

BAB 3

LANDASAN TEORI

3.1 Embung Kecil

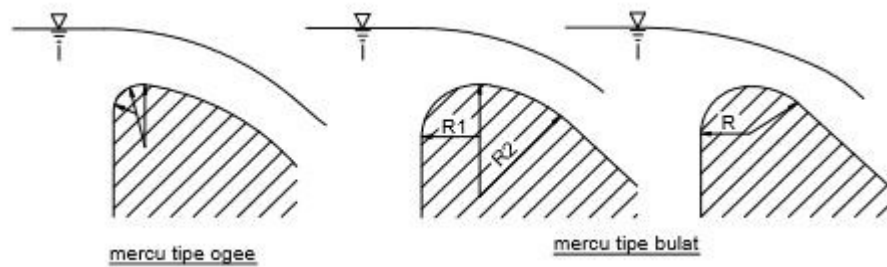
Embung adalah bangunan yang memiliki fungsi untuk menampung air hujan untuk persediaan suatu desa di musim kemarau. Oleh karena itu pada musim hujan embung tidak beroperasi dan diharapkan pada akhir musim hujan embung dapat terisi penuh. Kapasitas embung dan tinggi tubuh bendungan kecil ditentukan oleh banyaknya air yang dapat ditampung dan jumlah kebutuhan air di suatu desa yang akan dilayani. Batasan untuk suatu embung dikatakan kecil adalah sebagai berikut (Kasiro dkk, 1994):

1. Tinggi tubuh bendungan kecil maksimum 10 m untuk tipe urugan, dan 6 m untuk tipe komposit
2. Kapasitas tampungan embung maksimum 100.000 m³
3. Luas daerah tadah hujan maksimum 100 ha

3.2 Bangunan Pelimpah

Di dalam Standar Perencanaan Irigasi (KP-02) secara umum di Indonesia digunakan dua tipe mercu untuk pelimpah yaitu:

1. Tipe Ogee
2. Tipe Bulat



Gambar 3.1 Tipe Mercu Bangunan Pelimpah

(Sumber :Standar Perencanaan Irigasi KP-02, 1986)

3.2.1 Panjang Mercu Efektif

Panjang mercu pelimpah atau disebut pula lebar bentang mercu pelimpah tidak boleh terlalu pendek dan terlalu lebar. Perhitungan panjang mercu efektif dapat diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Standar Perencanaan Irigasi KP-02,1986):

$$Be = B - 2(nK_p + K_a)H_1 \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

keterangan:

- Be : Panjang efektif mercu (m)
 B : Panjang mercu yang direncanakan (m)
 n : Jumlah pilar
 K_p : Koefisien kontraksi pilar
 K_a : Koefisien kontraksi pangkal pelimpah
 H_1 : Tinggi energi di atas mercu (m)

Tabel 3.1 Harga-Harga Koefisien Kontraksi Pilar

| No. | Keterangan | Kp |
|-----|---|------|
| 1. | Untuk pilar berujung segi empat dengan sudut-sudut yang bulat pada jari-jari yang hampir sama dengan 0,1 dari tebal pilar | 0,02 |
| 2. | Untuk pilar berujung bulat | 0,01 |
| 3. | Untuk pilar berujung runcing | 0,00 |

(Sumber: Standar Perencanaan Irigasi KP- 02, 1986)

Tabel 3.2 Harga-Harga Koefisien Kontraksi Pangkal Pelimpah

| No. | Keterangan | Ka |
|-----|---|-----|
| 1. | Untuk pangkal tembok segi empat dengan tembok hulu pada 90° ke arah aliran | 0,2 |
| 2. | Untuk pangkal tembok bulat dengan tembok hulu pada 90° ke arah aliran dengan $0,5 H_1 > r > 0,15 H$ | 0,1 |
| 3. | Untuk pangkal tembok bulat dimana $r > 0,5 H_1$ dan tembok hulu tidak lebih dari 45° ke arah aliran | 0,0 |

(Sumber: Standar Perencanaan Irigasi KP- 02, 1986)

Nilai H_1 diperoleh dengan cara *trial and error* nilai debit banjir. Rumus debit banjir yang digunakan adalah:

$$Q_{\text{banjir}} = C_d \times B e \times \frac{2}{3} \times H_1^{1,5} \times \sqrt{\frac{2}{3} g} \quad \dots\dots\dots (3.2)$$

keterangan:

- Q_{banjir} : Debit banjir rencana (m^3/s)
 C_d : Koefisien debit
 Be : Panjang mercu efektif (m)
 H_1 : Tinggi energi di atas mercu (m)
 g : Gravitasi (m/s^2)

3.2.2 Kolam Olak

Kolam olak perlu digunakan atau tidak ditentukan oleh nilai bilangan Froude. Berdasarkan bilangan Froude (Fr), dapat dibuat pengelompokan sebagai berikut (Standar Perencanaan Irigasi KP-02,1986):

a) $Fr \leq 1,7$

Tidak diperlukan kolam olak, pada saluran tanah bagian hilir dilindungi dari bahaya erosi, pada saluran pasangan batu/beton tidak perlu lindungan khusus.

b) $1,7 \leq Fr \leq 2,5$

Kolam olak diperlukan untuk meredam energi secara efektif. Pada umumnya kolam olak dengan ambang ujung mampu bekerja dengan baik.

c) $2,5 \leq Fr \leq 4,5$

Pada prakteknya akan lebih baik untuk tidak merencanakan kolam olak jika $2,5 < Fr < 4,5$. Sebaiknya geometrinya diubah untuk memperbesar atau memperkecil bilangan Froude dan memakai kolam dari kategori lain, karena akan timbul situasi yang paling sulit dalam memilih kolam olak yang tepat.

d) $Fr \geq 4,5$

Digunakan kolam olak USBR tipe III dengan dilengkapi blok depan dan blok halang. Tipe kolam olak ini merupakan tipe yang paling ekonomis.

Untuk mendapatkan nilai bilangan Froude (Fr) digunakan rumus sebagai berikut:

$$Fr = \frac{v_1}{\sqrt{gy_1}} \dots\dots\dots (3.3)$$

keterangan:

- Fr : Bilangan Froude
- v_1 : Kecepatan awal loncat air (m/s)
- g : Gravitasi (m/s^2)
- y_1 : Kedalaman air di awal loncat air (m)

Kecepatan awal loncat air (v_1) dapat diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$v_1 = \sqrt{2g(0,5H_1 + z)} \dots\dots\dots (3.4)$$

keterangan:

- v_1 : Kecepatan awal loncat air (m/s)
- g : Gravitasi (m/s^2)
- H_1 : Tinggi energi di atas mercu (m)
- z : Tinggi jatuh air (m)

Kedalaman air saat awal loncat air (y_1) dapat diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$y_1 = \frac{q}{v_1} \dots\dots\dots (3.5)$$

keterangan:

- y_1 : Kedalaman air di awal loncat air (m)
 q : Debit per satuan lebar ($m^3/s/m$)
 v_1 : Kecepatan awal loncat air (m/s)

Debit per satuan lebar (q) dapat diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$q = \frac{Q_{banjir}}{Be} \dots\dots\dots (3.6)$$

keterangan:

- q : Debit per satuan lebar ($m^3/s/m$)
 Q_{banjir} : Debit banjir rencana (m^3/s)
 Be : Panjang efektif mercu pelimpah (m)

Tinggi air sesudah loncatan air (y_2) dapat diperoleh cara trian and error terhadap rumus berikut:

$$Q_{banjir} = (y_2 \times B) \times \frac{1}{n} \times \left(\frac{y_2 \times B}{2y_2 + B} \right)^{\frac{2}{3}} \times (S)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (3.7)$$

keterangan:

- Q_{banjir} : Debit banjir rencana (m^3/s)
 y_2 : Tinggi air sesudah loncatan air (m)
 B : Panjang mercu(m)
 n : Koefisien kekasaran manning
 S : Kemiringan dasar saluran

Panjang kolam olak (L_j) dapat diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$L_j = 2,7y_2 \quad \dots\dots\dots (3.8)$$

keterangan:

L_j : Panjang kolam olak (m)
 y_2 : Tinggi air sesudah loncatan air (m)

3.3 Perhitungan Profil Muka Air dengan Metoda Integrasi Numerik

Perhitungan profil muka air bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh tinggi muka air akibat adanya pembangunan pelimpah. Perhitungan dilakukan dengan mencari nilai jari-jari hidrolis (R) dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Triatmodjo, 2011):

$$R = \frac{A}{P} \quad \dots\dots\dots (3.9)$$

keterangan:

R : Jari-jari hidrolis (m)
 A : Luas penampang basah (m^2)
 P : Keliling basah (m)

Setelah perhitungan tersebut dilanjutkan perhitungan kehilangan energi (E_s) dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$E_s = h + \frac{v^2}{2g} \quad \dots\dots\dots (3.10)$$

keterangan:

E_s : Kehilangan energi (m)
 h : Tinggi muka air di hulu (m)
 v : Kecepatan aliran (m/s)
 g : Gravitasi (m/s^2)

Kecepatan aliran (v) dapat diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai

berikut:

$$v = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots (3.11)$$

keterangan:

- v : Kecepatan aliran (m/s)
 Q : Debit aliran (m³/s)
 A : Luas penampang basah (m²)

Setelah perhitungan kehilangan energi (Es) dilanjutkan dengan perhitungan kemiringan garis energi (If) dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$I_f = \frac{(nQ)^2}{A^2 R^3} \dots\dots\dots (3.12)$$

keterangan:

- I_f : Kemiringan garis energi
 n : koefisien *manning*
 Q : Debit aliran (m³/s)
 A : Luas penampang basah (m²)
 R : Jari-jari hidrolis (m)

Kemudian dilanjutkan dengan menghitung rata-rata kemiringan garis energi (I_{fr}) dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$I_{fr} = \frac{I_{f1} + I_{f2}}{2} \dots\dots\dots (3.13)$$

keterangan:

- I_{fr} : Rata-rata kemiringan garis energi
 I_f : Kemiringan garis energi

Setelah itu dilakukan perhitungan jarak antar tampang lintang (Δx) dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\Delta x = \frac{Es_2 - Es_1}{I_0 - I_{fr}} \dots\dots\dots (3.14)$$

keterangan:

Δx : Jarak antar tampang lintang (m)

Es : Kehilangan energi (m)

I_0 : Kemiringan saluran

I_{fr} : Rata-rata kemiringan garis energi

3.4 Perencanaan Tubuh Bendungan

3.4.1 Tipe Tubuh Bendungan

Pemilihan tipe tubuh bendungan tergantung pada jenis pondasi, panjang dan bentuk lembah, dan bahan bangunan yang tersedia di tempat yang akan di bangun bendungan. Tubuh bendungan dapat didesain berdasarkan beberapa tipe yaitu (Kasiro dkk, 1994):

1. Tipe urugan tanah homogen
2. Tipe urugan majemuk
3. Tipe pasangan batu/beton
4. Tipe komposit

a) Urugan Tanah Homogen

Tipe urugan tanah homogen merupakan tipe desain tubuh bendungan dengan bahan urugan seluruhnya atau sebagian besar hanya menggunakan satu jenis material. Material yang dapat digunakan untuk tipe ini yaitu lempung atau tanah berlempung. (Kasiro dkk, 1994)

b) Urugan Tanah Majemuk

Tipe urugan tanah majemuk dapat digunakan apabila tersedia material urugan lebih dari satu macam. Urugan terdiri dari urugan kedap air, urugan semi kedap air (transisi) dan urugan lulus air. (Kasiro dkk, 1994)

c) Pasangan Batu/Beton

Tipe urugan tanah majemuk dapat digunakan apabila pondasi tubuh bendungan terdiri dari satuan batu. Pada lembah yang memiliki topografi yang curam dan sempit, berbentuk V, tipe tubuh bendungan ini umumnya didesain menjadi satu dengan bangunan pelimpah yang terbuat dari material yang sama. (Kasiro dkk, 1994)

d) Komposit

Tipe urugan tanah majemuk dapat digunakan pada pondasi yang terdiri dari satuan batu, dengan lembah yang cukup panjang. Tubuh bendungan didesain menjadi satu dengan bangunan pelimpah. Bangunan pelimpah didesain dengan material batu/beton, sedangkan tubuh bendungan di kiri dan kanan bangunan pelimpah dapat didesain sebagai urugan tanah homogen atau urugan tanah majemuk. (Kasiro dkk, 1994)

3.4.2 Tinggi Tubuh Bendungan

Tinggi tubuh bendungan adalah perbedaan elevasi permukaan pondasi dengan elevasi mercu bendungan. Tinggi tubuh bendungan sama dengan tinggi muka air kolam saat kondisi penuh ditambah tinggi muka air kolam saat banjir, dan tinggi jagaan. Tinggi tubuh bendungan dapat diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Kasiro dkk, 1994):

$$H_d = H_K + H_b + H_f \dots\dots\dots (3.15)$$

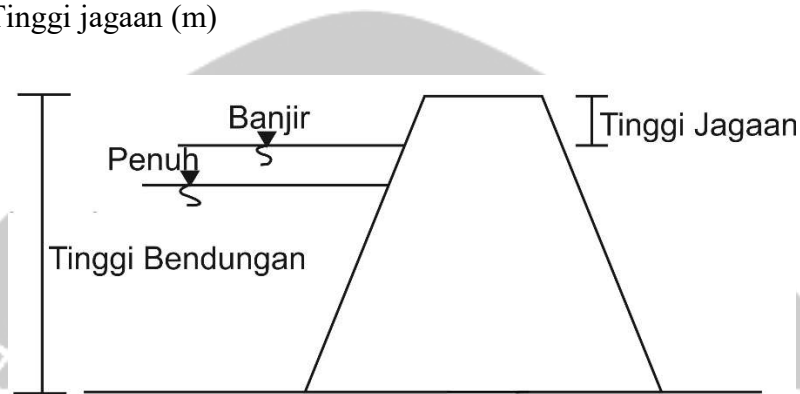
keterangan:

H_d : Tinggi tubuh bendungan desain (m)

H_K : Tinggi muka air kolam saat kondisi penuh (m)

H_b : Tinggi muka air kolam saat banjir (m)

H_f : Tinggi jagaan (m)



Gambar 3.2 Bendungan

3.4.3 Tinggi Jagaan

Tinggi jagaan adalah jarak vertikal antar muka air banjir dengan permukaan mercu bendungan. Tinggi jagaan didesain guna mencegah pelupan saat banjir terjadi. Tinggi jagaan tergantung dari tipe tubuh bendungan (embung) dan diambil seperti pada tabel:

Tabel 3.3 Tinggi Jagaan

| No | Tipe Bendungan | Tinggi Jagaan (m) |
|----|----------------------------|-------------------|
| 1. | Urugan Homogen dan Majemuk | 0,50 |
| 2. | Pasangan Batu/Beton | 0,00 |
| 3. | Komposit | 0,50 |

(Sumber: Kasiro dkk, 1994)

3.4.4 Lebar Mercu Bendungan

Lebar mercu bendungan yang memadai diperlukan agar tahan terhadap hempasan ombak dan dapat tahan terhadap aliran filtrasi yang melalui puncak tubuh bendungan. Disamping itu, penentuan lebar mercu juga perlu memperhatikan

kegunaannya sebagai jalan inspeksi/eksplorasi dan pemeliharaan pelimpah. Lebar minimum mercu bendungan (b) dapat diperoleh dengan rumus sebagai berikut (Sosrodarsono dan Takeda, 1989):

$$b = 3,6H^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots (3.16)$$

keterangan:

b : Lebar minimum mercu bendungan (m)

H : Tinggi bendungan (m)

Untuk bendungan kecil yang di atasnya digunakan untuk lalu lintas umum, maka di kiri dan kanan badan diberi bahu jalan masing-masing selebar 1 m dengan lebar mercu bendungan sebagai berikut (Kasiro dkk, 1994):

Tabel 3.4 Lebar Mercu Bendungan Kecil

| Tipe | Tinggi Bendungan (m) | Lebar Puncak (m) |
|---------------------|----------------------|------------------|
| Urugan | ≤ 5 | 2 |
| | 5 - 10 | 3 |
| Pasangan Batu/Beton | Maksimal 7 | 1 |

3.5 Volume Tampungan Embung

Volume tampung embung adalah banyaknya air yang dapat ditampung oleh suatu embung. Volume tampung embung dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut (Soedibyo, 2003):

$$V = \frac{1}{3}xHx(A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 + A_2}) \dots\dots\dots (3.17)$$

keterangan:

V : Volume

H : Beda tinggi antar penampang

A_1 : Luas penampang bawah

A_2 : Luas penampang atas

3.6 Selimut Kolam Embung

3.6.1 Selimut Lempung

Apabila di daerah sekitar embung terdapat material lempung, maka material tersebut dapat digunakan sebagai selimut kedap air yang paling murah. Material lempung yang paling baik digunakan termasuk dalam klasifikasi CH (*Clay High Plasticity*), namun tanah yang mengandung lempung minimal 25% berdasarkan beratnya sudah cukup baik untuk digunakan. Tebal selimut embung bila menggunakan lempung minimal 50 cm, terdiri dari tiga lapis yang dipadatkan dalam kondisi basah. Untuk melindungi selimut lempung terhadap retakan waktu kering, maka perlu dilindungi dengan hamparan pasir dan kerikil setebal 30 cm di atasnya. (Kasiro dkk, 1994)

3.6.2 Selimut Semen-Tanah

Selimut Kolam Embung yang kedap air dapat dibuat dengan menggunakan material setempat dan dicampur dengan semen (semen-tanah). Persentase semen yang digunakan dan ketebalan yang diperlukan perlu dilakukan percobaan terlebih dahulu. Untuk jenis tanah berpasir semen yang digunakan minimal 5% berdasarkan beratnya. Tebal minimal semen-tanah yang digunakan 30 cm yang dipadatkan sehingga menjadi 5 cm. (Kasiro dkk, 1994)

3.6.3 Selimut Bahan Sintetik

Material ini cenderung lebih mahal dibandingkan dua material sebelumnya. Bahan sintetik yang dapat digunakan adalah lapisan kedap air dari membran

fleksibel yang terbuat dari bahan dasar plastik (*polyethylene*) atau dari bahan karet (*butyl rubber*). Jenis membran fleksibel yang terbuat dari *polyethylene* (misal: *geomembrane*) dapat dipasang terbuka terhadap sinar matahari maupun cuaca sehingga tidak diperlukan pelindung. Sedangkan untuk selimut dari bahan *butyl rubber* harus dilindungi dari sinar matahari dan cuaca. Lapisan pelindung *butyl rubber* dapat berupa hamparan tanah (pasir kerikil), pasangan batu, atau semen-tanah. Selimut *polyethylene* jauh lebih murah daripada selimut *butyl rubber*.

Daerah yang akan diberi lapisan membran harus dibersihkan dari tanaman dan akar-akarnya, batu-batu tajam, dan obyek lain yang dapat merusak atau merobek membran. Sebelum lapisan membran dipasang, tempat-tempat yang akan diberi lapisan membran harus dipasang jaringan drainase dan dibiarkan kering sampai permukaannya cukup padat agar dapat menahan tekanan dari peralatan yang akan digunakan pada pelaksanaan. Seluruh tebing galian, dan urugan di tempat yang akan diberi lapisan membran harus mempunyai kemiringan yang seragam dan tidak boleh lebih curam dari 1V : 1H untuk lapirsan membran yang terbuka dan 1V : 3H untuk lapiran membran yang diberi sistem pelindung. Hal ini untuk mencegah terjadinya longsor pada sistem pelindung. (Kasiro dkk, 1994)

3.7 Analisis Stabilitas

3.7.1 Gaya yang Bekerja Pada Bangunan

Merupakan perhitungan konstruksi untuk menentukan ukuran (dimensi) bendungan agar dapat menahan muatan-muatan dan gaya-gaya yang bekerja padanya dalam keadaan apapun. Gaya-gaya yang akan berdampak pada stabilitas

bangunan antara lain berat bangunan (W_b), tekanan akibat air (E_h), tekanan tanah aktif (E_a), tekanan tanah pasif (E_p). Dalam perhitungan gaya-gaya yang bekerja dibedakan menjadi gaya vertikal dan gaya horisontal.

3.7.2 Gaya Vertikal yang Bekerja Pada Bangunan

Gaya yang bekerja secara vertikal pada bangunan salah satunya adalah gaya yang timbul akibat berat bangunan. Gaya yang timbul akibat dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

$$W_b = \text{volume bangunan} \times \gamma_{\text{material}} \quad \dots\dots\dots (3.18)$$

keterangan:

W_b : Gaya akibat berat bangunan (kN)

γ_{material} : Berat jenis material (kN/m³)

3.7.3 Gaya Horisontal yang Bekerja Pada Bangunan

Gaya yang bekerja secara horisontal pada bangunan diantaranya adalah tekanan akibat air (E_h), tekanan tanah aktif (E_a), tekanan tanah pasif (E_p). Rumus dapat ditunjukkan pada persamaan berikut:

a) Tekanan Akibat Air

$$E_h = 0,5 \times h \times \gamma_w \times h \quad \dots\dots\dots (3.19)$$

keterangan:

E_h : Energi tekanan air (kN)

h : Ketinggian lapisan

γ_w : Berat jenis air (kN/m³)

b) Koefisien Tanah Aktif

$$k_a = \tan^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right) \dots\dots\dots (3.20)$$

keterangan:

k_a : Koefisien tanah aktif

ϕ : Sudut geser dalam tanah ($^{\circ}$)

c) Koefisien Tanah Pasif

$$k_p = \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) \dots\dots\dots (3.21)$$

keterangan:

k_p : Koefisien tanah pasif

ϕ : Sudut geser dalam tanah ($^{\circ}$)

3.7.4 Stabilitas Terhadap Guling

Agar bangunan aman terhadap bahaya guling maka jumlah momen penahan yang bekerja pada bangunan harus lebih besar dari jumlah momen pengguling.

Stabilitas terhadap guling harus memenuhi syarat sebagai berikut:

$$\frac{\Sigma M_t}{\Sigma M_p} > SF \dots\dots\dots (3.22)$$

keterangan:

M_t : Momen penahan guling (kNm)

M_p : Momen penyebab guling (kNm)

SF : Angka aman

Tabel 3.5 Faktor Keamanan Terhadap Guling

| Kombinasi | Faktor Keamanan |
|-----------|-----------------|
| 1 | 1,5 |
| 2 | 1,3 |
| 3 | 1,3 |
| 4 | 1,1 |
| 5 | 1,2 |

(Sumber: Standar Perencanaan Irigasi KP- 06, 1986)

3.7.5 Stabilitas Terhadap Geser

Agar aman terhadap geser maka perbandingan jumlah gaya vertikal dengan jumlah gaya horisontal dikali koefisien gesek harus lebih besar sama dengan dari angka aman. Stabilitas terhadap geser harus memenuhi syarat sebagai berikut:

$$\frac{f \Sigma V}{\Sigma H} \geq SF \quad \dots\dots\dots (3.23)$$

keterangan:

f : Koefisien gesekan

ΣV : Jumlah gaya vertikal (kN)

ΣH : Jumlah gaya horisontal (kN)

Tabel 3.6 Harga-Harga Perkiraan Koefisien Gesekan

| Bahan | f |
|----------------------------------|----------|
| Pasangan batu pada pasangan batu | 0,6-0,75 |
| Batu keras berkualitas baik | 0,75 |
| Kerikil | 0,50 |
| Pasir | 0,40 |
| Lempung | 0,30 |

(Sumber: Standar Perencanaan Irigasi KP- 02, 1986)

Tabel 3.7 Faktor Keamanan Terhadap Geser

| Kombinasi | Faktor Keamanan |
|-----------|-----------------|
| 1 | 1,5 |
| 2 | 1,3 |
| 3 | 1,3 |
| 4 | 1,1 |
| 5 | 1,2 |

(Sumber: Standar Perencanaan Irigasi KP- 06, 1986)