

PERHITUNGAN SALURAN DAN DRAINASE
DIKLAT TEKNIS PERENCANAAN IRIGASI
TINGKAT DASAR



2016

PUSAT PENDIDIKAN DAN PELATIHAN SUMBER DAYA AIR DAN KONSTRUKSI



KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT
BADAN PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA
PUSAT PENDIDIKAN DAN PELATIHAN SUMBER DAYA AIR DAN KONSTRUKSI
Jalan Abdul Hamid Cicaheum Bandung 40193 Telp. (022) 7206892, Fax (022) 7232938, Email :pusdiklatsdadankonstruksi@yahoo.com

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas selesainya validasi dan penyempurnaan Modul Perhitungan Saluran dan Drainase sebagai Materi Substansi dalam Diklat Teknis Perencanaan Irigasi Tingkat Dasar. Modul ini disusun untuk memenuhi kebutuhan kompetensi dasar Aparatur Sipil Negara (ASN) di bidang Sumber Daya Air (SDA).

Modul Perhitungan Saluran dan Drainase disusun dalam 8 (delapan) bab yang terbagi atas Pendahuluan, Materi Pokok, dan Penutup. Penyusunan modul yang sistematis diharapkan mampu mempermudah peserta pelatihan dalam memahami Perencanaan Saluran dan Drainase dalam perencanaan irigasi. Penekanan orientasi pembelajaran pada modul ini lebih menonjolkan partisipasi aktif dari para peserta.

Akhirnya, ucapan terima kasih dan penghargaan kami sampaikan kepada Tim Penyusun dan Narasumber Validasi, sehingga modul ini dapat diselesaikan dengan baik. Penyempurnaan maupun perubahan modul di masa mendatang senantiasa terbuka dan dimungkinkan mengingat akan perkembangan situasi, kebijakan dan peraturan yang terus menerus terjadi. Semoga Modul ini dapat memberikan manfaat bagi peningkatan kompetensi ASN di bidang SDA.

Bandung, Desember 2016
Kepala Pusat Pendidikan dan Pelatihan
Sumber Daya Air dan Konstruksi

Dr. Ir. Suprpto, M.Eng.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
PETUNJUK PENGGUNAAN MODUL	vii
BAB I PENDAHULUAN	I-1
1.1. Latar Belakang	I-1
1.2. Deskripsi singkat	I-1
1.3. Tujuan Pembelajaran	I-1
1.3.1 Kompetensi Dasar	I-1
1.3.2 Indikator Keberhasilan	I-1
1.4. Materi Pokok	I-2
1.5. Estimasi Waktu	I-2
BAB II DATA PERENCANAAN IRIGASI	II-1
2.1. Data Topografi	II-1
2.2. Kapasitas Rencana	II-2
2.2.1. Debit Rencana	II-2
2.2.2. Kebutuhan air sawah	II-3
2.2.3. Efisiensi	II-3
2.2.4. Rotasi teknis (sistem golongan)	II-5
2.3. Data Geoteknik	II-6
2.4. Data Sedimen	II-7
2.5. Latihan	II-8
2.6. Rangkuman	II-8
BAB III SALURAN TANAH TANPA PASANGAN	III-1
3.1. Perencanaan Saluran yang Stabil	III-1
3.2. Rumus dan Kriteria Hidrolis	III-4
3.2.1. Rumus aliran	III-4
3.2.2. Koefisien kekasaran strikler	III-5
3.2.3. Sedimentasi	III-7

3.2.4.	Erosi	III-8
3.3.	Potongan Melintang Saluran	III-11
3.3.1.	Geometri.....	III-11
3.3.2.	Kemiringan saluran.....	III-11
3.3.3.	Lengkung saluran	III-13
3.3.4.	Tinggi jagaan	III-13
3.3.5.	Lebar tanggul.....	III-14
3.3.6.	Batas pembebasan tanah (<i>right of way</i>).....	III-15
3.4.	Potongan Memanjang	III-17
3.4.1.	Muka air yang diperlukan.....	III-17
3.4.2.	Kemiringan memanjang.....	III-18
3.5.	Latihan	III-21
3.6.	Rangkuman.....	III-21
BAB IV	SALURAN PASANGAN	IV-1
4.1.	Kegunaan Saluran Pasangan	IV-1
4.2.	Jenis-jenis Pasangan	IV-2
4.3.	Perencanaan Hidrolis.....	IV-5
4.3.1.	Kecepatan maksimum	IV-5
4.3.2.	Koefisien kekasaran	IV-6
4.3.3.	Perencanaan untuk aliran subkritis	IV-6
4.3.4.	Lengkung saluran	IV-8
4.3.5.	Tinggi jagaan	IV-8
4.4.	Latihan	IV-8
4.5.	Rangkuman.....	IV-8
BAB V	TEROWONGAN DAN SALURAN TERTUTUP	V-1
5.1.	Pemakaian	V-1
5.2.	Bentuk dan Kriteria Hidrolis	V-2
5.2.1.	Terowongan	V-2
5.2.2.	Saluran penutup	V-8
5.3.	Perencanaan Hidrolis.....	V-10
5.4.	Latihan	V-15
5.5.	Rangkuman.....	V-15
BAB VI	DATA PERENCANAAN SALURAN PEMBUANG	VI-1

6.1. Data Topografi	VI-1
6.2. Debit Rencana	VI-1
6.2.1. Jaringan pembuang	VI-1
6.2.2. Kebutuhan pembuang untuk tanaman padi	VI-3
6.2.3. Kebutuhan pembuang untuk sawah padi	VI-7
6.2.4. Debit pembuang	VI-10
6.3. Data Mekanika Tanah	VI-11
6.4. Latihan	VI-12
6.5. Rangkuman.....	VI-12
BAB VII PERENCANAAN SALURAN PEMBUANG	VII-1
7.1. Perencanaan Saluran Pembuang yang Stabil	VII-1
7.2. Rumus dan Kriteria Hidrolis.....	VII-2
7.2.1. Rumus aliran	VII-2
7.2.2. Koefisien kekasaran Strickler.....	VII-3
7.2.3. Kecepatan Maksimum yang Diizinkan	VII-4
7.2.4. Tinggi Muka Air.....	VII-5
7.3. Potongan Melintang Saluran Pembuang	VII-7
7.3.1. Geometri.....	VII-7
7.3.2. Kemiringan talud saluran pembuang	VII-7
7.3.3. Lengkung saluran pembuang	VII-8
7.3.4. Tinggi jagaan.....	VII-8
7.4. Latihan	VII-9
7.5. Rangkuman.....	VII-9
BAB VIII PENUTUP	VIII-1
8.1. Simpulan	VIII-1
8.2. Tindak Lanjut	VIII-1
DAFTAR PUSTAKA	viii
GLOSARIUM	ix

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 – Sistem kebutuhan air	II-4
Tabel 3. 1 - Taylor's Stability Numbers.....	III-4
Tabel 3. 2 – Harga-harga koefisien Stikler (k) untuk saluran irigasi tanah	III-7
Tabel 3. 3 – Kemiringan minimum talud untuk berbagai bahan tanah.....	III-12
Tabel 3. 4 kemiringan talud minimum untuk saluran yang dipadatkan dengan baik	III-12
Tabel 3. 5 – Tinggi jagaan minimum untuk saluran tanah.....	III-14
Tabel 3. 6 – Lebar minimum tanggul.....	III-14
Tabel 4. 1 – Harga-harga koefisien tanah rembesan C.....	IV-2
Tabel 4. 2 - Harga-harga kemiringan talud untuk saluran pasangan	IV-7
Tabel 4. 3 – Tinggi jagaan untuk saluran pasangan.....	IV-8
Tabel 5. 1 – Klasifikasi tipe terowongan	V-5
Tabel 5. 2 – Tebal pasangan dari beton dalam cm	V-8
Tabel 5. 3 – Kedalaman minimum penutup (m) pada potongan terowongan	V-9
Tabel 5. 4 – Harga-harga kecepatan maksimum dan k (Strickler)	V-10
Tabel 5. 5 – Harga-harga K_b untuk siku	V-14
Tabel 6. 1 - Harga harga koefisien limpasan air hujan untuk perhitungan Q_d	VI-9
Tabel 7. 1 - Koefisien kekasaran Strickler untuk saluran pembuang.....	VII-3
Tabel 7. 2 – Kemiringan talud minimum saluran pembuang	VII-8
Tabel 7. 3 – Jari-jari lengkung saluran pembuang tanah	VII-8

DAFTAR GAMBAR

Gambar III. 1 – Parameter potongan melintang	III-5
Gambar III. 2 – Kecepatan-kecepatan dasar untuk tanah koheren	III-9
Gambar III. 3 – Faktor-faktor koreksi terhadap kecepatan dasar.....	III-9
Gambar III. 4 - Tipe-tipe potongan melintang saluran irigasi	III-16
Gambar III. 5 – Tinggi bangunan sadap tersier yang diperlukan	III-17
Gambar IV. 1 – Tipe-tipe pasangan	IV-5
Gambar V. 1 – Bentuk-bentuk potongan melintang terowongan	V-3
Gambar V. 2 – Bentuk-bentuk pasangan melintang terowongan	V-6
Gambar V. 3 – Harga-harga kehilangan tinggi energy masuk dan keluar	V-13
Gambar V. 4 – Harga-harga K_b untuk tikungan 90° pada saluran tertutup (USBR).....	V-13
Gambar V. 5 – Faktor koreksi untuk koefisien kehilangan di tikungan pada saluran tertutup	V-14
Gambar VI. 1 - Contoh perhitungan modulus pembuang.....	VI-6
Gambar VI. 2 – Faktor pengurangan luas areal yang dibuang airnya	VI-7
Gambar VII. 1 - Koefisien koreksi untuk berbagai periode D	VII-4
Gambar VII. 2 - Tipe – tipe melintang saluran pembuang.....	VII-6
Gambar VII. 3 - Tinggi jagaan untuk saluran pembuang (dari USBR)	VII-9

PETUNJUK PENGGUNAAN MODUL

Deskripsi

Modul Perhitungan Saluran dan Drainase ini terdiri dari enam kegiatan belajar mengajar. Kegiatan belajar pertama membahas Data Perencanaan Irigas. Kegiatan belajar kedua membahas Saluran Tanah Tanpa Pasangan. Kegiatan belajar ketiga membahas Saluran Pasangan. Kegiatan belajar keempat membahas Terowongan dan Saluran Tertutup. Kegiatan belajar kelima membahas Data Perencanaan Saluran Pembuang. Kegiatan belajar keenam membahas Perencanaan Saluran Pembuang.

Peserta diklat mempelajari keseluruhan modul ini dengan cara yang berurutan. Pemahaman setiap materi pada modul ini diperlukan untuk memahami Perencanaan Irigasi. Setiap kegiatan belajar dilengkapi dengan latihan atau evaluasi yang menjadi alat ukur tingkat penguasaan peserta diklat setelah mempelajari materi dalam modul ini

Persyaratan

Dalam mempelajari modul pembelajaran ini, peserta diklat diharapkan dapat menyimak dengan seksama penjelasan dari pengajar, sehingga dapat memahami dengan baik materi yang merupakan dasar dari Perencanaan Irigasi. Untuk menambah wawasan, peserta diharapkan dapat membaca terlebih dahulu peraturan/kebijakan yang berlaku.

Metode

Dalam pelaksanaan pembelajaran ini, metode yang dipergunakan adalah dengan kegiatan pemaparan yang dilakukan oleh Widyaiswara/Fasilitator, adanya kesempatan tanya jawab, curah pendapat, bahkan diskusi

Alat Bantu/Media

Untuk menunjang tercapainya tujuan pembelajaran ini, diperlukan Alat Bantu/Media pembelajaran tertentu, yaitu: LCD/projector, Laptop, white board dengan spidol dan penghapusnya, bahan tayang, serta modul dan/atau bahan ajar.

Kompetensi Dasar

Setelah mengikuti pembelajaran ini peserta diklat diharapkan mampu memahami perhitungan saluran dan drainase pada system jaringan irigasi.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perencanaan saluran yang disajikan disini untuk saluran gravitasi terbuka jaringan irigasi yang cocok untuk mengairi tanaman padi, yang umumnya merupakan tanaman pokok, maupun untuk budidaya tanaman-tanaman ladang (tegalan). Perbedaan besarnya kebutuhan air antara padi sawah dan tanaman ladang/upland crop merupakan perbedaan utama pada ketinggian jaringan utama.

Secara matematis, perencanaan saluran sangat kompleks terutama untuk saluran tanah tanpa pasangan. Penentuan koefisien kekasaran tidaklah mudah, factor-faktor erosi dan sedimentasi banyak mempengaruhi terhadap kestabilan saluran sehingga mempengaruhi terhadap kestabilan saluran sehingga perlu dipertimbangkan dengan seksama.

1.2. Deskripsi singkat

Mata pendidikan dan pelatihan ini menjelaskan tentang perencanaan saluran primer pada jaringan irigasi yang meliputi : data perencanaan, saluran tanah tanpa pasangan, saluran pasangan, terowongan dan saluran tertutup, data perencanaan pembuang dan perencanaan saluran pembuang.

1.3. Tujuan Pembelajaran

1.3.1 Kompetensi Dasar

Setelah mengikuti pembelajaran ini peserta diklat diharapkan mampu memahami perhitungan saluran dan drainase pada system jaringan irigasi.

1.3.2 Indikator Keberhasilan

Setelah pembelajaran ini, peserta diharapkan mampu:

- a) Menjelaskan data perencanaan irigasi
- b) Menjelaskan saluran tanah tanpa pasangan
- c) Menjelaskan saluran pasangan

- d) Menjelaskan terowongan dan saluran tertutup
- e) Menjelaskan data perencanaan saluran pembuang
- f) Menjelaskan perencanaan saluran pembuang

1.4. Materi Pokok

Dalam modul perhitungan saluran dan drainase ini akan membahas materi:

- a) Data perencanaan irigasi
- b) Saluran tanah tanpa pasangan
- c) Saluran pasangan
- d) Terowongan dan saluran tertutup
- e) Data perencanaan saluran pembuang
- f) Perencanaan saluran pembuang

1.5. Estimasi Waktu

Alokasi waktu yang diberikan untuk pelaksanaan kegiatan belajar mengajar untuk mata diklat “Perhitungan Saluran dan Drainase” ini adalah 10 (sepuluh) jam pelajaran (JP) atau sekitar 450 menit.

BAB II

DATA PERENCANAAN IRIGASI

Setelah mengikuti pembelajaran ini, peserta diharapkan mampu menjelaskan data perencanaan irigasi

2.1. Data Topografi

Data topografi yang diperlukan ialah :

- a) Peta dengan garis-garis ketinggian dan tata letak jaringan irigasi dengan skala 1 : 25.000 dan 1:5.000.
- b) Peta situasi trase saluran berskala 1 : 2.000 dengan garis-garis ketinggian pada interval 0,5 m untuk daerah datar dan 1,0 m untuk daerah berbukit- bukit.;
- c) Profil memanjang skala horizontal 1 : 2.000 dan skala vertikal 1 : 200 (skala 1 : 100 untuk saluran berkapasitas kecil, bilamana diperlukan).
- d) Potongan melintang pada skala horizontal dan vertikal 1 : 200 (atau 1 :100 untuk saluran – saluran berkapasitas kecil) dengan interval 50 m untuk bagian lurus dan interval 25 m pada bagian tikungan;
- e) Peta lokasi titik tetap/benchmark, termasuk deskripsi benchmark.

Penggunaan peta-peta udara dan foto (ortofoto dan peta garis) yang dilengkapi dengan garis ketinggian akan sangat besar artinya untuk perencanaan tata letak dan trase saluran.

Data pengukuran topografi dan saluran yang disebutkan diatas merupakan data akhir untuk perencanaan detail saluran. Letak trase saluran sering dapat ditetapkan setelah membandingkan-bandingkan beberapa alternatif. Informasi yang diperoleh dari pengukuran trase saluran dapat dipakai untuk peninjauan trase pendahuluan, misalnya pemindahan as

saluran perubahan tikungan saluran. Letak as saluran pada silangan dengan saluran pembuang (alamiah) sering sulit ditentukan secara tepat dengan menggunakan peta topografi, sebelum diadakan pengukuran saluran. Letak akhir bangunan utama dan bangunan silang tersebut hanya dapat ditentukan berdasarkan survai lapangan (dengan skala 1:200 atau 1:500)

Lokasi trase saluran garis tinggi akan lebih banyak dipengaruhi oleh keadaan topografi setempat daripada saluran yang mengikuti punggung medan.

Saluran-saluran sekunder sering mengikuti punggung medan. Pengukuran trase untuk saluran tipe ini dapat dibatasi sampai pada lebar 75 m yang memungkinkan penempatan as saluran dan perencanaan potongan melintang dengan baik. Untuk saluran garis tinggi, lebar profil yang serupa cukup untuk memberikan perencanaan detail. Akan tetapi, karena menentukan as saluran dari sebuah peta topografi sebelum pengukuran saluran lebih sulit, pengukuran peta trase umumnya ditentukan dengan as saluran yang ditentukan dengan lapangan.

2.2. Kapasitas Rencana

2.2.1. Debit Rencana

Debit rencana sebuah saluran dihitung dengan rumus umum berikut :

$$Q = \frac{C \text{ NFR} \cdot A}{E}$$

Di mana :

Q = debit rencana, 1/dt

C = Koefisien pengurangan karena adanya sistem golongan, (lihat pasal 224).

NFR = Kebutuhan bersih (netto) air di sawah, m. 1dt.ha

A = Luas daerah yang dialiri, ha

E = Efisiensi irigasi secara keseluruhan.

Jika air yang dialiri oleh jaringan saluran juga untuk keperluan selain irigasi, maka debit rencana harus ditambah dengan jumlah yang dibutuhkan untuk keperluan itu, dengan memperhitungkan efisiensi pengaliran.

2.2.2. Kebutuhan air sawah

Kebutuhan air di sawah untuk padi ditentukan oleh factor-faktor berikut :

- a) Cara penyiapan lahan
- b) Kebutuhan air untuk tanaman
- c) Perkolasi dan rembesan
- d) Pergantian lapisan air, dan
- e) Curah hujan efektif.

Kebutuhan total air di sawah (GFR) mencakup faktor 1 sampai 4. Kebutuhan bersih (netto) air sawah (NFR) juga memperhitungkan curah hujan efektif

Besarnya kebutuhan air di sawah bervariasi menurut tahap pertumbuhan tanaman dan bergantung cara perolehan lahan. Besarnya kebutuhan air sawah dinyatakan dalam mm/hari.

Besarnya kebutuhan air di sawah untuk tanaman ladang dihitung seperti pada perhitungan kebutuhan air untuk padi. Ada berbagai harga yang dapat diterapkan untuk kelima faktor di atas.

2.2.3. Efisiensi

Untuk tujuan-tujuan perencanaan, dianggap bahwa seperempat sampai sepertiga dari jumlah air yang diambil akan hilang sebelum air itu sampai di sawah. Kehilangan ini disebabkan oleh kegiatan eksploitasi, evaporasi dan perembesan. Kehilangan akibat evaporasi dan perembesan umumnya kecil saja jika dibandingkan dengan jumlah kehilangan akibat kegiatan eksploitasi. Perhitungan rembesan hanya dilakukan apabila kelulusan tanah cukup tinggi.

Pada umumnya kehilangan air di jaringan irigasi dapat dibagi-bagi sebagai berikut :

- a) 15 - 22,5 % petak tresier, antara bangunan sadap tresier dan sawah
- b) 7,5 – 12,5% di saluran sekunder
- c) 7,5 – 12,5% di saluran utama

Efisiensi secara keseluruhan (total) dihitung sebagai berikut : Efisiensi jaringan tresier (e_t) x efisiensi jaringan sekunder (e_s) efisiensi jaringan primer (e_p) dan antara 0,59 -0,73. Oleh karena itu, kebutuhan bersih air sawah (NFR) harus dibagi e untuk memperoleh jumlah air yang dibutuhkan di bangunan pengambilan dari sungai. Faktor-faktor efisiensi yang diharapkan untuk perhitungan saluran disajikan pada table 2.1.

Tabel 2. 1 – Sistem kebutuhan air

Tingkat	Kebutuhan air	Satuan
Sawah Petak Tresier	NFR (kebutuhan bersih air di sawah) TOR (Kebutuhan air dibangun sadap tresier)	(l/dt/ha)
Petak sekunder	$(NFR \times \text{luas daerah}) \times \frac{1}{e_t}$ SOR (kebutuhan air dibangun sadap sekunder) $\sum TOR \times \frac{1}{e_s}$	(l/dt/ha) (l/dt/ atau m ³ /dt) (l/dt/ atau m ³ /dt)
Petak Primer	MOR (kebutuhan air di bangunan sadap primer) $\sum TORmc^1 \times \frac{1}{e_p}$	(l/dt/ atau m ³ /dt)
Bendung	DR (kebutuhan divisi) MOR sisi kiri dan MOR sisi kanan	

Kehilangan yang sebenarnya di dalam jaringan bisa jauh lebih tinggi, dan efisiensi yang sebenarnya yang terkisar antara 30 sampai 40 % kadang-kadang lebih realistis, apalagi pada waktu-waktu kebutuhan air rendah.

Walaupun demikian, tidak disarankan untuk merencanakan jaringan saluran dengan efisiensi yang rendah itu. Setelah beberapa tahun diharapkan efisiensi akan dapat dicapai. Keseluruhan efisiensi irigasi yang dibutuhkan di atas, dapat dipakai pada proyek-proyek irigasi yang sumber airnya terbatas dengan luas daerah yang dialiri sampai 10.000 ha. Harga-harga efisiensi yang lebih tinggi (sampai maksimum 75 %) dapat diambil untuk proyek- proyek irigasi yang sangat kecil atau proyek irigasi yang airnya diambil dari waduk yang dikelola dengan baik.

Di daerah yang baru dikembangkan, sebelumnya tidak ditanami padi, dalam tempo 3 - 4 tahun pertama kebutuhan air di sawah akan lebih tinggi dari pada kebutuhan air di masa-masa sesudah itu.

Kebutuhan air di sawah bisa menjadi 3 sampai 4 kali lebih tinggi dari pada yang terencana. Ini untuk menstabilkan keadaan tanah itu. Dalam hal-hal seperti ini, kapasitas rencana saluran harus didasarkan pada kebutuhan air maksimum dan pelaksanaan proyek itu harus dilakukan secara bertahap.

Oleh sebab itu, luas daerah irigasi harus didasarkan pada kapasitas jaringan saluran dan akan diperluas setelah kebutuhan air di sawah berkurang.

Untuk daerah irigasi yang besar, kehilangan-kehilangan air akibat perembesan dan evaporasi sebaiknya dihitung secara terpisah dan kehilangan-kehilangan lain harus diperkirakan.

2.2.4. Rotasi teknis (sistem golongan)

Keuntungan-keuntungan yang dapat diperoleh dari sistem golongan teknis adalah :

- a) berkurangnya kebutuhan pengambilan puncak (koefisien pengurangan rotasi)

- b) kebutuhan pengambilan bertambah secara berangsur-rangsur pada awal waktu pemberian air irigasi (pada periode penyiapan lahan), seiring dengan makin bertambahnya debit sungai; kebutuhan pengambilan puncak dapat ditunda.

Sedangkan hal-hal yang tidak menguntungkan adalah :

- a) timbulnya komplikasi sosial
- b) eksploitasi lebih rumit
- c) kehilangan air akibat eksploitasi sedikit lebih tinggi, dan
- d) jangka waktu irigasi untuk tanaman pertama lebih lama, akibatnya lebih sedikit waktu tersedia untuk tanaman kedua.

Agar kebutuhan pengambilan puncak dapat dikurangi, maka areal irigasi harus dibagi bagi menjadi sekurang-kurangnya tiga atau empat golongan dan tidak lebih dari 5 atau 6 golongan. Dengan sendirinya hal ini agak mempersulit eksploitasi jaringan irigasi. Lagi pula usaha pengurangan debt puncak mengharuskan diperkenalkannya sistem rotasi.

Karena alasan-alasan diatas, biasanya untuk proyek irigasi tertentu yang mencakup daerah yang bisa dialiri seluas 10.000 ha dan menagambil air langsung dari sungai, tidak ada pengurangan debit rencana (koefisien pengurangan $c = 1$), Pada jaringan yang telah ada, faktor pengurangan $c < 1$ mungkin dipakai sesuai dengan pengalaman O & P.

2.3. Data Geoteknik

Hal utama yang harus diperhatikan dalam perencanaan saluran adalah stabilitas tanggul, kemiringan talud galian serta rembesan ke dan dari saluran. Data tanah yang diperoleh dari hasil penyelidikan tanah pertanian akan memberikan petunjuk umum mengenai sifat-sifat tanah di daerah trase saluran yang direncanakan.

Perhatian khusus diberikan kepada daerah-daerah yang mengandung.

- a) batu singkapan
- b) lempung tak stabil yang platisitasnya tinggi

- c) tanah gambut dan bahan-bahan organik
- d) pasir dan kerikil
- e) bahan (tanah) timbunan yang cocok
- f) muka air tanah.

Pengujian gradasi dan batas cair terhadap bahan-bahan sampel pada umumnya akan menghasilkan klasifikasi yang memadai untuk perencanaan talud galian dan timbunan. Untuk talud yang tinggi (lebih dari 5m) diperlukan analisis yang mendetail mengenai sifat-sifat tanah. Klasifikasi menurut Unified Soil Classification USBR akan memberikan data yang diperlukan untuk perencanaan saluran. Klasifikasinya ini disajikan pada tabel 4.3.1. Lampiran 3, termasuk batas– batas Atterberg.

Sumuran uji pengambilan sampel dengan bor tangan, yang digali sampai kedalaman tertentu di bawah ketinggian dasar saluran, harus dibuat dengan interval 1 m. Interval ini harus dikurangi jika tanah pada trase itu sangat bervariasi. Pemeriksaan visual dan tes kelulusan juga harus dilakukan, jika memang perlu.

Pengujian tanah di lokasi bangunan saluran pada umumnya akan menambah informasi mengenai sifat-sifat tanah di dalam trase.

2.4. Data Sedimen

Data sedimen diperiksa untuk perencanaan jaringan pengambilan di sungai dan kantong lumpur. Bangunan pengambilan dan kantong lumpur akan direncanakan agar mampu mencegah masuknya sedimen kasar ($> 0,06 - 0,07$ mm) kedalam jaringan saluran.

Untuk perencanaan saluran irigasi yang mantap kita harus mengetahui konsentrasi sedimen pada pembagian (distribusi) ukuran butirannya. Data ini akan menentukan factor-faktor untuk perencanaan

kemiringan saluran dan potongan melintang yang mantap, dimana sedimentasi dan erosi harus tetap berimbang dan terbatas.

Faktor yang menyulitkan adalah keanekaragaman dalam hal waktu dan jumlah sedimen di sungai, Selama aliran rendah konsentrasi kecil, dan selama debit puncak konsentrasi meningkat. Perubahan-perubahan ini tidak dihubungkan dengan variasi dalam kebutuhan air irigasi. Pola yang dominan tidak dapat diramalkan..

Lebih-lebih lagi, data sedimen untuk kebanyakan sungai hampir tidak tersedia, atau hanya meliputi data hasil pengamatan yang diadakan secara insidental. Selanjutnya pemilihan kondisi rencana hanya merupakan taksiran dari kondisi yang sebenarnya.

2.5. Latihan

1. Jelaskan dengan singkat data topografi yang diperlukan untuk perencanaan irigasi!
2. Sebutkan factor-faktor kebutuhan air disawah!
3. Jelaskan pembagian kehilangan air di jaringan irigasi!

2.6. Rangkuman

Data yang diperlukan untuk perencanaan irigasi:

1. Data topografi
2. Kapasitas rencana
3. Data geoteknik
4. Data sedimen

BAB III

SALURAN TANAH TANPA PASANGAN

Setelah mengikuti pembelajaran ini, peserta diharapkan mampu menjelaskan saluran tanah tanpa pasangan

3.1. Perencanaan Saluran yang Stabil

Untuk pengaliran air irigasi, saluran berpenampang trapezium tanpa pasangan adalah bangunan pembawa yang paling umum dipakai dan ekonomis. Perencanaan saluran harus memberikan penyelesaian biaya pelaksanaan dan pemeliharaan yang paling rendah. Erosi dan sedimentasi disetiap potongan melintang harus minimal dan berimbang sepanjang tahun. Ruas-ruas saluran harus mantap.

Sedimentasi (pengendapan) di dalam saluran dapat terjadi apabila kapasitas angkut sedimennya berkurang. Dengan menurunnya kapasitas debit di bagian hilir dari jaringan saluran, adalah penting untuk menjaga agar kapasitas angkutan sedimen per satuan debit (kapasitas angkutan sedimen relatif) tetap sama atau sedikit lebih besar.

Sedimen yang memasuki jaringan saluran biasanya hanya mengandung partikel- partikel lempung dan lanau melayang saja (lempung dan lanau dengan $d < 0,06 - 0,07$ mm). Partikel yang lebih besar, kalau terdapat di dalam air irigasi, akan tertangkap di kantong lumpur di bangunan utama.

Kantong Lumpur harus dibuat jika jumlah sedimen yang masuk kedalam jaringan saluran dalam setahun yang tidak terangkut kesawah (partikel yang lebih besar dari $0,06 - 0,07$ mm), lebih dari 5 % dari kedalaman air di seluruh jaringan saluran. Jadi, volume sedimen adalah 5 % dari kedalaman air kali lebar dasar saluran kali panjang total saluran.

Gaya ereosi diukur dengan gaya geser yang ditimbulkan oleh air di dasar dan lereng saluran. Untuk mencegah terjadinya erosi pada potongan melintang gaya geser ini harus tetap dibawah batas kritis. Dalam modul

ini dipakai kecepatan aliran harga-harga maksimum yang diizinkan, bukan gaya geser, sebagai parameter pokok yang harus ditentukan apabila kapasitas rencana yang diperlukan sudah diketahui, yaitu :

- a) perbandingan kedalaman air dengan lebar dasar
- b) kemiringan memanjang

Rumus aliran hidrolis menentukan hubungan antara potongan melintang dan kemiringan memanjang. Sebagai tambahan, perencanaan harus mengikuti kriteria angkutan sedimen dan air membatasi kebebasan untuk memilih parameter-parameter diatas.

Ruas saluran di dekat bangunan utama menentukan persyaratan pengangkutan sedimen ruas-ruas saluran lebih jauh ke hilir pada jaringan itu. Untuk mencegah sedimentasi, ruas saluran hilir harus direncana dengan kapasitas angkut sedimen relatif yang, paling tidak, sama dengan ruas hulu. Di lain pihak gaya erosi harus tetap di bawah batas kritis untuk saluran di jaringan tersebut.

Untuk perencanaan saluran, ada tiga keadaan yang harus dibedakan sehubungan dengan terdapatnya sedimen dalam air irigasi dan bahan tanggul.

- a) Air tanpa sedimen di saluran tanah.

Keadaan ini akan terjadi bila air diambil dari waduk secara langsung. Perencanaan saluran sekarang banyak dipengaruhi oleh kriteria erosi dan dengan demikian oleh kecepatan maksimum aliran yang diizinkan.

Besarnya kecepatan ini bergantung kepada bahan permukaan saluran.

- b) Air irigasi bersedimen di saluran pasangan

Perencanaan saluran dipengaruhi oleh persyaratan pengangkutan sedimen melalui jaringan dan dengan demikian kriteria angkutan sedimen mempengaruhi perencanaan untuk lebih jelasnya lihat BAB IV.

c) Air bersedimen di saluran tanah

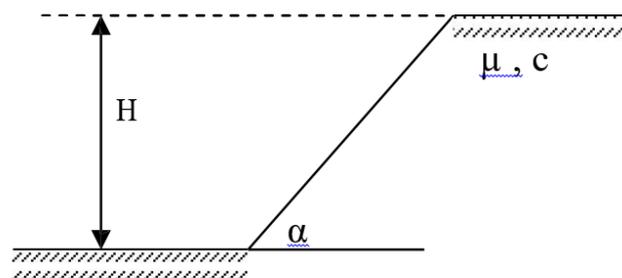
Masalah sedimen dan tanah adalah situasi yang paling umum dijumpai dalam pelaksanaan irigasi di Indonesia. Kini perencanaan irigasi sangat dipengaruhi oleh kriteria erosi dan angkutan sedimen. Biasanya sedimentasi memainkan peranan penting dalam perencanaan saluran primer. Saluran ini sering direncana sebagai saluran garis tinggi dengan kemiringan dasar yang terbatas. Saluran sekunder yang dicabangkan dari saluran primer dan mengikuti punggung sering mempunyai kemiringan dasar sedang dan dengan demikian kapasitas angkut sedimen relief lebih tinggi, sehingga kriteria erosi bisa menjadi faktor pembatas.

d) Rapid Drawdown

Dalam perencanaan saluran hal lain yang penting dan harus diperhatikan adalah kondisi rapid drawdown, yaitu suatu keadaan dimana saluran dalam kondisi penuh air (full bank), kemudian secara mendadak (cepat) muka air turun, hal ini akan menimbulkan bahaya longsor dari tebing saluran tersebut.

Untuk mengatasinya perlu mempertimbangkan beberapa parameter dalam mendesain untuk kasus seperti ini, adalah sebagai berikut :

- 1) F_s = angka keamanan
- 2) N_s = Taylor's stability numbers, koefisien hubungan antara
- 3) α = sudut kemiringan tebing
- 4) μ = sudut geser dalam dari jenis tanah saluran
- 5) c_u = kohesi dari jenis tanah salura
- 6) c = berat jenis jenis tanah saluran
- 7) H = kedalaman saluran



$$F_s = \frac{C_u}{N_s \cdot H}$$

Keterangan:

$F_s < 1$: kondisi sangat berbahaya

$F_s = 1$: kondisi kritis

$F_s > 1$: kondisi aman

Tabel 3. 1 - Taylor's Stability Numbers

	0	5	10	15	20	25
90	0,261	0,239	0,218	0,199	0,180	0,170
75	0,219	0,195	0,173	0,152	0,130	0,120
60	0,191	0,162	0,138	0,116	0,100	0,080
45	0,170	0,136	0,108	0,083	0,070	0,045
30	0,156	0,110	0,075	0,046	0,028	0,010
15	0,145	0,068	0,023	0,025	-	-

3.2. Rumus dan Kriteria Hidrolis

3.2.1. Rumus aliran

Untuk perencanaan ruas, aliran saluran dianggap sebagai aliran tetap, dan untuk itu diterapkan rumus Strickler.

$$V = k R^{2/3} I^{1/2}$$

$$R = \frac{A}{P}$$

$$A = (b + mh)h$$

$$P = b + 2h \sqrt{m^2 + 1}$$

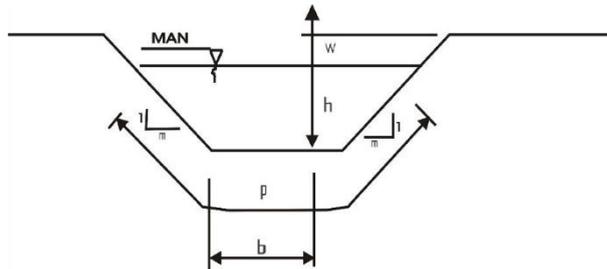
$$Q = VA$$

$$b = nh$$

Dimana:

$$Q = \text{debit saluran, m}^3/\text{dt}$$

- V = kecepatan aliran, m/dt
 A = potongan melintang aliran, m^2
 R = jari-jari hidrolis, m
 P = keliling basah, m b = lebar dasar, m
 h = tinggi air, m
 I = kemiringan energi (kemiringan saluran)
 k = koefisien kekerasan Strickler, $m^{1/3} / dt$
 m = kemiringan talud (1 vertikal : m horizontal)



Gambar III. 1 – Parameter potongan melintang

Rumus aliran diatas juga dikenal sebagai rumus Manning. Koefisien kekasasaran Manning (“n”) mempunyai harga bilangan 1 dibagi dengan k.

3.2.2. Koefisien kekasaran strickler

Koefisien kekasaran bergantung kepada factor-faktor berikut :

- kekasaran permukaan saluran
- ketidakteraturan permukaan saluran
- trase
- vegetasi (tetumbuhan), dan
- sedimen

Bentuk dan besar/kecilnya partikel di permukaan saluran merupakan ukuran kekasaran. Akan tetapi, untuk saluran tanah ini hanya merupakan bagian kecil saja dari kekasaran total.

Pada saluran irigasi, ketidakteraturan permukaan yang menyebabkan perubahan dalam keliling basah dan potongan melintang mempunyai pengaruh yang lebih penting pada koefisien kekasasaran saluran daripada kekasaran permukaan.

Perubahan-perubahan mendadak pada permukaan saluran akan memperbesar koefisien kekasaran. Perubahan-perubahan ini dapat disebabkan oleh penyelesaian konstruksi saluran yang jelek atau karena erosi pada talud saluran. Terjadinya riak – riak di dasar saluran akibat interaksi aliran di perbatasannya juga berpengaruh terhadap kekasaran saluran.

Pengaruh vegetasi terhadap resistensi sudah jelas, panjang dan kerapatan vegetasi adalah faktor-faktor yang menentukan. Akan tetapi tinggi air dan kecepatan aliran sangat membatasi pertumbuhan vegetasi. Vegetasi diandaikan minimal untuk harga-harga k yang dipilih dan dipakai dalam perencanaan saluran.

Pengaruh trase saluran terhadap koefisien kekasaran dapat diabaikan, karena dalam perencanaan saluran rana pasangan akan dipakai tikungan jari-jari besar.

Pengaruh factor-faktor diatas terhadap koefisien kekasaran saluran akan bervariasi menurut ukuran saluran. Ketidakteraturan pada permukaan akan menyebabkan perubahan kecil di daerah potongan melintang di saluran yang besar ketimbang di saluran kecil.

Koefisien-koefisien kekasaran untuk perencanaan saluran irigasi disajikan pada table 3.1.

Apakah harga-harga itu akan merupakan harga-harga fisik yang sebenarnya selama kegiatan eksploitasi, hal ini sangat tergantung pada kondisi pemeliharaan saluran. Penghalusan permukaan saluran dan menjaga agar saluran bebas dari vegetasi lewat pemeliharaan rutin akan sangat berpengaruh pada koefisien kekasaran dan kapasitas debit saluran.

Tabel 3. 2 – Harga-harga koefisien Stikler (k) untuk saluran irigasi tanah

Debit rencana m^3/dt	k $m^{1/3}/dt$
$Q > 10$	45
$5 < Q < 10$	42,5
$1 < Q < 5$	40
$Q < 1$ dan saluran tresier	35

3.2.3. Sedimentasi

Kecepatan minimum yang diizinkan adalah kecepatan terendah yang tidak akan menyebabkan pengendapan partikel dengan diameter maksimum yang diizinkan (0,06 – 0,07 mm).

Tetapi secara kualitas baru sedikit yang diketahui mengenai hubungan antara karakteristik aliran dan sedimen yang ada. Untuk perencanaan saluran irigasi yang mengangkut sedimen, aturan perencanaan yang tersedia baik adalah menjaga agar kapasitas angkutan sedimen per satuan debit masing-masing ruas saluran di sebelah hilir setidaknya tidaknya konstan. Dengan menunjuk pada rumus angkutan sedimen Einstein-Brown dan Englund Hansen, maka kriteria ini akan mengacu kepada $V \sqrt{h}$ yang konstan.

Karena rumus-rumus ini dihubungkan dengan saluran yang relatif lebar, dianjurkan agar harga $V \sqrt{h}$ bertambah besar ke arah hilir guna mengkompensasi pengaruh yang ditimbulkan oleh kemiringan talud saluran. Ini menghasilkan kriteria bahwa $V \sqrt{R}$ adalah konstan atau makin besar ke arah hilir.

Profil saluran yang didasarkan pada rumus Haringhuzen (yang disadur dari teori regim sungai) kurang lebih mengikuti kriteria $V \sqrt{R}$ konstan

Jika dikuti kriteria $V \sqrt{R}$ konstan, sedimentasi terutama akan terjadi pada ruas hulu jaringan saluran. Biasanya jaringan saluran akan direncanakan dengan kantong lumpur di dekat bangunan pengambilan di sungai. Jika

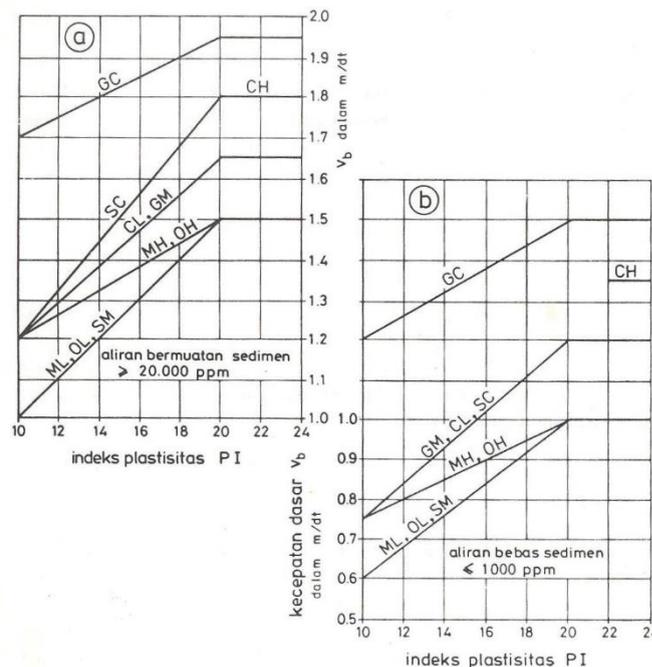
semua persyaratan dipenuhi, bangunan ini akan memberikan harga V/R untuk jaringan saluran hilir.

3.2.4. Erosi

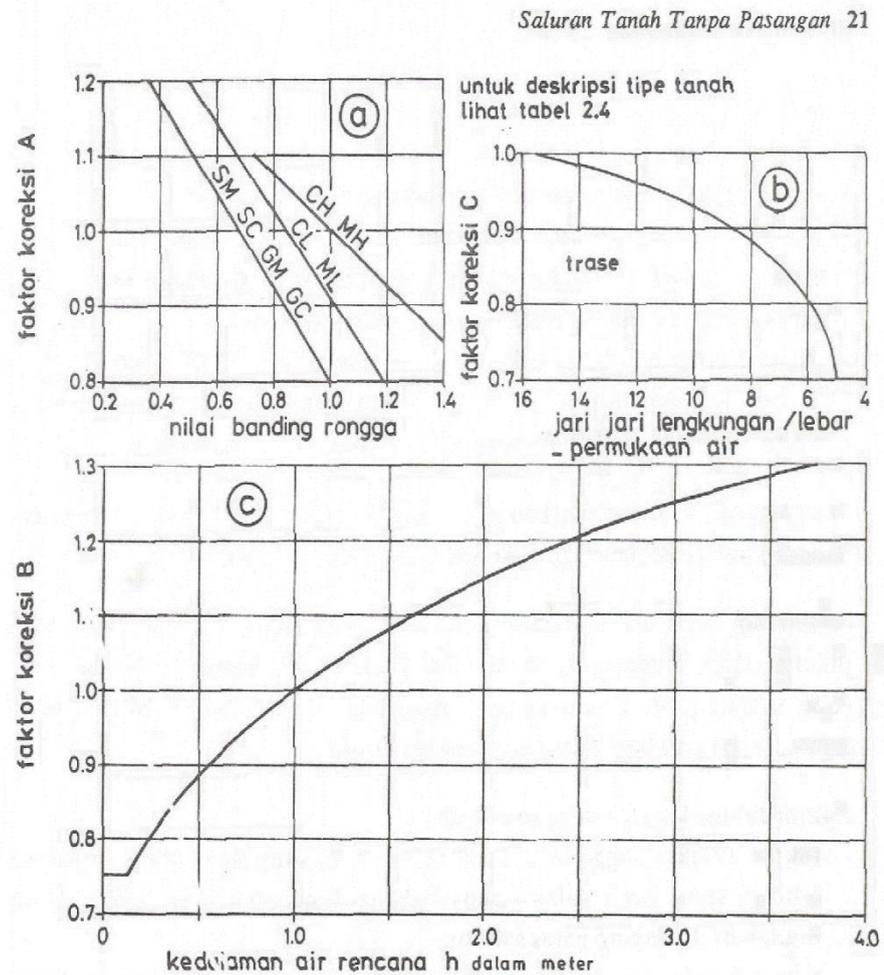
Kecepatan maksimum yang diizinkan adalah kecepatan (rata-rata) maksimum yang tidak akan menyebabkan erosi di permukaan saluran. Konsep itu didasarkan pada hasil riset yang diadakan oleh US Soil Conservation Service (USDA – SCS, Design of Open Channels, 1977) dan hanya memerlukan sedikit saja data lapangan seperti klasifikasi tanah (Unified System), indeks plastisitas dan angka pori.

Kecepatan maksimum yang diizinkan ditentukan dalam dua langkah :

- penetapan kecepatan dasar (v_b) untuk lengkung saluran, berbagai ketinggian air dan angka pori seperti tampak pada gambar 3.3.



Gambar III. 2 – Kecepatan-kecepatan dasar untuk tanah koheren



Gambar III. 3 – Faktor-faktor koreksi terhadap kecepatan dasar

$$V_{maks} = V_b \times A \times B \times C$$

Dimana:

V_b = kecepatan dasar, m/dt

A = faktor koreksi untuk angka pori permukaan saluran

B = faktor koreksi untuk kedalaman air

C = faktor koreksi untuk lengkung

Dan kecepatan dasar yang diizinkan $V_{ba} = V_b \times A$

Kecepatan dasar dipengaruhi oleh konsentrasi bahan layang di dalam air. Pada Gambar III.2 dibedakan adanya dua keadaan :

- 1) Air bebas sedimen dengan konsentrasi kurang dari 1000 ppm sedimen layang. Konsentrasi bahan-bahan yang melayang dianggap sangat rendah dan tidak berpengaruh terhadap stabilitas saluran.
- 2) Air sedimen dengan konsentrasi lebih dari 2000 ppm sedimen layang. Konsentrasi yang tinggi ini akan menambah kemantapan batas akibat terganggunya bahan yang terkikis atau tertutupnya saluran

Harga-harga V_b diperlihatkan pada Gambar III.2 untuk bahan-bahan tanah yang diklasifikasikan oleh “ *Unified Soil Classification System* “.

Kecepatan dasar untuk muatan sedimen antara 1000 dan 2000 ppm dapat diketemukan dengan interpolasi dari Gambar 3.2. Akan tetapi, perlu dicatat bahwa pada umumnya air irigasi digolongkan dalam “ aliran bebas sedimen” dalam kalsifikasi yang dipakai disini.

Faktor-faktor koreksi adalah :

- faktor koreksi tinggi air B pada Gambar 3.3 yang menunjukkan bahwa saluran yang lebih dalam menyebabkan kecepatan yang relatif lebih rendah di sepanjang batas saluran.
- faktor koreksi lengkung C pada Gambar 3.3 yang merupakan kompensasi untuk gaya erosi aliran melingkar (spiral flow) yang disebabkan oleh lengkung-lengkung pada alur. Untuk saluran dengan lengkung-lengkung yang tajam, pemberian pasangan pada tanggul luar biasa lebih ekonomis dari pada menurunkan kecepatan rata-rata.

3.3. Potongan Melintang Saluran

3.3.1. Geometri

Untuk mengalirkan air dengan penampang basah sekecil mungkin, potongan melintang yang berbentuk setengah lingkaran adalah yang terbaik.

Usaha untuk mendapatkan bentuk yang ideal dari segi hidrolis dengan saluran tanah berbentuk trapezium, akan cenderung menghasilkan potongan melintang yang terlalu dalam atau sempit. Hanya pada saluran dengan debit rencana sampai $0,5 \text{ m}^3/\text{dt}$ saja yang potongan melintangnya dapat mendekati bentuk setengah lingkaran. Saluran dengan debit rencana yang tinggi pada umumnya lebar dan dangkal dengan perbandingan b/h (n) sampai 10 atau lebih.

Harga n yang tinggi untuk debit-debit yang lebih besar adalah perlu sebab jika tidak, kecepatan rencana akan melebihi batas kecepatan maksimum yangizinkan. Lebih-lebih lagi, saluran yang lebih lebar mempunyai variasi muka air sedikit saja dengan debit yang berubah-ubah, dan atau pengikisan talud saluran tidak terlalu berakibat serius terhadap kapasitas debit. Dan karena ketinggian air yang terbatas, kestabilan talud dapat diperoleh tanpa memerlukan bahu (berm) tambahan.

Kerugian utama dari saluran yang lebar dan dangkal adalah persyaratan pembebasan tanah dan penggaliannya lebih tinggi, dan dengan demikian biaya pelaksanaannya secara umum lebih mahal.

3.3.2. Kemiringan saluran

Untuk menekan biaya pembebasan tanah dan pengaliran, talud saluran direncana securam mungkin. Bahan tanah, kedalaman saluran dan terjadinya rembesan akan menentukan kemiringan maksimum untuk talud yang stabil.

Kemiringan galian minimum untuk berbagai bahan tanah disajikan pada Tabel 3.3 Harga-harga kemiringan untuk saluran yang dibuat dengan bahan-bahan kohesif yang dipadatkan dengan baik diberikan pada Tabel 3.4 dan Gambar III.4.

Tabel 3. 3 – Kemiringan minimum talud untuk berbagai bahan tanah

Bahan Tanah	Simbol	Kisaran Kemiringan
Batu		
Gambut kenyal Lempung kenyal, geluh	Pt	<0,25
Tanah lus	VL,CH,MH	1 - 2
Lempung pasiran, tanah pasiran		1 - 2
Kohesif	SC,SM	1,5 – 2,5
Pasir lanauan	SM	2 - 3
Gambut lunak.	Pt	3 - 4

Tabel 3. 4 kemiringan talud minimum untuk saluran yang dipadatkan dengan baik

Kedalaman air + tinggi jagaan D (m)	Kemiringan minimum talud
$D \leq 1,0$	1:1
$1,0 < D \leq 20$	1:1,5
$D > 2,0$	1:2

Talud lebih landai daripada yang telah disebutkan dalam tabel diatas harus dipakai apabila diperkirakan akan terjadi rembesan kedalam saluran.

Untuk tanggul yang tingginya lebih dari 3m lebar bahu (berm) tanggul harus dibuat sekurang-kurangnya 1 m (setiap 3m). Bahu tanggul harus dibuat setinggi muka air rencana di saluran. Untuk kemiringan luar, bahu tanggul (jika perlu) harus terletak ditengah-tengah antara bagian atas dan pangkal tanggul.

3.3.3. Lengkung saluran

Lengkung yang digunakan untuk saluran tanah bergantung kepada :

- a) ukuran dan kapasitas saluran
- b) jenis tanah
- c) kecepatan aliran

Jari-jari minimum lengkung seperti yang diukur pada as harus diambil sekurang-kurangnya 8 kali lebar atas pada lebar permukaan air rencana. Jika lengkung diberi pasangan, maka jari-jari minimumnya dapat dikurangi. Pasangan semacam ini sebaiknya dipertimbangkan apabila jari-jari lengkungan saluran tanpa pasangan terlalu besar untuk keadaan topografi setempat. Panjang pasangan harus dibuat paling sedikit 4 kali kedalaman air pada tikungan saluran.

Jari-jari minimum untuk lengkung saluran yang diberi pasangan harus seperti berikut :

- 3 kali lebar permukaan air untuk saluran-saluran kecil ($< 0,6 \text{ m}^3/\text{dt}$), dan sampai dengan.
- 7 kali lebar permukaan air untuk saluran- saluran yang besar ($> 10 \text{ m}^3/\text{dt}$).

3.3.4. Tinggi jagaan

Tinggi jagaan berguna untuk :

- a) menaikkan muka air di atas tinggi muka air maksimum
- b) mencegah kerusakan tanggul saluran.

Meningginya muka air sampai di atas tinggi yang telah direncana bisa disebabkan oleh penutupan pintu secara tiba-tiba di sebelah hilir, variasi ini akan bertambah dengan membesarnya debit. Meningginya muka air dapat diakibatkan oleh pengaliran air buangan kedalam saluran.

Tinggi jagaan yang diberikan pada saluran primer dan sekunder dikaitkan dengan debit rencana saluran seperti yang diperlihatkan dalam Tabel 3.5 dan Gambar III.4

Tabel 3. 5 – Tinggi jagaan minimum untuk saluran tanah

Q (m ³ /dt)	Tinggi Jagaan (m)
< 0,5	0,40
0,5 – 1,5	0,50
1,5 – 5,0	0,60
5,0 – 10,0	0,75
10,0 – 15,0	0,85
> 15,0	1,00

3.3.5. Lebar tanggul

Untuk tujuan-tujuan eksploitasi, pemeliharaan dan inspeksi akan diperlukan tanggul di sepanjang saluran dengan lebar minimum seperti disajikan Tabel 3.6 Contoh-contoh potongan melintangnya diberikan pada Gambar III.4.

Tabel 3. 6 – Lebar minimum tanggul

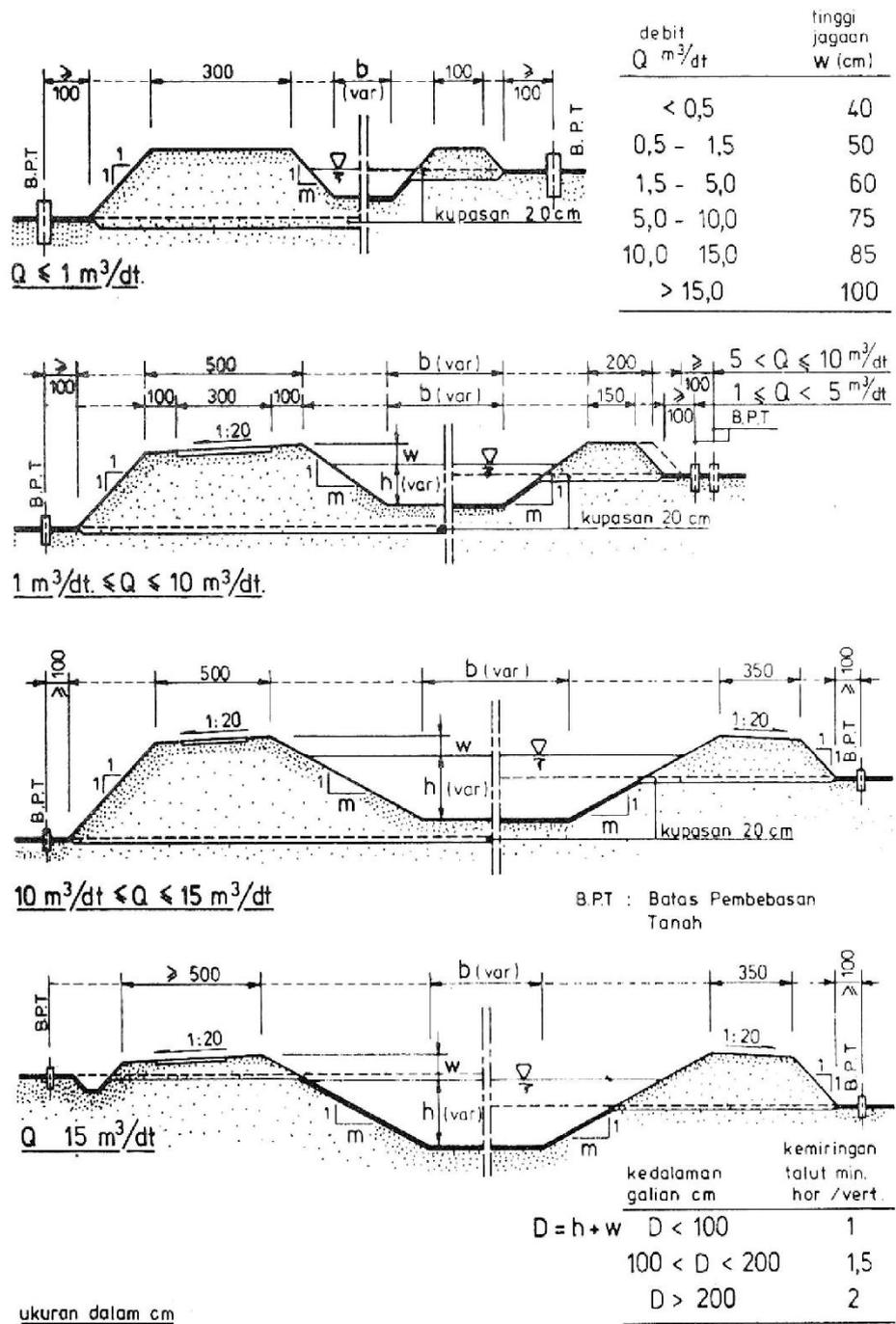
Debit rencana (m ³ /dt)	Tanpa jalan inspeksi (m)	Dengan jalan inspeksi (m)
$Q \leq 1$	1,00	3,00
$1 < Q \leq 5$	1,50	5,00
$5 < Q \leq 10$	2,00	5,00
$10 < Q \leq 15$	3,50	5,00
$Q > 15$	3,50	$\approx 5,00$

Jalan inspeksi terletak di tepi saluran di sisi yang diairi agar bangunan sadap dapat dicapai secara langsung dan usaha penyadapan liar makin sulit dilakukan. Lebar jalan inspeksi dengan perkerasan adalah 5,0 m atau lebih, dengan lebar perkerasan sekurang-kurangnya 3,0 meter.

Untuk pertimbangan stabilitas tanggul, lebar tanggul yang diberikan pada Tabel 3,6 dan/atau talud luar dapat ditambah.

3.3.6. Batas pembebasan tanah (*right of way*)

Selain tanah yang disebarkan untuk pembuatan saluran dan tanah yang terletak di dalam batas-batas pembebasan (BPT) seperti ditunjukkan pada gambar 3,4, adalah penting untuk melarang didirikan bangunan atau dilakukan pengaliran dalam jarak 3 m dari BPT. Hal ini dimaksudkan untuk menjaga keamanan dan stabilitas saluran.

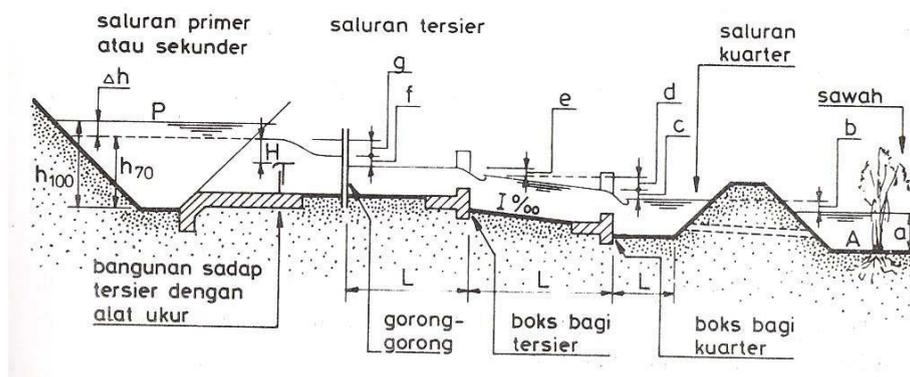


Gambar III. 4 - Tipe-tipe potongan melintang saluran irigasi

3.4. Potongan Memanjang

3.4.1. Muka air yang diperlukan

Tinggi muka air yang diinginkan dalam jaringan utama didasarkan pada tinggi muka air yang diperlukan di sawah-sawah yang diairi. Prosedurnya adalah pertama-tama menghitung tinggi muka air yang diperlukan di bangunan sadap tersier. Lalu seluruh kehilangan di saluran kuarter dan tersier serta bangunan dijumlahkan menjadi tinggi muka air di sawah yang diperlukan dalam petak trsier. Ketinggian ini ditambah lagi dengan kehilangan tinggi energi di bangunan sadap tersier dan longgaran (persediaan) untuk variasi muka air akibat eksploitasi jaringan utama pada tinggi muka air parsial (sebagian). Gambar III.5 berikut memberikan ilustrasi mengenai cara perhitungannya.



Gambar III. 5 – Tinggi bangunan sadap tersier yang diperlukan

$$P = A + a + b + c + d + e + f + g + \Delta h + Z$$

dimana :

P = Muka air di saluran sekunder

A = Elevasi tertinggi di sawah

a = Lapisan air di sawah = 10 cm

b = Kehilangan tinggi energi di saluran kuarter kesawah \approx 5 cm

c = Kehilangan tinggi energi di boks bagi kuarter \approx 5 cm/boks

d = Kehilangan tinggi energi selama pengaliran di saluran irigasi, $I \times L$

e = Kehilangan tinggi energi di boks bagi tersier, \approx 10 cm

f = Kehilangan tinggi energi di gorong-gorong \approx 5 cm

- g = Kehilangan tinggi energi di bangunan sadap tersier
 Δh = Variasi tinggi muka air, h_{100} (h_{100} = kedalaman air pada muka air normal 100)
 Z = Kehilangan tinggi energi di bangunan-bangunan yang lain.

Apabila prosedur ini menyebabkan muka air jaringan utama naik di atas muka tanah, maka pengurangan tinggi muka air tersier dapat dipertimbangkan. Situasi demikian dapat terjadi pada topografi yang sangat datar dimana kehilangan tinggi energi yang terjadi pada bangunan-bangunan di petak tersier dapat menambah tinggi muka air yang diperlukan di jaringan utama jauh di atas muka tanah. Dalam hal-hal seperti itu jaringan tersier harus dibenahi kembali dan kalau mungkin kehilangan tinggi energi harus diperkecil; sebagian daerah mungkin terpaksa tidak diairi.

Eksplorasi muka air parsial sangat umum terjadi di jaringan irigasi di Indonesia. Kebutuhan air irigasi pada debit rencana berlangsung sebentar saja di musim tanam pada harga rencana maksimum. Di samping itu, tersediannya air di sungai tidak akan selamanya cukup untuk mengeksploitasi jaringan pada debit rencana.

Longgaran untuk variasi muka air tanah Δh ditetapkan: $0,18 h_{100}$ ($0,18 \times$ kedalaman air rencana) $0,82 h_{100}$ adalah kedalaman air perkiraan pada persen dari $Q_{rencana}$.

3.4.2. Kemiringan memanjang

Kemiringan memanjang ditentukan terutama oleh keadaan topografi, kemiringan saluran akan sebanyak mungkin mengikuti garis muka air tanah pada trase yang dipilih. Kemiringan memanjang saluran mempunyai harga maksimum dan minimum. Usaha pencegahan terjadinya sedimentasi memerlukan kemiringan memanjang yang minimum. Untuk mencegah terjadinya erosi, kecepatan maksimum aliran harus dibatasi.

a) Kemiringan minimum

Sebagaimana telah dibicarakan dalam subsubbab 3.2.3, untuk mencegah sedimentasi harga $1\sqrt{R}$ hendaknya diperbesar kearah hilir.

Dalam praktek perencanaan kriteria ini tidak sulit untuk diikuti. Pada umumnya kemiringan tanah bertambah besar kearah hilir, demikian pula $1\sqrt{R}$ bahkan apabila harga \sqrt{R} berkurang pada waktu saluran mengecil.

b) Kemiringan maksimum

Bilamana kondisi tanah pada trase sudah diketahui, maka kecepatan dasar yang dizinkan v_{ba} untuk mencegah erosi dapat ditentukan bagi ruas saluran, sebagaimana telah dibicarakan dalam subsubbab 3.2.4. Perlu dicatat bahwa kecepatan rencana yang biasanya diambil untuk tanah- tanah kohesif, pada umumnya lebih rendah daripada kecepatan maksimumnya yang diizinkan untuk tanah ini. Erosi pada saluran irigasi jarang sekali.

c) Perencanaan kemiringan saluran

Untuk kemiringan saluran, akan dipakai Gambar 3.7. Dalam grafik ini tiap titik dengan debit rencana Q dan kemiringan saluran I merupakan potongan melintang saluran dengan v , h , b , R , m dan k . Untuk tiap titik, akan dihitung harga $1\sqrt{R}$ dan kecepatan dasar rencana v_{bd} (kecepatan rencana yang sesungguhnya dikonversi menjadi kecepatan untuk saluran yang dalamnya 1 m dengan gambar 3.3.b). Selanjutnya garis- garis $1\sqrt{R}$ konstan dan kecepatan dasar rencana v_{bd} diplot pada grafik Harga-harga m , n dan k untuk potongan melintang diambil dari subbab 3.2 dan 3.3 pada modul ini.

Dalam perencanaan saluran, sebaiknya diikuti langkah-langkah berikut :

- 1) Tentukan debit rencana serta kemiringan yang terbaik untuk tiap ruas saluran berdasarkan kemiringan medan yang ada dan elevasi bangunan setiap tresier yang diperlukan.
- 2) Plotlah data $Q - I$ untuk masing-masing ruas saluran sekunder.

- 3) Tentukan harga kecepatan dasar yang diizinkan v_{ba} bagi setiap ruas saluran berdasarkan kondisi tanah dengan Gambar 3.2.b dan 3.3.a
- 4) Cek apakah garis $I \sqrt{R}$ semakin bertambah besar kearah hilir
- 5) Cek apakah kecepatan dasar rencana v_{bd} tidak melampaui kecepatan dasar yang diizinkan v_{ba} .
- 6) Jika pada langkah 4 dan 5 tidak dijumpai masalah apapun, maka perencanaan saluran akan diselesaikan dengan harga-harga kemiringan yang dipilih dari langkah 1.

Dalam prosedur perencanaan saluran dapat timbul kesulitan-kesulitan berikut :

- Kemiringan medan yang curam.
Kecepatan dasar rencana v_{bd} dengan kemiringan medan yang ada mungkin melampaui batas kecepatan dasar yang diizinkan v_{bd} . Guna mengurangi kecepatan rencana, kemiringan saluran akan diambil lebih landai daripada bangunan terjun. Gambar 3.6 akan dipergunakan untuk memilih kemiringan rencana saluran.
- Kemiringan minimum saluran primer garis tinggi
Kemiringan minimum yang benar-benar tepat untuk jaringan irigasi yang menyangkut sedimen halus, sangat sedikit. Disamping itu, data statistik tentang sedimen sering kurang memadai. Harga $I\sqrt{R}$ yang dipakai untuk saluran primer harus lebih besar dari harga $I\sqrt{R}$ kantong lumpur dalam keadaan penuh.
- Saluran sekunder dengan kemiringan medan kecil.
Untuk saluran sekunder demikian, harga $I\sqrt{R}$ sebaiknya paling tidak sama dengan harga $I\sqrt{R}$ ruas saluran sebelah hulu. Hal ini mangacu pada dibuatnya bagian hulu saluran sekunder dalam timbunan agar kemiringan bertambah.

3.5. Latihan

1. Jelaskan terjadinya sedimentasi (pengendapan) di dalam saluran!
2. Jelaskan dengan singkat tiga keadaan yang harus dibedakan sehubungan dengan terdapatnya sedimen dalam air irigasi dan bahan tanggul!
3. Jelaskan fungsi dari tinggi jagaan!

3.6. Rangkuman

Untuk pengaliran air irigasi, saluran berpenampang trapezium tanpa pasangan adalah bangunan pembawa yang paling umum dipakai dan ekonomis. Perencanaan saluran harus memberikan penyelesaian biaya pelaksanaan dan pemeliharaan yang paling rendah. Erosi dan sedimentasi disetiap potongan melintang harus minimal dan berimbang sepanjang tahun. Ruas-ruas saluran harus mantap.

BAB IV

SALURAN PASANGAN

Setelah mengikuti pembelajaran ini, peserta diharapkan mampu menjelaskan saluran pasangan

4.1. Kegunaan Saluran Pasangan

Saluran pasangan (lining) dimaksudkan untuk :

- a) Mencegah kehilangan air akibat rembesan
- b) Mencegah gerusan dan erosi
- c) Mencegah merajalelanya tumbuhan air
- d) Mengurangi biaya pemeliharaan
- e) Memberikan kelonggaran untuk lengkung yang lebih besar
- f) Tanah yang dibebaskan lebih kecil.

Tanda-tanda adanya kemungkinan terjadinya perembesan dalam jumlah besar dapat dilihat dari peta tanah. Penyelidikan tanah dengan cara pemboran dan penggalian sumuran uji di alur saluran akan lebih banyak memberikan informasi mengenai kemungkinan terjadinya rembesan. Pasangan mungkin hanya diperlukan untuk ruas-ruas saluran yang panjangnya terbatas.

Besarnya rembesan dapat dihitung dengan rumus Moritz (USBR)

$$S = 0,035 C \sqrt{Q/V}$$

Dimana :

S = kehilangan akibat rembesan, m³/dt per km panjang saluran

Q = debit, m³/dt

V = kecepatan, m/dt

C = korfisien tanah rembesan, m/hari.

0,035 = faktor konstanta, m/km.

Harga-harga C dapat diambil seperti pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 – Harga-harga koefisien tanah rembesan C

Jenis tanah	Harga, C m / hari
Kerikil sementasi dan lapisan penahan (hardpan) dengan geluh pasiran.	0,10
Lempung dan geluh lempungan	0,12
Geluh pasiran	0,20
Abu vulkanik atau lempung	0,21
Pasir dan abu vulkanik atau lempung	0,37
Lempung pasiran dengan batu	0,51
Batu pasiran dan kerikilan.	0,67

Kemiringan medan mungkin sedemikian sehingga kecepatan aliran yang dihasilkan melebihi kecepatan maksimum yang diizinkan untuk bahan tanah. Biaya pembuatan pasangan saluran hendaknya diusahakan murah. Jika hal ini tidak mungkin, maka lebih baik talud saluran dibuat lebih landai dan dilengkapi dengan bangunan terjun.

4.2. Jenis-jenis Pasangan

Banyak bahan yang tidak dapat dipakai untuk pasangan saluran (lihat FAO Kraatz, 1997). Tetapi pada prakteknya di Indonesia hanya ada tiga bahan yang dianjurkan pemakaiannya :

- a) pasangan batu
- b) beton, dan
- c) tanah.

Pembuatan pasangan dari bahan-bahan lain tidak dianjurkan, dengan alasan sulitnya memperoleh persediaan bahan, teknik pelaksanaan yang lebih rumit dan kelemahan-kelemahan bahan itu sendiri.

Pasangan batu dan beton lebih cocok untuk semua keperluan, kecuali untuk perbaikan stabilitas tanggul. Pasangan tanah hanya cocok untuk pengendalian dan perbaikan stabilitas tanggul.

Tersediannya bahan di dekat pelaksanaan konstruksi merupakan faktor yang penting dalam pemilihan jenis pasangan. Jika bahan batu tersedia, maka pada umumnya dianjurkan pemakaian pasangan batu. Pasangan dari bata merah mungkin bisa juga dipakai.

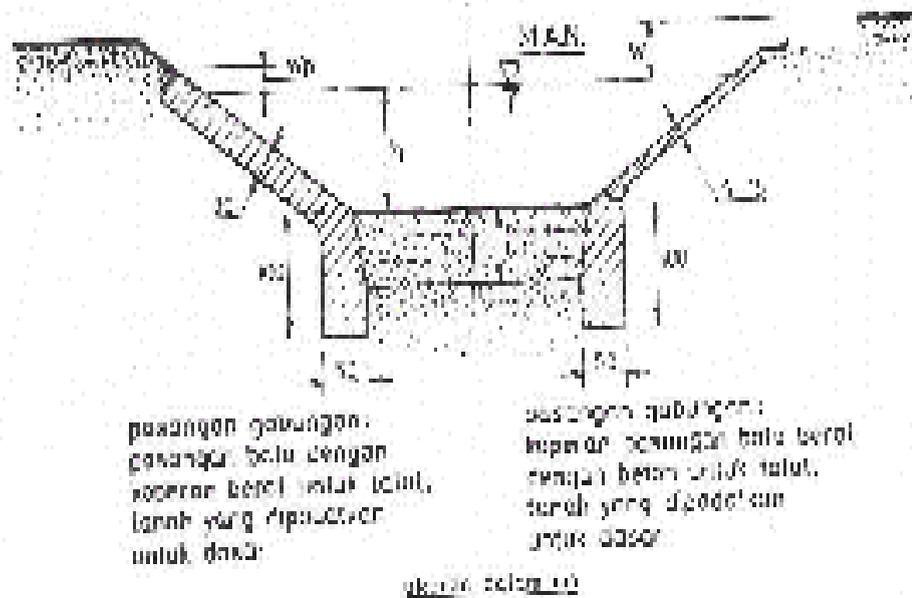
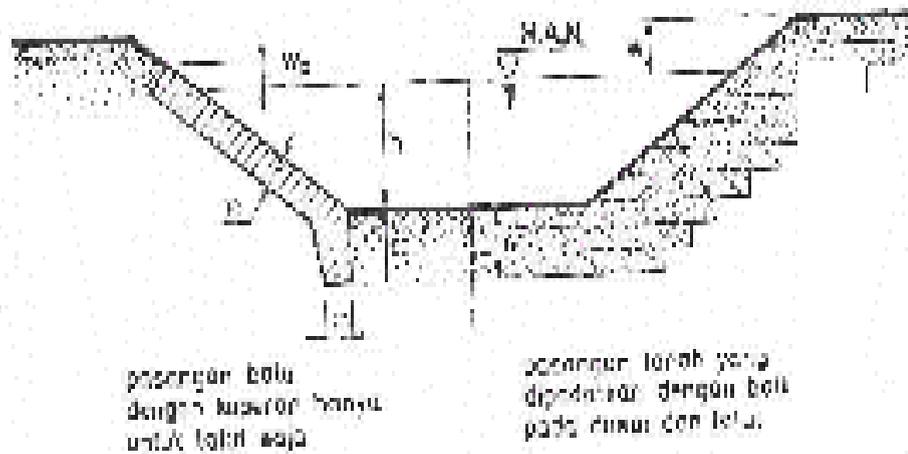
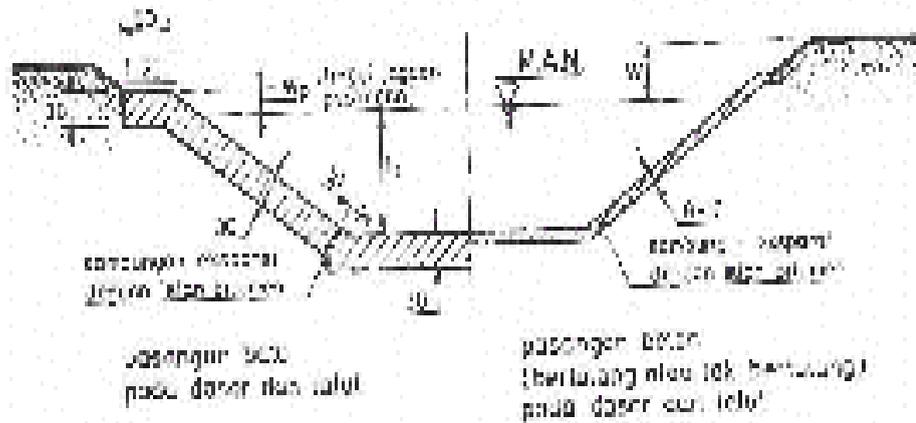
Aliran yang masuk ke dalam retak pasangan dengan kecepatan tinggi dapat mengeluarkan bahan-bahan pasangan tersebut. Kecepatan maksimum dibatasi dengan berat pasangan harus memadai untuk mengimbangi gaya tekan keatas. Tebal minimum untuk pasangan batu diambil 30 cm. Untuk beton tumbuk tebalnya paling tidak 8 cm, untuk saluran kecil yang dikonstruksi dengan baik (sampai dengan 6 m/dt), dan 10 cm untuk saluran yang lebih besar.

Tebal minimum pasangan beton bertulang adalah 7 cm. Untuk pasangan semen tanah atau semen tanah yang dipadatkan, tebal minimum diambil 10 cm untuk saluran kecil dan 15 cm untuk saluran yang lebih besar.

Tebal pasangan tanah diambil 60 cm untuk dasar saluran dan 75 cm untuk talud saluran.

Stabilitas pasangan permukaan keras hendaknya dicek untuk mengetahui tekanan air tanah dibalik pasangan. Jika stabilitas pasangan terganggu (pembuang), maka sebaiknya dipertimbangkan untuk membuat konstruksi pembebas tekanan(lubang).

Pasangan campuran (kombinasi) seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.1 dapat dipakai juga. Pemilihan jenis pasangan akan bergantung kepada kondisi dan bahan yang tersedia.



Gambar IV. 1 – Tipe-tipe pasangan

4.3. Perencanaan Hidrolis

4.3.1. Kecepatan maksimum

Kecepatan-kecepatan maksimum untuk aliran subkritis berikut ini dianjurkan pemakaiannya :

- Pasangan batu : 2 m /dt
- Pasangan beton : 3 m/dt
- Pasangan tanah : kecepatan maksimum yang diizinkan.

Kecepatan maksimum yang diizinkan juga akan menentukan kecepatan rencana untuk dasar saluran tanah dengan pasangan campuran. Prosedur perencanaan saluran untuk saluran dengan pasangan tanah adalah sama dengan prosedur perencanaan saluran tanah seperti yang dibicarakan dalam Bab III.

Perhitungan bilangan Froude adalah penting apabila dipertimbangkan pemakaian kecepatan aliran dan kemiringan saluran yang tinggi. Untuk aliran yang stabil, bilangan Froude harus kurang dari 0,55 untuk aliran yang subkritis, atau lebih dari 1,4 untuk aliran superkritis.

Saluran dengan bilangan Froude antara 0,55 dan 1,4 dapat memiliki pola aliran dengan gelombang tegak (muka air gelombang, yang akan merusak kemiringan talud). Harga-harga k untuk saluran ini dapat menyimpang sampai 20 persen dari harga anggapan yang menyebabkan bilangan Froude mendekati satu. Oleh karena itu kisaran 0,55 – 1,4 adalah relatif lebar.

Untuk perencanaan saluran dengan kemiringan medan yang teratur, seperti yang dibahas dalam Bab III, bilangan Froude akan kurang dari 0,3 dan dengan demikian dibawah 0,55.

Apabila terjadi aliran superkritis, bangunan diperhitungkan sebagai got miring.

4.3.2. Koefisien kekasaran

Koefisien kekasaran Strickler k ($m^{1/3} / dt$) yang dianjurkan pemakaiannya adalah :

- pasangan batu 60
- pasangan beton 70
- pasangan tanah 35 – 45

Harga-harga untuk pasangan keras hanya akan dicapai jika pasangan itu dikonstruksi dengan baik.

Harga-harga untuk pasangan tanah mirip harga-harga untuk saluran tanah dengan variasi-variasi seperti yang dibicarakan dalam subbab 3.2. Untuk potongan dengan kombinasi berbagai macam bahan pasangan, kekasaran masing-masing permukaan akan berbeda-beda (bervariasi). Koefisien kekasaran campuran dihitung dengan rumus berikut :

$$k = P^{2/3} \left(\sum_{1}^n \frac{P_i}{k^{1,5}} \right)^{-2/3}$$

dimana :

k = koefisien kekasaran Strickler untuk potongan melintang, $m^{1/3}/dt$

P = keliling basah, m

P_i = keliling basah bagian i dari potongan melintang, $m^{1/3}/dt$.

k_i = koefisien kekasaran bagian i dari potongan melintang, $m^{1/3}/dt$

4.3.3. Perencanaan untuk aliran subkritis

Perencanaan hidrolis mengikuti prosedur yang sama seperti pada perencanaan saluran tanpa pasangan yang dibicarakan dalam Bab III. Saluran pasangan batu dan beton mempunyai koefisien Strickler yang lebih tinggi. Akibatnya potongan melintang untuk saluran-saluran tanpa

pasangan ini akan lebih kecil daripada potongan melintang untuk saluran tanah dengan kapasitas debit yang sama.

Ruas saluran pasangan direncana menurut kriteria angkutan sedimen, dan dengan demikian mengikuti $V\sqrt{R}$ konstan, kedalaman air untuk saluran pasangan sama dengan kedalaman air saluran tanpa pasangan seperti yang dibicarakan dalam Bab III. Lebar dasar lebih kecil daripada lebar dasar untuk saluran tanpa pasangan, karena harga koefisien Strickler yang lebih tinggi pada saluran pasangan.

Untuk saluran pasangan, kemiringan talud bisa dibuat lebih curam. Untuk saluran yang lebih kecil ($h < 0,40\text{m}$) kemiringan talud dibuat vertikal. Saluran besar mungkin juga mempunyai kemiringan talud yang tegak dan direncanakan sebagai flum.

Untuk saluran yang lebih besar, kemiringan samping minimum 1 : 1 untuk h sampai dengan 0,75 m. Untuk saluran yang lebih besar, harga-harga kemiringan talud pada table 4.2 dianjurkan pemakaiannya.

Tabel 4. 2 - Harga-harga kemiringan talud untuk saluran pasangan

Jenis tanah	$h < 0,75 \text{ m}$	$0,75 \text{ m} < h < 1,5\text{m}$
Lempung pasiran,		
Tanah pasiran kohesif	1	1
Tanah pasiran lepas	1	1,25
Geluh pasiran, lempung berpori	1	1,5
Tanah gambut lunak	1,25	1,5

Khususnya saluran-saluran yang lebih besar, stabilitas talud yang diberi pasangan harus diperiksa agar tidak terjadi gelincir dan sebagainya. Tekanan air dari belakang pasangan merupakan faktor penting dalam keseimbangan ini.

4.3.4. Lengkung saluran

Jari-jari minimum lengkung untuk saluran pasangan diambil tiga kali lebar permukaan air. Jika dibutuhkan tikungan yang lebih tajam, maka mungkin diperlukan kincir pengarah (guide vane) agar sebaran aliran di ujung tikungan itu lebih merata. Kehilangan tinggi energi tambahan juga harus diperhitungkan.

4.3.5. Tinggi jagaan

Harga-harga minimum untuk tinggi jagaan adalah seperti yang disajikan pada Tabel 4.3. Harga-harga tersebut diambil dari USBR. Tabel ini juga menunjukkan tinggi jagaan tanggul tanah yang sama dengan tanggul saluran tanah tanpa pasangan.

Tabel 4. 3 – Tinggi jagaan untuk saluran pasangan

Debit m^3 / dt	Tanggul (F) m	Pasangan (F1) m
< 0,5	0,40	0,20
0,5 – 1,5	0,50	0,20
1,5 – 5,0	0,60	0,25
0,5 – 10,0	0,75	0,30
10,0 – 15, 0	0,85	0,40
> 15,0	1,00	0,50

4.4. Latihan

1. Jelaskan fungsi dari saluran pasangan
2. Jelaskan dengan singkat perhitungan saluran dengan bilangan Frode!

4.5. Rangkuman

Pembuatan pasangan dari bahan-bahan lain tidak dianjurkan, dengan alasan sulitnya memperoleh persediaan bahan, teknik pelaksanaan yang lebih rumit dan kelemahan-kelemahan bahan itu sendiri. Tersediannya

bahan di dekat pelaksanaan konstruksi merupakan faktor yang penting dalam pemilihan jenis pasangan. Jika bahan batu tersedia, maka pada umumnya dianjurkan pemakaian pasangan batu. Pasangan dari bata merah mungkin bisa juga dipakai.

BAB V

TEROWONGAN DAN SALURAN TERTUTUP

Setelah mengikuti pembelajaran ini, peserta diharapkan mampu menjelaskan terowongan dan saluran tertutup

5.1. Pemakaian

Pemakaian terowongan dianjurkan apabila trase saluran akan mengakibatkan potongan melintang berada jauh di dalam galian.

Saluran tertutup (juga disebut saluran gali-timbun) merupakan pemecahan yang dianjurkan pada bahan tanah di mana penggalian talud yang dalam sangat mungkin menyebabkan terjadinya longsor.

Saluran tertutup di sepanjang tepi sungai tinggi muka air saluran di bawah tinggi muka banjir sering dijumpai. Pembuang silang kedalam saluran bawah tanah mungkin juga membutuhkan sebuah saluran tertutup.

Kriteria-kriteria penting untuk terowongan dan saluran tertutup adalah :

a) Topografi

Trase saluran terpendek mungkin melintasi dataran/tanah tinggi atau daerah tinggi atau daerah berbukit-bukit. Dalam hal ini akan dipertimbangkan penggalian yang dalam atau pembuatan terowongan sebagai alternative dari pembuatan trase yang panjang dengan tinggi muka tanah yang lebih rendah.

Biaya pembuatan saluran juga akan dibandingkan dengan biaya permeter untuk pembuatan terowongan atau saluran tertutup.

b) Geologi

Tipe serta kualitas dan bantuan penutup mempengaruhi cara pelaksanaan dan biayanya. Dibutuhkan keterangan mengenai tanah dan batuan pada trase yang dipertimbangkan, guna mengevaluasi

alternatif perencanaan . Khususnya untuk alternatif terwongan, perencanaan akan mencakup biaya/perbandingan berdasarkan hasil-hasil penyelidikan geologi teknik pendahuluan. Langkah berikutnya yang harus diambil adalah penyelidikan detail dan studi tentang alternatif yang dipilih.

c) Kedalaman galian

Pada umumnya, galian sedalam 10 m akan mengacu pada dibuatnya terwongan sebagai cara pemecahan paling efektif. Panjang total terwongan serta kondisi geologi teknik dapat sedikit mempengaruhi angka penutup 10 m tersebut.

d) Air (tanah)

Aspek-aspek berikut harus diperhatikan :

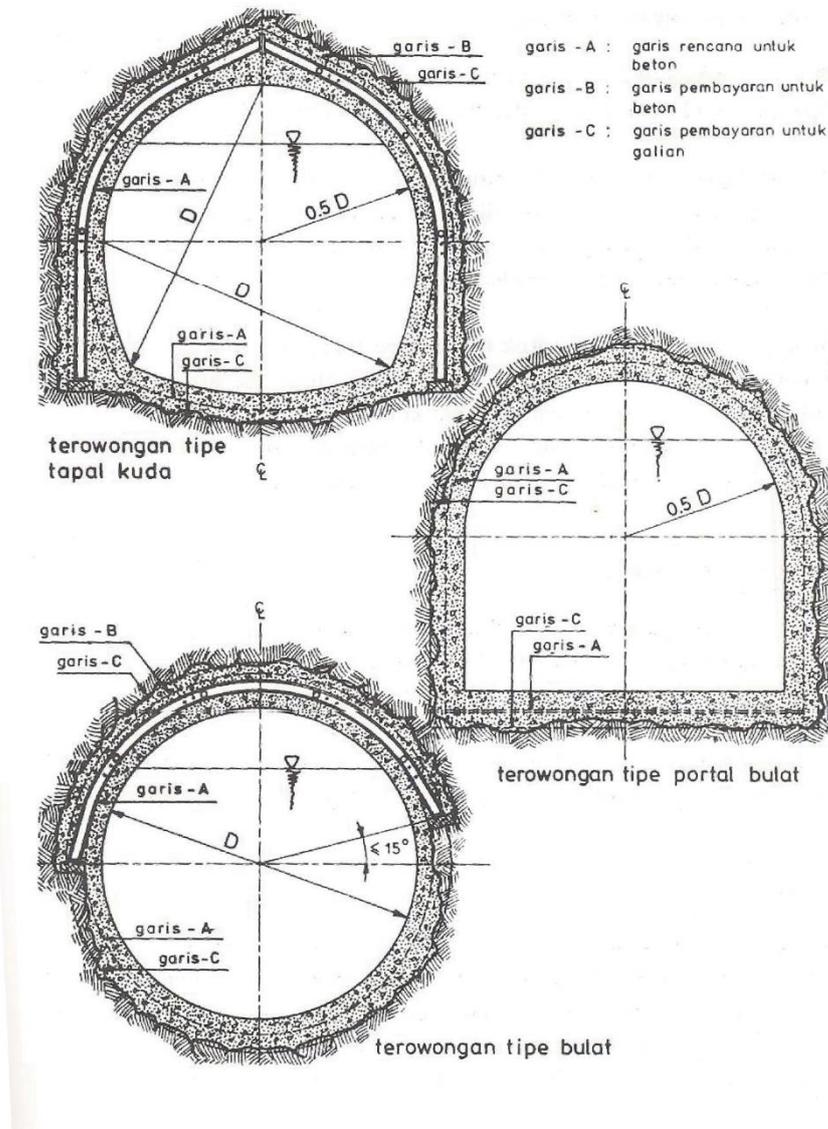
- Tekanan total dalam trase akan memerlukan pasangan yang cukup kuat di sepanjang bangunan dan hal ini secara langsung menambah biaya pelaksanaan
- Air yang membawa partikel-partikel tanah bisa mempersulit pelaksanaan terwongan.
- Aliran air di permukaan dapat mempersulit pelaksanaan penggalian dan penimbunan saluran.

5.2. Bentuk dan Kriteria Hidrolis

5.2.1. Terowongan

a) Kondisi aliran

Terowongan yang dipakai dalam jaringan irigasi akan direncana sebagai aliran bebas (sebagian penuh). Perbedaan tinggi energi yang berlebihan pada as untuk memperhitungkan tekanan terowongan jarang ada.



Gambar V. 1 – Bentuk-bentuk potongan melintang terowongan

b) Bentuk potongan melintang

Bentuk yang paling umum untuk sebuah terowongan aliran bebas adalah tipe tapal kuda, portal bulat dan bulat (lihat Gambar V.1).

Bentuk tapal kuda portal bulat tersebut memiliki karakteristik hidrolis yang bagus untuk kondisi aliran bebas. Jagaan dapat diperoleh tanpa terlalu banyak kehilangan luas potongan melintang, dan langit-langit yang bulat memberikan penyangga bangunan.

Bentuk yang bulat lebih cocok untuk pipa tekan dimana tekanan dalam dan/atau luar, tinggi. Sebagai terowongan aliran aliran bebas, karakteristik hidrolisnya tidak sebaik bentuk tapal kuda dan

portal bulat. Akan tetapi, jika dijumpai adanya beban luar, maka bentuk terowongan bulat dapat dipilih karena sifat-sifat bangunannya yang lebih baik.

c) Ukuran minimum

Untuk memungkinkan penggalian dan penempatan peralatan mekanis dalam terowongan, diameternya tidak boleh kurang dari 1,8 – 2,0 m. Untuk saluran pipa dengan debit rencana yang rendah, hal ini menghasilkan potongan melintang yang besar dan biaya pelaksanaan yang lebih tinggi. Jika terowongan itu pendek saja, maka diameternya dapat dibuat lebih kecil sampai 0,70 m dengan menerapkan berbagai teknik pelaksanaan.

d) Lengkungan

As terowongan biasanya dibuat mengikuti garis lurus untuk menghemat biaya pelaksanaan. Jika harus dibuat lengkungan, maka radius horizontalnya harus cukup besar untuk memungkinkan eksploitasi semua peralatan. Akan tetapi, jari-jari minimum diambil tidak kurang dari 5 kali diameter terowongan, jika tidak dipakai alat-alat khusus untuk membuat terowongan.

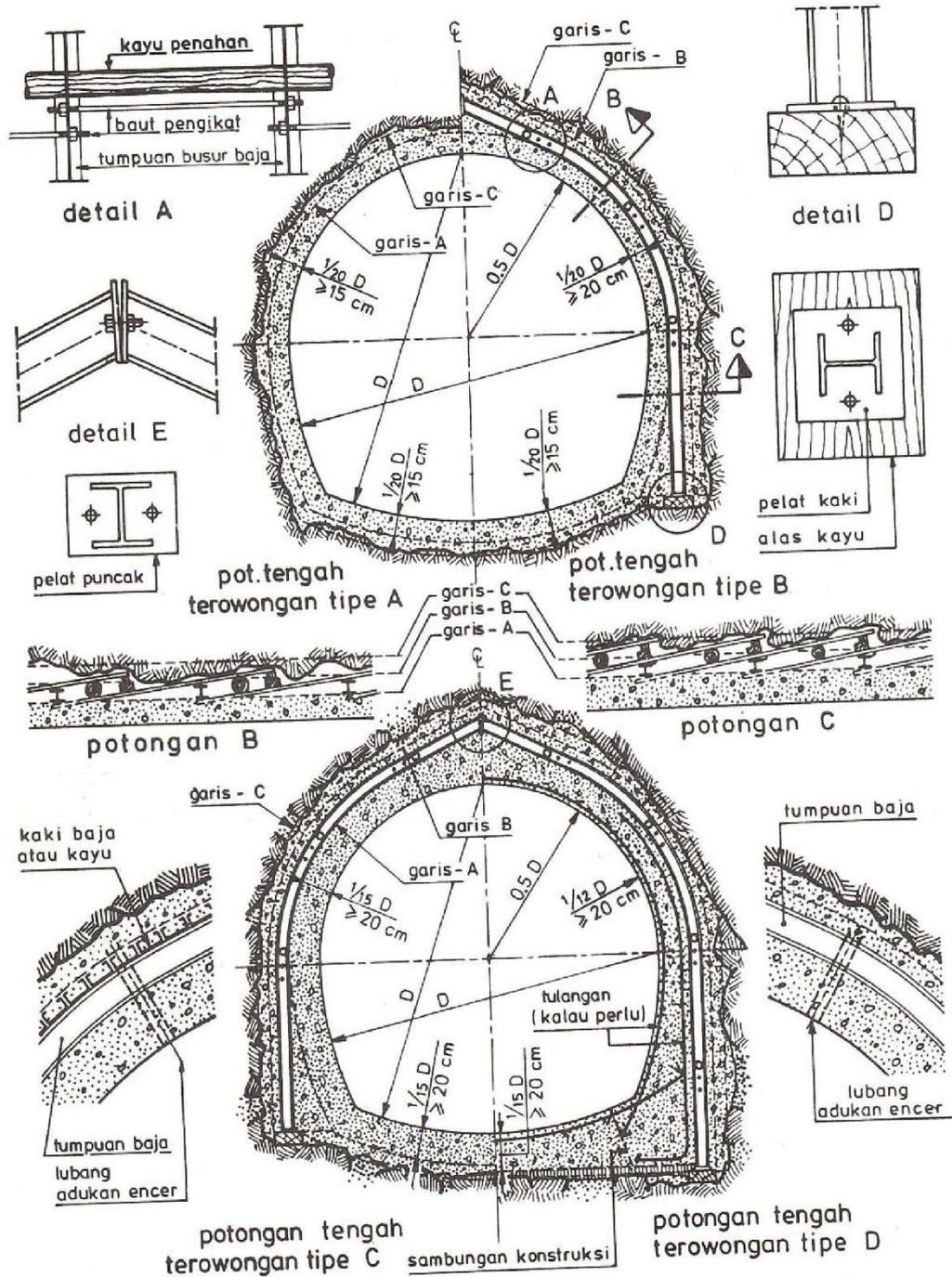
e) Penyangga dan pasangan terowongan.

Biasanya sebuah terowongan memerlukan penyangga di bagian tertentu untuk menahan dinding dan atapnya agar pasangan dapat dibuat. Penyangga busur terowongan dengan rusuk baja dan kaki kayu sudah biasa dipakai. Pada batu keras dan segar, penyangga tidak lagi diperlukan (lihat Gambar 5.2 Tipe A). Pasangan terowongan memberikan permukaan hidrolis yang mulus dan kapasitas debit yang lebih tinggi. Biasanya pasangan diperlukan untuk menyangga batu dan untuk mencegah perembesan.

Terowongan dapat digolong-golongkan menjadi empat tipe seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.1 dan Gambar 5.

Tabel 5. 1 – Klasifikasi tipe terowongan

Tipe Terwongan	Kondisi Geologi	Tipe penyangga	Tipe pasangan
A	Batu candi yang masih segar dengan sedikit retakan	Tanpa penyangga atau batu-batu.	Beton siraman (mortel atau beton tanpa tulangan).
B	Batu lapuk dengan sedikit retakan atau tanah keras yang sangat dipadatkan	Penyangga baja bentuk busur terwongan.	Pasangan beton tanpa tulangan.
C	Batu lapuk, daerah patahan dan tanah keras	Penyangga baja bentuk busur	Pasangan beton tanpa tulangan
D	Batu sangat lapuk, Tanah patah dan tanah lunak.	Penyangga baja bentuk busur	Pasangan beton atau tanpa tulangan



Gambar V. 2 – Bentuk-bentuk pasangan melintang terowongan

Tipe A dapat dipakai untuk terowongan yang digali di dalam batuan terbaik tanpa retakan, dan juga untuk terowongan-terowongan yang mampu berdiri cukup lama untuk pasangan penyangga tanpa mengendorkan batu besar yang bisa menyebabkan keruntuhan bangunan. Pasangan yang diperlukan untuk tipe terowongan pada umumnya ini adalah beton tumbuk.

Tipe B dapat dipakai untuk terowongan yang digali di dalam batu dengan sedikit retakan, dan juga untuk terowongan-terowongan yang tidak mampu berdiri cukup lama untuk memungkinkan pemasangan penyangga dengan mengendorkan batu besar dan bisa menyebabkan runtuhnya bangunan. Biasanya dibutuhkan penyangga baja bentuk busur terowongan. Pasangannya adalah beton tumbuk.

Tipe C dipakai untuk terowongan yang digali di dalam tanah keras, batuan lapuk dan daerah tanah patahan (fracture zones), membutuhkan pemasangan penyangga secara cepat, segera setelah dilakukan peledakan.

Tipe D dipakai untuk terowongan yang digali didalam batu yang sangat lapuk (lapuk hingga lapisan yang dalam), daerah tanah pecahan dan patahan, serta tanah lunak yang mengandung air tanah.

Untuk perencanaan pasangan harga-harga standar pada tabel 5.2 dan gambar 5.2. dapat diambil. Harga-harga tersebut disadur dari USBR.

Pasangan akan direncanakan sebagai bangunan guna menahan beban dalam dan luar, termasuk tekanan rembesan.

- **Peralihan**

Pada bagian masuk (intlet) dan bagian keluar (outlet) terowongan, peralihan berguna untuk memperkecil kehilangan tinggi energi.

Biasanya peralihan terdiri dari dua bagian :

- dari potongan melintang saluran ke potongan segi empat terowongan (pintu/portal terowongan).
- dari potongan segi empat ke potongan terowongan.

Bagian a direncanakan seperti untuk peralihan boks gorong-gorong dan dibuat dari pasangan batu. Bagian b merupakan peralihan tertutup dengan panjang yang sama dengan diameter terowongan, minimum 2 m.

Tabel 5. 2 – Tebal pasangan dari beton dalam cm

Tipe Terowongan	Busur dan dinding samping	Bagian bawah
A	1/20 D, min 15 cm	1/20 D, min 15 cm
B	1/20 D, min 20 cm	1/20 D, min 15 cm
C	1/15 D, min 20 cm	1/15 D, min 20 cm
D	1/12 D, min 20 cm	1/12 D, min 20 cm

D adalah diameter bagian dalam dari potongan terowongan, cm

- penutup minimum

Kedalaman minimum penutup diperlukan untuk menjaga keamanan perencanaan dan konstruksi bangunan terowongan. Kedalaman minimum penutup disajikan pada Tabel 5.3.

5.2.2. Saluran penutup

Apabila diperkirakan akan timbul terlalu banyak kesulitan perencanaan dan konstruksi untuk menggunakan terowongan, maka dapat dipertimbangkan pemakaian saluran tertutup. Hal ini terutama karena lapisan tanah yang ada terlalu sedikit untuk dibangun sebuah terowongan.

Tabel 5. 3 – Kedalaman minimum penutup (m) pada potongan terowongan

Uraian	Terowongan dalam batu	Terowongan dalam tanah
(1). Potongan tanpa pasangan/dengan pasangan atau lapisan beton.	10 D_e Min 30 m	
(2). Potongan dengan pasangan beton tumbuk dengan penyangga baja ringan.	3 D_e Min 6 m	5 D_e Min 10 m
(3) Potongan dengan pasangan beton penyangga baja berat.	2 D_e Min 4 m	3 D_e Min 6 m
(4). Potongan dengan pasangan beton bertulang dengan penyangga baja berat.	1,0 D_e Min 2 m	1,5 D_e Min 30 m
D_e Diameter potongan terowongan yang digali, m		

Pertimbangan-pertimbangan perencanaan untuk saluran tertutup (atau saluran gali dan timbunan) sama dengan pertimbangan-pertimbangan untuk perencanaan terowongan seperti yang telah dibahas dalam subsubbab 5.2.1.

a) Kondisi harus bebas

Apabila tekanan tanah dan air di luar kecil, maka pada umumnya konstruksi akan terdiri dari pasangan batu dengan atap dari beton bertulang.

Untuk debit rencana yang kecil dan luas potongan melintang yang kecil pula, dapat dipertimbangkan penggunaan pipa-pipa beton bulat.

Jika tekanan diluar kuat, maka pipa beton bertulang akan lebih cocok. Untuk debit kecil dan potongan-potongan melintang yang kecil diperlukan pipa bentuk bulat. Kecepatan aliran yang tinggi dan luas potongan melintang yang besar mungkin memerlukan bentuk segi empat untuk pertimbangan-pertimbangan pelaksanaan.

b) Lengkung

Jari-jari horizontal dibuat lebar, biasanya untuk membatasi panjang dan penggalian yang diperlukan. Jari-jari minimum adalah 5 kali tinggi saluran.

c) Ukuran minimum

Karena dipakai metode pelaksanaan galian terbuka, maka ukuran minimum boleh diambil 1,0 m dan 0,70 untuk saluran pendek.

5.3. Perencanaan Hidrolis

a) Rumus aliran

Untuk perhitungan aliran hidrolis di dalam terowongan atau saluran tertutup dipakai rumus Strickler :

$$V_a = k R^{2/3} I^{1/2}$$

R = jari-jari hidrolis, m

I = garis kemiringan energi (kemiringan hidrolis).

b) Koefisien kekasaran dan kecepatan maksimum.

Koefisien kekasaran Strickler (k) dan kecepatan maksimum ditunjukkan pada tabel 5.4. Harga-harga yang diberikan disini sudah cukup lama digunakan konservatif; untuk konstruksi-konstruksi besar boleh diambil harga-harga yang lebih tinggi, tergantung pada metode pelaksanaannya.

Tabel 5. 4 – Harga-harga kecepatan maksimum dan k (Strickler)

Bahan konstruksi	V_{maks} m/dt	$K, m^{1/3}/dt$
Pasangan batu beton	2	60
	3	70

c) Kemiringan hidrolis

Biaya pembuatan terowongan agak mahal dan, oleh karena itu, perlu berhemat dalam membuat diameternya. Kemiringan hidrolis (kemiringan terowongan) dibuat curam jika tinggi energi yang tersedia cukup.

Kecepatan rencana yang dihasilkan tidak boleh melampaui kecepatan maksimum dan tidak boleh di bawah kecepatan kritis dengan 0,75 kali kecepatan kritis sebagai harga praktis.

Konstruksi galian terbuka memperkecil potongan melintang saluran tertutup karena harus dipindahkan. Bagaimanapun juga luas potongan melintang yang kecil tetap lebih murah daripada yang besar.

d) Tinggi jagaan

Ditinjau dari segi hidrolika, tinggi jagaan sebuah terowongan $0,2 D$ dengan ukuran minimum sekitar 0,5 m umumnya dapat diterima secara internasional. Ini akan memberikan sekitar 10 % kapasitas cadangan yang dinilai terlalu rendah untuk kapasitas cadangan sampai kurang lebih 15 persen dari debit rencana untuk terowongan bentuk tapal kuda.

Untuk saluran terhadap segi empat, tinggi jagaan akan diambil pada $0,2 H$. H adalah tinggi bagian dalam saluran

Agar benda-benda terapung dapat melewati terowongan dan saluran tertutup, maka tinggi minimum jagaannya diambil sama dengan tinggi jagaan saluran terbuka.

e) Perencanaan potongan melintang

Untuk potongan-potongan segi empat evaluasi kehilangan tinggi energi dan potongan melintang dikaukan langsung dengan menggunakan rumus Strickler. Lebar potongan melintang dibagi tinggi akan berkisar antara 1 dan 2.

f) Kehilangan total tinggi energi

Kehilangan total energi di terowongan atau saluran tertutup adalah :

$$\Delta H = \Delta H_{\text{masuk}} + \Delta f_r + \Delta H_B + \Delta H_{\text{keluar}}$$

Dimana:

$$\Delta H_{\text{masuk keluar}} = \text{Kehilangan tinggi energi masuk dan keluar, m}$$

Δf_r = kehilangan tinggi energi akibat gesekan di sepanjang pipa, m

ΔH_B = kehilangan tinggi energi pada tikungan, m

Kehilangan tinggi energi masuk dan keluar dinyatakan dengan rumus:

$$\Delta H_{masuk} = \epsilon_{masuk} \frac{(V_a - V)^2}{2g}$$

$$\Delta H_{keluar} = \epsilon_{keluar} \frac{(V_a - V)^2}{2g}$$

Dimana:

$\Delta H_{masuk, keluar}$ = kehilangan tinggi energi masuk dan keluar, m

$\epsilon_{masuk, keluar}$ = koefisien kehilangan tinggi energi masuk dan keluar

V_a = kecepatan rata-rata yang dipercepat dalam bangunan, m/dt

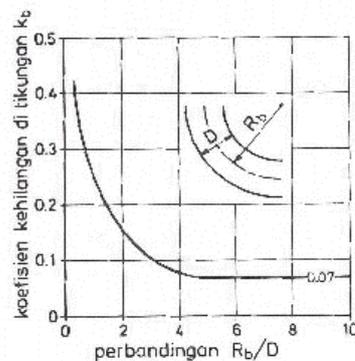
V = kecepatan rata-rata di bagian hulu atau hilir, m/dt

Gambar V.3. menyajikan harga-harga koefisien untuk berbagai peralihan dari potongan saluran terbuka sampai potongan saluran tertutup. Luas potongan melintang basah dalam peralihan tertutup diambil sama dengan luas potongan melintang saluran tertutup. Oleh karena itu kehilangan tinggi energi di dalam saluran tertutup adalah sama dengan kehilangan akibat gesekan biasa saluran tertutup.

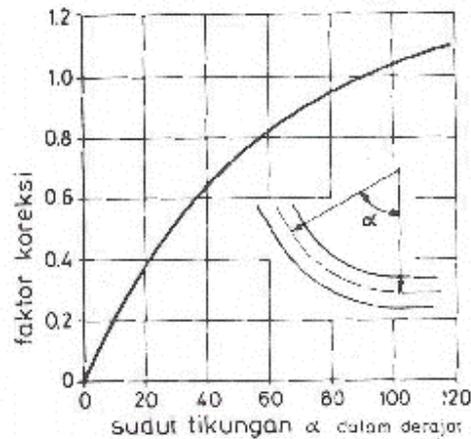
	pipa gorong-gorong sampai ke peralihan samping saluran		persamaan 5.3 5.4	
			ξ_{masuk}	ξ_{keluar}
		i	0.50	1.00
DIANJURKAN	pipa gorong-gorong sampai di dinding hulu melalui saluran		0.50	1.00
	peralihan punggung patah dengan sudut pelebaran 1:1 atau 1:2		0.30	0.60
DIANJURKAN	dinding hulu dengan peralihan yang dibulatkan dengan jari-jari lebih dari 0,1 y		0.25	0.50
DIANJURKAN	peralihan punggung patah dengan sudut pelebaran sekitar 1:5		0.20	0.40
	peralihan berangsur antara potongan melintang segi empat dan trapesium		0.10	0.20

Gambar V. 3 – Harga-harga kehilangan tinggi energy masuk dan keluar

60 Kriteria Perencanaan - Saluran



Gambar V. 4 – Harga-harga K_b untuk tikungan 90° pada saluran tertutup (USBR)



Gambar V. 5 – Faktor koreksi untuk koefisien kehilangan di tikungan pada saluran tertutup

- g) Kehilangan tinggi energy pada siku dan tikungan saluran tertutup
 Perubahan arah aliran dan sebaran kecepatannya memerlukan kehilangan air ekstra. Kehilangan tinggi energi pada siku dan tikungan dapat dinyatakan sebagai :

$$\Delta H_b = K_b \frac{V_a^2}{2g}$$

K_b adalah siku-siku disajikan pada tabel 5.5

Biasanya saluran pipa direncana dengan kurve horizontal yang cukup besar yang dapat memperbaiki pembagian kecepatan pada tikungan dan mengurangi kehilangan pada tikungan tersebut. Gambar V.5 menyajikan harga-harga K_b untuk saluran tertutup yang berdiameter besar menurut USBR.

Tabel 5. 5 – Harga-harga K_b untuk siku

Sudut derajat	5°	10°	15°	22,5°	30°	45°	60°	70°	90°
Profil bulat	0,02	0,03	0,04	0,05	0,11	0,24	0,47	0,80	1,1

Profil segi empat	0,02	0,04	0,05	0,06	0,14	0,3	0,6	1,0	1,4
-------------------	------	------	------	------	------	-----	-----	-----	-----

5.4. Latihan

1. Jelaskan dengan singkat kriteria-kriteria penting untuk terowongan dan salurang tertutup!
2. Jelaskan dengan singkat klasifikasi tipe terowongan!

5.5. Rangkuman

Saluran tertutup (juga disebut saluran gali-timbun) merupakan pemecahan yang dianjurkan pada bahan tanah di mana penggalian talud yang dalam sangat mungkin menyebabkan terjadinya longsoran.

Saluran tertutup di sepanjang tepi sungai tinggi muka air saluran di bawah tinggi muka banjir sering dijumpai. Pembuang silang kedalam saluran bawah tanah mungkin juga membutuhkan sebuah saluran tertutup.

BAB VI

DATA PERENCANAAN SALURAN PEMBUANG

Setelah mengikuti pembelajaran ini, peserta diharapkan mampu menjelaskan data perencanaan saluran pembuang

6.1. Data Topografi

Data topografi yang diperlukan untuk perencanaan saluran pembuang adalah :

- a) Peta topografi dengan jaringan irigasi dan pembuang dengan skala 1 : 25.000 dan 1 : 5.000
- b) Peta trase saluran dengan skala 1 : 2.000, dilengkapi dengan garis-garis ketinggian setiap interval 0,5 m untuk daerah datar atau 1.0 m untuk daerah berbukit-bukit.
- c) Profil memanjang dengan skala horizontal 1 : 2000; dan skala vertical 1 : 200 (1:100 untuk saluran yang lebih kecil, jika diperlukan);
- d) Potongan melintang dengan skala 1 : 200 (atau 1 : 100 untuk saluran yang lebih kecil jika diperlukan) dengan interval garis kontur 50 m untuk potongan lurus dan 25 m untuk potongan melengkung.

Penggunaan peta foto udara dan ortofoto yang dilengkapi dengan garis-garis Ketinggian sangat penting artinya, khususnya untuk perencanaan tata letak.

6.2. Debit Rencana

6.2.1. Jaringan pembuang

Pada umumnya pembuang direncanakan untuk mengalirkan kelebihan air secara gravitasi. Pembuangan kelebihan air dengan pompa biasanya tidak layak dari segi ekonomi.

Daerah-daerah irigasi dilengkapi dengan bangunan-bangunan pengendali banjir disepanjang sungai untuk mencegah masuknya air banjir kedalam sawah-sawah irigasi.

Perencanaan ini membahas jaringan pembuang yang cocok untuk pembuangan air sawah-sawah irigasi yang tanaman utamanya padi. Pembuangan untuk tanaman-tanaman lain dilakukan dengan sarana-sarana khusus di dalam petak tresier. Misalnya, jika tanaman-tanaman ladang dipertimbangkan, maka sebaiknya dipikirkan untuk membuat jaringan pembuang seperti yang dipakai untuk tanaman padi.

Pembuangan air didaerah datar (misalnya dekat laut) dan daerah pasang surut yang dipengaruhi oleh muka air laut, sangat bergantung kepada muka air sungai, saluran atau laut yang menampung air pembuangan ini.

Muka air ini memegang peranan penting dalam perencanaan kapasitas saluran pembuang maupun dalam perencanaan bangunan-bangunan khusus dilokasi di ujung (muara) saluran pembuang. Bangunan khusus yang dimaksud misalnya pintu otomatis yang tertutup selama muka air tinggi untuk mencegah agar air tidak masuk lagi ke saluran pembuang. Didaerah-daerah yang dialiri secara teknis jaringan, pembuang mempunyai dua fungsi :

- a) Pembuang intern untuk mengalirkan kelebihan air dari sawah untuk mencegah terjadinya genangan dan kerusakan tanaman, atau untuk mengatur banyaknya air tanah sesuai dengan yang dibutuhkan oleh tanaman.
- b) Pembuang ekstern untuk mengalirkan air dari luar daerah irigasi melalui daerah irigasi.

Dalam hal pembuang intern, kelebihan air ditampung di dalam saluran pembuang kuarter dan tersier yang akan mengalirkannya ke dalam jaringan pembuang utama dari saluran pembuang sekunder atau primer.

Air buangan luar daerah irigasi biasanya memasuki daerah proyek irigasi melalui saluran-saluran pembuang alamiah yang akan merupakan bagian dari jaringan pembuang utama di dalam proyek tersebut.

6.2.2. Kebutuhan pembuang untuk tanaman padi

Kelebihan air di dalam petak tersier bisa disebabkan oleh :

- a) Hujan lebat
- b) Melimpahnya air irigasi atau buangan yang berlebihan dari jaringan primer atau sekunder ke daerah itu:
- c) Rembesan atau limpahan kelebihan air irigasi di dalam petak tersier.

Kapasitas jaringan pembuang yang dapat dibenarkan secara ekonomi di dalam petak tersier tergantung kepada perbandingan berkurangnya hasil panen yang diharapkan akibat terdapatnya air yang berlebihan serta biaya pelaksanaan dan pemeliharaan saluran pembuang tersebut dengan bangunan-bangunannya. Apabila kapasitas jaringan pembuang di suatu daerah kurang memadai untuk mengalirkan semua kelebihan air, maka air akan terkumpul di sawah-sawah yang lebih rendah. Muka air didalam cekungan/daerah depresi akan melonjak untuk sementara waktu, merusak tanaman, saluran serta bangunan.

Biasanya tanaman padi tumbuh dalam keadaan “ tergenag “ dan, dengan demikian, dapat saja bertahan dengan sedikit kelebihan air. Untuk varietas unggul, tinggi 10 cm dianggap cukup dengan tinggi muka air antara 5 sampai 15 cm dapatizinkan. Kedalaman air yang lebih dari 15 cm harus dihindari, karena air yang lebih dalam untuk jangka waktu yang lama akan mengurangi hasil panen. Varietas lokal unggul dan khususnya varietas biasa (tradisional) kurang sensitif terhadap tinggi air. Walaupun demikian, tinggi air melebihi 20 cm tetap harus dihindari.

Besar kecilnya penurunan hasil panen yang diakibatkan oleh air yang berlebihan bergantung kepada :

- Dalamnya lapisan air yang berlebihan
- Berapa lama genangan yang berlebihan itu berlangsung.
- Tahap pertumbuhan tanaman dan
- Varietas padi
- Tahap-tahap pertumbuhan padi paling peka terhadap banyaknya air yang berlebihan adalah selama transplantasi (pemindahan bibit ke sawah), persemaian dan permulaan masa bebrbunga (panicle). Merosotnya hasil panen secara tajam akan terjadi apabila dalam lapisan air di sawah melebihi separuh dari tinggi tanaman padi selama tiga hari atau lebih. Jika tanaman padi tergenang air sedalam lebih 20 cm selama jangka waktu lebih dari 3 hari, maka hampir dapat dipastikan bahwa tidak akan ada panen.

Jumlah kelebihan air yang harus dikeringkan per petak disebut modulus, pembuang atau koefisien pembuang dan ini bergantung pada :

- Curah hujan selama periode tertentu.
- Pemberian air irigasi pada waktu itu
- Kebutuhan air tanaman
- Perlokasi tanah
- Tampungan di sawah-sawah selama atau pada akhir periode yang bersangkutan
- Luasnya daerah
- Sumber – sumber kelebihan air yang lain.

Pembuang permukaan untuk petak dinyatakan sebagai :

$$D(n) = R(n)T + n(I - ET - P) \Delta S$$

Di mana :

n = Jumlah hari berturut-turut

$D(n)$ = Limpasan pembuang permukaan selama n hari, mm

$R(n)T$ = Curah hujan dalam n hari berturut-turut dengan periode ulang T tahun, mm

- I = Pemberian air irigasi, mm/hari
 ET = Evapotranspirasi, mm/hari
 P = Perlokasi, mm/hari
 ΔS = Tampungan tambahan, mm

Untuk perhitungan modulus pembuangan, komponennya dapat diambil sebagai berikut :

a) Dataran rendah

- Pemberian air irigasi I sama dengan nol jika irigasi dihentikan, atau
- Pemberian air irigasi I sama dengan evapotranspirasi ET jika irigasi diteruskan.

Kadang-kadang pemberian air irigasi dihentikan didalam petak tersier, tetapi air dari jaringan irigasi utama dialirkan ke dalam jaringan pembuang.

- Tampungan tambahan di sawah pada 150 mm lapisan air maksimum, tampungan tambahan $\square S$ pada akhir hari-hari berurutan n diambil maksimum 50 mm.
- Perlokasi P sama dengan nol

b) Daerah terjal

Seperti untuk kondisi dataran rendah, tetapi dengan perlokasi P sama dengan 3 mm/hari.

Untuk modulus pembuang rencana, dipilih curah hujan 3 hari dengan periode ulang 5 tahun. Kemudian modulus pembuang tersebut adalah :

$$D_m = \frac{D(3)}{3 \times 8,64}$$

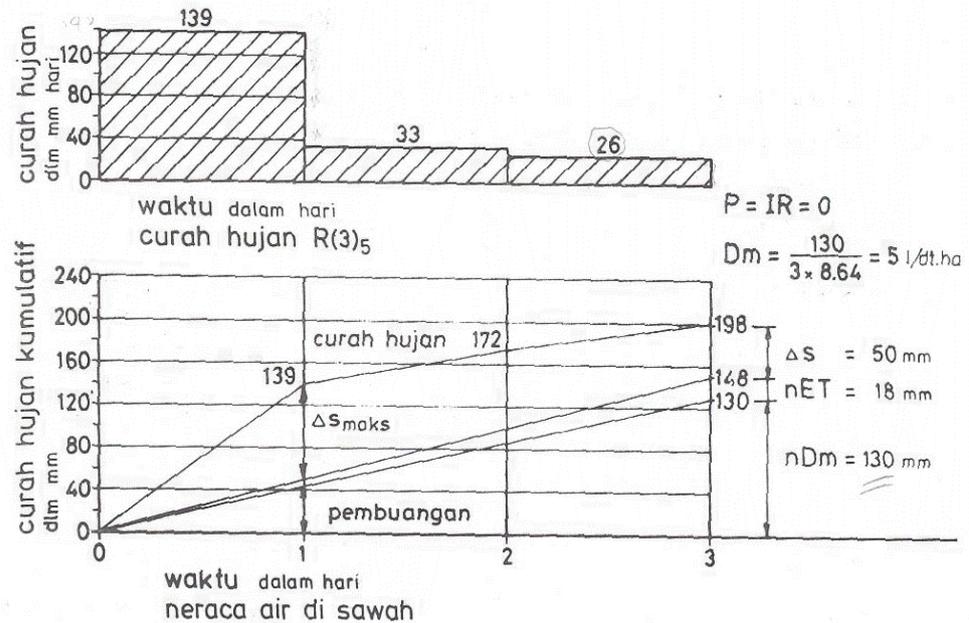
Dimana:

D_m = Modulus pembuang, l/dt.ha

D (3) = Limpasan pembuang permukaan selama 3 hari, mm

1 mm/hari = 1/8,64/dt.ha

Dalam gambar 6.1, persamaan di atas disajikan dalam bentuk grafik sebagai contoh. Dengan menganggap harga-harga untuk R, ET, I dan ΔS modulus pembuang dapat dihitung.



Gambar VI. 1 - Contoh perhitungan modulus pembuang

Untuk daerah-daerah sampai seluas 400 ha pembuang air petak diambil konstan. Jika daerah yang akan dibuang airnya yang lebih besar akibat menurunnya curah hujan (pusat curah hujan sampai daerah curah hujan) dan dengan demikian tampungan sementara yang relatif lebih besar, maka dipakai harga pembuang yang lebih kecil per petak; (lihat Gambar 6.2).

Debit pembuang dari sawah dihitung sebagai berikut ;

$$Q_d = 1,62 D_m A^{0,02}$$

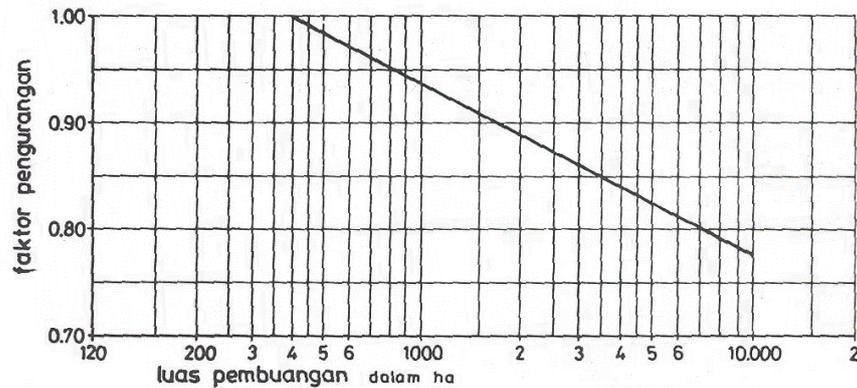
di mana :

Q = debit pembuang rencana, l/dt

D_m = modulus pembuang, l/dt.ha

A = luas yang dibuang airnya, ha

Faktor pengurangan luas yang dibuang airnya $1,62 A^{0,02}$ diambil dari Gambar 6.2 yang digunakan untuk daerah tanaman padi di Jawa dan juga dapat digunakan di seluruh Indonesia.



Gambar VI. 2 – Faktor pengurangan luas areal yang dibuang airnya

6.2.3. Kebutuhan pembuang untuk sawah padi

Untuk pembuang sawah yang ditanami selain padi, ada beberapa daerah yang perlu diperhatikan, yakni :

- a) Daerah-daerah aliran sungai yang berhutan
- b) Daerah-daerah dengan tanaman-tanaman ladang (daerahdaerah terjal)
- c) Daerah-daerah daerah permukiman

Dalam merencanakan saluran-saluran pembuang untuk daerah-daerah dimana padi tidak ditanam, ada dua macam debit yang perlu dipertimbangkan, yaitu :

- Debit puncak maksimum dalam jangka waktu pendek dan
- Debit rencana yang dipakai untuk perencanaan saluran.

a) Debit puncak

Debit puncak untuk daerah-daerah yang dibuang airnya sampai seluas 100 km^2 dihitung dengan “rumus Der Weduwen”, yang

didasarkan pada pengalaman mengenai sungai-sungai di Jawa; rumus-rumus lain bisa digunakan juga.

Rumus tersebut adalah:

$$Q_p = \alpha \beta q A$$

Dimana :

Q_p = debit puncak, m^3/dt

α = koefisien limpasan air hujan (runoff)

β = koefisien pengurangan luas daerah hujan q = curah hujan, $m^3/dt, km^2$

A = luas areal yang dibuang airnya, km^2

Air buangan dari daerah-daerah kampung ke jaringan pembuang bisa sangat tinggi, karena tampungan dan laju perkolasi yang terbatas.

b) Debit rencana

Debit rencana didefinisikan sebagai volume limpasan air hujan dalam waktu sehari dari satu daerah yang akan dibuang airnya yang disebabkan oleh curah hujan sehari di daerah tersebut. Air hujan yang tidak tertahan atau merembes dalam waktu sehari, diandalkan mengalir dalam waktu satu hari itu juga. Ini menghasilkan debit rencana yang konstan.

Debit rencana dihitung sebagai berikut (USBR, 1973).

$$Q_d = 0,116 \alpha R(1)5 A^{0,02}$$

Di mana :

Q_d = debit rencana, l/dt

α = koefisien limpasan air hujan (lihat table 6.1)

$R(1)5$ = curah hujan sehari, m dengan kemungkinan terpenuhi 20%

A = luas daerah yang dibuang airnya, ha .

Untuk menentukan harga koefisien limpasan air hujan, akan dipakai hasil- hasil “ metode kurve bilangan “ dari US Soil Conservation Service.

Untuk uraian lebih lanut, baca USBR Design Of Small Dams.

Tabel 6. 1 - Harga harga koefisien limpasan air hujan untuk perhitungan Qd

Penutup tanah	Kelompok hidrologis tanah	
	C	D
Hutan lebat	0,60	0,70
Hutan tidak lebat	0,65	0,75
Tanaman ladang (daerah terjal)	0,75	0,80

Penjelasan mengenai kelompok hidrologis tanah adalah sebagai berikut :

Kelompok C.

Tanah yang mempunyai laju infiltrasi rendah apabila dalam keadaan jenuh sama sekali dan terutama terdiri dari tanah dengan lapisan yang menahan gerak turun air, atau tanah dengan tekstur agak halus sampai halus. Tanah- tanah ini memiliki laju penyebaran (transmisi) air yang rendah.

Kelompok D (Potensi limpasan tinggi).

Tanah yang mempunyai laju infiltrasi amat rendah apabila dalam keadaan jenuh sama sekali dan trutama terdiri dari tanah lempung dengan potensi mengembang yang tinggi, tanah dengan muka air tanah tinggi yang permanen, tanah dengan lapisan liat pada atau di dekat permukaan, dan tanah dangkal pada bahan yang hampir kedap air. Tanah-tanah ini memiliki laju penyebaran air yang lamban.

Disini, kelompok A dan B tidak dipakai.

6.2.4. Debit pembuang

Debit rencana akan dipakai untuk merencanakan kapasitas saluran pembuang dan tinggi muka air. Debit pembuang terdiri dari air buangan dari - Sawah, seperti dalam 6.2.2 atau dari Tempat- tempat lain di luar sawah, seperti dalam 6.2.3.

Jaringan pembuang akan direncanakan untuk mengalirkan debit pembuang rencana dari daerah-daerah sawah dan non sawah, di dalam maupun diluar (pembuang silang). Muka air yang dihasilkan tidak boleh menghalangi pembuangan air dari sawah-sawah di irigasi.

Debit puncak akan dipakai untuk menghitung muka air tertinggi di jaringan pembuang. Muka air tertinggi ini akan digunakan untuk merencanakan pengendalian banjir dan bangunan. Selama terjadi debit puncak, terhalangnya pembuangan air dari sawah dapat diterima. Tinggi muka air puncak sering melebihi tinggi muka tanah. Dalam hal ini sarana-sarana pengendali banjir akan dibuat di sepanjang saluran pembuang, di mana tidak boleh terjadi penggenangan.

Periode ulang untuk debit puncak dan debit rencana berbeda untuk debit.

Puncak, periode ulang dipilih sebagai berikut :

- 5 tahun untuk saluran pembuang kecil di daerah irigasi atau
- 25 tahun atau lebih, bergantung pada apa yang akan dilindungi, untuk sungai periode ulangnya diambil sama dengan saluran pembuang yang besar.

Periode ulang debit rencana diambil 5 tahun.

Perlu dicatat bahwa debit puncak yang sudah dihitung bisa dikurangi dengan cara menampung debit puncak tersebut. Tampungan dapat dibuat di dalam atau diluar daerah irigasi.

Misalnya di tempat dimana pembuang silang memasuki daerah irigasi melalui gorong-gorong yang disebelah hulunya boleh terdapat sedikit genangan. Didalam jaringan irigasi tampungan dalam jaringan

saluran dan daerah cekungan akan dapat meratakan debit puncak dibagian hilir. Debit puncak juga akan dikurangi dengan cara membiarkan penggenangan terbatas (untuk jangka waktu yang pendek) di dalam daerah irigasi. Akan tetapi, penggenangan terbatas mungkin tidak dapat diterima.

Pada pertemuan dua saluran pembuang di mana dua debit puncak tertentu, debit puncak yang bergabung dihitung sebagai berikut :

- a) Apabila dua daerah yang akan dibuang airnya kurang lebih sama luasnya (40 sampai 50 % dari luas total). Debit puncak dihitung sebagai 0,8 kali jumlah kedua debit puncak.
- b) Jika daerah yang satu jauh lebih kecil dari daerah yang satunya lagi (kurang 20 % dari luas keseluruhan). Maka gabungan kedua debit puncak dihitung sebagai daerah total.

Bila persentase itu berkisar antara 20 dan 40 %, maka gabungan kedua debit puncak dihitung dengan interpolasi antara harga-harga dari no. 1 dan 2 di atas.

Untuk menghitung debit rencana pada pertemuan dua saluran pembuang, debit rencana yang bergabung dihitung sebagai jumlah debit rencana dari kedua saluran pembuang hulu.

6.3. Data Mekanika Tanah

Masalah utama dalam perencanaan saluran pembuang adalah ketahanan bahan saluran terhadap erosi dan stabilitas talud.

Data yang diperlukan untuk tujuan ini mirip dengan data yang dibutuhkan untuk perencanaan saluran irigasi.

Pada umumnya data yang diperoleh dari penelitian tanah pertanian akan memberikan petunjuk/indikasi yang baik mengenai sifat-sifat mekanika tanah yang akan dipakai untuk trase saluran pembuang.

Karena trase tersebut biasanya terletak di cekungan (daerah depresi). Tanah cenderung untuk menunjukkan sedikit variasi. Dalam banyak hal, uji lapisan dan batas cair (liquid limit) pada interval 1 km akan memberikan cukup informasi mengenai klasifikasi seperti dalam Unified Soil Classification Sytem (lihat Tabel 2.4). Apabila dalam pengujian tersebut sifat-sifat tanah menunjukkan banyak variasi, maka interval tersebut harus dikurangi.

6.4. Latihan

1. Jelaskan dengan singkat data topografi yang diperlukan untuk perencanaan saluran pembuang!
2. Jelaskan dua fungsi pembuang pada daerah yang dialuru secara teknis jaringan!

6.5. Rangkuman

Data yang diperlukan untk perencanaan saluran pembuang adalah:

1. Data topografi
2. Debit rencana
3. Data mekanika tanah

BAB VII

PERENCANAAN SALURAN PEMBUANG

Setelah mengikuti pembelajaran ini, peserta diharapkan mampu menjelaskan perencanaan saluran pembuang

7.1. Perencanaan Saluran Pembuang yang Stabil

Perencanaan saluran pembuang harus memberikan pemecahan dengan biaya pelaksanaan dan pemeliharaan yang rendah. Ruas-ruas saluran harus stabil terhadap erosi dan sedimentasi minimal pada setiap potongan melintang dan seimbang.

Dengan adanya pembuang, air dari persawahan menjadi lebih bersih dari sedimen. Erosi di saluran pembuang akan merupakan kriteria yang menentukan. Kecepatan rencana hendaknya tidak melebihi kecepatan maksimum yangizinkan. Kecepatan maksimum yangizinkan bergantung kepada bahan tanah serta kondisinya.

Saluran pembuang direncana di tempat-tempat terendah dan melalui daerah-daerah depresi, Kemiringan alamiah tanah dalam trase ini menentukan kemiringan memanjang saluran pembuang tersebut.

Apabila kemiringan dasar terlalu curam dan kecepatan maksimum yangizinkan akan dilampaui, maka harus dibuat bangunan pengatur (terjun).

Kecepatan rencana sebaiknya diambil sama atau mendekati kecepatan maksimum yangizinkan, karena debit rencana atau debit puncak tidak sering terjadi, debit dan kecepatan aliran pembuang akan lebih rendah dibawah kondisi eksploitasi rata -rata.

Khususnya dengan debit pembuang yang rendah, aliran akan cenderung berkelok-kelok (meander) bila dasar saluran dibuat lebar. Oleh karena itu, biasanya saluran pembuang direncana relatif sempit dan dalam. Variasi tinggi air dengan debit yang berubah-ubah biasanya tidak mempunyai arti penting. Potongan-potongan yang dalam akan memberikan pemecahan yang lebih ekonomis.

Kemiringan dasar saluran pembuang biasanya mengecil di sebelah hilir sedangkan debit rencana bertambah besar. Parameter angkutan sediment relatif $V\sqrt{R}$ dalam prakteknya akan menurun disebelah hilir akibat R kuadrat. Sejauh berkenaan dengan air buangan yang relatif bersih dari sawah, hal ini tidak akan merupakan masalah yang berarti. Keadaan ini harus dihindari apabila air buangan yang bersedimen harus dialirkan.

Dasar dan taludnya mempunyai daya tahan yang lebih tinggi terhadap kisanan jika dibandingkan dengan saluran pembuang yang baru dibangun dengan kemiringan talud yang sama.

Pemantapan saluran air dan sungai alamiah untuk menambah kapasitas pembuang sering terbatas pada konstruksi tanggul banjir dan sodetan dari lengkung meander.

Air dari saluran pembuang mempunyai pengaruh negatif pada muka air tanah atau pada air yang masuk dari talud dan sebagainya. Oleh sebab itu perencana harus mempertimbangkan faktor tersebut dengan hati-hati guna memperkecil dampak yang mungkin timbul.

7.2. Rumus dan Kriteria Hidrolis

7.2.1. Rumus aliran

Untuk perencanaan potongan saluran pembuang, aliran dianggap sebagai aliran tetap dan untuk itu diterapkan rumus Strickler (Manning); lihat juga subbab 3.2.1

$$V = k R^{2/3} I^{1/2}$$

Dimana

V = Kecepatan aliran, m/dt

k = Koefisien kekasaran Strickler, $m^{1/3} / dt$

R = jari-jari hidrolis, m

I = kemiringan energi.

7.2.2. Koefisien kekasaran Strickler

Koefisien Strickler k bergantung kepada sejumlah faktor, yakni :

- kekasaran dasar dan talud saluran
- lebatnya vegetasi
- panjang batang vegetasi
- ketidakteraturan dan trase, dan
- jari- jari dan dalamnya saluran.

Karena saluran pembuang tidak selalu terisi air, vegetasi akan mudah sekali tumbuh di situ dan banyak mengurangi harga k . Penyiangan yang teratur akan memperkecil harga pengurangan ini. Harga-harga k pada Tabel 7.1. yang dipakai untuk merencanakan saluran pembuang, mengandaikan bahwa vegetasi dipotong secara teratur.

Tabel 7. 1 - Koefisien kekasaran Strickler untuk saluran pembuang.

Jaringan pembuang utama	$k \text{ m}^{1/3} / dt$
$h > 1,5 \text{ m}$	30
$h \leq 1,5 \text{ m}$	25

Untuk saluran-saluran alamiah ada harga umum k yang dapat diberikan. Cara terbaik untuk memperkirakan harga itu ialah membandingkan saluran-saluran alamiah tersebut dengan harga-harga k yang dijelaskan di

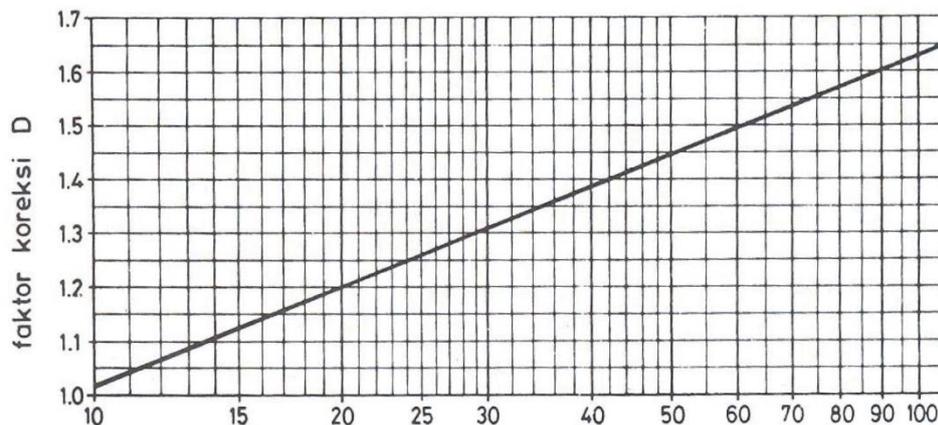
dalam kepustakaan yang relevan (sebagai contoh, lihat Ven Te Chow, 1965).

7.2.3. Kecepatan Maksimum yang Diizinkan

Penentuan kecepatan maksimum yang diizinkan untuk saluran pembuang dengan bahan kohesif mirip dengan yang diambil untuk saluran irigasi

$$V_{maks} = v_b \times A \times B \times C \times D.$$

Faktor D ditambahkan apabila banjir rencana dengan periode ulang yang tinggi. Dianggap bahwa kelangkaan terjadinya banjir dengan periode ulang di atas 10 tahun menyebabkan sedikit kerusakan akibat erosi. Ini dinyatakan dengan menerima v_{maks} yang lebih tinggi untuk keadaan semacam ini ; lihat Gambar VII.1 untuk harga harga D. D sama dengan 1 untuk periode ulang di bawah 10 tahun.



Gambar VII. 1 - Koefisien koreksi untuk berbagai periode D

Untuk jaringan pembuang interen, air akan ditung sebagai bebas sedimen. Untuk aliran pembuang silang, asal air harus diperiksa. Jika air itu berasal dari daerah-daerah yang berpembuang alamiah, maka

konsentrasi sedimen dapat diambil 3.000 ppm. Aitr dihitung bebas sedimen, apabila air pembuang silang berasal dari daerah persawahan. Untuk konstruksi pada tanah-tanah nonkhoesif, kecepatan dasar yang diizinkan adalah 0,6 m/dt.

7.2.4. Tinggi Muka Air

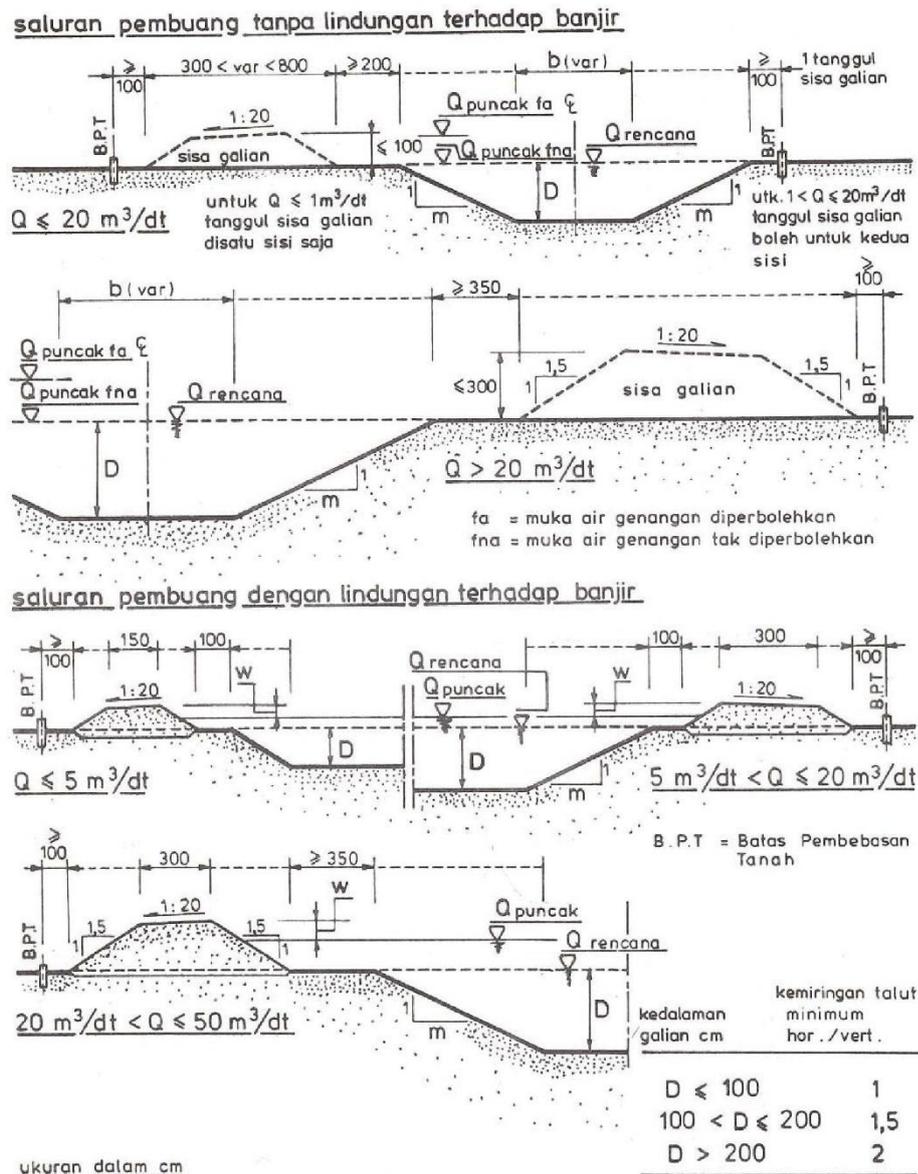
Tinggi muka air saluran pembuang di jaringan intern bergantung kepada fungsi saluran tersebut.

Di jaringan tersier, tanah membuang airnya langsung ke saluran pembuang (kuarter dan tersier) dan tinggi muka air pembuang rencana mungkin sama dengan tinggi permukaan tanah.

Jaringan pembuang primer menerima air buangan dari petak-petak tersier di lokasi yang tetap. Tinggi muka air yang diperlukan di ujung saluran pembuang tersier.

Tinggi muka air di jaringan pembuang primer yang berfungsi untuk pembuang sawah dan mungkin daerah-daerah bukan sawah dihitung sebagai berikut :

- untuk pengaliran debit rencana, tinggi muka air mungkin naik sampai sama dengan tinggi permukaan tanah;
- untuk pengaliran debit puncak, pembuang dari sawah dianggap nol; harga- harga tinggi muka air yang diambil ditunjukkan pada gambar VII.2.



Gambar VII. 2 - Tipe – tipe melintang saluran pembuang

Metode penghitungan ini hanya boleh diterapkan untuk debit-debit sampai $30 \text{ m}^3/\text{dt}$ saja. Bila diperkirakan akan terjadi debit yang besar, maka debit puncak dari daerah-daerah nonsawah dan debit pembuang sawah yang terjadi secara bersamaan harus dipelajari bersama-sama dengan sementara yang mungkin juga terjadi.

Muka air rencana pada titik pertemuan antara saluran pembuang sebaiknya diambil sebagai berikut :

- Evaluasi muka air yang sesuai dengan banjir dengan periode ulang 5 kali pertahun untuk sungai.
- Muka air rencana untuk rencana untuk saluran pembuang intern yang tingkatnya lebih tinggi.
- Mean muka air laut (MSL) untuk laut.

7.3. Potongan Melintang Saluran Pembuang

7.3.1. Geometri

Potongan melintang saluran pembuang direncana relaif lebih dalam dari pada saluran irigasi dengan alasan sebagai berikut :

- a) untuk mengurangi biaya pelaksanaan dan pembahasan tanah;
- b) variasi tinggi muka air lebih besar; perubahan-perubahan pada debit pembuangan dapat diterima untuk jaringan pembuangan permukaan;
- c) saluran pembuang yang dalam akan memiliki aliran yang lebih stabil pada debit rendah, sedangkan saluran pembuang yang lebar akan menunjukkan aliran yang berkelok-kelok.

Perbandingan kedalaman lebar dasar ($n = b/h$) untuk saluran pembuang sekunder diambil antara 1 dan 3. Untuk saluran pembuang yang lebih besar, nilai banding ini harus paling tidak 3. Tipe-tipe potongan melintang disajikan pada Gambar 7.2.

Untuk saluran pembuang sekunder dan primer, lebar dasar minimum diambil 0,60 m.

7.3.2. Kemiringan talud saluran pembuang

Pertimbangan untuk kemiringan talud sebuah saluran pembuang buatan mirip dengan pertimbangan untuk saluran irigasi.

Harga-harga kemiringan minimum talud untuk saluran pembuang pada bebagai bahan tanah diambil dari Tabel 7.2. dan Gambar VII.2.

Tabel 7. 2 – Kemiringan talud minimum saluran pembuang

Kedalaman galian, D (m)	Kemiringan minimum talud (1 horizontal : m vertikal)
$D \leq 1,0$	1,0
$1,0 \leq D < 2,0$	1,5
$D > 2,0$	2,0

Mungkin diperlukan kemiringan talud yang lebih landai jika diperkirakan akan terjadi aliran rembesan yang besar kedalam saluran.

7.3.3. Lengkung saluran pembuang

Jari-jari minimum lengkung sebagai yang diukur dalam as untuk saluran pembuang buatan adalah sebagai berikut :

Tabel 7. 3 – Jari-jari lengkung saluran pembuang tanah

Q rencana m^3 /dt	Jari-jari minimum m
$Q \leq 5$	3 lebar dasar
$5 < Q \leq 7,5$	4 x lebar dasar
$7,5 < Q \leq 10$	5 x lebar dasar
$Q \leq 15$	6 x lebar dasar
$Q > 15$	7 x lebar dasar

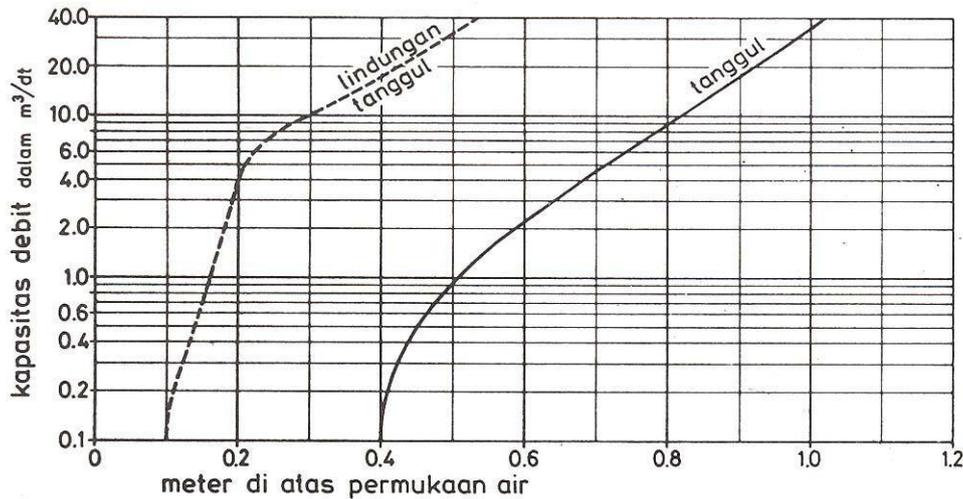
Jika diperlukan jari jari lebih kecil, jari-jari tersebut boleh dikurangi sampai 3 x lebar dasar dengan cara memberi pasangan bagian luar lengkung saluran.

7.3.4. Tinggi jagaan

Karena debit pembuang rencana akan terjadi dengan periode ulang rata-rata 5 tahun, maka air rencana maksimum diambil sama dengan tinggi muka tanah. Galian tambahan tidak lagi diperlukan.

Apabila jaringan pembuang utama juga mengalirkan air hujan buangan dari daerah-daerah bukan sawah dan harus memberkan

perlindungan penuh terhadap banjir, maka tinggi jagaan akan diambil 0,4 – 1,0 m lihat Gambar VII.2. dan VII.3).



Gambar VII. 3 - Tinggi jagaan untuk saluran pembuang (dari USBR)

7.4. Latihan

1. Jelaskan factor yang mempengaruhi koefisien Strickler!
2. Jelaskan perhitungan tinggi muka air!

7.5. Rangkuman

Dengan adanya pembuang, air dari persawahan menjadi lebih bersih dari sedimen. Erosi di saluran pembuang akan merupakan kriteria yang menentukan. Kecepatan rencana hendaknya tidak melebihi kecepatan maksimum yang diizinkan. Kecepatan maksimum yang diizinkan bergantung kepada bahan tanah serta kondisinya.

Saluran pembuang direncana di tempat-tempat terendah dan melalui daerah-daerah depresi, Kemiringan alamiah tanah dalam trase ini menentukan kemiringan memanjang saluran pembuang tersebut.

BAB VIII

PENUTUP

8.1. Simpulan

Data yang diperlukan untuk perencanaan irigasi:

1. Data topografi
2. Kapasitas rencana
3. Data geoteknik
4. Data sedimen

Untuk pengaliran air irigasi, saluran berpenampang trapezium tanpa pasangan adalah bangunan pembawa yang paling umum dipakai dan ekonomis. Perencanaan saluran harus memberikan penyelesaian biaya pelaksanaan dan pemeliharaan yang paling rendah. Erosi dan sedimentasi disetiap potongan melintang harus minimal dan berimbang sepanjang tahun. Ruas-ruas saluran harus mantap.

Pembuatan pasangan dari bahan-bahan lain tidak dianjurkan, dengan alasan sulitnya memperoleh persediaan bahan, teknik pelaksanaan yang lebih rumit dan kelemahan-kelemahan bahan itu sendiri. Tersediannya bahan di dekat pelaksanaan konstruksi merupakan faktor yang penting dalam pemilihan jenis pasangan. Jika bahan batu tersedia, maka pada umumnya dianjurkan pemakaian pasangan batu. Pasangan dari bata merah mungkin bisa juga dipakai.

8.2. Tindak Lanjut

Sebagai tindak lanjut dari pelatihan ini, peserta diharapkan mengikuti kelas lanjutan untuk dapat memahami detail tentang perencanaan irigasi serta ketentuan pendukung terkait lainnya, sehingga memiliki pemahaman yang komprehensif perencanaan irigasi.

DAFTAR PUSTAKA

Bharat Singh, Fundamental Irrigation Engeneering, Roorkee, 1979.

Craig, R.F, Soil Mechanics, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1976

Ditjen Pengairan, Dep PU. Standar Perencanaan Irigasi, 1986

Suardi Natasaputra, Saluran Dan Bangunan Irigasi, Bahan Kuliah Program Pendidikan Spesialis I PSDA. Direktorat Jenderal Pengairan, Dep. PU – Institut Teknologi Bandung

Varshney Gupta – Gupta, Theory and Design For Irrigation Structure, Volume I, Roorkee, 1978.

GLOSARIUM

GFR	: Kebutuhan total air di sawah
NFR	: Kebutuhan bersih air di sawah
TOR	: Kebutuhan air di bangunan sadap tersier
SOR	: Kebutuhan air di bangunan sadap sekunder
MOR	: Kebutuhan air di bangunan sadap primer