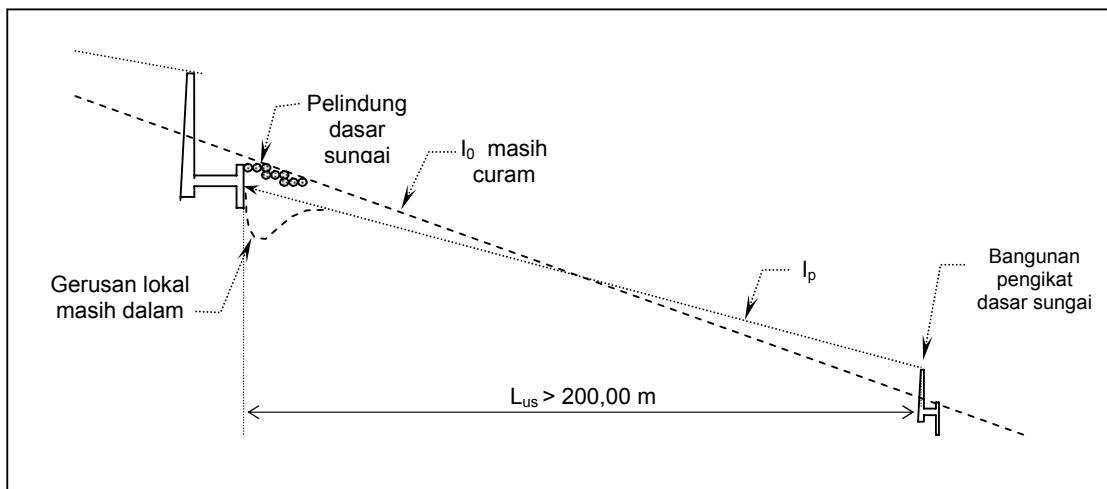
W adalah berat blok beton (ton).

Angka keamanan:

$$S_F = \frac{R}{F} \geq 1,2 \dots\dots\dots (16)$$

6.6 Bangunan sabo sebagai pengikat dasar sungai

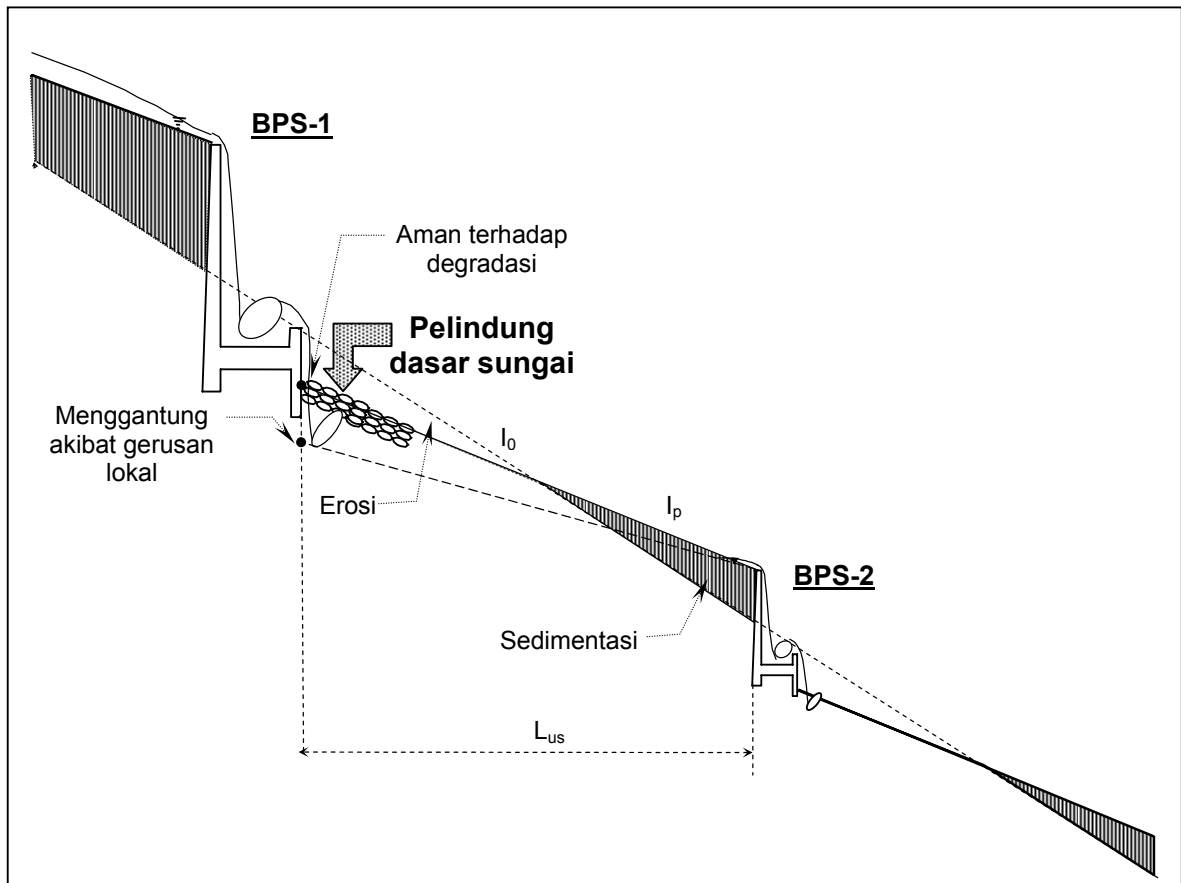
- BPS pengikat dasar sungai harus segera dibangun agar degradasi dasar sungai tidak terus berlanjut.
- Bangunan ini harus dibangun pada penggal sungai yang kemiringan dasarnya masih curam.
- Bangunan ini harus dibangun pada penggal sungai yang panjangnya lebih dari 200,00 m;
- Perencanaan teknis BPS pengikat dasar sungai mengacu pada SNI-03-2851-1991 tentang Tata cara perencanaan teknis bendung penahan sedimen.



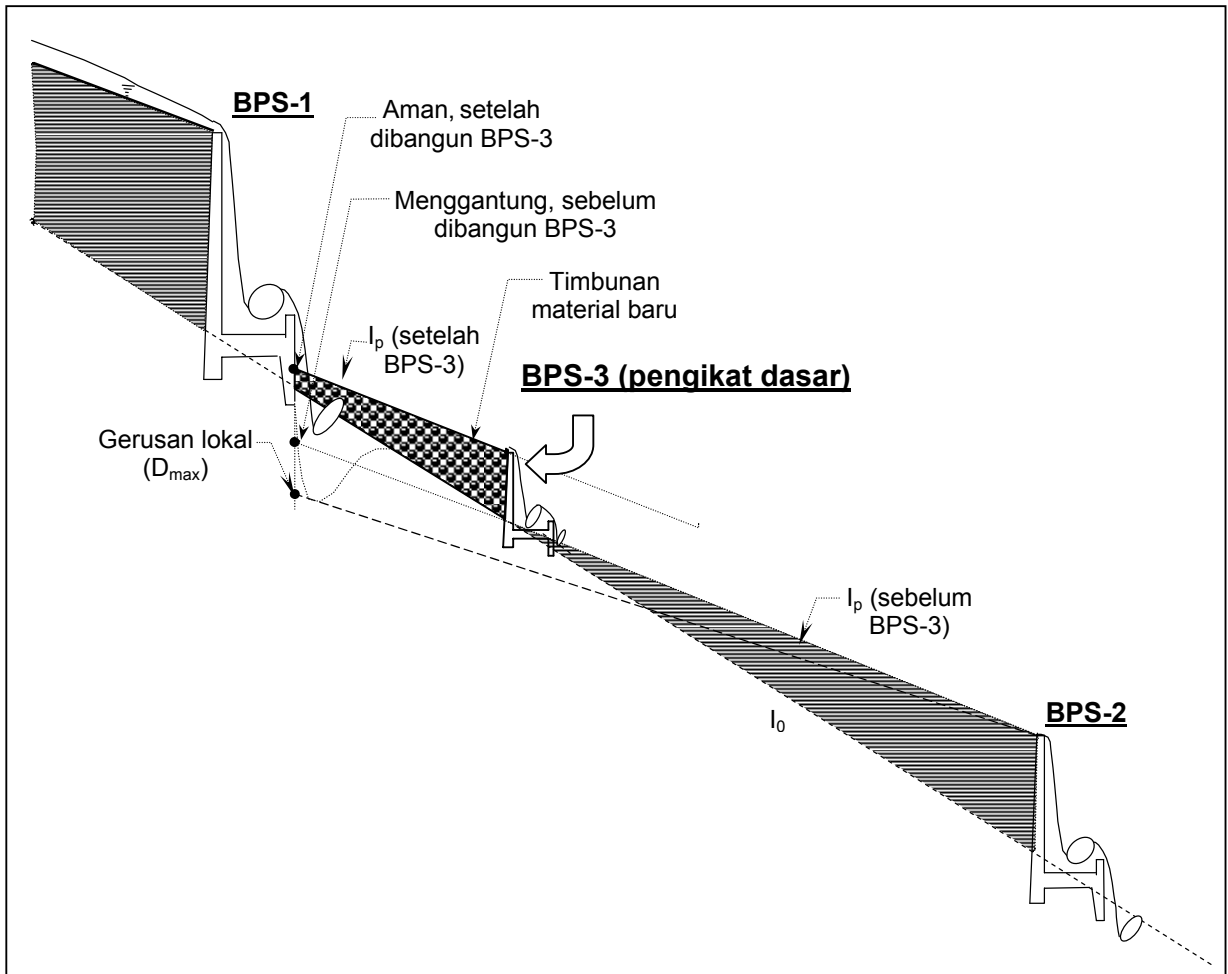
Gambar 3 Syarat penggunaan BPS pengikat dasar sungai

Lampiran A

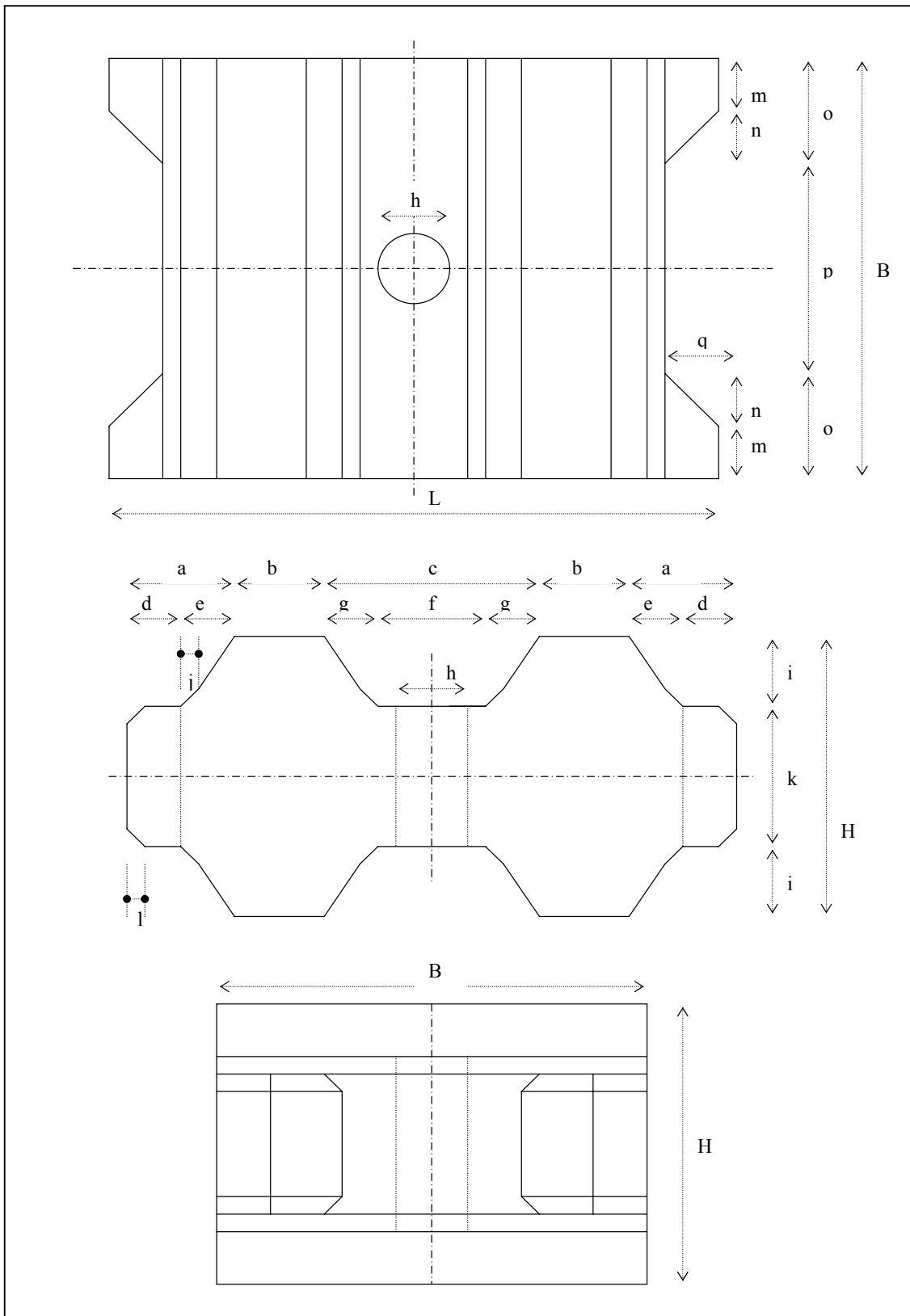
Gambar



Gambar A.1 Pengamanan bangunan sabo menggunakan pelindung dasar sungai



Gambar A.2 Pengamanan bangunan menggunakan BPS pengikat dasar sungai



Gambar A.3 Blok beton tipe Beehive

Lampiran B

Tabel

Tabel B.1 Kedalaman gerusan lokal

(H+h) (m)	Kedalaman maksimum gerusan lokal Dmax (m)				
	d ₅₀ =0.750 (m)	d ₅₀ =0.500 (m)	d ₅₀ =0.250 (m)	d ₅₀ =0.125 (m)	d ₅₀ =0.075 (m)
5,00	0,04	0,03	0,12	0,17	0,70
5,20	0,06	0,05	0,17	0,27	0,83
5,40	0,07	0,07	0,21	0,36	0,95
5,60	0,09	0,09	0,25	0,46	1,07
5,80	0,10	0,10	0,29	0,55	1,18
6,00	0,11	0,12	0,33	0,63	1,29
6,20	0,12	0,14	0,37	0,72	1,39
6,40	0,13	0,15	0,40	0,80	1,49
6,60	0,15	0,17	0,44	0,88	1,59
6,80	0,16	0,19	0,47	0,95	1,69
7,00	0,17	0,20	0,51	1,03	1,78
7,20	0,18	0,21	0,54	1,10	1,87
7,40	0,19	0,23	0,57	1,17	1,96
7,60	0,20	0,24	0,60	1,24	2,05
7,80	0,21	0,26	0,63	1,30	2,13
8,00	0,22	0,27	0,66	1,37	2,21
8,20	0,22	0,28	0,69	1,43	2,29
8,40	0,23	0,29	0,71	1,49	2,37
8,60	0,24	0,31	0,74	1,55	2,44
8,80	0,25	0,32	0,77	1,61	2,52
9,00	0,26	0,33	0,79	1,67	2,59
9,20	0,27	0,34	0,82	1,72	2,66
9,40	0,27	0,35	0,84	1,78	2,73
9,60	0,28	0,36	0,87	1,83	2,80
9,80	0,29	0,37	0,89	1,88	2,86
10,00	0,30	0,38	0,91	1,94	2,93
10,20	0,30	0,39	0,94	1,99	2,99
10,40	0,31	0,40	0,96	2,04	3,05
10,60	0,32	0,41	0,98	2,08	3,11
10,80	0,32	0,42	1,00	2,13	3,17
11,00	0,33	0,43	1,02	2,18	3,23
11,20	0,34	0,44	1,04	2,22	3,29
11,40	0,34	0,45	1,06	2,27	3,35
11,60	0,35	0,46	1,08	2,31	3,40
11,80	0,36	0,47	1,10	2,36	3,46
12,00	0,36	0,48	1,12	2,40	3,51

(Sumber: Hasil penelitian laboratorium hidraulika – Balai Sabo, Jogjakarta)

Tabel B.2 Ukuran blok beton Beehive

Kode	Panjang L	Berat blok beton (ton)							
		0,5	1	2	4	6	8	10	12
L _b	1 L _b	0,974	1,228	1,547	1,949	2,231	2,455	2,645	2,810
B _b	0,6786 L _b	0,661	0,833	1,050	1,323	1,514	1,666	1,795	1,907
H _b	0,5220 L _b	0,508	0,641	0,808	1,017	1,165	1,282	1,381	1,467
a _b	0,1608 L _b	0,157	0,197	0,249	0,314	0,359	0,395	0,425	0,452
b _b	0,1670 L _b	0,162	0,206	0,258	0,325	0,372	0,410	0,442	0,469
c _b	0,3444 L _b	0,336	0,422	0,533	0,671	0,769	0,845	0,911	0,968
d _b	0,1034 L _b	0,101	0,127	0,160	0,202	0,231	0,254	0,273	0,291
e _b	0,0574 L _b	0,056	0,070	0,089	0,112	0,128	0,141	0,152	0,161
f _b	0,2296 L _b	0,224	0,282	0,355	0,447	0,513	0,563	0,607	0,646
g _b	0,0209 L _b	0,020	0,026	0,032	0,041	0,047	0,051	0,055	0,059
h _b	0,1427 L _b	0,139	0,175	0,221	0,278	0,318	0,350	0,377	0,401
i _b	0,1701 L _b	0,166	0,209	0,263	0,332	0,379	0,418	0,450	0,478
j _b	0,1305 L _b	0,127	0,160	0,202	0,254	0,291	0,320	0,345	0,367
k _b	0,2610 L _b	0,254	0,321	0,404	0,509	0,583	0,642	0,691	0,733
l _b	0,0209 L _b	0,020	0,026	0,032	0,041	0,047	0,051	0,055	0,059
m _b	0,1034 L _b	0,101	0,127	0,160	0,202	0,231	0,254	0,273	0,291
n _b	0,1034 L _b	0,101	0,127	0,160	0,202	0,231	0,254	0,273	0,291
o _b	0,2068 L _b	0,202	0,254	0,320	0,404	0,462	0,508	0,546	0,582
p _b	0,2650 L _b	0,257	0,325	0,410	0,515	0,590	0,650	0,703	0,743
q _b	0,0825 L _b	0,081	0,101	0,128	0,161	0,184	0,203	0,218	0,232

(Sumber: Penelitian Local Scouring Protection and Crown Protection – Proyek PTS, Jogjakarta)

Lampiran C

Contoh penghitungan

C.1 Penghitungan ukuran batu pelindung dasar sungai

1. Data Hidraulik

$$\begin{aligned}\rho_s &= 2,30 \text{ ton/m}^3 \\ \rho_w &= 1,00 \text{ ton/m}^3 \\ \Delta &= 1,30 \text{ ton/m}^3 \\ g &= 9,80 \text{ m/det}^2 \\ B &= 80,00 \text{ m} \\ Q &= 426,0 \text{ m}^3/\text{det} \\ C_D &= 1,00 \\ I &= 0,0800\end{aligned}$$

2. Data bangunan

$$\begin{aligned}El_{m0} &= + 1524,00 \\ El_{m1} &= + 1509,50 \\ El_{b0} &= + 1512,00 \\ L_{us} &= 100,0 \text{ m} \\ H &= 8,0 \text{ m} \\ H_{sub} &= 5,0 \text{ m}\end{aligned}$$

3. Menghitung tinggi aliran

$$\begin{aligned}U_{*cr}^2 &= 80,9 \frac{d_{50}}{100} \\ g h l &= 9,8 \times 0,08 \times h \\ \frac{\bar{U}}{U_*} &= 5,75 \text{Log} \frac{h}{d_{50}} + 3,25 \rightarrow \bar{U} = U_* (5,75 \text{Log}(\frac{h}{0,9691 h}) + 3,25) \\ U_* &= \sqrt{ghl} \\ \bar{U} &= \frac{Q}{A} \Rightarrow \frac{426}{80 h}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}d &= 0,9691 h \\ h &= 1,483 \text{ m} \\ \bar{U} &= 3,590 \text{ m} \\ d &= 1,438 \text{ m}\end{aligned}$$

4. Menentukan ukuran batu pelindung : $\frac{F_D}{W - B} \leq \tan \phi$

$$\text{Coba } \phi = 30^\circ \rightarrow \tan \phi = 0,577$$

$$F_D = \frac{1}{2} \rho_w C_D \frac{\pi d^2}{4} \bar{U}^2 = \frac{1}{2} \times 1 \times 1 \times \frac{\pi 1,438^3}{4} \times 3,590^2 = 10,452 \text{ kN}$$

$$W - B = \Delta g \frac{\pi d^3}{6} \tan \phi = 1,3 \times 9,8 \times \frac{\pi 1,438^3}{6} \times 0,577 = 11,438 \text{ kN}$$

$$\frac{F_D}{W - B} = 0,914 > 0,577 \Rightarrow \text{Dicoba lagi dengan } \phi = 36^\circ \rightarrow \tan \phi = 0,727$$

$$F_D = \frac{1}{2} \rho_w C_D \frac{\pi d^2}{4} \bar{U}^2 = \frac{1}{2} \times 1 \times 1 \times \frac{\pi 1,438^3}{4} \times 3,590^2 = 10,452 \text{ kN}$$

$$W - B = \Delta g \frac{\pi d^3}{6} \tan \phi = 1,3 \times 9,8 \times \frac{\pi 1,438^3}{6} \times 0,727 = 14,393 \text{ kN}$$

$$\frac{F_D}{W - B} = 0,726 < 0,727 \Rightarrow W = \rho_s \frac{\pi 1,438^3}{6} = 3,577 \text{ ton}$$

5. Menentukan kedalaman gerusan lokal (D_{\max})

$$h = 1,483 \text{ m}$$

$$H + h = 8,00 + 1,483 = 9,483 \text{ m} \quad \left. \vphantom{H + h} \right\} \text{ Dari Tabel B,1, didapatkan:}$$

$$d_{50} = 0,075 \text{ m} \quad D_{\max} = 2,80 \text{ m,}$$

6. Pengkajian terhadap bangunan sabo

$$l_0 = 0,0800 \rightarrow l_{pa} = \frac{1}{3} l_0 = 0,0267 \quad \left. \vphantom{l_0} \right\} l_p = 0,0267 - 0,0400$$

$$l_{pb} = \frac{1}{2} l_0 = 0,0400$$

a. Hasil kajian terhadap degradasi:

$$EL_{po(a)} = + 1512,17 \approx + 1512,00 \text{ (aman)}$$

$$EL_{po(b)} = + 1513,50 > + 1512,00 \text{ (aman)}$$

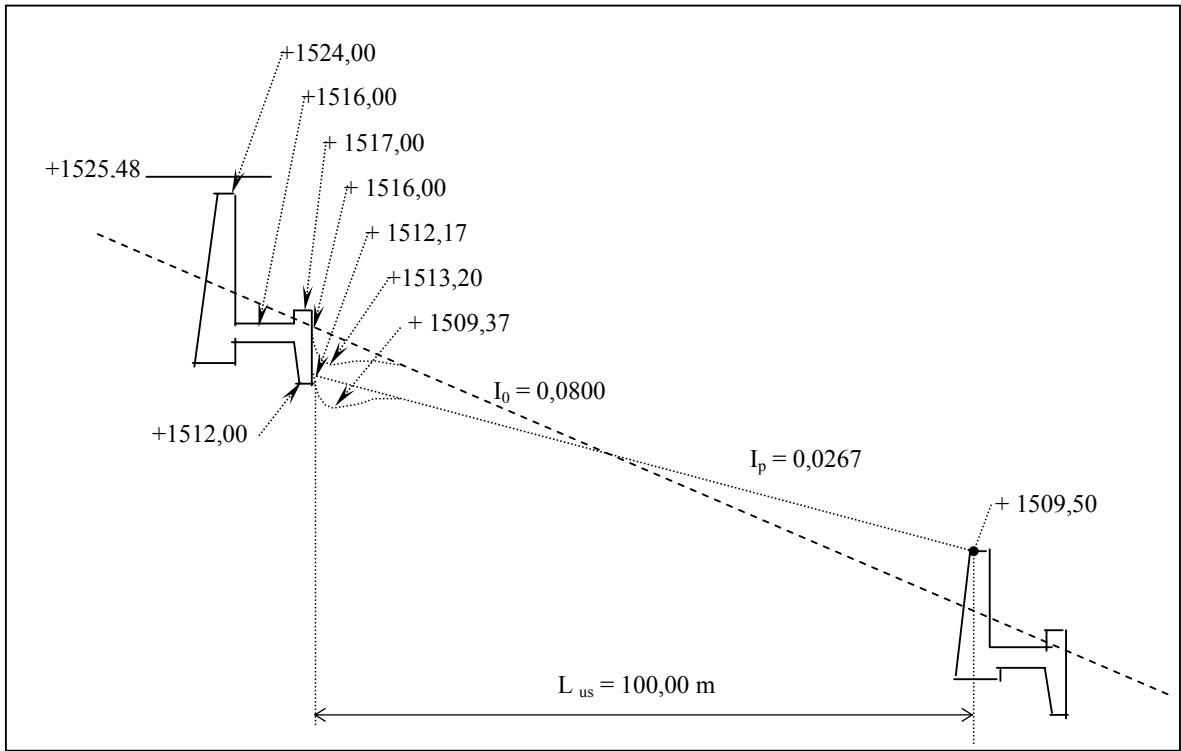
b. Hasil kajian terhadap gerusan lokal:

$$EL_{SP(a)} = (+ 1512,17 - 2,80) = + 1509,37 < + 1512,00 \text{ (menggantung)}$$

$$EL_{SP(b)} = (+ 1513,50 - 2,80) = + 1510,70 < + 1512,00 \text{ (menggantung)}$$

Kesimpulan: 1, Bangunan sabo cukup aman terhadap degradasi sungai, tetapi tidak aman terhadap gerusan lokal;

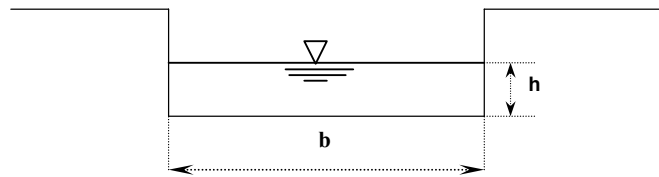
2, Bangunan pengikat dasar di sebelah hilirnya berada pada jarak 100,00 m sehingga hanya diperlukan konstruksi pelindung dasar sungai saja,



Gambar C.1 Hasil kajian elevasi bangunan

C.2 Penghitungan ukuran beton pelindung dasar sungai (Beehive)

1. Menghitung tinggi aliran



Dari hasil penghitungan sebelumnya didapatkan:

$$h = 1,483 \text{ m}$$

$$d = 1,438 \text{ m}$$

$$\bar{U} = 3,590 \text{ m}$$

2. Menentukan berat blok beton Beehive yang stabil

$$F_D = 1 \times 1 \times 1 \times S \times \frac{3,590^2}{2 \times 9,8} = 0,6576 \text{ S}$$

$$R = 0,5 \times \left(1 - \frac{1}{2,3}\right) \times W$$

Coba $W = 8 \text{ ton} \rightarrow$ Dari Tabel B,2 didapatkan: $S = 0,3534 \times 2,455^2 = 2,13$

$$F = 0,6576 \times 2,13 = 1,40$$

$$R = 0,5 \times (1 - 1/2,3) \times 8 = 2,26$$

$$R/F = 1,61 \text{ (memenuhi)}$$

Coba $W = 6 \text{ ton} \rightarrow S = 0,3534 \times 2,231^2 = 1,76$

$$F = 0,6576 \times 1,76 = 1,1567$$

$$R = 0,5 \times (1 - 1/2,3) \times 6 = 1,70$$

$$R/F = 1,47 \text{ (memenuhi)}$$

Coba $W = 4 \text{ ton} \rightarrow S = 0,3534 \times 1,949^2 = 1,34$

$$F = 0,6576 \times 1,34 = 0,8828$$

$$R = 0,5 \times (1 - 1/2,3) \times 4 = 1,13$$

$$R/F = 1,28 \text{ (memenuhi)}$$

Coba $W = 2 \text{ ton} \rightarrow S = 0,3534 \times 1,547^2 = 0,85$

$$F = 0,6576 \times 0,85 = 0,5562$$

$$R = 0,5 \times (1 - 1/2,3) \times 2 = 0,5652$$

$$R/F = 1,02 \text{ (tidak memenuhi)}$$

Digunakan blok beton Beehive seberat 4 ton,

3. Menentukan panjang hamparan blok beton ke arah hilir

$$\text{Formula Bry: } L_n = 0,67 \times c \times \sqrt{q \times h_{ds}}$$

$c = 5$ (untuk batu dan kerikil)

$$q = \frac{Q}{B} = \frac{426}{80} = 5,325$$

$$h_{ds} = h + D_{\max} = (1,483 + 2,80) \text{ m} = 4,283 \text{ m}$$

$$L_n = 0,67 \times 5 \times \sqrt{5,325 \times 4,283} = 16,00 \text{ m}$$

$$\text{Formula Hokaido: } L_n = 3,2 \times h_{ds} + 0,5$$

$$L_n = 3,2 \times 4,283 + 0,5 = 14,21 \text{ m}$$

Panjang hamparan ke arah hilir $L_n = 16,00 \text{ m}$,

4. Menentukan jumlah blok beton yang diperlukan

$$L_n = (n_L - 1) \times (0,9175 L_b + e) + L_b$$

$$B_n = (n_B + 0,5) \times H_b + (n_B - 0,5) \times b_b$$

Dari Tabel 2: untuk $W = 4,00 \text{ ton} \rightarrow L_b = 1,949$

$$e_b = 0,112$$

$$b_b = 0,325$$

$$H_b = 1,017$$

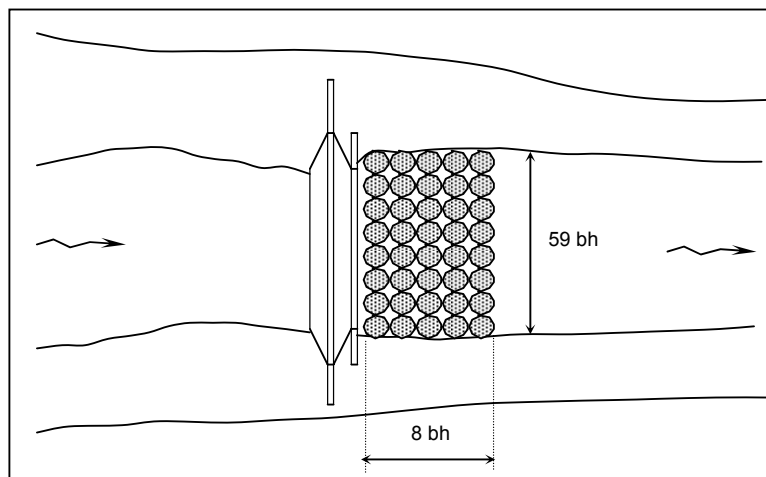
$$L_n = 16,00 \text{ m} \rightarrow 16,00 = (n_L - 1) \times (0,9175 \times 1,949 + 0,112) + 1,949$$

$$n_L = 8$$

$$B_n = 80,00 \text{ m} \rightarrow 80,00 = (n_B + 0,5) \times 1,017 + (n_B - 0,5) \times 0,325$$

$$n_B = 59$$

Jumlah blok beton yang digunakan = $8 \times 59 \text{ bh}$



Gambar C.2 Jumlah blok beton beehive yang diperlukan

Lampiran D
Daftar nama dan lembaga

1) Pemrakarsa

Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air, Badan Penelitian dan Pengembangan, Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah

2) Penyusun

Nama	Lembaga
Ir Puspahadi, Sp,1	Pusat Litbang Sumber Daya Air
Ir, Soeryono Haryadi, SU,	Pusat Litbang Sumber Daya Air

Bibliografi

1. Haryono, dkk, 1988, *Laporan Penelitian Local Scouring Protection and Crown Protection*, TA, 1997/1998, Departemen Pekerjaan Umum, Ditjen Pengairan, Proyek PTS, Jogjakarta,
2. Soeryono, dkk, 2002, *Laporan Akhir Penelitian Gerusan Lokal di Hilir Bangunan Penahan Sedimen dan Cara Pengamanannya - Studi Kasus di Daerah Merapi*, Departemen Kimpraswil, Balitbang Kimpraswil, Puslitbang SDA – Balai Sabo, Jogjakarta