

Petunjuk desain hidraulis bendung dan pelimpah tipe gergaji (TIPE MDG)

Oleh :

H. Moch. Memed, IR, Dipl. HE, APU
Research Professor in Hydraulics
Jurusan Teknik Sipil-Fakultas Teknik UNJANI

Pendahuluan

Latar Belakang

Tubuh Bendung pada hakekatnya merupakan tembok atau dinding penahan air dan atau tanah yang dibangun melintang terhadap aliran sungai atau saluran.

Tubuh Bendung, sebagai komponen utama berbagai jenis Bangunan Air, antara lain berfungsi untuk meninggikan muka air, mengendalikan dasar sungai dan pergerakan sedimen serta untuk menampung muatan sedimen. Bagian atas bendung (disebut mercu bendung) harus dapat dilimpahi aliran air dengan aman.

Mercu bendung bersama dengan kedua tembok pangkal bendungnya dapat disebut sebagai *Pelimpah Bendung* yang berfungsi untuk mengalirkan air bila muka air di udiknya melebihi *elevasi mercu bendung atau mercu pelimpah minimum yang telah ditentukan sesuai dengan kebutuhan* ($=EL+Mb$).

Waduk yang berfungsi untuk menampung sejumlah volume air dengan menahan dan meninggikan muka air sungai sampai batas tertentu (mercu pelimpah), dengan komponen utamanya yaitu *Tubuh Bendungan*, memerlukan juga komponen utama yang lain berupa pelimpah.

Tubuh Bendung dapat dibangun sebagai Tubuh Bendungan pada Waduk merangkap sebagai *Pelimpah Waduk*

Pelimpah harus didesain sehingga dapat melewati Debit Desain Banjir Maksimum yang ditentukan ($=Q_f$).

Salah satu akibat pembangunan Waduk dan Bangunan Air yang dilengkapi Tubuh Bendung adalah terjadinya peninggian muka air di atas elevasi mercu ($=EL+Hu$) yang berlebihan yang dapat menimbulkan masalah utama berupa

bahaya banjir dengan masalah susulannya berupa masalah lingkungan (teknik, sosial, budaya, ekonomi dan sebagainya).

Makin tinggi peninggian air dari atas mercu bendung atau mercu pelimpah ($=Hu$), yang disebabkan pembendungan, makin besar pula masalah yang akan dihadapi. Dengan demikian secara teknis dalam desain harus ada usaha untuk dapat menurunkan elevasi air yang bermasalah banjir.

Adapun usaha yang biasa dilakukan oleh Desainer Bangunan Keairan, untuk menurunkan muka air banjir terutama untuk debit (Q_f) dimana elevasi ($EL+Mb$) telah ditentukan menurut Perencanaan dan Studi Kelayakan, yaitu dengan jalan memperlebar atau memperpanjang bentang mercu bendung atau pelimpah ($=B_p$) kesamping kanan dan kiri dengan alinyemen lurus atau dilengkungkan (Pelimpah Lurus atau Pelimpah Lengkung)

Dengan Pelimpah yang dilengkungkan maka dengan jarak lurus bentang bendung (jarak tegak lurus antara kedua tembok pangkalnya $=B_b$) yang sama dengan untuk Pelimpah yang lurus, maka *panjang Pelimpah* ($=B_p$) yang lengkung akan lebih besar dari B_p yang lurus, sehingga dengan semua debit limpah (Q) yang sama muka air diudik pelimpah ($=Hu$) akan lebih kecil termasuk untuk (Q_f) yaitu ($=H_{uf}$). Pelimpah Lengkung memanfaatkan ruang bukan kearah samping tetapi ke arah udik dan hilir aliran

Dengan panjang bentang spillway (B_p) yang relatif lebih lebar maka besar peninggian atau penurunan muka air ($=\partial H$) akibat peninggian atau penurunan besar debit (∂Q),

maka harga koefisien ($\partial H / \partial Q$) akan relatif lebih kecil pula.

Harga ($\partial H / \partial Q$) yang relatif kecil sangat menguntungkan untuk eksploitasi Pembangkit Listrik Tenaga Air, Pompa dan pengaturan debit Irigasi dengan memperoleh harga (∂H) yang relatif kecil seta mengurangi bahaya *rapid draw down* dengan bahaya susulannya.

Pelimpah atau Bendung tipe Gergaji lengkap dengan spesifikasi tekniknya yang dikenalkan disini merupakan tipe alternatif dengan konsep yang khusus, yang dapat digunakan dalam mendesain Pelimpah Waduk dan Bendung, dengan beberapa kelebihan dibanding dengan pelimpah lurus konvensional atau yang dilengkungkan biasa saja.

Keuntungan yang lain dan *persyaratan* digunakannya tipe Gergaji tersebut akan dipaparkan selanjutnya

Konsep dasar desain Bendung atau Pelimpah tipe Gergaji dan perkembangannya

- Untuk memperoleh penurunan harga (Huf) yang besar maka perpanjangan lebar pelimpah dilakukan dengan mengubah alinyemen lengkung dengan *alinyemen zig-zag berbentuk gigi gergaji yang tajam pada dua sisinya*
- Bentuk zig-zag gigi gergaji yang teratur dimensinya ini diambil untuk memudahkan pencarian perumusan hubungan antara parameter geometri konstruksi dengan parameter aliran
- Dalam rangka memperoleh bentuk konstruksi yang *stream line* dan memperoleh *dimensi hidraulis dan struktur yang optimal* maka pelimpah bentuk gigi gergaji tajam ditumpulkan dengan memotong kedua ujung runcingnya. Meskipun gigi gergajinya ditumpulkan nama tipe tetap dipertahankan yaitu Bendung atau Pelimpah dengan tipe GERGAJI,

Konsep Pelimpah Gigi Gergaji ini mulai diterapkan pada bangunan *High Head Tank* (dipakai untuk alat penstabil debit yang dialirkan ke model) dilaboratorium Hidraulika dengan inovasi untuk mendapatkan harga ($\partial H /$

∂Q) yang kecil untuk memperoleh ketelitian pengukuran dalam percobaan / penelitian pengaliran yang tinggi. Laboratorium itu adalah laboratorium Hidraulika LPMA yang baru dan modern pada saat itu (di desain tahun 1970).

Konsep pelimpah gigi Gergaji dengan *satu buah yang gigi ditumpulkan*, disarankan dan telah diterapkan pada desain spillway Waduk Way Rarem. Pertimbangan yang mengharuskan dipakainya pelimpah Gergaji untuk Way Rarem tersebut disebabkan terdapat masalah dilapangan, bahwa medan yang tidak cukup tempat untuk membangun Spillway Lurus. Selain menggunakan spillway lengkung yang relatif tajam, dihilir spillway Way Rarem ini diterapkan pula peredam enersi dengan tipe baru "*Double Stilling Basin*".

Kedua gagasan baru itu didesain melewati pemantapan atau penyempurnaan konsep dengan penelitian hidraulis) dengan model (*Model Investigation*) di laboratorium tersebut diatas

- Penelitian dengan model dalam rangka memperoleh *rumusan dan optimasi* terus dikembangkan, sedangkan pengajuan saran penerapan tipe Gergaji di lapangan diusahakan berlanjut. Dan telah diterapkan antara lain untuk Pelimpah Waduk Way Raem, Bendung Ciwadas (dibangun di saluran pembuang, keperluan pengembangan tambak udan TIR), Waduk Palasari (satu gigi) Bangunan Bagi dan Pengambilan di Kali Malang untuk PDAM Jaya, Pelimpah banjir dari Sediment trap BUB, Spillway waduk Kalola – Gigi -Satu (sulawesi Selatan), BUB Tami dan BUB Kalibumi (di Irian Jaya), pelimpah Waduk Sermo (Yogyakarta) dan Bendung Mansahang -Toilli (Sulawesi Tengah)

Pengertian umum berkaitan dengan bendung atau tubuh bendung dan pelimpah

1) Tubuh Bendung :

Ditinjau dari segi struktur, tubuh bendung atau yang biasa disebut bendung pada hakekatnya, ciri, fungsi dan penggunaannya:

- a. Kerusakan konstruksi dinding yang dibuat melintang terhadap aliran di sungai atau saluran (bisa konstruksi

tetap = *bendung tetap* dan bisa berupa *bendung gerak*)

- b. Konstruksi penahan air, pergerakan sedimen dan tanah
- c. Melalui mercu atasnya dapat melimpah aliran air yang dapat membawa muatan sedimen dan sampah.

- d. Tubuh Bendung diperlukan sebagai komponen utama dari berbagai jenis Bangunan Air
- e. Fungsi tubuh bendung pada umumnya merupakan Komponen Utama dari beberapa jenis Bangunan Air.

Tabel 1

Bangunan Air yang memerlukan Tubuh Bendung dan Pelimpah tipe Gergaji	Maksud dan Tujuan (Fungsi)	Gejala bermasalah yang timbul yang harus diperhitungkan dalam dalam Desain dan diantisipasi	
Bangunan Utama Bendung <i>River / Long storage</i>	Meninggikan dan menyadap air sungai atau saluran	<ol style="list-style-type: none"> 1. Banjir limpas dan genangan 2. Agradasi 3. Arah aliran 4. Aliran samping 5. Meandering 6. Braiding 7. Muatan sedimen 8. Seepage = uplift pressure dan perkolasi 9. Benturan, kikisan dan gesekan batu 	<ol style="list-style-type: none"> 10. Kavitasi 11. Penambahan Enersi potensil dan kinetis 12. Terjunan dan pengerusan stempat 13. Undermined 14. Longsoran tebing 15. Rapid draw down 16. Degradasi dasar sungai di hilir 17. Sampah 18. Tekanan dan beban
Bangunan Terjun	Meninggikan dan melandaikan aliran		
Bangunan Penahan Salinitas (<i>salinity barrier</i>)	Meninggikan muka air di udiknya dan menahan air garam		
Check-dam, Bottom Controller atau Bendung Konsolidasi	Mengendalikan dasar sungai, menahan laju sedimen		
Pelimpah Kantong lahar dan Dam Sedimen	Menahan laju dan menampung sedimen		
Pelimpah Waduk	Melimpahkan banjir		
Pelimpah Samping di Sungai atau di Saluran	Melimpahkan debit yang berkelebihan		
Bagian atas Pintu Pelimpah	Melimpahkan air		

2) *Pelimpah:*

Pelimpah atau Spillway merupakan bagian dari Bangunan Air untuk melimpahkan aliran diatasnya atau dibawahnya.

3) *Desain Hidraulis:*

Melakukan Desain berarti menuangkan **niat** untuk membangun (dalam hal ini Bangunan Air dengan segala Kelengkapan dan Peralatannya) kedalam *Gambar Teknis dan Nota-Nota*, menentukan *besaran-besaran* lokasi, alignyemen, dimensi vertikal dan

horizontal yang mempengaruhi dan dipengaruhi sifat dan perilaku hidraulis (keairan)

Desain Hidraulis merupakan dasar untuk mampu melanjutkan tahap desain selanjutnya yaitu Desain Struktur dan Desain Fundasi / Konstruksi Tanah serta Peralatan

4) *Petunjuk Desain:*

Berisi Aturan dan Peraturan untuk Desain khusus dalam hal ini bila Tubuh Bendung dan Pelimpah tipe Gergaji akan dipakai dalam Desain

5) *Tubuh Bendung dan Pelimpah tipe Gergaji:*

Merupakan tubuh bendung dengan alternatif jenis atau tipe khusus yang dikenalkan dengan ciri-ciri dan ketentuan serta catatan sebagai berikut:

- Harus memenuhi Ketentuan dan Persyaratan yang berlaku umum untuk Desain Tubuh Bendung yang berlaku dan memenuhi Persyaratan khusus diberlakukan untuk Tipe Gergaji

Output Desain dan Tahapan Desain

a. *Otput Desain* yang harus disampaikan adalah

- (1) Gambar-gambar Teknis
- (2) Nota Penjelasan Desain

b. *Tahapan Desain Bangunan Air:*

- (1) Konsep

- Bentang tubuh bedung atau pelimpah tidak lurus seperti bendung atau pelimpah yang konvensional (bentang lurus)
- Dalam arah denah, bentang bendung berbentuk gigi gergaji yang ditumpulkan dikedua ujungnya.
- Ketentuan Dimensi hdraulis diperoleh dari hasil serangkaian Penelitian Hidraulis Dengan Model yang sistematis terhadap Konsep (inovasi)

(2) Pra Desain Hidraulis

(3) Desain Hidraulis diperoleh dengan dasar Pra Desain Hidraulis, yang kalau dianggap perlu disempurnakan melalui serangkaian Penelidikan dengan Model (Model Test)

(4) Desain Struktur Atas dan Fundasi /Geoteknik serta Alat-Peralatan yang diperlukan

Desain tahap ini harus berdasarkan Desain Hidraulis

Diskripsi dan Notasi Dimensi Hidraulis Tubuh Bendung dan Pelimpah tipe Gergaji

1. Komponen dan fungsi Tubuh Bendung Gergaji:

Tabel 2

No	Komponen Tubuh bendung	Fungsi Komponen tubuh Bendung
1	Mercu Pelimpah Bendung	Bagian atas tubuh bendung
2	Pelimpah Bendung	Profil basah penyalur / pelimpah debit sungai atau saluran dibatasi mercu, pangkal bendung
3	Pangkal Bendung	Tembok pembatas sisi pelimpah bendung
4	Tembok sayap udik	Pengarah arus dari udik dan perkuatan tebing
5	Tembok sayap hilir	Pengarah arus ke hilir bendung dan perkuatan tebing
6	Lantai udik bendung	Penangkal bahaya seepage- bawah
7	Lantai dihilir Mercu Pelimpah	Lantai Ruang Olakan di hilir mercu pelimpah bendung
8	Ambang Tubuh Bendung	Perletakkan Tubuh Bendung
9	Peredam Enersi atau Ruang Olakan Bendung	Pencegah bahaya penggerusan setempat dihilir bendung

2. Notasi Dimensi Hidraulis Konstruksi

Tabel 3

No	Dimensi Hidraulis Konstruksi	Notasi
1	Lebar bendung= Jarak lurus antara Pangkal-Bendung	= Bb
2	Panjang Gigi gergaji tidak dipancang (runcing)	= Lgr
3	Panjang Lgr yang optimal	= Lgo=0.5 Bb
4	Panjang Lgr yang optimal terpancung	= Lg = 0.5 Lgo
5	Panjang Pelimpah Bendung	= Bp
6	Jumlah Gigi dalam bentang Bendung	= Ng
7	Elevasi Mercu Pelimpah (Bendung)	= EL+ Mb
8	Elevasi Lantai Udik	= EL+ Hlu
9	Elevasi Lantai dihilir Mercu Pelimpah	= EL+ Hli
10	Elevasi Invert Peredam Enersi Bendung Gergaji	= EL+ Dsp
11	Elevasi dasar sungai / saluran diudik bendung	= EL+ Hsu
12	Elevasi Dasar sungai / saluran dihilir Peredam Enersi	= EL+ Hsi
13	Tinggi tubuh bendung diudik lantai udik	= Pu
14	Tinggi tubuh bendung di hilir lantai hilir	= Pi

3. Notasi dan Dimensi Hidraulis Parameter Aliran

Tabel 4

No	Parameter Aliran	Notasi	Untuk Desain
	Debit yang dialirkan random Qb	= Qb	
1	Debit untuk Desain kriteria aman Banjir	= Qf	✓
2	Debit untuk Desain kriteria aman penggerusan	= Qp	✓
3	Elevasi muka air sungai diudik Pelimpah Bendung pada (= Qd)	= EL+ Hu	
4	Elevasi muka air sungai pada Qdf diudik Pelimpah Bendung	= EL+ Huf	✓
	Elevasi muka air sungai di hilir Bang. Pelimpah Bendung Gergaji pada debit random Qd	= EL+ Hi	
5	Elevasi muka air sungai di hilir Bangunan Pelimpah Bendung Gergaji pada debit Qf	= EL+ Hsif	✓
6	Elevasi muka air sungai di hilir Bangunan Pelimpah Bendung Gergaji pada debit Qp	= EL+ Hsip	✓
7	Elevasi muka air di hilir mercu Pelimpah Bendung Gergaji pada debit Qf	= EL+ Hif	✓
	Elevasi muka air di hilir mercu Pelimpah Bendung Gergaji pada debit random Qd	= EL+ Him	

No	Parameter Aliran	Notasi	Untuk Desain
8	Elevasi muka air di hilir mercu Pelimpah Bendung Gergaji pada debit Q_p	= $EL+ Himp$	✓
	Tinggi air di bendung dari atas mercu Bendung pada debit random = Q_d	= H_u	
9	Tinggi air di udik Bendung dari atas mercunya (Q_f)	= H_{uf}	✓
10	Tinggi air di hilir mercu Pelimpah dari dari lantai hilir pda Q_f	= H_{imf}	✓
	Tinggi air di hilir bendung dari atas dasar sungai dengan debit random (Q)	= H_i	
11	Tinggi air di hilir bendung dari atas dasar sungai (Q_f)	= H_{uf}	✓
12	Tinggi air di hilir bendung dari atas dasar sungai (Q_p)	= H_{up}	✓
	Tinggi terjun (=Z) dengan debit random Q_d antara $EL+ H_u$ dan $EL+ H_{is}$	= Z_o	
13	Tinggi terjun (=Z) antara $EL+ H_{imf}$ dan $EL+ H_{if}$)	= Z_{gf}	✓
14	Tinggi terjun antara $EL+ H_{imp}$ dan $EL+ H_{ipsf}$	= Z_{gp}	✓
15	Catatan: Debit Q_d digunakan untuk percobaan aliran dengan model sedangkan Debit Q_f dan Q_p harus ditentukan terlebih dahulu untuk desain hidraulis		

4. *Gambar tipikal Desain Hidraulis Bendung / Peimpah Tipe Gergaji*

Dapat dilihat dari Lampiran Gambar

5. *Material untuk Tubuh Bendung / Peimpah Tipe Gergaji*

Tubuh bendung tipe Gergaji dapat dibuat dari material beton bertulang atau kombinasi denga pasangan tembok dengan perletakkan serta fundasi dari beton atau pasangan atau kombinasi

Tubuh bendung bagian atas juga dapat dibuat dari konstruksi baja yang prefab dipasang ditempat, untuk memudahkan pelaksanaan

DESAIN HIDRAULIS BENDUNG ATAU PELIMPAH TIPE GERGAJI dan SPESIFIKASI TEKNIS UNTUK HASIL PENELITIAN HIDRAULIS DENGAN MODEL

1. Menentukan Dimensi hidraulis dan Perhitungan Hidraulis Tubuh Bendung atau Pelimpah tipe Gergaji:

- Desain berarti menentukan jenis, tata letak dan ukuran hidraulis struktur Bendung / Pelimpah

Perhitungan-perhitungan dilakukan dengan menggunakan Spesifikasi Teknis Bendung Gergaji berupa grafik-grafik atau rumus-rumus hasil dari penelitian hidraulis dengan model

- Lebar B_d** harus didesain bersama dengan **H_{uf}** maksimum yang diizinkan untuk besar Debit Desain Banjir (= Q_f) yang telah ditetapkan terlebih dahulu dengan mempertimbangkan antara lain:

- 1) Tinggi H_{udf} akan mempengaruhi tinggi Bendungan dan luas

- genangan yang akan mengganggu lingkungan, Dekzerk, Tanggul Penutup, Tanggul Banjir, Tanggul saluran (pada Waduk, BUB, Bangunan Pengendali Sedimen, Bangunan Pelimpah dan sebagainya)
- 2) Untuk Bangunan Air di badan sungai, lebar Bd dapat lebih besar dari lebar alur dominan sungai (=Bap) atau dapat diambil lebih kecil dari Bap misalnya bila sebahagian alur sungai akan dipergunakan untuk pengalihan aliran pada periode pelaksanaan.
 - 3) Kesimpulan harga Huf yang akan menentukan Bd !
- c. Jumlah gigi Gergaji yang optimal (= Ngo) dalam bentang Pelimpah atau Bendung selebar (= Bd)
- Pergunakan **Grafik (MDG - 4)**
 - Buat lengkung debit untuk Qdf, hubungan antara Hu dan jumlah gigi
- d. Ukuran panjang gigi gergaji runcing yang optimal **Lgro=1.0 Bb** (untuk 2 gigi) lihat **Grafik MD - 1**
- e. Ukuran gigi gergaji ditumpulkan dihilir yang optimal sebesar **Lgi = 0.25 Lgro = 0.25 Bb** (untuk 2 gigi) Lihat **Grafik MD - 2**
- f. Ukuran gigi gergaji ditumpulkan diudik yang optimal sebesar **Lgu = 0.25 Lgro = 0.25 Bb** (untuk 2 gigi) Lihat **Grafik MD - 3**
- g. Maka dari butir edan f diperoleh panjang gigi Gergaji yang dipancang dan masih memperoleh penurunan Hu dari Huo yang optimal = **Lgo = 0.50 x Bd**
- h. Penentuan (perhitungan) **Huf** untuk penentuan keamanan kriteria banjir pada debit desain Qdf dapat diperoleh dengan mengevaluasi **Grafik MD - 4**
- i. Penentuan elevasi dan panjang lantai udik (EL.+ Hus dan Lu) didasarkan perhitungan Seepage - Perkolasi - Uplift terhadap fundasi Bendung dengan Ruang Olakannya
- j. Penentuan elevasi lantai yang berad tepat dihilir Tubuh Bendung (= EL.+ Hlim), yang memberikan harga elevasi muka airnya EL.+ Himf pada Qf dengan pertimbangan tentang keamanan kapasitas pelimpah (kesempurnaan aliran) versus kekuatan konstruksi tembok Tubuh Bendung. Makin tinggi EL.+ Hlim, makin kuat struktur tubuh bendung, namun sebaliknya kesempurnaan aliran dan pemecahan enersi dihilir tubuh bendung makin tidak baik
 - k. Perhitungan elevasi muka air diatas lantai Hlim (= EL.+ Himf) yang aman ditinjau dari kesempurnaan aliran pada Qf
 - l. Perhitungan EL.+ Himp untuk debit Desain Qp dan Zimis = EL.+ Himp - EL.+ Hip serta Hip pada Qdp dalam rangka desain / perhitungan dimensi Ruang Olakan Ls, Ds, a, dan 2a)
 - m. Penentuan tentatif tebal dan Fundasi Tubuh Bendung, yang kemudian harus dihitung dari segi keamanan struktur
2. **Ketentuan yang harus diketahui terlebih dahulu untuk mendesain Tubuh Bendung dan Pelimpah**
- a. Lokasi dan alinyemen sumbu bendung atau pelimpah ditentukan dengan kriteria seperti yang biasa digunakan dalam desain pelimpah waduk dan Bangunan Air di sungai. Lokasi tentatif diambil dari dokumen Perencanaan Pengelolaan Sumberdaya Morfologi Sungai
 - b. Debit Desain Bajir (= Qf) dengan elevasi muka air dihilir Bangunan EL.+ Hisf untuk perhitungan kapasitas pelimpah
 - c. Debit Desain Penggerusan / Pengendalian sungai (= Qp) dan Hip
 - d. Elevasi mercu bendung atau pelimapah EL.+ Mb

EL.+ Mb ditentukan berdasar tinggi pembendungan yang diperlukan oleh jenis Bangunan Air yang memerlukan Tubuh Bendung atau Pelimpah sebagai komponen utamanya dalam memenuhi fungsinya

3. Ringkasan Penelitian hidraulis dengan model Bendung / Pelimpah tipe Gergaji

a. Dua macam jenis penelitian bendung / pelimpah Gergaji yang selama ini telah diselenggarakan yaitu:

- Penelitian tipikal sistematis pada saluran percobaan segi empat dua dimensi
- Penelitian lengkap dengan model Bangunan Utama Bendung tiga dimensi

b. Penelitian / Percobaan pengaliran terhadap model-model bendung gergaji yang diletakkan pada saluran segi empat selebar $Bd = 1.00 \text{ m}$

1) *Percobaan dengan Model Bendung Gigi-Gergaji Runcing (GGR) dengan kode Seri O - 2Gr dimana pada saluran dipasang dua buah GGR, dengan maksud untuk:*

(1) Memperoleh Lengkung debit hubungan antara Lg / Bd dengan tinggi muka air di udik Bangunan Pelimpah GGR ($=Hu$) untuk berbagai harga debit percobaan random Qd

Hasil : Lihat **Grafik MDG - 1**

(2) Mencari harga Lgr yang optimum ($= Lgro$) memberikan penurunan Huo yang optimum (bukan maksimum) dari grafik MDG - 1

Hasil: **$Lgro = 0.50 \times Bd$**

2) *Percobaan pemancungan terhadap kedua ujung Gigi-Gergaji Runcing (dengan $Lgro$ yang telah optimal $Lgro = Bd$) maksud untuk:*

(1) Mengoptimasi panjang pelimpah dengan memperpendek panjang

pelimpah bagian ujung udik dan hilir yang berbentuk segi-tiga yang runcing menjadi tumpul, dengan harapan tinggi muka air Hu masih cukup (optimal) rendah dibandingkan dengan Huo

(2) Memperpendek fundasi tubuh bendung

Hasil percobaan:

- Dengan ujung yang runcing sebelah hilir dipotong sepanjang $\pm 0.25 Lgro$, maka penambahan Hu tidak banyak

Lihat **Grafik MDG - 2**

- Dan dengan ujung yang runcing sebelah udik dipotong sepanjang $\pm 0.25 Lgro$, maka penambahan Hu tidak banyak pula

Lihat **Grafik MDG - 3**

- Maka dengan pemotongan bagian runcing sebelah udik dan hilir total sebesar **$Lg = \pm 2 \times 0.25 Lgro = 0.50 \times Bd$** , maka peninggian kembali Hu dari untuk $Lgro$ (dibandingkan dengan Huo untuk bendung lurus), dapat dilihat dari lengkung debit hasil percobaan berikutnya

3) *Percobaan pengaliran mengalirkan berbagai debit Qd , dengan variabel jumlah gigi (sudah ditumpulkan) : $Ng = 1, 2, 4, 8$ dan ∞ (bendung lurus) dalam bentang bendung selebar Bd*

Tujuan percobaan:

(1) Memperoleh lengkung debit hubungan antara Qd dengan Hu untuk variasi Ng tersebut

Hasilnya dapat dilihat pada **Grafik MDG - 4**

- (2) Dari **grafik MDG - 4** tersebut diatas dapat dibuat Grafik Lengkung yang menyatakan hubungan antara Jumlah gigi Ng dengan HU untuk besar debit Qd tertentu (misalnya untuk Qdf atau Qdp)

Dari Grafik terakhir ini dapat ditentukan jumlah gigi Ng berapa yang dapat memberikan Hu yang masih optimal

Lihat contoh hasil evaluasi Grafik **MDG - 4** terakhir ini untuk suatu debit Qdf pada lampiran **Grafik MDG - 4A**

- (3) Catatan:

- Bendung / Pelimpah gergaji yang ditumpulkan tetap dinamakan Bendung atau Pelimpah tipe Gergaji, mengingatkan kepada idea awal untuk mencari perumusan dari peri laku dimensi gigi gergaji yang teratur dan sederhana
- Untuk jumlah gigi **dua** buah dalam lebar Bd maka **$Lg = \frac{1}{2} Bd$**
- Untuk jumlah gigi **satu** buah dalam lebar Bd maka **$Lg = \frac{1}{1} Bd$**
- Untuk jumlah gigi **tiga** buah dalam lebar Bd maka **$Lg = \frac{1}{3} Bd$**
- Untuk jumlah gigi **empat** buah dalam lebar Bd maka **$Lg = \frac{1}{4} Bd$**
- Untuk jumlah gigi **Ng** buah dalam lebar Bd maka **$Lg = \frac{1}{Ng} Bd$**
- Untuk jumlah gigi **Ng = ∞** buah dalam lebar Bd maka

$Lg = \frac{1}{\infty} Bd \approx 0$ (untuk Pelimpah Lurus)

- d. *Percobaan pengaliran dengan Model memasang jumlah gigi Ng = 1, 2, 4 8 dan ∞*

(Seri 4 - 1G, Ser5 - 2G, Seri6 - 4G, Seri7 - 8G dan Seri8 - ∞ G)

Percobaan pengaliran untuk masing-masing Seri ini dilakuka seperti untuk yang terdahulu

Hasil percobaan berupa Lengkung-Lengkung Debit yang menyatakan hubungan antara Hu dan Qd untuk Pelimpah lurus, Gigi 8, Gigi 4, Gigi 2 dan Gigi 1

KELEBIHAN DAN PERSYARATAN DESAIN BENDUNG DAN PELIMPAH TIPE GERGAJI

1. Kelebihan Bendung dan atau Pelimpah tipe Gergaji dibandingkan dengan yang konvensional

- a. Untuk Qd dan Bd yang sama harga Hu untuk bendung Gergaji lebih rendah dari Huo (untuk bendung Lurus)
- b. Dengan Hu yang bisa ditekan lebih rendah, maka tinggi Pangkal Bendung dan Pelimpah, tinggi Bendungan, Tanggul penutup, dan Tanggul Banjir diudik Bangunan Air yang bersangkutan menjadi lebih rendah. Hal ini akan meningkatkan keamanan struktur dan penurunan biaya pembangunan
- c. Makin kecil harga Hu, maka luas penggenangan diudik Bangunan akan menjadi jauh lebih kecil, mengurangi gangguan terhadap komponen lingkungan
- d. Dengan Hu yang rendah, dikombinasikan dengan adanya pintu bilas, bendung tipe Gergaji cocok digunakan didaerah pedatarn rendah, sebagai pengganti Bendung Gerak. Tanggu penutup dan tanggul banjir akan bisa diperendah.

U

e. Dengan tipe Gergaji peninggian atau penurunan H_u akibat fluktuasi perubahan debit ($\partial H / \partial Q$) menjadi lebih kecil; Elevasi muka air diudik Pelimpah Gergaji relatif konstan. Hal ini sangat menguntungkan untuk:

- pembangkitan tenaga dengan turbin (Pembangkit Listrik Tenaga Air)
- memperoleh pemasokan debit yang relatif konstan melalui Intake-ambang (*Overflow Intake*)
- mengurangi bahaya *rapid draw down* yang berpengaruh terhadap gejala longsoran tebing dan kerusakan tembok-perkuatan tebing

f. Aliran dari udik akan merata melalui bentang bendung Gergaji

g. Endapan diudik bendung tidak mengurangi kapasitas pelimpahan

h. Koefisien pengaliran tidak terpengaruh oleh besar radius mercu pelimpah

i. Pertambahan enersi potensial akibat pembendungan, akan diredam dengan sangat baik diruang olakan yang berda tepat dihilir mercu pelimpah. Air terjun dari mercu akan saling bertabrakan dan enersi terjunan akan diperlemah

j. Peredam enersi dihilir Bangunan Bendung yang diperlukan untuk menanggulangi penggerusan tidak ditentukan oleh tinggi H_u diudik bendung tetapi oleh muka / tinggi air dihilir mercu pelimpah ($EL.+ H_{im}$)

Tinggi terjun ($=Z$) yang diperhitungkan untuk menentukan dimensi Peredam Enersi Bangunan Bendung:

- adalah $Z_{gp} = EL.+ H_{imp} - EL.+ H_{sip}$, untuk bendung tipe Gergaji
- bukan $Z_{udp} = EL.+ H_{up} - EL.+ H_{sip}$, untuk bendung Konvensional

k. Bila tubuh bendung tipe Gergaji dibuat dari materil beton bertulang, maka

berat konstruksi akan kecil / ringan, sehingga sangat cocok dibangun di lapangan dengan kondisi tanah yang relatif lembek, dengan fundasi dilengkapi cerucuk kayu dolken

2. Persyaratan Khusus untuk Desain Bendung dan Pelimpah tipe Gergaji

a. *Persyaratan umum* yang harus diberlakukan pada desain Tubuh Bendung konvensional, harus diberlakukan pula pada desain Tubuh Bendung tipe Gergaji.

Hal ini berarti bahwa fungsi dan keamanan Bangunan dengan Kelengkapannya harus tercapai sesuai dengan yang direncanakan.

Semua gejala yang akan atau mungkin akan menimbulkan masalah negatif harus diperhitungkan dan diantisipasi antara lain dengan melengkapi Tubuh Bendung selengkap mungkin, disertai tersedianya *Aturan Peraturan* yang harus disiapkan untuk digunakan dengan taat dalam kegiatan *pelaksanaan, pengoperasian, pemeliharaan dan pengamanan*.

Adapun *kelengkapan tubuh bendung* yang harus dipasang untuk mengantisipasi *gejala-gejala bermasalah* yang harus diperhitungkan dalam desain Bangunan Air - Bangunan Air yang memerlukan Tubuh Bendung dapat dilihat pada Tabel terlampir -----

b. Agar Pelimpah Gergaji berfungsi sesuai dengan tujuannya, maka Elevasi mercu bendung $EL.+M_b$ harus didesain sedemikian sehingga aliran yang melewati pelimpah bena-benar merupakan aliran sempurna (*volkomen - perfect flow*).

Muka air diruang olakan dihilir mercu tubuh bendung Gergaji ($= EL.+ H_{im}$) dan muka air sungai atau saluran dihilir Bangunan Bendung ($= EL.+ H_{is}$) tidak boleh sedemikian tinggi sehingga mempengaruhi kapasitas

pelimpahan karena aliran menjadi tidak sempurna (*onvolkomen – unperfect flow*)

- c. Mengingat elevasi muka air sungai dihilir Bangunan Bendung akan bisa lebih tinggi kalau terjadi agradasi dasar sungai atau pasang dan kenaikan muka air laut (panas bumi) maka kemungkinan terjadinya gejala-gejala bermasalah tersebut harus benar-benar diperhitungkan dalam menentukan elevasi mercu tubuh bendung
- d. Elevasi lantai olakan dihilir mercu bendung tipe Gergaji ($= EL.+ H_{lim}$) jangan didesain terlalu tinggi, sedemikian rupa sehingga aliran yang melimpah diatas mercu menjadi tidak sempurna. Peninggian $EL.+ H_{lim}$ ini menimbulkan pula tinggi terjun yang harus diperhitungkan untuk desain Peredam Enenergi Bangunan Bendung ($= Z_{gf}$) menjadi lebih besar, meskipun ditinjau dari kekuatan struktur tubuh bendung akan lebih menguntungkan).

CONTOH DESAIN HIDRAULIS BENDUNG / PELIMPAH TIPE GERGAJI

1 Contoh Desain Hidraulis Tubuh Bendung tipe Gergaji

Contoh Desain yang dsampaikan disini ialah untuk Tubuh Bendung tipe Gergaji sebagai komponen Bangunan Utama Bendung

2. Data dan Informasi yang telah diketahui / ditentukan terlebih dahulu:

- a. Gambar Geometri Badan Sungai (GBS)

Dari gambar situasi sungai dan potongan-potongan melintang badan sungai diperoleh informasi:

- (1) Lika-liku *alur sungai dominan* dengan lebar rata-rata alur penuh $= B_{ap} = \pm 120$ m
- (2) Alinyemen Tubuh Bendung telah ditentukan

(3) Elevasi dasar sungai rata-rata pada sumbu bendung $= EL.+ H_{is} = EL.+ 4.00$ dan elevasi rata-rata bantaran $= EL.+ F_{l} = EL.+ 18.00$ dan tinggi air pada debit alur penuh $H_{si} = D_2 = 4.00$ m

- b. Telah dibuatkan Lengkung debit Sungai dan dihitung bahwa besar debit alur penuh ($= Q_{ap}$) = 800 m³/det
- c. Elevasi mercu Tubuh Bendung telah ditentukan ($= EL.+ M_b$) = $EL.+ 19.50$ berdasarkan kebutuhan akan tinggi terjun (*head*) untuk pembilasan sedimen dari sungai di Undersluice dan Sediment-Trap serta untuk pengaliran keseluruh Jaringan Pengairan dengan Lahan Irigasinya.

Catatan:

Elevasi mercu = $EL.+ 19.50$ itu harus didesain lebih tinggi dari elevasi muka air pada Q_f yang diambil ($= EL.+ H_{sf}$), untuk memenuhi syarat bahwa aliran melalui mercu bendung adalah sempurna

- d. Gambar Intake dengan Undersluicenya dan Sediment-Trap dengan pembilasnya dan Offtake kesaluran Induk telah tersedia
- e. Telah ditentukan bahwa Debit Desain Banjir total (Q_f) = 1200 m³/det

Dan dari Lengkung debit sungai untuk potongan dihilir Bangunan Bendung, diperoleh tinggi air mencapai $EL + 18.55$

Debit Desain Penggerusan / Pengendalian Morfologi Sungai (Q_p) = 800 m³/det, dengan elevsi muka air $= EL.+ H_{sip} = EL.+ 17.80$

Dianggap pada saat Undersluice ditutup debit sungai dialirkan semua melewati mercu pelimpah bendung.

3. Tugas:

Desainlah Tubuh Bendung dengan Kelengkapannya

Output: Gambar-gambar Teknis Desain Hidraulis dilengkapi Nota-Nota

4. Proses Desain

- a. Pengecekan $EL.+ Mb = EL.+ 19.50$ harus $\geq EL.+ Hsf$

Dari Lengkung debit sungai (yang harus dipersiapkan terlebih dahulu) diperoleh elevasi muka air pada $Q_f = 1200 \text{ m}^3/\text{det}$ mencapai $EL + 18.55 \leq EL.+ 19.50$ ----> OK, dapat diterima (aliran melalui mercu pelimpah bendung akan bersifat sempurna)

- b. Penentuan lebar pelimpah bendung tipe Gergaji Bd

Untuk tubuh bendung konvensional dengan cara *pendekatan Empirik-Pengalaman* maka lebar Bdo biasanya diambil = $(1.00 @ 1.20) Bap$

$$Bdo = (1.00 @ 1.20) \times 120 = (120 @ 144) \text{ m}$$

Namun untuk tipe Gergaji dapat diambil $\leq Bap = 120 \text{ m}$

Untuk menyediakan tempat alur untuk pengalihan aliran pada saat pelaksanaan dengan bendung Gergaji Bd dapat diambil $\leq 120 \text{ m}$ misalnya 80 m dan sisanya selebar $=40 \text{ m}$ untuk saluran pengelak

$$Bd = 80.00 \text{ m}$$

- c. Penentuan jumlah gigi Gergaji N_g yang optimal

Pergunakanlah **Grafik MDG - 1** (yang berlaku di model dengan lebar saluran = $B_{dm} = 1.00 \text{ m}$)

Agar Grafik MDG - 1 tersebut dapat dipakai untuk diprototipe, maka $Bd = 80 \text{ m}$ harus ditrasfer ke model dengan:

$$\text{Skala geometri struktur dan hidraulis} = N_h = Bd / B_{dm} = 80 / 1 = 80$$

$$\text{Skala debit} = N_q = (N_h)^{5/2} = 80^{5/2}$$

$$\text{Debit Desain Banjir} = Q_f = 1200 \text{ m}^3/\text{dt} \text{ (di prototipe)}$$

$$\begin{aligned} \text{Debit Desain Banjir di model} &= \\ Q_{fm} = Q_f / N_q &= 1200 / 80^{5/2} = \\ 0.021 \text{ m}^3/\text{det} &= 21 \text{ l/det} \end{aligned}$$

$$\text{Debit Desain Penggerusan} = Q_p = 800 \text{ m}^3/\text{dt} \text{ (di prototipe)}$$

$$\begin{aligned} \text{Debit Desain Penggerusan di model} &= \\ Q_{pm} = Q_p / N_q &= 800 / 80^{5/2} = \\ 0.014 \text{ m}^3/\text{det} &= 21 \text{ l/det} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan **Grafik MDG - 1** perlu dibuat **Grafik MDG - 1A** yang menyatakan hubungan antara jumlah gigi (N_g) dengan H_u untuk $Q_{fm} = 21 \text{ l/det}$

Bila diambil jumlah gigi $N_g = 4$, maka $H_{um} = 0.0337 \text{ m}$ (model) atau

$$H_u = 80 \times 0.00337 = 2.69 \text{ m di protitipe}$$

Sedangkan untuk $Q_p = 800 \text{ m}^3/\text{det}$ dan $N_g = 4$, $Q_{pm} = 0.014 \text{ m}$, diperoleh = $H_{um} =$

Untuk bendung lurus dengan $Q_f = 1200 \text{ m}^3/\text{det}$ dan $Bd = 80 \text{ m}$, maka dari **Grafik MDG - 1A** diperoleh $H_{uo} = 5.31 \text{ m}$

- d. Penentuan elevasi lantai olakan dihilir mercu tubuh bendung **EL.+ Hlim**

Dengan lebar ambang perletakkan tubuh bendung Gergaji selebar = $Bd = 80 \text{ m}$, maka $(EL.+ Hlim)$ maksimum adalah $EL.+ Mb$ dikurangi tinggi air diatas lantai olakan (= H_{iim}) yang besarnya $\leq H_{uo} = 5.31 \text{ m}$

$$\begin{aligned} (EL.+ Hlim) \text{ maksimum} &= EL.+ \\ (19.50 - 5.31) &= EL.+ 14.19 \text{ ----} \\ \text{Ambil } EL+ 14.00 &\text{ (hampir = elevasi dasar sungai)} \end{aligned}$$

- e. Penentuan Peredam Enersi dan tembok sayap dihilir Bangunan Bendung

Disayangkan bahwa sampai belum dicarikan dimensi Peredam Enersi untuk Tubuh Bendung tipe Gergaji ini.

Selama ini peredam enersi yang dipakai untuk Bangunan Bendung tipe Gergaji adalah tipe MDO yang berlaku untuk Bendung biasa dan ternyata pra desain hidraulisnya bila dites dengan model, selalu hasilnya cukup memuaskan bahwa peredam enersi MDO dapat menanggulangi masalah penggerusan dihilirnya..

Dalam penentuan dimensi peredam enersi untuk bendung tipe Gergaji, dianggap bahwa air melimpah dengan $H_u = H_{up}$ dari mercu bendung kehilir seperti untuk tubuh bendung tipe MDO yang telah biasa dipakai.

$$EL + H_{uf} = EL$$

Ketentuan yang dipergunakan untuk menentukan dimensi peredam Enersi

- Debit Desain $Q_p = Q_{ap} = 800 \text{ m}^3/\text{det}$
- Elevasi muka air diudik bendung Gergaji = $EL + M_b + H_{up} = EL + (19.50 + 1.97) = EL + 21.47$
- Elevasi muka air sungai dihilir Bangunan Bendung = $EL + 17.80$

Akibat pembendungan dianggap akan terjadi degradasi dasar sungai dihilir Bangunan Bendung yang menurunkan muka air sungai sebesar 2.00 m (KP – Irigasi 1986), maka $EL + H_{isp}$ menjadi $EL + (17.80 - 2.00) = EL + 15.81$

$$\rightarrow \text{Tinggi terjun } Z_{gp} = (EL + 21.47 - EL + 15.81) = 5.66 \text{ m}$$

$$q_p = Q_p / B_d = 800 / 80 = 10 \text{ m}^3/\text{det}/\text{m}^2$$

$$\text{Koefisien Enersi MDO} = E = q_p / [g * (Z_{gp})^3]^{1/2} = 10 / [9.81 * (5.66)^3]^{1/2} = 0.24$$

Dari **Grafik MDO - 1** dengan harga $E = 0.24$ diperoleh harga $D_s / D_2 = 2.1$

Dan dengan $D_s = H_{sip} = 4.00 \text{ m}$ diperoleh $D_s = 2.1 * 4.00 = 8.40 \text{ m}$

$$\text{Elevasi atas Lantai Peredam Enersi} = EL + D_s = (EL + M_b) - 8.40 = EL + (19.50 - 8.40) = EL + 11.10$$

Dari **Grafik MDO - 2** dengan harga $E = 0.24$ diperoleh harga $L_s / D_s = 1.52$

$$\text{Panjang lantai Peredam Enersi} = L_s = 1.52 * 8.40 = 12.77 \text{ m} ; \text{ Ambil } L_s = 13.00 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi ambang hilir Peredam Enersi} = a = 0.2 * D_2 = 0.80 \text{ m} ; \text{ Ambil } a = 1.00 \text{ m}$$

$$\text{Lebar ambang hilir Peredam Enersi} = 2 * a = 2.00 \text{ m}$$

Dihilir Peredam enersi dan dikaki tembok sayap hilir bendung dipasang tumpukan **riprap** batu gelundung dengan diameter (0.30 @ 0.40) m atau blok beton buatan

Selanjutnya bentuk dan dimensi hidraulis Tembok Sayap Hilir ditentukan sesuai dengan Petunjuk Desain Hidraulis Tubuh Bendung tipe MDO (Bahan SKSNI yang telah dikonsensuskan).

4. Pembuatan Gambar-gambar Desain Hidraulis (Tipikal)

(Lihat di Lampiran Gambar-gambar)

