

PEDOMAN

Konstruksi dan Bangunan

Perencanaan hidraulik bendung dan pelimpah bendungan tipe gergaji

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



DEPARTEMEN PERMUKIMAN DAN PRASARANA WILAYAH

Prakata

Pedoman ini masuk pada Gugus Kerja Hidrologi, Hidraulika, Lingkungan, Airtanah dan Air Baku yang termasuk pada Sub Panitia Teknik Bidang Sumber Daya Air dan 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 24 Juli 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 perencanaan hidraulik bendung dan pelimpah bendungan tipe gergaji ini disusun berdasarkan hasil pengkajian lapangan dan laboratorium oleh Tim Balai Bangunan Hidraulik dan Geoteknik Keairan, Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air.

Dalam pedoman ini diuraikan mengenai perilaku dasar bendung dan pelimpah bendungan tipe gergaji, kelebihan dan kelemahan, serta langkah-langkah yang perlu diperhatikan dalam pembuatan desain hidraulik bendung dan pelimpah bendungan tipe gergaji. Persyaratan keamanan hidraulik, struktur, operasi dan pemeliharaan juga diuraikan dalam pedoman teknik ini. Pada bagian akhir diberikan langkah-langkah pembuatan pradesain hidraulik bendung dan pelimpah bendungan tipe gergaji berikut contoh penghitungan.

Daftar isi

Prakata	i
Daftar isi	ii
Pendahuluan	iii
1 Ruang lingkup	1
2 Acuan normatif	1
3 Istilah dan definisi	1
4 Gambar dan notasi	3
5 Pertimbangan dan persyaratan	4
5.1 Pertimbangan	4
5.2 Persyaratan	4
6 Keamanan bangunan	8
6.1 Keamanan hidraulik	8
6.2 Keamanan struktur	8
6.3 Keamanan operasi dan pemeliharaan	8
7 Desain hidraulik	9
7.1 Pradesain hidraulik	9
7.2 Penentuan bentuk dan dimensi bangunan	10
7.3 Detail langkah penentuan bentuk dan dimensi hidraulik bangunan	14
7.4 Uji model hidraulik	17
7.5 Desain hidraulik	17
Lampiran A Contoh penghitungan pradesain hidraulik	18
Lampiran B Daftar nama dan lembaga	22
Bibliografi	23

Pendahuluan

Bangunan bendung tipe gergaji hakikatnya adalah bendung tetap yang dibangun melintang sungai guna meninggikan muka air udik, menahan atau mengurangi laju muatan sedimen yang bergerak dari udik ke hilir, mempertahankan dan atau meninggikan dasar sungai, mengendalikan kemiringan dasar sungai di udik bendung atau untuk mengendalikan distribusi debit yang melimpah ke hilir. Pelimpah bendungan tipe gergaji berguna untuk melewatkan sebagian air yang berlebih dengan aman ke hilir.

Sesaat setelah diperkenalkan dan dibangun di Indonesia, yaitu pada bangunan pelimpah bendungan Way Rarem, perilaku hidraulik bendung dan pelimpah bendungan tipe gergaji telah diselidiki dengan seksama di Laboratorium Hidraulika, Balai Bangunan Hidraulik dan Geoteknik Keairan, Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air. Berdasarkan hasil penyelidikan tersebut, bendung dan pelimpah bendungan tipe gergaji telah diterapkan secara luas di Indonesia, antara lain di bendung Ciwadas, pengatur muka air di bangunan pengambil air baku Pejompongan, bendung Tami dan bendung Kalibumi di Propinsi Papua, pelimpah bendungan Kalola di Sulawesi Selatan, dan bendung Toili di S. Mansahang di Sulawesi Tengah.

Secara umum dapat dikemukakan bahwa kinerja bendung dan pelimpah bendungan tipe gergaji yang telah dioperasikan tersebut sangat baik. Masalah serius hanya dihadapi di bendung Tami yang dipicu oleh batang-batang pohon yang hanyut terbawa aliran sungai dan menyangkut di gigi-gigi bendung gergaji.

Pemanfaatan bangunan bendung dan pelimpah bendungan tipe gergaji terutama ditujukan untuk mendapatkan kapasitas pelimpahan debit yang tinggi pada bentang yang relatif terbatas, atau untuk mendapatkan rentang fluktuasi muka air udik yang relatif kecil akibat perubahan debit aliran sungai.

Bangunan bendung dan pelimpah bendungan tipe gergaji sesuai untuk dibangun di ruas sungai bagian hilir karena pada ruas tersebut kenaikan muka air udik akibat bendung perlu dikendalikan dengan lebih seksama. Penerapan jenis bangunan ini harus memenuhi persyaratan hidraulik tertentu, sehingga pemilihan jenis bangunan ini untuk diterapkan di suatu ruas sungai perlu dilakukan dengan hati-hati dan setelah diperbandingkan dengan alternatif pilihan lainnya.

Pedoman untuk mendesain hidraulik bangunan bendung dan pelimpah bendungan tipe gergaji saat ini belum tersedia sehingga menimbulkan kesulitan dalam mendesainnya. Untuk memudahkan perencana mendesain bangunan bendung dan pelimpah bendungan tipe gergaji, maka diperlukan suatu tata cara desain hidraulik. Penyusunan pedoman ini dimaksudkan pula untuk memberikan gambaran yang jelas mengenai keuntungan dan kerugian bangunan bendung dan pelimpah bendungan tipe gergaji dibandingkan dengan penggunaan jenis bangunan bendung biasa, bendung karet, atau bendung gerak.

Perencanaan hidraulik bendung dan pelimpah bendungan tipe gergaji

1 Ruang lingkup

Bendung dan pelimpah bendungan tipe gergaji sangat sesuai untuk diterapkan pada kasus yang memerlukan kapasitas pelimpah yang besar pada bentang yang relatif sempit/terbatas, guna mengendalikan tinggi muka air udik saat banjir akibat bendung, serta untuk mendapatkan stabilitas fluktuasi muka air udik, misalnya: pada kasus bendung untuk pembangkit listrik tenaga air.

Pedoman teknik ini membahas karakteristik dasar kelebihan dan kekurangan bendung dan pelimpah bendungan tipe gergaji, serta langkah-langkah yang perlu diperhatikan dalam pembuatan desain hidraulik bendung dan pelimpah bendungan tipe gergaji.

Pedoman teknik ini dimaksudkan sebagai bahan rujukan standar untuk membuat desain hidraulik bendung dan pelimpah bendungan tipe gergaji agar pembuatan desain dapat dilakukan dengan mudah dan terstruktur dengan tidak mengabaikan kualitas dan keamanan hasil desain sesuai dengan yang disyaratkan.

2 Acuan normatif

- SNI 03-1724-1989 : Tata cara perencanaan hidrologi dan hidraulik untuk bangunan di sungai
- SNI 03-2401-1991 : Tata cara perencanaan umum bendung

3 Istilah dan definisi

3.1 Bangunan air adalah prasarana fisik yang diperlukan dalam pengelolaan sumber daya air.

3.2 Bangunan pelimpah gergaji adalah bagian dari bangunan air, misalnya bendung atau pelimpah bendungan yang berfungsi untuk melewatkan debit aliran sungai secara terkendali, tata letak bangunan dibuat bergigi seperti gergaji guna meningkatkan kapasitas pelimpahan dengan jalan memperpanjang lebar efektif pelimpah.

3.3 Bendung adalah bangunan yang dibangun melintang alur sungai dengan fungsi untuk meninggikan muka air hulu, menahan atau mengurangi laju muatan sedimen yang bergerak dari hulu ke hilir, mempertahankan dan / atau meninggikan dasar sungai, mengendalikan kemiringan dasar sungai di hulu bendung atau untuk mengendalikan distribusi debit yang melimpah ke hilir.

3.4 Bendung tipe gergaji adalah bendung tetap dengan tata letak mercu pelimpah menyerupai gigi gergaji guna diperoleh lebar efektif pelimpah yang lebih panjang.

3.5 Lapisan tahan aus adalah lapisan yang dipasang di permukaan struktur bangunan air yang berhubungan langsung dengan aliran, mempunyai ketahanan terhadap abrasi, benturan batu dan atau benda padat lainnya, berfungsi sebagai pelindung struktur dari bahaya abrasi dan benturan batu.

3.6 Penggerusan setempat adalah penggerusan pada dasar dan / atau tebing sungai yang terjadi setempat di sekitar struktur akibat peningkatan energi dan turbulensi aliran karena gangguan struktur atau gangguan alami.

3.7 Peredam energi adalah bagian dari bangunan air yang berfungsi untuk meredam energi air yang timbul akibat pembendungan agar aliran air tidak menimbulkan penggerusan setempat yang membahayakan bangunan air dan kelengkapannya. Bagian ini dibangun di bagian hilir bangunan dan dirancang dengan memperhitungkan juga kemungkinan terjadinya degradasi dasar sungai.

3.8 Perencanaan hidraulik adalah kegiatan untuk menentukan tata letak, bentuk dan dimensi hidraulik bangunan air, kelengkapan dan peralatannya yang dituangkan ke dalam gambar teknik, serta dilengkapi dengan nota penjelasan desain.

3.9 Tembok pangkal adalah tembok tegak yang dibangun di kanan kiri bendung atau pelimpah bendungan tipe gergaji, dengan tinggi tertentu, yang berfungsi sebagai pembatas aliran sungai dari udik ke hilir agar tidak melimpas ke luar dari bentang bangunan.

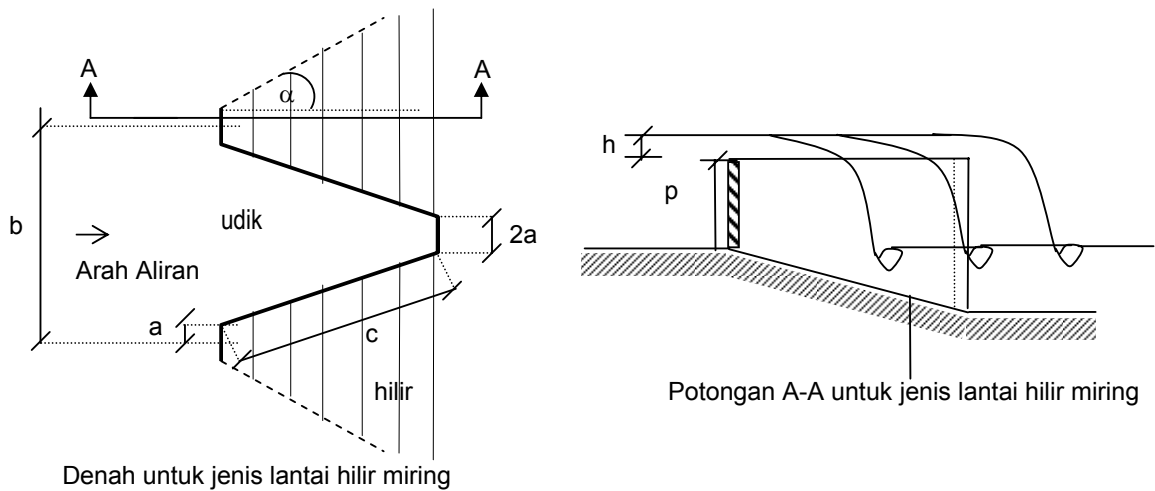
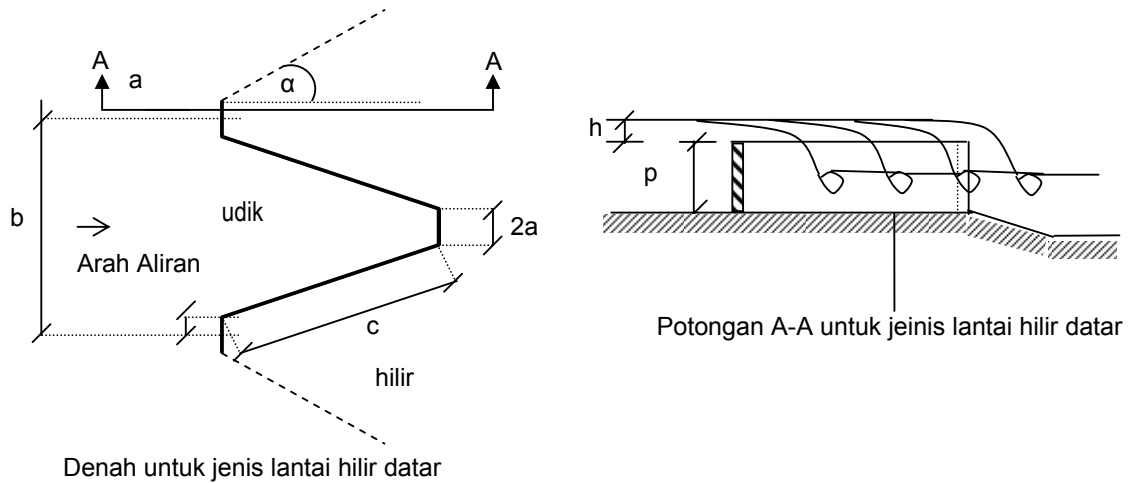
3.10 Tembok sayap udik adalah tembok miring atau tegak sebagai konstruksi penerus ke udik dari tembok pangkal bangunan air dengan fungsi sebagai pengarah aliran sungai menuju sistem bangunan air agar diperoleh kondisi aliran yang menguntungkan bagi bangunan air tersebut, juga berfungsi sebagai perkuatan tebing sungai dari gerusan dan longsoran tanah.

3.11 Tembok sayap hilir adalah tembok miring atau tegak sebagai konstruksi penerus ke hilir dari tembok pangkal bangunan air dengan fungsi sebagai pengarah aliran sungai meninggalkan sistem bangunan air agar diperoleh kondisi aliran yang tidak membahayakan bangunan air dan lingkungan sungai, dan berfungsi sebagai perkuatan tebing sungai dari penggerusan setempat dan longsoran tebing.

3.12 Tubuh bendung gergaji adalah suatu kesatuan bagian bangunan yang terdiri dari pelimpah, dinding tegak samping, lantai, balok pengaku, dan fondasi.

3.13 Rip-rap adalah tumpukan bongkah batu alam atau buatan yang dipasang di hilir peredam energi dan di kaki tembok sayap hilir, dengan tebal lapisan dan lebar tertentu, yang berfungsi sebagai perisai dasar sungai terhadap bahaya penggerusan setempat.

4 Gambar dan notasi



Gambar 1 Denah dan potongan bendung dan pelimpah bendungan tipe gergaji

Mengacu pada gambar di atas, dalam pedoman teknik ini digunakan notasi sebagai berikut.

- a : setengah lebar bagian dinding ujung-ujung gigi gergaji
- b : lebar satu gigi gergaji
- c : panjang bagian dinding sisi gigi gergaji
- p : tinggi pembendungan
- h : tinggi tekan hidraulik muka air udik diukur dari mercu bendung
- l_g : panjang satu gigi gergaji = $4 a + 2 c$

- $\frac{h}{p}$: perbandingan antara tinggi tekan hidraulik, h dengan tinggi bendung atau pelimpah diukur dari lantai udik, p.
- $\frac{b}{p}$: perbandingan antara lebar satu gigi, b dengan tinggi bendung, p.
- $\frac{l_g}{b}$: perbandingan antara panjang mercu pelimpah gergaji yang terbentuk.
- α : sudut antara sisi pelimpah dengan arah aliran utama air.
- n : jumlah “gigi” pelimpah gergaji.
- $\frac{Q_g}{Q_n}$: nilai perbandingan antara besar debit pada pelimpah gergaji dibandingkan dengan besar debit pelimpahan jika digunakan pelimpah lurus biasa dengan lebar bentang yang sama.

Tata letak, bentuk, dan detail potongan memanjang tipikal bendung gergaji dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3.

5 Pertimbangan dan persyaratan

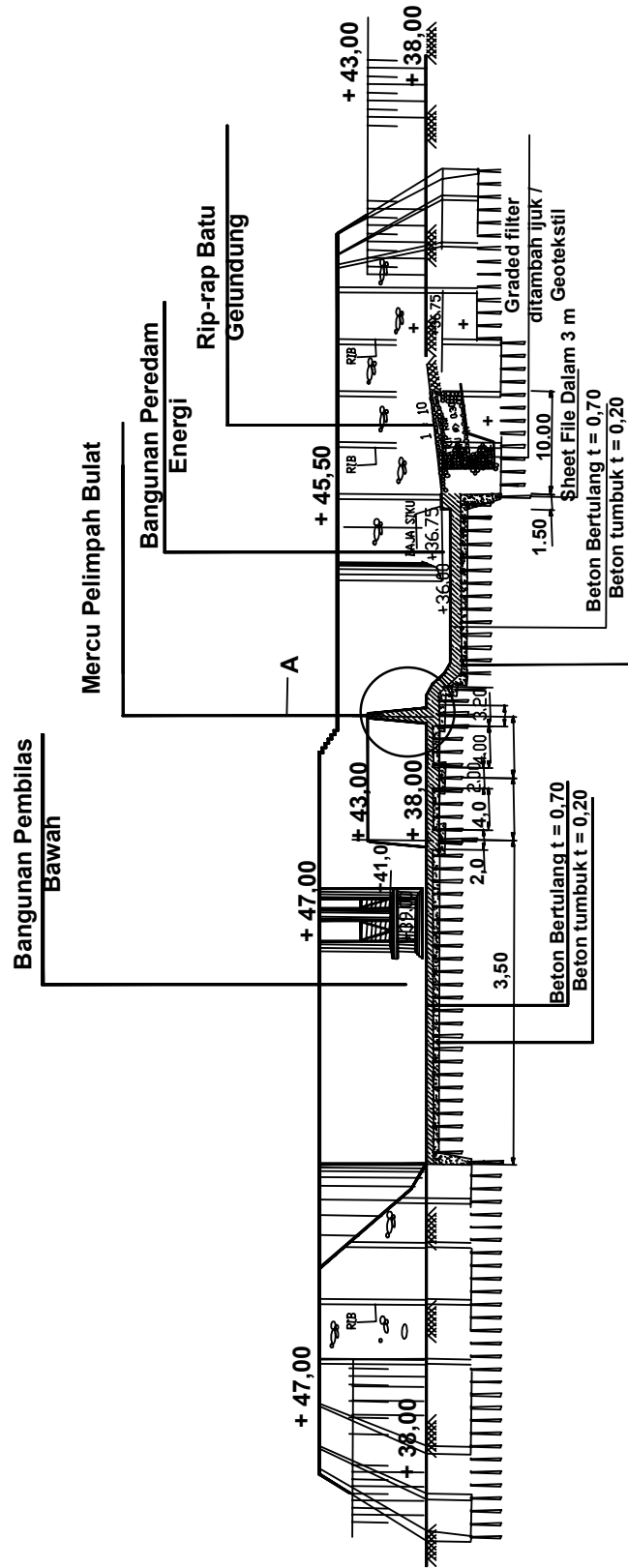
5.1 Pertimbangan

Dalam rencana penerapan bangunan bendung dan pelimpah bendungan tipe gergaji hendaknya dilakukan evaluasi perbandingan dengan kemungkinan penerapan bendung tipe lain, seperti bendung tetap dengan pelimpah biasa, bendung karet, atau bendung gerak.

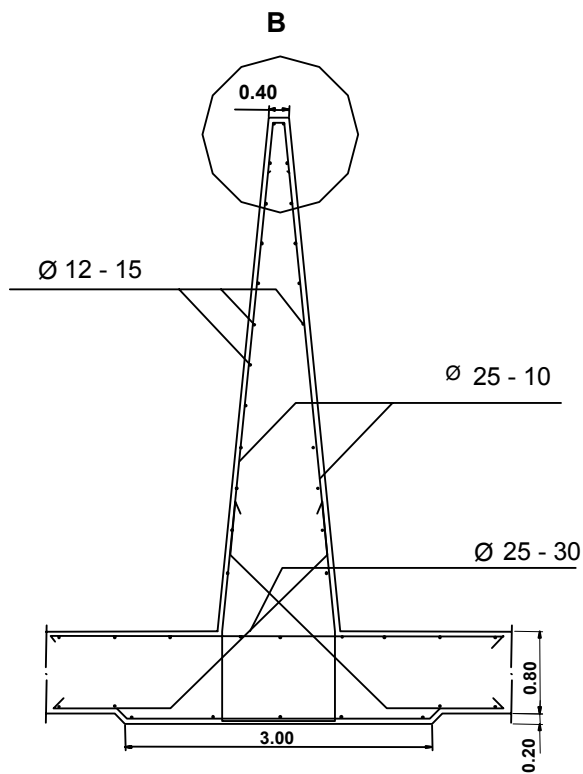
5.2 Persyaratan

Bangunan bendung dan pelimpah bendungan tipe gergaji dan bangunan kelengkapannya harus didesain dengan memperhatikan persyaratan sebagai berikut.

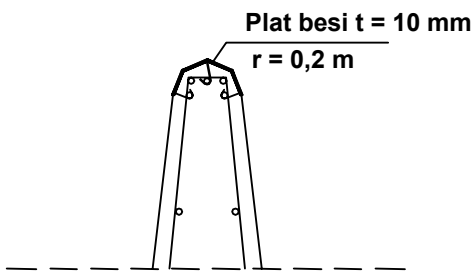
- 1) Lokasi, tinggi mercu, debit banjir rencana, dan stabilitas perlu didesain dengan mengacu pada acuan normatif.
- 2) Bendung dan pelimpah bendungan tipe gergaji kurang sesuai untuk dibangun pada sungai dengan angkutan material dasar sungai batu gelundung dan/atau jika sungai tersebut membawa batang-batang pohon dalam jumlah yang tinggi sehingga diperkirakan akan menimbulkan masalah benturan yang dapat merusak bangunan dan/atau tumpukan sampah yang dapat mengakibatkan penurunan kapasitas pelimpahan bendung.
- 3) Struktur tubuh bendung dan pelimpah bendungan tipe gergaji relatif ramping, berkaitan dengan hal ini maka stabilitas dan kekuatan bagian-bagian struktur serta penyaluran gaya ke pondasi bangunan perlu dianalisis dengan cermat.
- 4) Untuk memenuhi persyaratan kekuatan struktur, jari-jari mercu perlu diambil lebih besar atau sama dengan 0,10 m.



Gambar 3.a Tipikal potongan memanjang bendung dan pelimpah bendungan tipe gergaji



DETAIL. A



DETAIL. B

Gambar 3.B Tipikal penulangan mercu bendung dan pelimpah bendungan tipe gergaji

6 Keamanan bangunan

Bendung dan pelimpah bendungan tipe gergaji serta bangunan pelengkap lainnya perlu didesain dengan memperhatikan keamanan bangunan ditinjau dari segi hidraulik, struktural, operasi, dan pemeliharaan.

6.1 Keamanan hidraulik

Bangunan bendung dan pelimpah bendungan tipe gergaji serta bangunan pelengkapnya harus diperhitungkan aman terhadap:

- 1) bahaya luapan pada bangunan tembok pangkal, tembok sayap udik dan hilir;
- 2) bahaya penggerusan setempat, degradasi dasar sungai dan penggerusan tebing;
- 3) bahaya erosi buluh akibat aliran di bawah dan di samping bangunan;
- 4) bahaya kavitasi dan abrasi;
- 5) bahaya akibat perubahan perilaku sungai.

6.2 Keamanan struktural

Bangunan bendung dan pelimpah bendungan tipe gergaji serta bangunan pelengkapnya harus memenuhi persyaratan kekuatan dan kestabilan struktur baik secara satu kesatuan maupun bagian per bagian dengan rincian meliputi:

- 1) kekuatan terhadap benturan batu dan angkutan benda padat lainnya,
- 2) kestabilan bangunan terhadap guling, geser, dan penurunan.

6.3 Keamanan operasi dan pemeliharaan

- 1) Keamanan operasi

Bangunan bendung dan pelimpah bendungan tipe gergaji serta bangunan pelengkap seperti bangunan pintu pengambil, bangunan pintu bilas, penangkap pasir, dan bagian-bagiannya agar didesain untuk dapat dioperasikan dengan mudah, aman, dan efisien.

- 2) Keamanan pemeliharaan

Untuk menjaga fungsi dan keamanan bangunan setelah beroperasi diperlukan pemeliharaan berkala. Hal-hal yang perlu dipelihara yaitu:

- a) pelimpah harus selalu bersih dari sumbatan batang pohon, sampah dan lainnya;
- b) pemeliharaan dan perbaikan lapisan tahan aus dan rip-rap;
- c) pemantauan dan penanggulangan masalah gerusan lokal.

Berkaitan dengan persyaratan pemeliharaan tersebut, maka di hulu bendung dan pelimpah bendungan tipe gergaji perlu dilengkapi dengan jembatan dan/atau fasilitas pengangkat sampah yang dapat digunakan untuk melaksanakan operasi pembersihan sampah yang menyangkut di gigi gergaji.

- 3) Pemeliharaan dan perbaikan lapisan tahan aus dan rip-rap serta pemantauan dan penanggulangan masalah gerusan lokal perlu dilakukan setiap tahun dan dilakukan sesaat setelah musim banjir.

7 Desain hidraulik

Pedoman teknik desain hidraulik bangunan bendung dan pelimpah bendungan tipe gergaji meliputi kegiatan pradesain, uji model hidraulik dan desain hidraulik. Hasil kegiatan desain hidraulik berupa gambar-gambar bentuk hidraulik disertai nota penjelasan.

7.1 Pradesain hidraulik

Mengacu pada acuan normatif, kegiatan pra desain meliputi hal-hal berikut.

- 1) Pekerjaan persiapan berupa pengumpulan, evaluasi, dan analisis data. Data yang diperlukan yaitu:
 - a) data topografi berupa:
 - i) peta yang meliputi daerah aliran sungai dengan skala 1 : 50.000;
 - ii) peta situasi sungai di lokasi bangunan dengan skala 1 : 2000 dan peta detail dengan skala minimum 1 : 500;
 - b) data morfologi sungai seperti geometri sungai, data hidrograf aliran sungai, dan perubahan-perubahan yang terjadi pada dasar sungai secara horizontal maupun vertikal;
 - c) data geometri sungai berupa: bentuk dan ukuran alur, palung, lembah sungai; kemiringan dasar sungai;
 - d) data angkutan sedimen berupa : gradasi material dasar sungai, laju, dan gradasi angkutan sedimen dasar;
 - e) data hidrograf aliran sungai seperti: aliran banjir; frekwensi kejadian debit banjir; kurva massa aliran, dan tinggi muka air sungai;
 - f) data geoteknik di antaranya: geomorfologi, stratigrafi, dan struktur geologi serta kegempaan di sekitar daerah calon lokasi;
 - g) data mekanika tanah: seperti sifat fisik tanah dan batuan serta sifat teknik tanah di sekitar calon lokasi;
 - h) data bahan bangunan yaitu sumber dan jumlah bahan yang tersedia, jenis dan ketahanan umur, sifat fisik dan teknik bahan bangunan serta persyaratan kualitas bahan bangunan;
 - i) data lingkungan dan ekologi.

Data tersebut diperlukan untuk merancang tipe bendung atau pelimpah bendungan yang optimal, lokasi bangunan, tinggi muka air banjir maksimum yang diizinkan, tinggi muka air hilir, desain hidraulik peredam energi, memperkirakan kecenderungan karakteristik sungai dan perubahan morfologi sungai, pondasi bangunan air dan cara pelaksanaan.

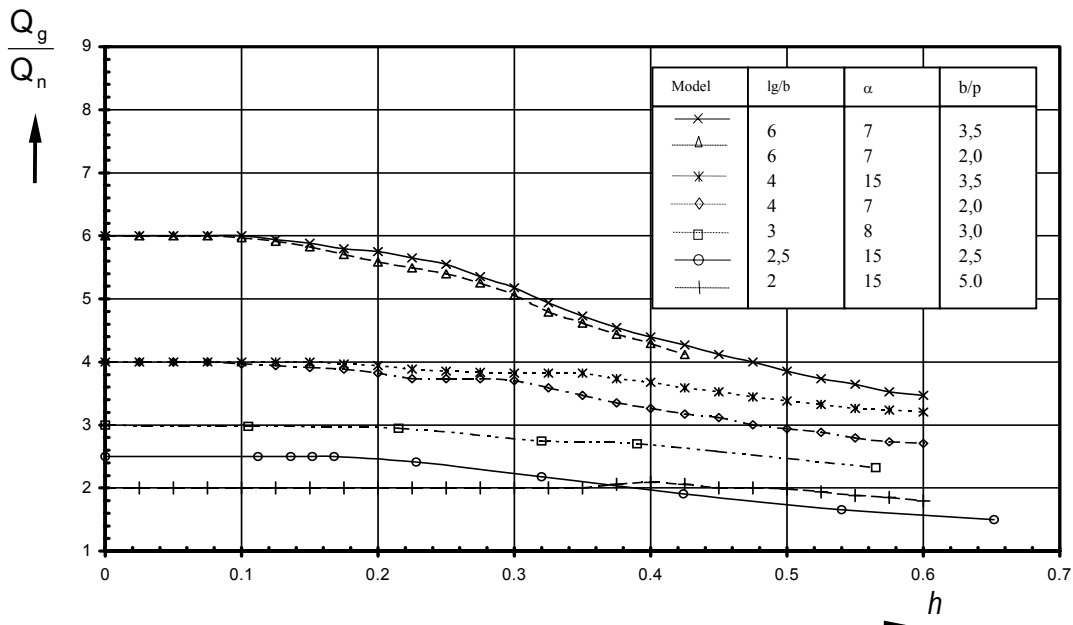
- 2) Peninjauan lapangan diperlukan untuk memeriksa tingkat ketelitian data, mendapat masukan data morfologi sungai dan sifat sungai, mengetahui dan memperkirakan masalah yang akan timbul.
- 3) Lokasi bendung dan pelimpah bendungan gergaji harus dipilih berdasarkan studi perbandingan atas beberapa alternatif dengan mempertimbangkan fungsi bangunan dan faktor-faktor antara lain: topografi, morfologi sungai dan medan sekitarnya, geoteknik, lingkungan, pelaksanaan bangunan, dan mobilitas peralatan.
- 4) Penentuan debit desain mencakup:

- a) debit desain banjir disesuaikan dengan kriteria desain yang berlaku;
- b) debit desain sebesar debit alur penuh untuk bangunan peredam energi;
- c) debit andalan tertentu sesuai kebutuhan untuk kebutuhan irigasi, air minum, dan kebutuhan pembilasan sedimen di penangkap pasir.

7.2 Penentuan bentuk dan dimensi bangunan

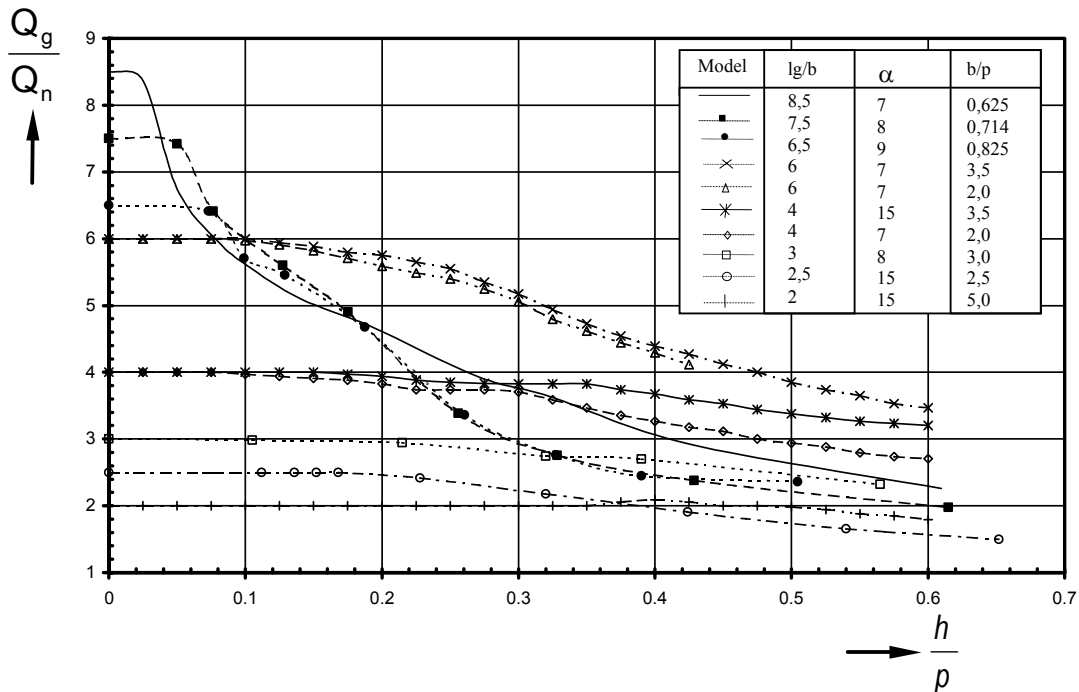
- 1) Bangunan pelimpah bendungan tipe gergaji terdiri atas :
 - a) mercu pelimpah dengan bentuk dan tata letak menyerupai gigi gergaji;
 - b) lantai udik dan lantai hilir yang disambungkan dengan saluran lancar;
 - c) tembok pangkal dan tembok pengiring udik dan hilir;
- 2) Bangunan bendung gergaji serta bangunan pelengkapya terdiri atas:
 - a) mercu pelimpah;
 - b) tubuh bendung;
 - c) peredam energi;
 - d) bangunan bilas dan bangunan pengambil;
 - e) tembok pangkal;
 - f) tembok sayap udik dan hilir;
 - g) lantai udik dan dinding tirai;
 - h) bangunan penangkap pasir;
 - i) bangunan pelengkap lain seperti jembatan pelayanan; tangga dan penduga muka air.
- 3) Bentuk dan bangunan dimensi bendung dan pelimpah bendungan tipe gergaji serta pelengkapya ditentukan dengan memperhatikan hal-hal seperti berikut.
 - a) Bentuk dan tata letak gigi
 - i) Pelimpah dengan bentuk dasar segitiga menghasilkan kapasitas pelimpahan terbesar. Namun demikian, dinding-dinding pelimpah bagian ujung udik dan hilir pada bentuk segitiga sangat dekat. Keadaan ini mengakibatkan pelimpah bentuk segitiga sangat peka terhadap efek muka air hilir dan mudah kehilangan aerasi akibat tumbukan aliran menyilang yang jatuh dari dinding-dinding pelimpah.
 - ii) Pada pelimpah dengan bentuk dasar persegi panjang terjadi pengkonsentrasian aliran menuju pelimpah. Keadaan ini menimbulkan depresi terhadap muka air di atas pelimpah dan mengakibatkan penurunan kapasitas pelimpah.
 - iii) Bentuk dasar trapesium memberikan efektifitas pelimpahan yang terbaik. Karakteristik masing-masing perilaku gigi dapat dilihat pada Gambar 4.
 - b) Pengaruh tinggi muka air udik
 - i) Pelimpah gergaji memberikan kinerja sangat baik untuk besaran $\frac{h}{p}$ rendah.

- ii) Pada kondisi $\frac{h}{p}$ tinggi, debit dan kecepatan aliran menuju pelimpah menjadi besar sehingga akan terjadi kontraksi aliran. Keadaan ini mengakibatkan sebagian besar pelimpah bekerja dengan tinggi tekan aliran yang lebih rendah daripada tinggi tekan aliran di sungai/saluran di udik pelimpah. Fenomena ini menyebabkan harga pelipatan kapasitas pelimpah gergaji turun seperti dapat dilihat pada Gambar 4.
- iii) Berkaitan dengan karakteristik ini, disarankan agar tinggi muka air udik maksimum diambil pada domain $\frac{h}{p} \leq 0,5$.



Gambar 4 Pengaruh tinggi muka air udik terhadap kapasitas pelimpah

- c) Besar nilai pelipatan panjang pelimpah, $\frac{l_g}{b}$
- i) Secara umum dapat dikatakan bahwa nilai pelipatan kapasitas pelimpahan akan naik setara dengan pertambahan nilai $\frac{l_g}{b}$. Namun demikian, untuk nilai $\frac{l_g}{b} > 8$ akan diperoleh keadaan pertambahan kapasitas pelimpahan yang tidak sebanding dengan tuntutan biaya yang diperlukan untuk memperpanjang pelimpah. Keadaan ini dapat dilihat pada Gambar 5.



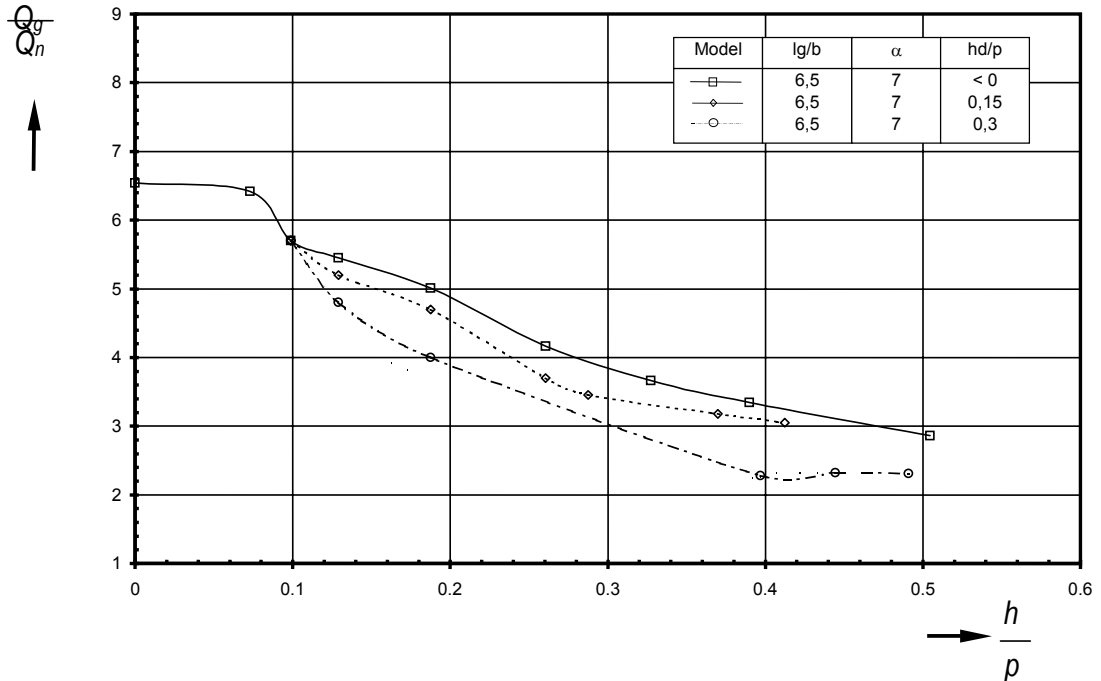
Gambar 5 Pengaruh besar nilai pelipatan panjang pelimpah terhadap kapasitas pelimpah

- ii) Untuk pelimpah dengan $\frac{l_g}{b} = 8$, pelipatan kapasitas pelimpahan sangat peka terhadap kenaikan muka air udik. Pelipatan kapasitas pelimpahan turun dengan tajam untuk harga $\frac{h}{p} \geq 0,2$.
- iii) Jika dalam desain bendung gergaji dapat dilakukan pembatasan muka air udik hingga $\frac{h}{p}$ maksimum = 0,5, disarankan agar nilai pelipatan panjang pelimpah bendungan tipe gergaji diambil dalam domain, $\frac{l_g}{b} \leq 4$.
- iv) Jika tinggi muka air udik dapat dibatasi hingga $\frac{h}{p} \leq 0,25$, maka nilai pelipatan panjang pelimpah dapat diambil hingga, $\frac{l_g}{b} \leq 6$.
- d) Besar sudut antara dinding sisi dan arah aliran, α
 - i) Kapasitas pelimpah akan naik seiring dengan peningkatan sudut α .
 - ii) Untuk mengoptimalkan karakteristik ini, disarankan agar dipilih bentuk gigi trapesium dengan besar sudut $\alpha = 0,75 \alpha_{maks}$, dengan α_{maks} adalah besar sudut segi tiga terbesar yang dapat dicapai untuk menghasilkan harga pelipatan panjang pelimpah tertentu.

e) Aerasi dan muka air hilir

- i) Tanpa aerasi yang baik, kapasitas pelimpah bendungan tipe gergaji akan menurun. Aerasi dapat dilakukan dengan memasang pipa pemasok udara di bagian hilir mercu.
- ii) Penerapan bendung dan pelimpah gergaji pada kondisi aliran tidak sempurna perlu dihindari.

Pengaruh muka air hilir terhadap kapasitas pelimpahan dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Pengaruh muka air hilir terhadap kinerja pelimpah

f) Bentuk mercu pelimpah

- i) Bentuk mercu pelimpah sangat berpengaruh terhadap kapasitas pelimpahan.
- ii) Bentuk mercu setengah lingkaran mempunyai koefisien pelimpahan (c), yang lebih besar daripada koefisien pelimpahan mercu dengan bentuk tajam (c_t).
- iii) Jika kapasitas pelimpahan suatu bendung atau pelimpah bendungan tipe gergaji dengan besar pelipatan panjang mercu $\frac{l_g}{b}$ dan nilai koefisien pelimpahan c_t

adalah sebesar Q_t , kapasitas pelimpahan bendung gergaji dengan $\frac{l_g}{b}$ yang

sama tetapi dengan koefisien pelimpahan c adalah $Q_g = \frac{c_t}{c} \times Q_t$.

- g) Lantai di hilir dinding pelimpah
- i) Dari segi kapasitas pelimpahan, lantai di hilir dinding pelimpah lebih menguntungkan jika dibuat lebih rendah daripada lantai udik atau dibuat miring ke arah hilir.
 - ii) Namun demikian, untuk menentukan lantai hilir perlu diperhatikan juga kekuatan struktur yang dibutuhkan.
- h) Peredam energi
- Lengkapi bangunan dengan peredam energi untuk mencegah penggerusan setempat seperti halnya pembuatan peredam energi pada bendung tetap dan pelimpah bendungan biasa. Untuk peredam energi bendung dapat dipilih antara lain jenis MDO, dengan memperhatikan :
- i) debit desain untuk bangunan peredam energi;
 - ii) tinggi terjunan;
 - iii) penggerusan setempat;
 - iv) degradasi dasar sungai yang akan terjadi.
- i) Tembok pangkal
- Tentukan bentuk dan ukuran tembok pangkal dengan cara :
- i) tinggi tembok pangkal ditentukan dengan memperhatikan debit desain untuk kapasitas pelimpahan ditambah dengan tinggi jagaan tertentu;
 - ii) panjang tembok pangkal ditentukan oleh dimensi tubuh bangunan dan peredam energi;
 - iii) bentuk tembok pangkal dapat dibuat tegak atau miring.
- j) Tembok sayap udik dan hilir
- Lengkapi bangunan dengan tembok sayap dengan memperhatikan:
- i) bentuk dan dimensi peredam energi;
 - ii) geometri sungai di hilir dan sekitarnya;
 - iii) prediksi kedalaman penggerusan setempat dan degradasi dasar sungai yang akan terjadi;
 - iv) stabilitas tebing ;
 - v) tinggi muka air hilir pada debit desain ditambah dengan tinggi jagaan.
- k) Lantai udik dan dinding tirai
- Dimensi bangunan pelengkap ini ditentukan dengan memperhatikan permeabilitas tanah, kemungkinan degradasi dasar sungai dan penggerusan setempat di hilir bangunan, dan kebutuhan pengurangan daya angkat air. Hal itu dilakukan agar tidak melebihi kekuatan dan stabilitas bangunan.

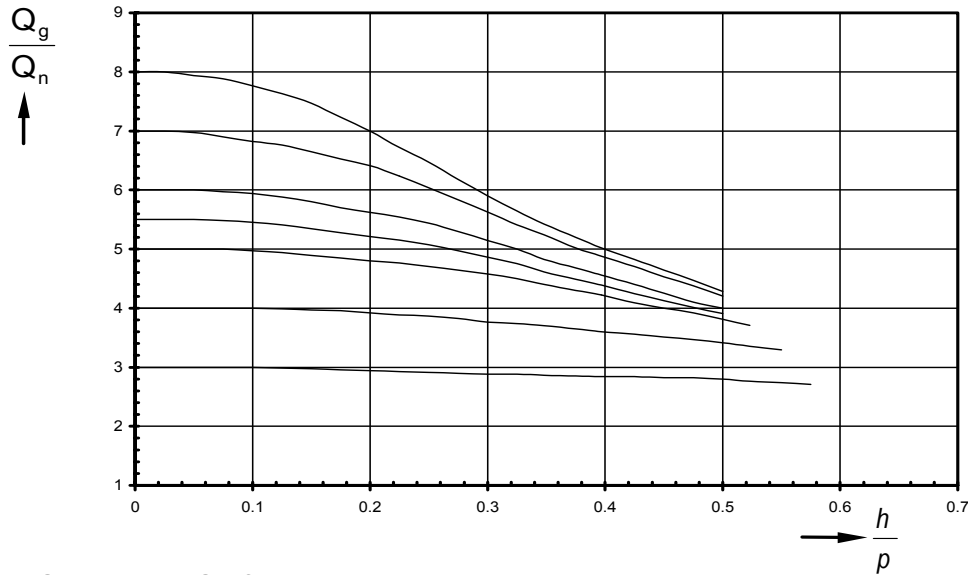
7.3 Detail langkah pradesain hidraulik bendung dan pelimpah tipe gergaji

- 1) Berdasarkan data lapangan dan kebutuhan tinggi pembendungan, tentukan tinggi bendung atau pelimpah (p) dan lebar bendung atau pelimpah lurus (B).
- 2) Hitung tinggi muka air maksimum yang diizinkan terjadi di atas mercu pelimpah (h_{maks}) guna memenuhi persyaratan operasi bendung atau pelimpah.

- 3) Hitung besar debit desain bendung atau pelimpah gergaji ($Q_{g \text{ desain}}$) yang harus mampu dilewatkan melalui pelimpah yang didesain.
- 4) Dengan memperhatikan harga p dan B , hitung besar debit maksimum ($Q_{n \text{ maks}}$) yang mampu dialirkan jika digunakan pelimpah lurus dengan mercu ambang tajam untuk kondisi muka air setinggi h_{maks} .
- 5) Berdasarkan harga $Q_{g \text{ desain}}$ dan $Q_{n \text{ maks}}$, hitung nilai pembesaran kapasitas pelimpahan debit yang diperlukan: $\frac{Q_g}{Q_n} = \frac{Q_{g \text{ desain}}}{Q_{n \text{ maks}}}$
- 6) Hitung parameter tak berdimensi, $\left(\frac{h}{p}\right)_{\text{maks}}$.
- 7) Upayakan pemenuhan persyaratan umum desain hidraulik bendung atau pelimpah bendungan tipe gergaji sebagai berikut: $\frac{h}{p}$, $\frac{b}{p}$ dan kebutuhan peninggian lantai guna memenuhi persyaratan stabilitas dan kekuatan struktur.
- 8) Analisis dengan cermat berdasarkan data lapangan apakah kapasitas pelimpahan akan terpengaruh oleh muka air hilir dan peninggian lantai udik dan/atau hilir.
- 9) Plot titik data desain $\left(\frac{h}{p}, \frac{Q_g}{Q_n}\right)$ pada grafik hubungan antara $\frac{Q_g}{Q_n}$ dan $\frac{h}{p}$ pada Gambar 7 untuk pelimpah bendungan tipe gergaji dengan mercu ambang tajam. Lakukan interpolasi untuk mengetahui besar harga kebutuhan besar pelipatan panjang mercu pelimpah $\left(\frac{l_g}{b}\right)_{\text{tajam}}$ untuk memenuhi persyaratan desain dan kebutuhan lapangan.
- 10) Tentukan desain penampang melintang mercu pelimpah. Pilih desain yang sesederhana mungkin agar mudah dilaksanakan di lapangan, misalnya: bentuk setengah lingkaran atau ambang tajam.
- 11) Hitung besar perbandingan harga koefisien pelimpahan mercu pelimpah yang dipilih terhadap koefisien pelimpahan mercu ambang tajam, $f = \frac{C}{C_t}$ pada kondisi harga $\left(\frac{h}{p}\right)_{\text{maks}}$.
- 12) Hitung besar harga pelipatan panjang mercu pelimpah yang sesungguhnya dengan jalan membagi harga yang diperoleh pada langkah 9) dengan harga perbandingan harga koefisien pelimpahan (f) yang diperoleh pada langkah 11): $\frac{l_g}{b} = \left(\frac{l_g}{b}\right)_{\text{tajam}} \times \frac{1}{f}$

- 13) Pada tahap ini dapat dikatakan bahwa semua data desain hidraulik yang dibutuhkan telah diperoleh. Jumlah gigi dapat ditentukan dengan menyesuaikan besar harga $\frac{b}{p}$ agar diperoleh harga $\frac{B}{b}$ dalam bentuk bilangan bulat (integer) atau bilangan bulat + $\frac{1}{2}$.
- 14) Untuk mengetahui lengkung debit bendung atau pelimpah yang didesain, dapat dilakukan analisis besar debit pelimpahan pada berbagai kondisi muka air sebagai berikut.
- Tentukan beberapa harga $\frac{h}{p}$ dalam domain $0 \leq \frac{h}{p} \leq \left(\frac{h}{p}\right)_{\text{maks}}$.
 - Untuk setiap nilai $\frac{h}{p}$, hitung besar harga perbandingan koefisien pelimpahan, f.
 - Hitung besar harga pelipatan panjang mercu ekuivalen ambang tajam, $\left(\frac{l_g}{b}\right)_{\text{tajam}}$ dengan cara mengalikan harga pelipatan panjang gergaji yang didesain dengan harga f.
 - Hitung besar harga pembesaran debit pelimpahan ekuivalen mercu ambang tajam, $\left(\frac{Q_g}{Q_n}\right)_{\text{tajam}}$ dengan cara menginterpolasikan harga-harga pada gambar 7.
 - Hitung besar debit pelimpahan ($Q_{n_{\text{tajam}}}$) untuk pelimpah ekuivalen lurus bermercu ambang tajam dengan menggunakan rumus pelimpahan yang sesuai.
 - Hitung besar debit pelimpah untuk pelimpah gergaji (Q_g) dengan cara:

$$Q_g = Q_{n_{\text{tajam}}} \times \left(\frac{Q_g}{Q_n}\right)_{\text{tajam}}$$
 - Hitung besar debit yang melimpah melalui pelimpah lurus bermercu seperti yang didesain (Q_n) dengan cara : $Q_n = f \times Q_{n_{\text{tajam}}}$
 - Hitung besar pembesaran debit aktual $\left(\frac{Q_g}{Q_n}\right)_{\text{aktual}}$ dengan membagi nilai Q_g yang diperoleh dari langkah f) dengan besar Q_n yang diperoleh dari langkah g).
 - Ulangi langkah yang sama untuk harga $\frac{h}{p}$ yang lain.



Gambar 7 Grafik untuk desain pelimpah jenis gergaji bentuk gigi trapesium

7.4 Uji model hidraulik

- 1) Uji model hidraulik disarankan untuk dilakukan terhadap pradesain guna :
 - a) mendapatkan bentuk dan ukuran hidraulik bangunan air yang mantap;
 - b) mempelajari hal-hal seperti berikut :
 - i) pola aliran menuju, pada, dan meninggalkan bangunan;
 - ii) pengaruh muka air hilir terhadap kapasitas pelimpahan;
 - iii) pola gerusan dan pengendapan;
 - iv) gejala dan parameter aliran di sungai yang sulit diperoleh dari lapangan, gejala dan parameter aliran pada permukaan struktur;
 - v) perubahan gejala dan parameter aliran di sungai akibat adanya bangunan dan sebaliknya.
- 2) Uji model hidraulik harus dilakukan oleh satu tim teknik hidraulik yang ahli dan berpengalaman baik dalam bidang uji model hidraulik maupun interpretasi lapangan dan operasi bangunan.

7.5 Desain hidraulik

Pengertian desain hidraulik ialah:

- 1) penyempurnaan pradesain hidraulik yang dilakukan dengan bantuan uji model hidraulik;
- 2) bangunan lain yang belum didesain pada pekerjaan pradesain, seperti desain fondasi bangunan dan detail desain pintu-pintu, dilakukan pada pekerjaan desain struktur;
- 3) luaran desain berupa gambar-gambar desain, dengan skala gambar mengikuti standar yang berlaku dan nota desain.

Lampiran A

Contoh penghitungan pradesain hidraulik

A.1 Data dan informasi yang diketahui

- 1) gambar situasi dan potongan memanjang serta melintang geometri sungai
- 2) lokasi bangunan telah ditentukan
- 3) debit desain bangunan, $Q_{\text{desain}} = Q_{g \text{ desain}} = 1460 \text{ m}^3/\text{s}$
- 4) tinggi muka air maksimum di atas mercu yang diijinkan = 3 m
- 5) lebar saluran atau sungai, $B = 32,0 \text{ m}$
- 6) tinggi mercu pelimpah dari lantai udik, $p = 7,5 \text{ m}$

A.2 Penghitungan hidraulik

- 1) Debit maksimum yang dapat dialirkan oleh bendung pelimpah lurus dengan ambang tajam:

$$Q_n = c B H^{1.5} = 1,95 \cdot 32,0 \cdot 3^{1.5} = 324 \text{ m}^3/\text{s}$$

- 2) Berdasarkan harga $Q_{g \text{ desain}}$ dan $Q_{n \text{ maks}}$, dapat dihitung besar pembesaran kapasitas pelimpahan yang diperlukan: $\frac{Q_{g \text{ desain}}}{Q_{n \text{ maks}}} = \frac{1460}{324} = 4,5$.

- 3) Harga perbandingan tinggi muka air udik dan tinggi mercu, $\left(\frac{h}{p}\right)_{\text{maks}} = \frac{3}{7,5} = 0,40$.

- 4) Penuhi persyaratan dasar desain hidraulik bendung dan pelimpah bendungan tipe gergaji, yaitu pada domain $\frac{h}{p} \leq 0,50$ dan $\frac{b}{p} \geq 2$.

Untuk memenuhi persyaratan ini, ambil lebar satu gigi gergaji, $b \geq 2 \cdot 7,5 \text{ m}$

Karena lebar sungai, $B = 32 \text{ m}$, agar diperoleh jumlah gigi yang bulat atau bulat $+ \frac{1}{2}$ dapat ditentukan, $b = 16 \text{ m}$.

- 5) Plot data desain $\left(\frac{h}{p} = 0,40 \text{ dan } \frac{Q_{g \text{ desain}}}{Q_{n \text{ maks}}} = 4,5\right)$ pada grafik hubungan antara $\frac{Q_g}{Q_n}$ dan $\frac{h}{p}$ pada gambar 7 untuk pelimpah gergaji dengan mercu ambang tajam.

Berdasar grafik tersebut diketahui besar harga kebutuhan pelipatan panjang mercu

$$\text{pelimpah} \left(\frac{l_g}{b}\right)_{\text{tajam}} = 5,5.$$

- 6) Tentukan desain mercu pelimpah yang sesederhana mungkin agar mudah dilaksanakan di lapangan dan kuat, misalnya: bentuk mercu bulat setengah lingkaran.
- 7) Berdasarkan metode-metode hidraulika yang telah tersedia, dapat dihitung harga perbandingan harga koefisien pelimpahan mercu pelimpah bulat terhadap koefisien pelimpahan mercu ambang tajam (f). Jika diambil harga $f = \frac{C}{C_t} = 1,2$ konstan untuk berbagai kondisi muka air udik, tahap pradesain selanjutnya dapat dilakukan dengan sangat sederhana.
- 8) Untuk harga f tersebut, besar harga pelipatan panjang pelimpah untuk mercu setengah lingkaran yang sesungguhnya dapat dihitung sebagai berikut:

$$\frac{l_g}{b} = \left(\frac{l_g}{b} \right)_{\text{tajam}} \times \frac{1}{f} = 5,5 \times \frac{1}{1,2} = 4,58.$$

Dengan demikian, panjang satu gigi gergaji, $l_g = 4,58 \cdot 16 = 73,3$ m.

- 9) Berdasarkan data b dan l_g , dengan menerapkan ilmu trigonometri dapat dihitung data gigi gergaji lainnya sebagai berikut :

$$\alpha = 0,75 \alpha_{\text{maksimum}} = 12^{\circ}$$

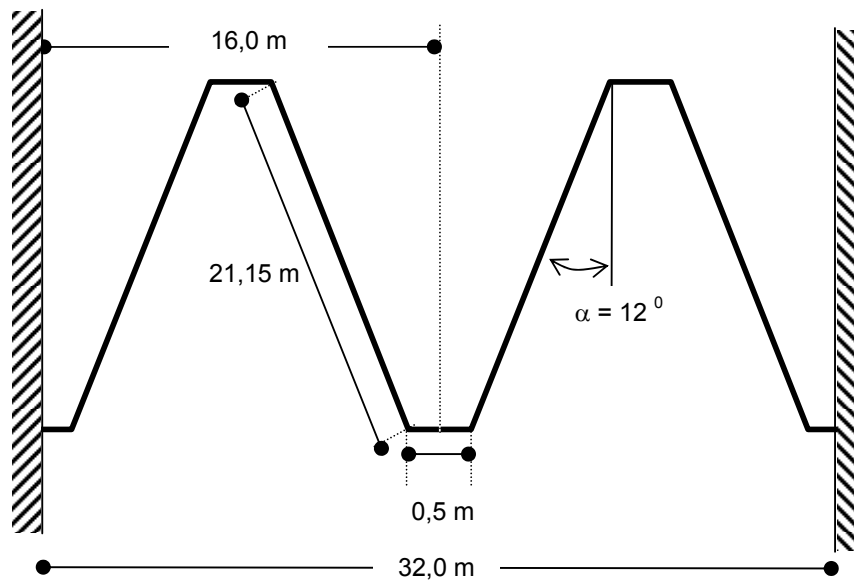
$$a = 0,25 \text{ m.}$$

$$c = 21,15 \text{ m.}$$

- 10) Jumlah gigi (n) dapat ditentukan dengan memperhatikan harga lebar sungai dan lebar satu gigi gergaji.

$$n = \frac{B}{b} = \frac{32}{16} = 2.$$

- 11) Berdasarkan data tersebut dapat dibuat gambar skematisasi prarencana hidraulik seperti dipresentasikan pada Gambar A.1.



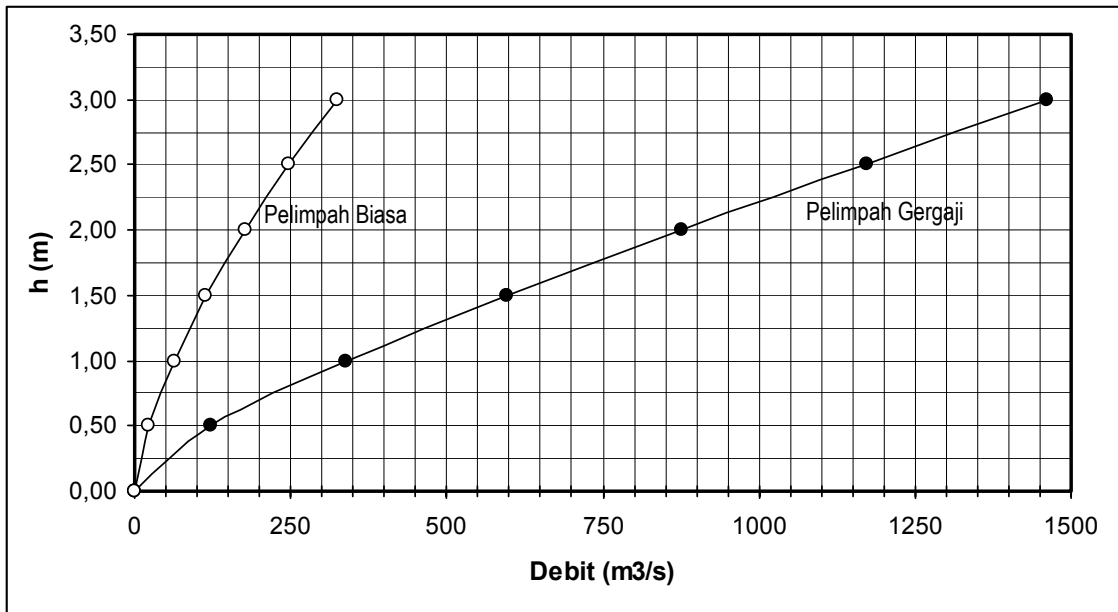
Gambar A.1 Skematisasi pradesain hiraulik bendung gergaji (tak berskala)

- 12) Berdasarkan data fisik pelimpah gergaji yang diperoleh dapat dihitung besar debit yang melimpas melalui mercu pada berbagai muka air udik seperti ditunjukkan pada Tabel A.1.

Tabel A.1 Penghitungan lengkung debit bendung gergaji

h (m)	h/p	f	l_g/b	Q_g/Q_n	Q_n (m^3/s)	Q_q (m^3/s)
0,5	0,067	1,2	5,5	5,490	22,06	121,12
1,0	0,133	1,2	5,5	5,410	62,40	337,58
1,5	0,200	1,2	5,5	5,210	114,64	597,25
2,0	0,267	1,2	5,5	4,970	176,49	877,17
2,5	0,333	1,2	5,5	4,750	246,66	1171,62
3,0	0,400	1,2	5,5	4,503	324,24	1460,00

- 13) Berdasarkan hasil langkah perhitungan pada butir 12) di atas dapat disusun lengkung debit bendung atau pelimpah bendungan gergaji yang dirancang seperti dipresentasikan pada Gambar A.2.



Gambar A.2 Lengkung debit bendung gergaji yang dirancang

- 14) Berdasarkan data utama yang telah diuraikan di atas, maka langkah pradesain hidraulik berikutnya dapat ditempuh sama seperti mendesain bendung tetap atau pelimpah bendungan biasa.

Lampiran B**Daftar nama dan lembaga**

1) Pemrakarsa

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

2) Penyusun

N a m a	L e m b a g a
Dr. Ir. Arie Setiadi, M.Sc.	Pusat Litbang Sumber Daya Air
Ir. Yiniarti, Dipl.HE.	Pusat Litbang Sumber Daya Air
Deri Indrawan, ST.	Pusat Litbang Sumber Daya Air

Bibliografi

1. Hay N. & Taylor, (1970). *A Computer Model for the Determination of the Performance of Labyrinth Weirs*, Kyoto - Japan.
2. Pusat Litbang Sumber Daya Air, (2001). *Analisa, Evaluasi dan Penelitian untuk Pemantapan Menuju Standarisasi Desain Hidraulik Bendung dan Pelimpah Jenis Gergaji*, No. 07/P2TBSDA&R/01, Bandung.
3. Pusat Litbang Sumber Daya Air, (1988). *Laporan Penyelidikan Hidrolis Model Bendung Ciwadas – Karawang, Jawa Barat*, No. P. 1463.
4. Pusat Litbang Sumber Daya Air, (1989). *Laporan Penyelidikan Hidrolis Model Bendung Maloso – Sulawesi Selatan*, No. P. 1470.
5. Pusat Litbang Sumber Daya Air, (1991). *Laporan Penyelidikan Lapangan dan Pra Rencana Bendung Tami – Papua*, No. P. 1561.