

PEDOMAN

Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil

Tata cara desain hidraulik bangunan pengambil pada bangunan tyrol



DEPARTEMEN PEKERJAAN UMUM

Prakata

Tata cara desain hidraulik bangunan utama tyrol ini disusun oleh Drs. Erman Mawardi, Dipl. AIT, Ir. Moch. Memed, Dipl. HE, APU dan Dr.Ir. Arie Setiadi, MSc., dalam Gugus Kerja Bidang Hidrologi, Hidrolika, Lingkungan, Air Tanah dan Air Baku yang termasuk pada Sub-Panitia Teknik Sumber Daya Air yang berada di bawah Panitia Teknik Konstruksi dan Bangunan, Departemen per4mukiman dan Prasarana Wilayah.

Penulisan standar ini mengacu kepada Pedoman BSN No.8 tahun 2000, serta telah dibahas pada tingkat Gugus Kerja, Prakonsensus dan Konsensus yang melibatkan para nara sumber dan pakar dari berbagai instansi terkait.

Penyusunan standar ini merujuk kepada tata cara perencanaan hidrologi dan hidraulik bangunan di sungai, SNI 03 - 1724 - 1989 dan tata cara perencanaan umum bendung SNI 03 - 2401 - 1991. Disamping itu bahan untuk penyusunan tata cara ini diperoleh dari hasil penelitian percobaan pengaliran di laboratorium hidrolika DPMA (sekarang Puslitbang Sumber Daya Air) dan pengalaman pengkajian lapangan.

Tata cara ini dimaksudkan agar para perencana dapat mendesain bentuk dan dimensi hidraulik bangunan pengambilan pada bendung Tyrol dengan lebih mudah.

Daftar isi

Prakata.....	i
Daftar isi	ii
Pendahuluan	iii
1 Ruang lingkup	1
2 Acuan normatif	1
3 Istilah dan definisi	1
4 Pertimbangan dan persyaratan.....	4
4.1 Pertimbangan	4
4.2 Persyaratan	4
5 Keamanan bangunan.....	4
5.1 Keamanan hidraulik	4
5.2 Keamanan struktural	5
5.3 Keamanan operasi dan pemeliharaan	5
6. Desain hidraulik.....	5
6.1 Pra desain hidraulik	5
6.2 Penentuan bentuk dan dimensi bangunan	6
6.3 Uji model hidraulik.....	13
6.4 Desain hidraulik.....	13
7. Bibliografi	14
Lampiran A Daftar istilah	15
Lampiran B Contoh perhitungan hidraulik bangunan pengambil bendung Tyrol Cipager	16

Pendahuluan

Bangunan utama Tyrol hakekatnya adalah bangunan untuk menyadap air sungai yang dibangun melintang terhadap alur sungai, dimana penyadapan air dilakukan dari atas mercunya.

Tyrol adalah nama suatu daerah di Austria, tempat asal bangunan tipe ini mulai di aplikasikan pemakaiannya. Di Indonesia bangunan tipe ini diperkenalkan pertama kali pemakaiannya di daerah Cianjur Jawa Barat dan di Tawangmangu Jawa Tengah pada zaman Belanda. Selanjutnya bangunan ini dikembangkan penggunaannya secara besar-besaran sesudah tahun 1973-an di daerah Pemali Comal Jawa Tengah. Bangunan-bangunan lain, cawitali, tapak menjangan, dan kemaron. Sekitar tahun 1980-an tipe ini dikembangkan pula penggunaannya di berbagai daerah di Sulawesi Tengah, yaitu bangunan tyrol, Puna, Kilo dsb

Pemanfaatan bangunan utama tyrol terutama dimaksudkan untuk menghindarkan bahaya benturan angkutan sedimen batu gelundung serta angkutan benda padat lainnya terhadap bangunan dan untuk mengatasi gangguan penyadapan aliran sungai akibat berpindahnya alur sungai,

Bangunan utama tyrol umumnya dibangun di sungai torensial. Penerapan tipe ini harus memenuhi persyaratan hidraulik tertentu dan untuk sungai-sungai dengan sifat khusus pula. Sehingga pemilihan tipe ini untuk diterapkan di sungai merupakan salah satu alternatif bangunan penyadap air sungai.

Pedoman untuk mendesain hidraulik bangunan pengambil tipe Tyrol sampai saat ini belum tersedia sehingga menimbulkan kesulitan dalam mendesainnya. Untuk memudahkan perencana mendesain bangunan bangunan pengambil tipe Tyrol maka diperlukan suatu tata cara desain hidrauliknya. Penyusunan pedoman ini dimaksudkan pula untuk memberikan gambaran yang jelas mengenai keuntungan dan kelemahan bangunan pengambil tipe Tyrol dibandingkan dengan penggunaan jenis bangunan pengambilan tipe lain.

Tata Cara Desain Hidraulik

Bangunan Pengambil Pada Bendung Tyrol

1 Ruang lingkup

- 1.1 Standar ini digunakan untuk mendesain hidraulik bangunan pengambil pada bendung Tyrol.
- 1.2 Jenis bangunan ini digunakan terutama di sungai torensial dengan angkutan sedimen yang sangat berfluktuasi dan membawa batu gelundung.

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

Istilah dan definisi berikut berlaku untuk pemakaian tata cara ini.

3.1 desain hidraulik

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

3.2 bangunan air

prasarana fisik yang diperlukan dalam pengelolaan sumberdaya air

3.3 bendung Tyrol

bendung yang dibangun melintang alur sungai, dengan tinggi mercu pelimpah relatif rendah untuk menghindari benturan batu dan meminimalkan gangguan terhadap angkutan muatan sedimen sungai, menyadap air langsung dari dasar sungai.

3.4 bangunan pengambil Tyrol

bagian dari bendung Tyrol yang berfungsi untuk menyadap air langsung dari dasar sungai melalui bukaan saringan yang dipasang pada tubuh bendung dan ditujukan untuk membatasi besar diameter muatan sedimen yang ikut tersadap.

3.5 saringan (rack)

saringan yang dipasang pada tubuh bendung dan di letakan di atas gorong-gorong pengumpul dengan celah/bukaan dan kemiringan tertentu adalah bagian bangunan pengambil yang berfungsi untuk menyadap air dari sungai dan untuk membatasi

besar diameter muatan sedimen yang ikut tersadap masuk ke gorong-gorong pengumpul.

3.6 gorong-gorong pengumpul (collecting gallery)

gorong-gorong pengumpul air adalah bagian dari bendung Tyrol yang diletakan di bawah saringan dengan fungsi untuk menyalurkan air yang disadap dari sungai ke penangkap pasir, kerikil dan kerakal, kemiringan dasar saluran didesain cukup besar guna menghindari pengendapan sedimen.

3.7 bangunan penangkap pasir

penangkap pasir adalah bagian dari bendung Tyrol, dibangun di hilir bangunan pengambil berfungsi untuk menangkap fraksi pasir, kerikil dan kerakal yang ikut tersadap melalui celah saringan dan secara berkala dibilas dengan memanfaatkan gaya seret aliran air.

3.8 bangunan pelimpah

bangunan pelimpah adalah bagian dari bendung Tyrol yang berfungsi untuk melewati debit aliran sungai secara terkendali.

3.9 tubuh bendung Tyrol

tubuh bendung Tyrol yang dapat terdiri dari bangunan pelimpah, gorong-gorong pengumpul, saringan dan fondasinya, adalah bagian bangunan yang merupakan suatu kesatuan bangunan.

3.10 peredam energi

peredam energi adalah bagian dari bangunan pengambil Tyrol yang berfungsi untuk meredam energi air yang timbul akibat pembendungan, agar aliran air tidak menimbulkan penggerusan setempat yang membahayakan, dibangun di bagian hilir bangunan dan dirancang dengan memperhitungkan juga kemungkinan terjadinya degradasi dasar sungai.

3.11 tembok pangkal

tembok pangkal adalah tembok tegak yang dibangun di kanan kiri bangunan pengambil Tyrol, dengan tinggi tertentu agar dapat berfungsi sebagai pembatas aliran sungai dari udik ke hilir tidak melimpas ke luar dari bentang bangunan.

3.12 tembok sayap udik

tembok miring atau tegak sebagai konstruksi penerus ke udik dari tembok pangkal bangunan dengan fungsi pengarah aliran sungai dan perkuatan tebing sungai dari kemungkinan penggerusan dan longsoran tanah.

3.13 tembok sayap hilir

tembok miring atau tegak sebagai konstruksi penerus ke hilir dari tembok pangkal bangunan dengan fungsi pengarah aliran sungai dan perkuatan tebing sungai dari bahaya penggerusan setempat dan longsoran tebing.

3.14 pintu pengatur debit

pintu pengatur debit adalah pintu yang dapat diletakan di bagian akhir dari gorong-gorong pengumpul yang berfungsi untuk mengatur besar debit aliran air yang masuk ke penangkap pasir.

3.15 lapisan tahan aus

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

3.16 rip rap

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

3.17 penggerusan setempat

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.

3.18 degradasi dasar sungai

penurunan dasar sungai di suatu ruas tertentu akibat dasar sungai tergerus karena pasokan angkutan muatan sedimen yang datang dari udik jauh lebih kecil daripada kapasitas muat angkutan sedimen di ruas tersebut atau akibat pengambilan material dasar sungai dengan volume yang lebih besar daripada pasokan sedimen yang masuk.

3.19 aggradasi dasar sungai

penaikan dasar sungai di suatu ruas tertentu akibat pasokan sedimen yang datang dari udik lebih besar dari kemampuan aliran sungai di ruas tersebut untuk mengangkut sedimen.

4 Pertimbangan dan persyaratan

4.1 Pertimbangan

Dalam pelaksanaan desain bangunan pengambil Tyrol hendaknya dilakukan evaluasi perbandingan dengan kemungkinan penyadapan air cara lain seperti bendung biasa.

4.2 Persyaratan

Bangunan pengambil Tyrol dan bangunan pelengkapanya harus didesain dengan memperhatikan persyaratan berikut :

- 1) jenis ini dipilih jika dijumpai bahaya kerusakan bangunan akibat benturan angkutan sedimen batu gelundung dan benda padat lainnya; jika ditemui kesulitan penyadapan air sungai akibat beralihnya alur air sungai dan gejala pengendapan di sungai yang menghalangi pemasukan air ke bangunan pengambil; dan dipilih untuk menghindari gangguan keseimbangan morfologi sungai yang relatif besar akibat pembendungan atau dampak negatif lainnya karena adanya pembendungan;
- 2) struktur saringan dibuat sederhana, tahan benturan dan gesekan angkutan sedimen dan benda padat lainnya, tahan vibrasi dan mudah dibersihkan;
- 3) bangunan pengambil Tyrol hanya sesuai untuk dibangun pada ruas sungai dengan angkutan sedimen dominan fraksi kasar, dan prosentase muatan fraksi dengan diameter ≤ 5 mm tidak lebih dari 25 persen dari jumlah angkutan sedimen total.
- 4) bangunan pengambil Tyrol harus dilengkapi dengan penangkap pasir, sehingga harus tersedia lahan, lokasi dan perbedaan tinggi (*head*) untuk fasilitas bangunan tersebut;
- 5) bangunan pengambil Tyrol jangan dipilih jika diperkirakan menuntut cara-cara operasi, biaya eksploitasi, dan pemeliharaan yang sulit dan mahal.

5 Keamanan bangunan

Bangunan pengambil Tyrol dan bangunan pelengkap lainnya perlu didesain dengan memperhatikan keamanan bangunan ditinjau dari segi hidraulik, struktural, operasi dan pemeliharaan.

5.1. Keamanan hidraulik

Bangunan pengambil Tyrol dan bangunan pelengkapanya 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;
- 5) bahaya akibat perubahan perilaku sungai.

5.2 Keamanan struktural

Bangunan pengambil Tyrol dan bangunan pelengkap nya 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.

5.3 Keamanan operasi dan pemeliharaan

- 1) keamanan operasi : bangunan pengambil Tyrol dan bangunan pelengkap seperti pintu pengatur debit, penangkap pasir dan bagian-bagiannya agar didesain untuk dapat dioperasikan dengan mudah, aman dan efisien;
- 2) pemeliharaan : untuk menjaga fungsi dan keamanan bangunan setelah beroperasi diperlukan pemeliharaan dan pemantauan berkala; hal-hal yang perlu dipelihara yaitu :
 - a) saringan dari sumbatan batu, sampah dan mengganti batang-batang yang rusak;
 - b) pembersihan berkala gorong-gorong pengumpul dari endapan sedimen secara hidraulik;
 - c) pembilasan penangkap pasir secara periodik.
 - d) pemeliharaan dan perbaikan lapisan tahan aus dan rip-rap.

6. Desain hidraulik

Tata cara desain hidraulik bangunan pengambil Tyrol ini meliputi kegiatan pra desain, uji model hidraulik dan desain hidraulik. Hasil kegiatan desain hidraulik berupa gambar-gambar bentuk hidraulik disertai nota penjelasan.

6.1 Pra desain hidraulik

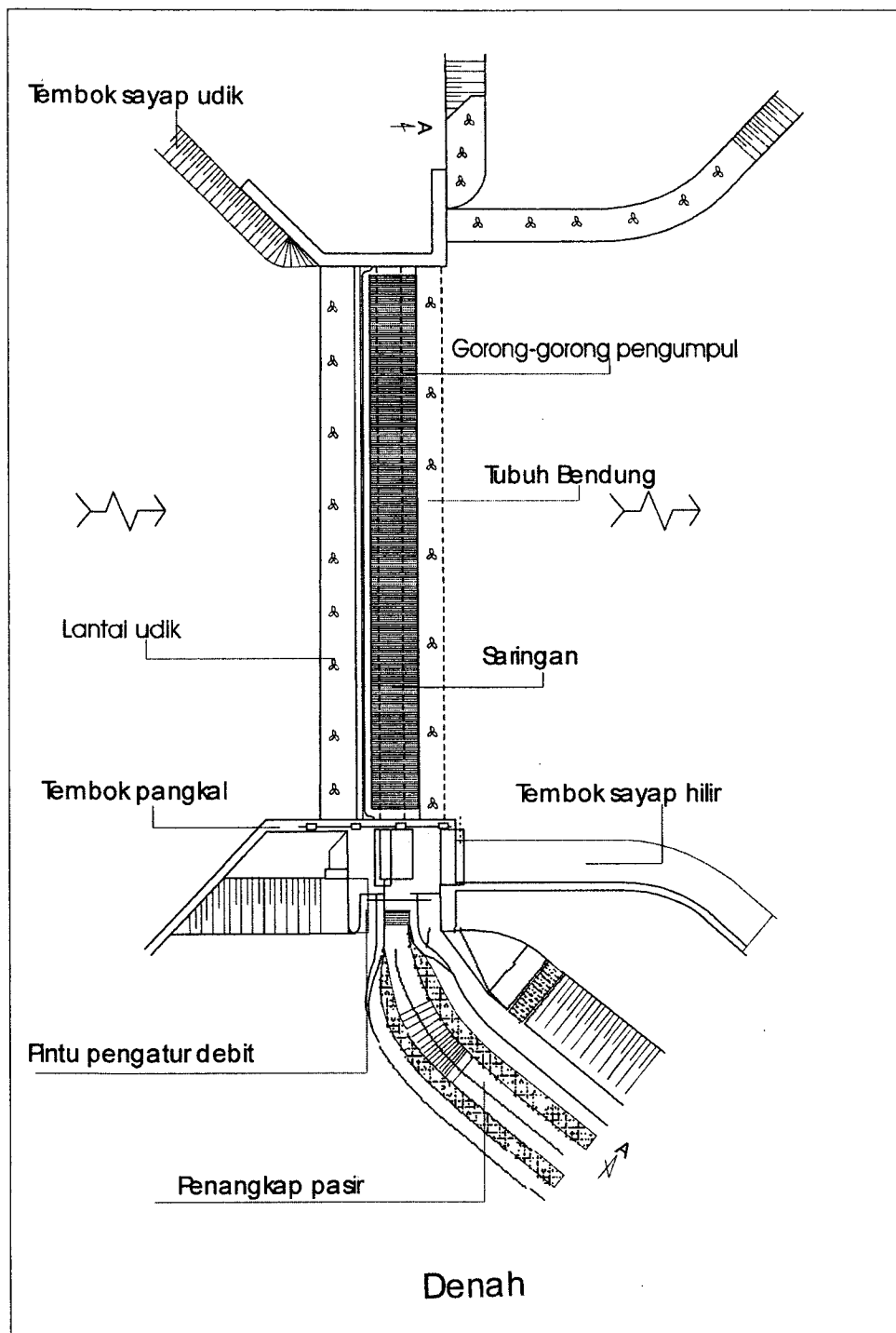
Kegiatan pra desain meliputi :

- 1) persiapan pekerjaan yaitu 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 detil dengan skala minimum 1 : 500;
 - b) data morfologi sungai seperti geometri sungai, data hidrograph aliran sungai dan perubahan-perubahan yang terjadi pada dasar sungai secara horizontal maupun vertical;
 - 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 hidrograph aliran sungai seperti : aliran banjir; frekwensi kejadian debit banjir; kurva massa aliran dan tinggi muka air sungai;
 - f) data geoteknik diantaranya : 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.
- 2) peninjauan lapangan : untuk memeriksa tingkat ketelitian data; mendapat masukan data morfologi sungai dan sifat sungai; mengetahui dan memperkirakan masalah yang akan timbul;
 - 3) penentuan lokasi bangunan Tyrol; 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 dengan kala ulang 100 tahun digunakan untuk mendesain bangunan pelimpah dan tembok pangkal;
 - 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 gorong-gorong pengumpul serta penangkap pasir.

6.2 Penentuan bentuk dan dimensi bangunan

- 1) bangunan bendung Tyrol dan bangunan pelengkapya terdiri atas :
 - a) mercu pelimpah;
 - b) saringan;
 - c) gorong-gorong pengumpul;
 - d) tubuh bangunan;
 - e) peredam energi;
 - f) pintu pengatur debit; pintu pembilas dan pintu offtake;
 - g) tembok pangkal;
 - h) tembok sayap udik dan hilir;
 - i) lantai udik dan dinding tirai;
 - j) bangunan penangkap pasir;
 - k) bangunan pelengkap lain seperti jembatan pelayanan; tangga, penduga muka air, alat ukur debit dan sarana komunikasi;



Gambar 1 Contoh denah bangunan pengambil bendung Tyrol

- 2) bentuk dan bangunan dimensi Tyrol dan bangunan pelengkapanya ditentukan dengan langkah seperti berikut :
- a). panjang mercu; diperhitungkan terhadap kemampuan melewati debit banjir rencana dengan tinggi jagaan yang cukup;
 - b). panjang saringan; harus cukup sehingga debit disain kebutuhan dan debit untuk membilas sedimen di gorong-gorong pengumpul dan penangkap sedimen terpenuhi;
 - c). tinggi mercu; untuk penempatan saringan ditentukan sedikit lebih tinggi dari dasar sungai dengan maksud ; untuk kebutuhan tinggi energi bagi pembilasan dan kebutuhan pengendalian angkutan sedimen serta menghindarkan terjadinya timbunan sedimen dan sampah di atas saringan;
 - d). saringan didesain sederhana, kuat, mudah pelaksanaannya dengan :
 - i) jenis : ditentukan seperti bentuk pagar tidur; plat baja berlubang-lubang dan / atau susunan saringan yang dibagi atas beberapa bagian atau kompartemen;
 - ii) bentuk batang saringan : ditentukan dengan bentuk bulat; bentuk profil T dan bentuk kepala rel kereta api;
 - iii) penempatan saringan : ditempatkan di atas mercu atau sedikit lebih ke hilir mercu dengan posisi datar atau dengan kemiringan tertentu yang mempertimbangkan ; faktor debit yang disadap; diameter butir angkutan sedimen yang tidak dikehendaki masuk ke gorong-gorong pengumpul;
 - iv) celah dan kemiringan saringan : ditentukan dengan pertimbangan debit yang harus disadap dan diameter butir angkutan sedimen dasar yang tidak dikehendaki masuk ke gorong-gorong pengumpul; celah saringan maksimum 30 mm;
 - v) panjang saringan ke arah sungai : dihitung dengan memperhatikan debit yang harus disadap; kapasitas penyadapan dengan memperhatikan parameter-parameter sebagai berikut ;
 - (a) kapasitas lewat gorong-gorong pengumpul;
 - (b) bukaan pintu pengatur debit;
 - (c) muka air di dalam gorong-gorong pengumpul;
 - (d) jenis ukuran dan tata letak pemasangan batang saringan;
 - (e) kemiringan, panjang, lebar, diameter, prosentase bukaan dari saringan;
 - (f) tinggi muka air di udik saringan;
 - (g) debit sungai dan panjang bentang Tyrol;
 - (h) keadaan agradasi, endapan sedimen di udik dan di atas saringan;
 - (i) sumbatan pada lubang saringan;

vi) Rumus yang dipergunakan dalam penentuan panjang saringan.

Dengan menerapkan prinsip kekekalan tinggi energi panjang saringan arah aliran sungai untuk penyadapan air dalam jumlah tertentu per meter lebar bentang bangunan dapat ditentukan dengan rumus :

$$L = 2,561 \frac{q}{\lambda \sqrt{h_1}} \quad (1)$$

dengan:

L = panjang saringan ke arah aliran untuk menyadap debit sungai sebesar $q \text{ m}^3/\text{det}/\text{m}'$ yang melimpah di atas mercu pengambilan.

q = debit yang disadap per meter lebar bangunan pengambil, $[\text{m}^3/\text{det}/\text{m}']$

$\lambda = \psi \cdot \mu \cdot \cos \alpha \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \cos \alpha}$

$\psi = \frac{n}{m}$

n = lebar celah saringan, [m]

m = jarak antara sumbu saringan, [m]

$\mu = 0,66 \psi^{-0,16} \left(\frac{m}{h_1} \right)^{0,13}$ berlaku untuk kondisi

$$3,5 > \frac{h_1}{m} > 0,2 \text{ dan } 0,15 < \frac{n}{m} < 0,30$$

g = percepatan gravitasi, [m/det]

α = sudut kemiringan saringan, [°]

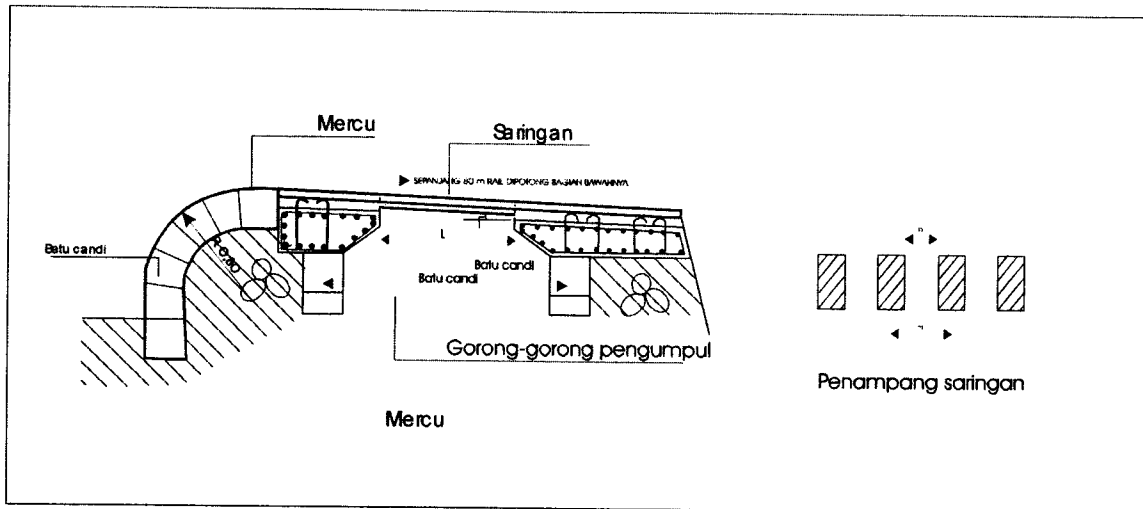
h_1 = kedalaman aliran kritis pada pelimpah di bagian awal saringan
= $c \cdot h_c$, [m]

c = koefisien kedalaman kritis yang bergantung pada kemiringan saringan, [m]

= harga c diberikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Harga c sebagai fungsi kemiringan saringan (Frank, 1949)

α [°]	c [-]	α [°]	c [-]
0	1,0	14	0,879
2	0,980	16	0,865
4	0,961	18	0,851
6	0,944	20	0,837
8	0,927	22	0,825
10	0,910	24	0,812
12	0,894	26	0,800



Gambar 2 Detail penampang saringan pengambil

e). Gorong-gorong pengumpul didesain dengan :

- tipe; tentukan dasar gorong-gorong pengumpul seperti bentuk setengah lingkaran, lengkung dan datar;
- lebar; tentukan lebar gorong-gorong pengumpul dengan memper-timbangkan kebutuhan untuk mengalirkan debit yang di sadap; lebar gorong-gorong pengumpul yaitu jarak antara dua dinding gorong-gorong pengumpul;
- panjang; tentukan panjang gorong-gorong pengumpul dengan mempertimbangkan kemampuan menyadap debit sungai dan debit yang dibutuhkan untuk pembilasan dan kebutuhan; panjang gorong-gorong pengumpul disesuaikan dengan panjang saringan;
- profil muka air; hitung profil muka air sepanjang gorong-gorong pengumpul menggunakan rumus berikut:

$$\begin{aligned}
 \Delta h &= h_2 - h_1 \\
 &= \left\{ l_0 - \frac{1}{2} F_2 \left[1 + F_3 F_4^2 \left(1 - \frac{\Delta x}{x_2} \right)^2 \right] \right\} \cdot \Delta x \\
 &\quad - \frac{1}{2} F_1 \left\{ 1 - F_4^2 + \left[F_4^2 + \frac{4 F_4^2}{(1 + F_4)^2} \right] \cdot \left[1 - \left(1 - \frac{\Delta x}{x_2} \right)^2 \right] \right\}
 \end{aligned} \tag{2}$$

dengan pengertian:

$$F_1 = \frac{v_2^2}{g}$$

$$F_2 = \frac{n^2 v_2^2}{R_2^{4/3}}$$

$$F_3 = \left(\frac{R_2}{R_1} \right)^{4/3}$$

$$F_4 = \frac{A_2}{A_1}$$

jika perhitungan dilakukan dari ujung hilir gorong-gorong pengumpul, maka semua suku dalam rumus tersebut telah diketahui, kecuali F_3 dan F_4 . Hal ini dipecahkan dengan menerapkan metoda coba dan ralat dengan memasukkan terlebih dulu prediksi kedalaman di Titik 1, h_1 .

- v). kemiringan dasar; tentukan kemiringan dasar gorong-gorong pengumpul agar dapat menghanyutkan sedimen yang ada di dalam gorong-gorong pengumpul;

untuk menghindarkan pengendapan sedimen di dasar gorong-gorong pengumpul, kemiringan minimum dasar gorong-gorong pengumpul, $I_{0_{min}}$ dapat ditentukan dengan pendekatan awal berdasarkan rumus berikut:

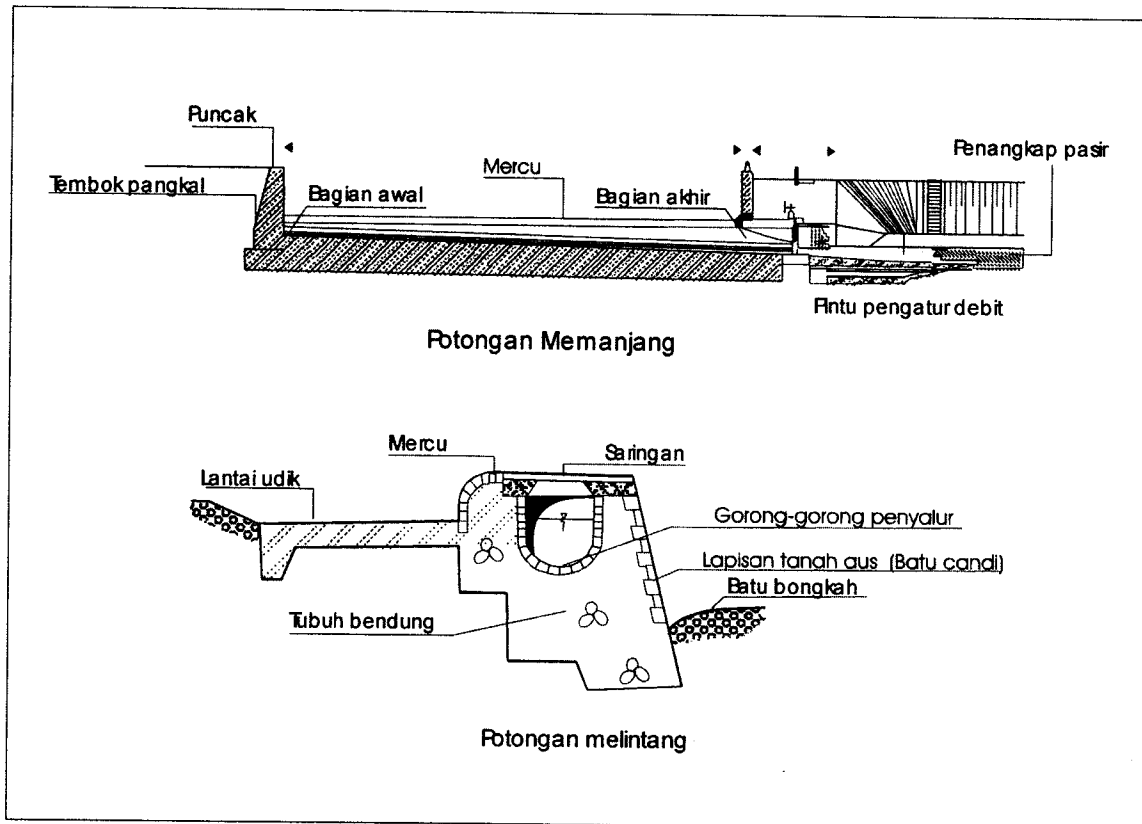
$$I_{0_{min}} = 0,20 \frac{D^{\frac{9}{7}}}{q^{\frac{6}{7}}} \quad (3)$$

dengan pengertian:

- D = diameter butir sedimen terbesar yang mungkin lolos saringan pengambil, [m]
 q = debit yang disadap per unit panjang bentang saringan pengambil, [$m^3/det/m'$]

- vi). kapasitas gorong-gorong pengumpul; usahakan kapasitas gorong-gorong pengumpul lebih besar dari debit yang dibutuhkan untuk debit kebutuhan dan debit untuk pembilasan sedimen yang terdapat di dalam gorong-gorong pengumpul dan di penangkap sedimen
- f). tubuh bangunan bagian hilir; tentukan bentuk tubuh bangunan bagian hilir saringan; dapat dibuat tegak, miring dengan kemiringan tertentu;
- g). peredam energi; lengkapi bangunan dengan peredam energi untuk mencegah penggerusan setempat seperti halnya pembuatan peredam energi pada bendung; peredam energi dapat dipilih antara lain tipe cekung, dengan memperhitungkan :
- i). debit desain untuk bangunan peredam energi;
 - ii). tinggi terjunan;
 - iii). penggerusan setempat;

- iv). degradasi dasar sungai yang akan terjadi;
- v). benturan dan abrasi angkutan batu gelundung;



Gambar 3 Potongan memanjang dan melintang gorong-gorong pengumpul

bangunan Tyrol dapat juga dibuat tanpa peredam energi, jika dibangun di atas batuan keras.

- h). pintu pengatur debit; lengkapi gorong-gorong pengumpul dengan pintu pengatur debit; yang ditempatkan di bagian akhir gorong-gorong pengumpul dengan dinding penghalang banjir; dan pintu pembilas serta pintu-pintu intake;
- 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). 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: dimensinya ditentukan dengan memperhatikan hal-hal seperti berikut : permeabilitas tanah; penggerusan setempat; pengurangan daya angkat air yang dapat melebihi kekuatan dan stabilitas bangunan;
- l). bangunan penangkap sedimen: lengkapi bangunan Tyrol dengan bangunan penangkap sedimen yang bentuk dan ukurannya harus diperhitungkan terhadap :
- i). jumlah endapan yang harus ditampung ;
 - ii). frekwensi pembilasan endapan secara hidraulik.

6.3 Uji model hidraulik

- 1) uji model hidraulik perlu dilakukan terhadap pra desain untuk :
 - a) mendapatkan bentuk dan ukuran hidraulik yang mantap;
 - b) mempelajari hal-hal seperti berikut :
 - i). gejala dan parameter aliran di sungai yang sulit diperoleh dari lapangan; gejala dan parameter aliran pada permukaan struktur;
 - ii). perubahan gejala dan parameter aliran di sungai akibat adanya bangunan dan sebaliknya;
- 2) jenis model hidraulik meliputi :
 - a) model sungai;
 - b) model bangunan dan pelengkapanya;
 - c) model lengkap (sungai, bangunan dan pelengkapanya) dan model detil;
- 3) uji model hidraulik harus dilakukan oleh satu tim teknik hidraulik yang ahli dan berpengalaman baik dalam bidang uji model hidraulik maupun lapangan (survai, investigasi, disain dan operasi).

6.4 Desain hidraulik

Desain hidraulik :

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

7 Bibliografi

- DPMA. 1972. No. P 243 *Laporan Singkat Hasil Penyelidikan Hidrolis dengan Model Model Penangkap Air Cawitali* - Jawa Tengah, Bandung.
- DPMA. 1973. No. P 284 *Laporan Penyelidikan Hidrolis dengan Model Bendung Danawarih* - Jawa Tengah, Bandung.
- DPMA. 1973. No. P 291 *Laporan Terhadap Rencana Bottom Rack Mejagong* - Jawa Tengah, Bandung.
- DPMA. 1981. No. P 672 *Laporan Penyelidikan Hidrolis dengan Model Bendung Danawarih* - Jawa Tengah, Bandung.
- DPMA. 1982. No. PD 875 *Laporan Perhitungan Hidrolis Pra Rencana Bendung Cipager*, Jawa Barat, Bandung.
- DPMA. 1982. No. P 875 *Laporan Penyelidikan Hidrolis dengan Model Bendung Cipager*, Jawa Barat, Bandung

Lampiran A**Daftar Istilah**

Nama daerah di Austria	=	<i>Tyroll</i>
Saringan	=	<i>rack</i>
Gorong-gorong pengumpul	=	<i>collecting gallery</i>
Bendung	=	<i>weir</i>
Debit desain	=	<i>design discharge</i>
Dinding tirai	=	<i>cut of wall</i>
Degradasi	=	<i>degradation</i>
Gerusan setempat	=	<i>local scouring</i>
Jagaan	=	<i>free board</i>
Kavitasi	=	<i>cavitation</i>
Mercu	=	<i>crest</i>
Peredam energi	=	<i>energy dissipator</i>
Peluapan	=	<i>overtopping</i>
Tembok pangkal	=	<i>abutment</i>
Tembok sayap	=	<i>wing wall</i>
Kedalaman aliran	=	<i>water depth</i>
Uji model hidraulik	=	<i>hydraulic model test</i>
Pengambilan	=	<i>intake</i>
Pembilasan hidraulik	=	<i>hydraulic flushing</i>
Sungai torensial	=	<i>torential river</i>
Penangkap pasir	=	<i>sand trap</i>

Lampiran B

Contoh perhitungan hidraulik bangunan pengambil bendung Tyrol Cipager

Data dan informasi yang diketahui:

- 1) Gambar situasi dan potongan memanjang serta melintang geometri sungai,
- 2) Lokasi bangunan telah ditentukan,
- 3) Debit desain untuk pelimpah, Q_{100} = 650 m³/det.
- 4) Lebar bentang bangunan pengambil, $B_{\text{pengambil}}$ = 25 m
- 5) Kemiringan sungai dasar sungai, I_o = 1/70 ~ 1/60
- 6) Debit desain irigasi, Q_i = 4 m³/det.
- 7) Angkutan sedimen dasar sungai fraksi bongkah, kerakal, kerikil

Perhitungan hidraulik

1) Perhitungan panjang saringan (L_o)

- a). Debit desain irigasi, Q_i = 4 m³/det
- b). Lebar bentang pengambil, $B_{\text{pengambil}}$ = 25,00 m
- c). Lebar jarak antar sumbu saringan, m = 6,00 cm
- d). Lebar celah antara 2 saringan, n = 3,00 cm

Untuk menentukan panjang saringan, digunakan rumus (1) di halaman 10 dengan langkah sebagai berikut :

- a). Terapkan asumsi bahwa di sungai mengalir debit sebesar $Q_{\text{sungai}} = Q_i$
- b). Hitung debit per unit lebar mercu bangunan pengambil, q

$$q = \frac{Q_i}{B_{\text{pengambil}}} = \frac{4}{25} = 0.16 \text{ m}^3/\text{det}/\text{m}^1$$

c). Hitung kedalaman aliran pada mercu pelimpah di udik saringan

- Kedalaman aliran kritis, h_c :

$$h_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{0.16^2}{9.81}} = 0.14 \text{ m}$$

- Kemiringan saringan, α

$$\alpha = 15^\circ$$

- Harga koefisien debit penyadapan, c

Dengan memperhatikan besar sudut kemiringan saringan, α dan dengan bantuan Tabel 1 di halaman 10 diperoleh harga $c = 0,872$

- Kedalaman aliran di udik saringan, h_1

$$\begin{aligned} h_1 &= c \cdot h_c \\ &= 0,872 \times 0,14 = 0,122 \text{ m} \end{aligned}$$

d). Hitung koefisien kemampuan sadap saringan, λ

- Koefisien saringan, ψ

$$\psi = \frac{n}{m} = \frac{3}{9} = 0,33$$

- Koefisien μ

$$\begin{aligned} \mu &= 0,66 \psi^{-0,16} \left(\frac{m}{h_1} \right)^{0,13} \\ &= 0,66 \cdot 0,33^{-0,16} \left(\frac{0,09}{0,122} \right)^{0,13} = 0,758 \end{aligned}$$

- Koefisien kemampuan sadap, λ

$$\begin{aligned} \lambda &= \psi \cdot \mu \cdot \cos \alpha \sqrt{2 \cdot g \cdot \cos \alpha} \\ &= 0,33 \cdot 0,758 \cdot \cos 15^\circ \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot \cos 15^\circ} = 1,05 \end{aligned}$$

e). Hitung panjang saringan pengambil, L

$$\begin{aligned} L_{teoritik} &= 2,561 \frac{q}{\lambda \sqrt{h_1}} \\ &= 2,561 \frac{0,16}{1,05 \sqrt{0,122}} = 1,12 \text{ m} \end{aligned}$$

- Perhatikan kemungkinan sebagian saringan tersumbat oleh batu dan sampah:

$$\begin{aligned} L_{perlu} &= L_{teoritik} \times 120\% \\ &= 1,12 \times 1,2 = 1,34 \text{ m.} \end{aligned}$$

- Tentukan panjang saringan, L

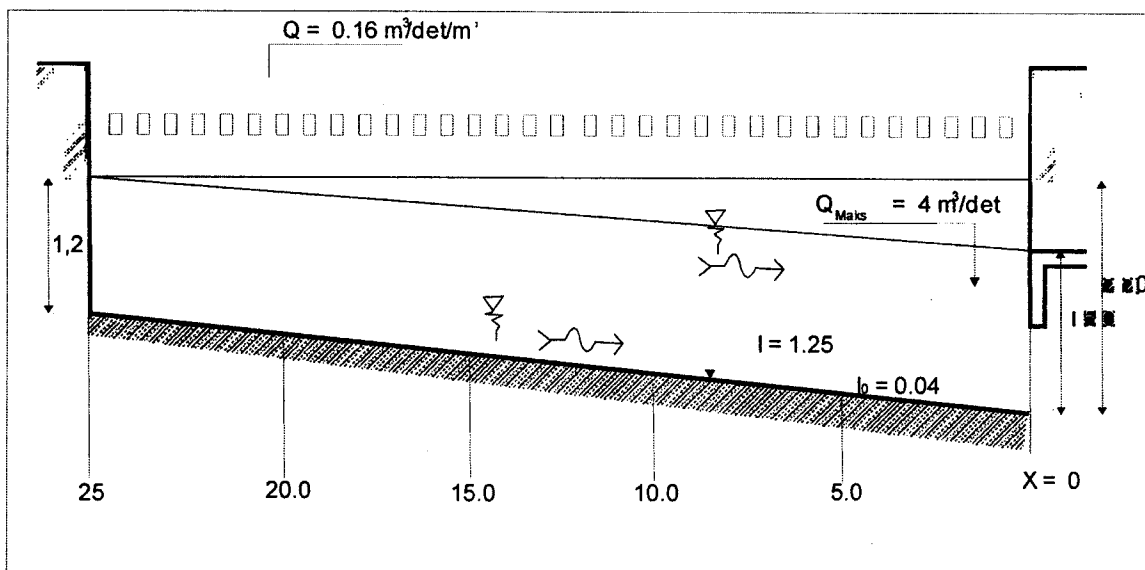
$$L = 1,50 \text{ m.}$$

2) Perhitungan gorong-gorong pengumpul

a). Data dan informasi

- Debit desain irigasi, Q_i = $4 \text{ m}^3/\text{det}$
- Lebar dasar gorong-gorong, B = 1.50 m
- Kemiringan dasar gorong-gorong, I_o = 0.04
- Bentuk gorong-gorong, = persegi dengan bagian ujung dasar ditumpulkan
- Koefisien kekasaran Manning, n = 0.02
- Sistem pengendalian debit penyadapan = pintu pengatur di ujung hilir
- Kedalaman muka air di ujung hilir = 1.50 m

b). Skematisasi



Gambar B.1 Skematisasi gorong-gorong pengumpul

3) Perhitungan profil muka air

- i). Perhitungan dilakukan dengan menerapkan rumus (2) di halaman 11 dikombinasikan dengan *Metoda Coba dan Ralat*
- ii). Perhitungan dimulai dari ujung hilir (pada penampang tepat di udik pintu pengatur debit) dan mundur secara bertahap ke bagian awal saringan.
- iii). Pada rumus (2) hanya suku F_3 dan F_4 yang belum diketahui.
- iv). Suku F_3 dan F_4 dapat diketahui dengan mengambil estimasi kedalaman muka air di Titik 1, h_1^* .
- v). Berdasarkan estimasi harga h_1^* dapat dihitung besar harga Δh dan h_1 .
- vi). Periksa kesesuaian dengan harga h_1 dan h_1^*
- vii). Bila harga h_1^* belum sesuai dengan harga h_1 , maka langkah iv) hingga vi) diulangi kembali dengan memasukkan harga h_1^* yang baru.
- viii). Perhitungan lengkap dijabarkan pada Tabel 2 dan profil muka air disepanjang gorong-gorong pengumpul dituangkan pada Gambar B.1

d). Penempatan saringan

Tempatkan saringan penyadap di atas elevasi muka air tertinggi ditambah dengan tinggi jagaan yang cukup agar tidak terjadi gangguan penyadapan melalui saringan.

e). Daya aliran untuk mengangkut sedimen

- i). Periksa daya angkut aliran untuk menghindarkan penyadapan di gorong-gorong dengan jalan memeriksa besar harga gaya seret minimum aliran, $\tau_{0\min}$ atau kecepatan aliran minimum, $v_{\min}$ untuk menghanyutkan diameter butiran sedimen terbesar yang mungkin lolos saringan.
- ii). Hitung besar gaya seret dan kecepatan aliran minimum.
 - ° Besar diameter butir terbesar yang mungkin lolos, D_{maks}

$$D_{maks} = \text{Besar celah saringan} = n$$

$$= 0.03 \text{ m}$$
 - ° Besar kebutuhan seret minimum, $\tau_{0\min}$

Jika diambil harga rapat massa sedimen, $\rho_0 = 2650 \text{ kg/m}^3$, dengan bantuan grafik Shields diperoleh harga:

$$\tau_{0\min} = 27 \text{ N/m}^2$$
 - ° Periksa harga-harga τ_0 pada Tabel 2 apakah terdapat penampang memiliki harga τ_0 yang lebih rendah daripada harga $\tau_{0\min}$

Tabel 2 Perhitungan profil muka air di gorong-gorong pengumpul

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
25.000	1.500	4.000	2.210	0.518	1.810	0.500	24.500	1.493	2.200	0.517	0.334	0.003	1.002	1.005	0.0067	1.4933	68.151
24.500	1.493	3.920	2.200	0.517	1.792	0.500	24.000	1.486	2.189	0.517	0.324	0.003	1.002	1.005	0.0069	1.4861	69.545
24.000	1.486	3.840	2.189	0.517	1.754	0.500	23.500	1.479	2.179	0.516	0.314	0.003	1.002	1.005	0.0070	1.4790	70.965
23.500	1.479	3.760	2.179	0.516	1.726	0.500	23.000	1.472	2.168	0.515	0.304	0.003	1.002	1.005	0.0072	1.4718	72.412
23.000	1.472	3.680	2.168	0.515	1.697	0.500	22.500	1.464	2.156	0.514	0.294	0.003	1.002	1.006	0.0075	1.4645	73.810
22.500	1.464	3.600	2.156	0.514	1.670	0.500	22.000	1.457	2.146	0.513	0.284	0.003	1.002	1.005	0.0075	1.4565	75.205
22.000	1.457	3.520	2.146	0.513	1.641	0.500	21.500	1.449	2.134	0.512	0.275	0.003	1.002	1.006	0.0078	1.4492	76.541
21.500	1.449	3.440	2.134	0.512	1.612	0.500	21.000	1.441	2.122	0.511	0.265	0.003	1.002	1.006	0.0080	1.4410	77.862
21.000	1.441	3.360	2.122	0.511	1.584	0.500	20.500	1.433	2.110	0.511	0.256	0.002	1.002	1.006	0.0081	1.4329	79.176
20.500	1.433	3.280	2.110	0.511	1.555	0.500	20.000	1.425	2.098	0.510	0.247	0.002	1.002	1.006	0.0083	1.4247	80.483
20.000	1.425	3.200	2.098	0.510	1.526	0.500	19.500	1.416	2.084	0.509	0.238	0.002	1.003	1.006	0.0086	1.4164	81.784
19.500	1.416	3.120	2.084	0.509	1.497	0.500	19.000	1.407	2.071	0.507	0.229	0.002	1.003	1.007	0.0087	1.4073	83.079
19.000	1.407	3.040	2.071	0.507	1.468	0.500	18.500	1.398	2.057	0.506	0.220	0.002	1.003	1.007	0.0089	1.3981	84.371
18.500	1.398	2.960	2.057	0.506	1.439	0.500	18.000	1.389	2.044	0.505	0.211	0.002	1.003	1.007	0.0090	1.3890	85.664
18.000	1.389	2.880	2.044	0.505	1.409	0.500	17.500	1.380	2.030	0.504	0.203	0.002	1.003	1.007	0.0092	1.3798	86.959
17.500	1.380	2.800	2.030	0.504	1.379	0.500	17.000	1.371	2.017	0.503	0.194	0.002	1.003	1.007	0.0093	1.3707	88.254
17.000	1.371	2.720	2.017	0.503	1.349	0.500	16.500	1.361	2.002	0.502	0.186	0.002	1.003	1.007	0.0096	1.3614	89.549
16.500	1.361	2.640	2.002	0.502	1.319	0.500	16.000	1.351	1.987	0.501	0.178	0.002	1.003	1.008	0.0098	1.3512	90.844
16.000	1.351	2.560	1.987	0.501	1.289	0.500	15.500	1.341	1.972	0.499	0.169	0.002	1.003	1.008	0.0099	1.3411	92.139
15.500	1.341	2.480	1.972	0.499	1.258	0.500	15.000	1.331	1.957	0.498	0.161	0.002	1.003	1.008	0.0101	1.3309	93.434
15.000	1.331	2.400	1.957	0.498	1.227	0.500	14.500	1.321	1.942	0.497	0.154	0.002	1.003	1.008	0.0103	1.3207	94.729
14.500	1.321	2.320	1.942	0.497	1.195	0.500	14.000	1.310	1.925	0.495	0.146	0.001	1.004	1.009	0.0105	1.3105	96.024
14.000	1.310	2.240	1.925	0.495	1.164	0.500	13.500	1.299	1.909	0.494	0.138	0.001	1.004	1.009	0.0107	1.2993	97.319
13.500	1.299	2.160	1.909	0.494	1.132	0.500	13.000	1.288	1.892	0.492	0.131	0.001	1.004	1.009	0.0109	1.2881	98.614
13.000	1.288	2.080	1.892	0.492	1.099	0.500	12.500	1.277	1.876	0.491	0.123	0.001	1.004	1.009	0.0111	1.2769	99.909
12.500	1.277	2.000	1.876	0.491	1.066	0.500	12.000	1.266	1.859	0.489	0.116	0.001	1.004	1.009	0.0112	1.2658	101.204
12.000	1.266	1.920	1.859	0.489	1.033	0.500	11.500	1.255	1.843	0.488	0.109	0.001	1.004	1.009	0.0114	1.2546	102.499
11.500	1.255	1.840	1.843	0.488	0.999	0.500	11.000	1.243	1.825	0.486	0.102	0.001	1.005	1.010	0.0117	1.2433	103.794
11.000	1.243	1.760	1.825	0.486	0.965	0.500	10.500	1.231	1.807	0.485	0.095	0.001	1.005	1.010	0.0119	1.2311	105.089
10.500	1.231	1.680	1.807	0.485	0.930	0.500	10.000	1.219	1.789	0.481	0.088	0.001	1.005	1.010	0.0121	1.2189	106.384
10.000	1.219	1.600	1.789	0.483	0.895	0.500	9.500	1.207	1.771	0.481	0.082	0.001	1.005	1.010	0.0123	1.2067	107.679
9.500	1.207	1.520	1.771	0.481	0.859	0.500	9.000	1.195	1.753	0.479	0.075	0.001	1.005	1.010	0.0126	1.1944	108.974
9.000	1.207	1.520	1.771	0.481	0.822	0.500	8.500	1.182	1.733	0.477	0.069	0.001	1.005	1.011	0.0129	1.1821	110.269
8.500	1.182	1.360	1.733	0.477	0.785	0.500	8.000	1.169	1.714	0.475	0.063	0.001	1.006	1.011	0.0131	1.1698	111.564
8.000	1.169	1.280	1.714	0.475	0.747	0.500	7.500	1.156	1.694	0.473	0.057	0.001	1.006	1.012	0.0134	1.1566	112.859
7.500	1.156	1.200	1.694	0.473	0.708	0.500	7.000	1.142	1.673	0.471	0.051	0.001	1.006	1.013	0.0137	1.1423	114.154
7.000	1.142	1.120	1.673	0.471	0.669	0.500	6.500	1.128	1.652	0.469	0.046	0.000	1.006	1.013	0.0139	1.1281	115.449
6.500	1.128	1.040	1.652	0.469	0.630	0.500	6.000	1.114	1.631	0.467	0.040	0.000	1.006	1.013	0.0142	1.1138	116.744
6.000	1.114	0.960	1.631	0.467	0.589	0.500	5.500	1.100	1.610	0.465	0.035	0.000	1.007	1.013	0.0145	1.0995	118.039
5.500	1.100	0.880	1.610	0.465	0.547	0.500	5.000	1.080	1.580	0.461	0.030	0.000	1.007	1.019	0.0150	1.0850	119.334
5.000	1.080	0.800	1.580	0.461	0.506	0.500	4.500	1.065	1.558	0.459	0.026	0.000	1.007	1.014	0.0152	1.0648	120.629
4.500	1.065	0.720	1.558	0.459	0.462	0.500	4.000	1.050	1.535	0.456	0.022	0.000	1.008	1.015	0.0155	1.0495	121.924
4.000	1.050	0.640	1.535	0.456	0.417	0.500	3.500	1.034	1.511	0.453	0.018	0.000	1.008	1.016	0.0159	1.0341	123.219
3.500	1.034	0.560	1.511	0.453	0.371	0.500	3.000	1.018	1.487	0.450	0.014	0.000	1.009	1.016	0.0163	1.0177	124.514
3.000	1.018	0.480	1.487	0.450	0.323	0.500	2.500	1.001	1.462	0.447	0.011	0.000	1.009	1.016	0.0168	1.0012	125.809
2.500	1.001	0.400	1.462	0.447	0.274	0.500	2.000	0.984	1.436	0.444	0.008	0.000	1.010	1.018	0.0173	0.9837	127.104
2.000	0.984	0.320	1.436	0.444	0.223	0.500	1.500	0.966	1.409	0.441	0.005	0.000	1.010	1.019	0.0178	0.9662	128.399
1.500	0.966	0.240	1.409	0.441	0.170	0.500	1.000	0.948	1.382	0.437	0.003	0.000	1.011	1.020	0.0184	0.9476	129.694
1.000	0.948	0.160	1.382	0.437	0.116	0.500	0.500	0.929	1.354	0.433	0.001	0.000	1.012	1.021	0.0190	0.9290	130.989
0.500	0.929	0.080	1.354	0.433	0.059	0.500	0.000	0.909	1.324	0.429	0.000	0.000	1.013	1.023	0.0196	0.9094	132.284

4) Tinggi muka air di atas mercu pelimpah

a). Data dan informasi

- Debit banjir desain, Q_{desain} = 650 m³/det
- Lebar bentang pelimpah, B_{pelimpah} = 25 m.

b). Tinggi muka air kritis di atas mercu

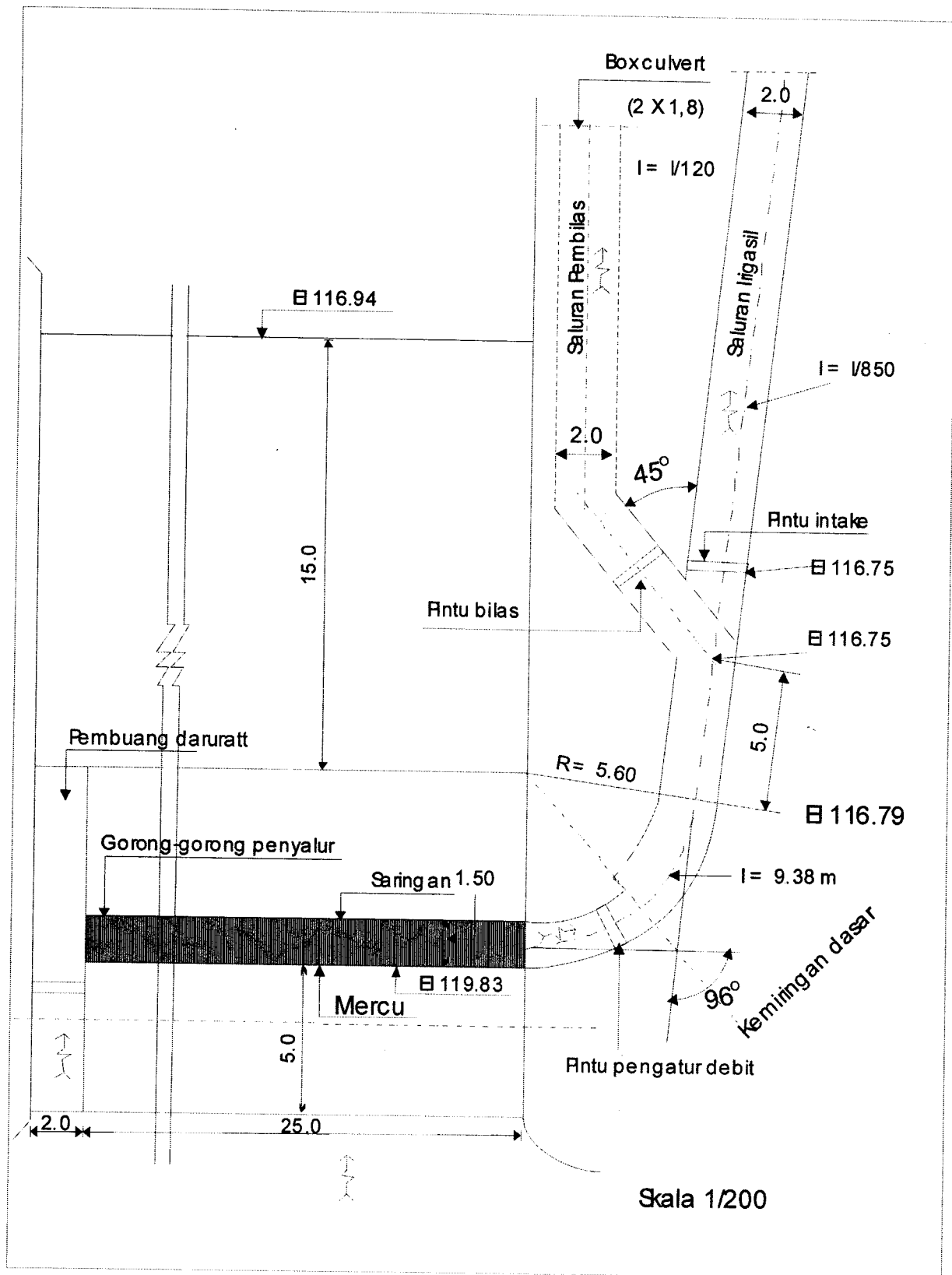
- $q = \frac{Q_{\text{desain}}}{B_{\text{pelimpah}}}$
 $= \frac{650}{25} = 26 \text{ m}^3/\text{det}/\text{m}^1$
- $h_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$
 $= 4.10 \text{ m.}$

5) Penentuan elevasi tembok pangkal

- Tinggi muka air kritis, $h_c = 4.10 \text{ m}$
- Tinggi jagaan, $w = 1.50 \text{ m}$
- Elevasi tembok pangkal = $h_c + w = 5.60 \text{ m}$ di atas elevasi mercu pelimpah

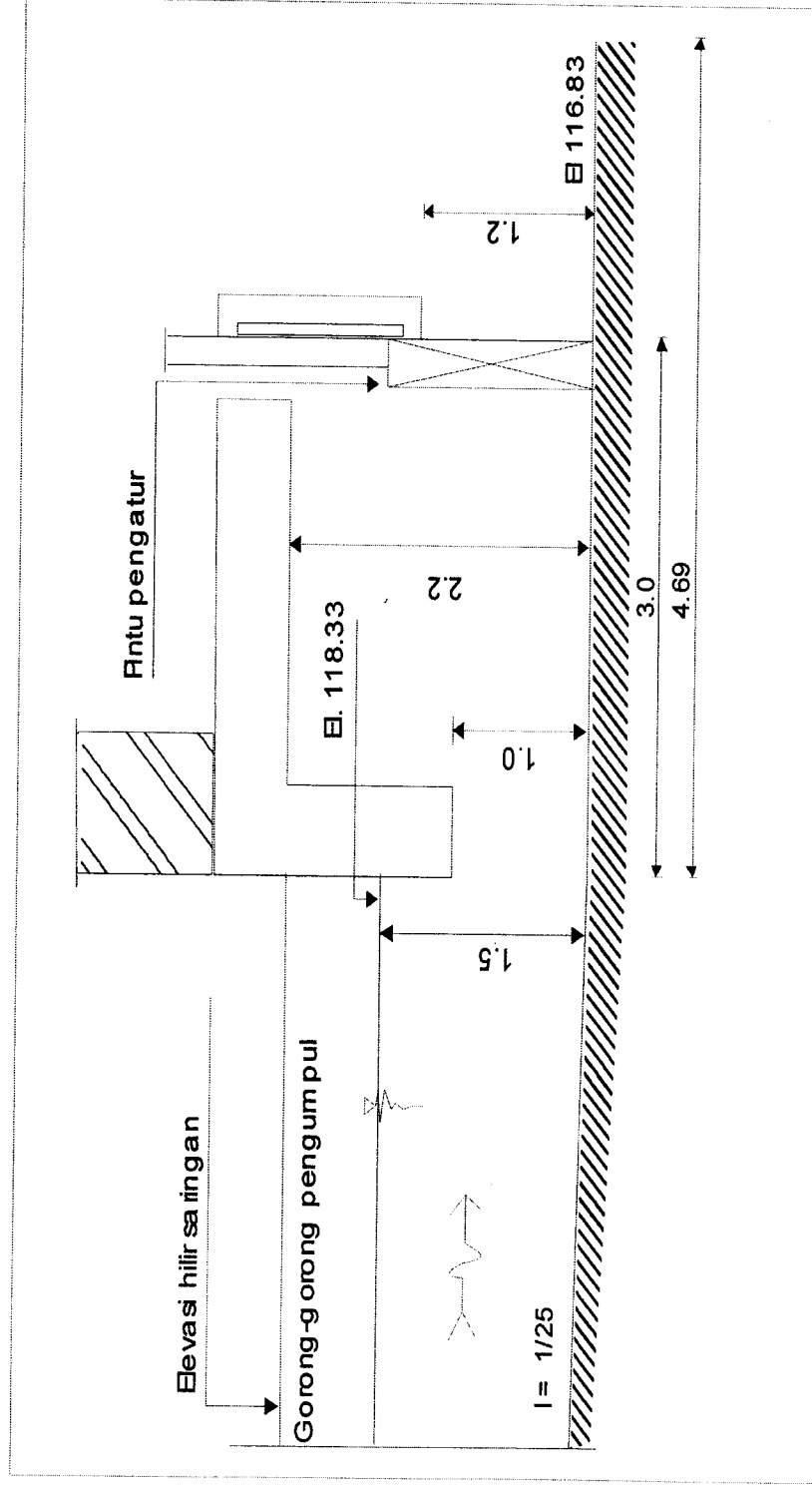
6) Gambar Pra Rencana Hidraulik

Hasil perhitungan dituangkan ke dalam Gambar B.2 - B.4



Gambar B.2 . Contoh desain denah bendung Tyrol

23 dari 24



Gambar B.4. Contoh desain potongan memanjang bagian akhir gorong-gorong pengumpul bangunan pengambil Tyrol