

## Topik 9. Drainase Permukaan

### Pendahuluan

Tujuan instruksional khusus: (a) mahasiswa mampu memahami perhitungan modulus drainase, puncak limpasan dan dimensi saluran terbuka; (b) mampu merancang sistim drainase permukaan

### Bahan Ajar

Bahan Ajar terdiri dari; (1) Drainase Permukaan, (2) Pendugaan Puncak Limpasan, (3) Teknik Drainase Permukaan

## 1. DRAINASE PERMUKAAN



### 3 DRAINASE PERMUKAAN

Oleh

**Dedi Kusnadi Kalsim**

Laboratorium Teknik Tanah dan Air, FATETA IPB

Po Box 220 Bogor 16002, Telp (0251) 627.225, E-mail: dedkus@telkom.net

---

### 3.1 PENDAHULUAN

Berdasarkan peruntukannya drainase dapat dibagi kedalam: (1) Drainase lahan pertanian; (2) Drainase perkotaan; (3) Drainase lapangan terbang; (4) Drainase lapangan olah-raga. Berdasarkan sifatnya diklasifikasikan dalam : (1) Drainase alami (*natural drainage*) dan (2) Drainase buatan (*man-made drainage*). Berdasarkan sasaran pengendaliannya, drainase dapat dibedakan dalam (1) drainase permukaan (*surface drainage*) dan (2) drainase bawah permukaan (*sub-surface drainage*). Drainase permukaan menitik beratkan pada pengendalian genangan air di atas permukaan tanah, sedangkan drainase bawah-permukaan pada kedalaman air-tanah di bawah permukaan tanah. Pada kuliah ini akan dibahas drainase lahan pertanian, terutama dalam bentuk drainase buatan dengan sebanyak mungkin memanfaatkan drainase alamiah yang ada.

Drainase lahan pertanian didefinisikan sebagai pembuatan dan pengoperasian suatu sistem dimana aliran air dalam tanah diciptakan sedemikian rupa sehingga baik genangan maupun kedalaman air-tanah dapat dikendalikan sehingga bermanfaat bagi kegiatan usaha-tani. Definisi lainnya: drainase lahan pertanian adalah suatu usaha membuang “kelebihan air” secara alamiah atau buatan dari permukaan tanah atau dari dalam tanah untuk menghindari pengaruh yang merugikan terhadap pertumbuhan tanaman. Pada lahan bergelombang drainase lebih berkaitan dengan pengendalian erosi, sedangkan pada lahan rendah (datar) lebih berkaitan dengan pengendalian banjir (*flood control*).

### 3.2 ANALISIS PENGARUH DRAINASE TERHADAP PERTANIAN

Tujuan Drainase pertanian adalah reklamasi (pembukaan) lahan dan pengawetan tanah untuk pertanian, menaikkan produktivitas tanaman dan produktivitas lahan (menaikkan intensitas tanam dan memungkinkan diversifikasi tanaman) serta mengurangi ongkos

### Teknik Irigasi dan Drainase

produksi. Tujuan tersebut di atas dicapai melalui dua macam pengaruh langsung dan sejumlah besar pengaruh tidak langsung (Gambar 1). Pengaruh langsung terutama ditentukan oleh kondisi hidrologi, karakteristik hidrolis tanah, rancangan sistim drainase yakni : a. Penurunan muka air tanah di atas atau di dalam tanah, b. Mengeluarkan sejumlah debit air dari sistim. Pengaruh tak-langsung ditentukan oleh iklim, tanah, tanaman, kultur teknis dan aspek sosial dan lingkungan. Pengaruh tak-langsung ini dibagi kedalam pengaruh berakibat positif dan yang berakibat negatif (berbahaya).

Pengaruh tak-langsung dari pembuangan air :

a. Pengaruh positif :

- Pencucian garam atau bahan-bahan berbahaya dari profil tanah
- Pemanfaatan kembali air drainase

b. Pengaruh negatif :

- Kerusakan lingkungan di sebelah hilir karena tercemari oleh garam
- Gangguan terhadap infrastruktur karena adanya saluran-saluran

Pengaruh tak-langsung dari penurunan muka air tanah :

a. Pengaruh positif :

- Mempertinggi aerasi tanah
- Memperbaiki struktur tanah
- Memperbaiki ketersediaan Nitrogen dalam tanah
- Menambah variasi tanaman yang dapat ditanam
- Menambah kemudahan kerja alat dan mesin pertanian (*Workability*)
- Mempertinggi kapasitas tanah untuk menyimpan air

b. Pengaruh negatif :

- Dekomposisi tanah gambut (*peat soil*)
- Penurunan permukaan tanah (*Land subsidence*)
- Oksidasi *cat-clay*

Pengaruh positif dan negatif harus dipertimbangkan dalam evaluasi ekonomi seperti tergambar dalam diagram Gambar 3.1. Untuk melihat secara kuantitatif pengaruh drainase terhadap produksi pertanian, seseorang dapat melakukan suatu percobaan dengan memvariasikan rancangan drainase dan mengukur produksi tanaman. Suatu prosedur langsung seperti ini dapat digambarkan seperti pada Metoda A (Gambar 3.2). Variable keteknikan (*engineering*) tergantung pada tipe drainase yang digunakan seperti pada Tabel 3.1 di bawah ini.

Metoda A hanya berlaku untuk suatu daerah tertentu dan tidak dapat diaplikasikan untuk daerah lainnya karena hubungan A sangat tergantung pada tipe tanah, iklim, hidrologi, topografi, kultur teknis tanaman. Untuk mendapatkan aplikasi yang lebih luas, maka perlu diintrodusir suatu variabel lain seperti pada B dan C.

Tabel 3.1. Contoh variable keteknikan dalam drainase

Tipe Drainase	Variabel keteknikan
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Drainase bawah permukaan, gravitasi</li> <li>• Drainase bawah permukaan, dengan sumur pompa</li> <li>• Drainase permukaan, preventif</li> <li>• Parit, kolektor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kedalaman, spasing, ukuran pipa</li> <li>• kedalaman, spasing, kapasitas pompa</li> <li>• panjang dan kemiringan lahan</li> <li>• dimensi, kemiringan saluran</li> </ul>

Hubungan B merupakan pengaruh langsung dari drainase dan merupakan karakteristik fisik-hidrolik sehingga dapat dikembangkan rumus-rumus untuk memecahkannya dan dapat berlaku secara umum. Hubungan C hanya bersifat regional, tidak dapat diberlakukan secara umum. Untuk mendapatkan aplikasi yang lebih luas hubungan C harus dipecah lagi dengan menambahkan pengaruh tak-langsung dari drainase D dan E (Gambar 3.5). Suatu contoh hubungan C di Inggris adalah data produksi *winter wheat* pada berbagai kedalaman air tanah pada waktu musim *winter* seperti pada Gambar 3.4. Dari gambar 3.4 kelihatan bahwa pada kondisi di daerah tersebut suatu rancangan drainase untuk menurunkan air tanah lebih dalam dari 60 cm merupakan drainase yang berlebihan.

Untuk mendapatkan aplikasi yang lebih luas maka hubungan C harus dipecah kedalam hubungan lainnya dengan bantuan variabel tambahan untuk menggambarkan pengaruh tak-langsung drainase. Prosedur seperti ini digambarkan dalam Gambar 3.5. Hubungan E dispesifikasi lebih rinci pada Gambar 3.6.

Dari uraian di atas terlihat bahwa drainase lahan pertanian adalah merupakan interdisiplin dari berbagai ilmu. Pada suatu proyek drainase beberapa aspek berikut ini perlu diperhitungkan :

- Pedology dan pertanian (kondisi tanah, produktivitas tanaman, operasi usahatani, irigasi)
- Hidrologi dan Geologi (neraca air permukaan dan bawah permukaan, kondisi aquifer)
- Hidrolik (aliran air-tanah dan saluran terbuka dalam kaitannya dengan gradient hidrolik)
- Teknologi (mesin dan bahan)
- Ekonomi (B/C ratio, pembiayaan)
- Sosio-Ekonomi (organisasi petani, sikap petani, hukum, distribusi keuntungan dan biaya)
- Lingkungan (sumber daya alami, ekologi).

### 3.3 DRAINASE, FISIKA TANAH DAN PERTUMBUHAN TANAMAN

#### 3.3.1 Fisika Tanah

##### 3.3.1.1 Aerasi tanah

Akar tanaman memerlukan oksigen untuk respirasi dan aktifitas metabolisme lainnya. Ia menyerap air dan hara tanah dan menghasilkan CO<sub>2</sub> yang harus dipertukarkan dengan O<sub>2</sub> dari atmosfer. Proses aerasi terjadi dengan difusi dan aliran massa yang memerlukan ruang pori tanah. Apabila akar berkembang dengan baik maka air dan hara harus tersedia secara bersamaan.

Pori tanah terdiri dari pori kapiler untuk penyimpanan air dan pori non-kapiler untuk pertukaran gas. Pada tanah liat berat meskipun ruang pori sebesar 60% atau lebih, hampir semua ruang pori termasuk pori kapiler. Pori tersebut apabila dalam keadaan jenuh air tidak mudah untuk didrainasekan. Sebaliknya pada tanah berpasir seringkali pori kapiler sangat kecil jumlahnya, sehingga mudah didrainasekan akan tetapi air yang dapat ditahan untuk tanaman sedikit sekali.

Pada saat perkecambahan, benih mengabsorpsi air dan akar berkembang sehingga mampu mengabsorpsi air pada kedalaman tanah yang lebih dalam. Apabila selama perkembangannya menemui tanah jenuh air, maka perkembangan akar akan terhambat.

Pada situasi muka air tanah yang dangkal maka pertumbuhan akar akan:

- Perakaran lebih pendek, sistem perakaran menempati volume tanah yang kecil dan kadang-kadang akar berkembang ke arah atas
- Pembentukan bulu-bulu akar terhambat
- Laju absorpsi air dan hara dan laju transpirasi akan berkurang.

Akibatnya :

- Daun akan memucat (menguning)
- Proses reproduktif terhambat, bunga dan buah muda jatuh premature.

Aerasi dan kondisi lengas tanah yang baik pada sebagian besar profil tanah akan merangsang pertumbuhan dan perkembangan akar ke semua arah sehingga mampu mengekstrak air dan hara dalam jumlah besar. Suatu gambaran rata-rata penetrasi akar pada kondisi lengas tanah yang optimum dinyatakan pada tabel di bawah ini (van de Goor, 1972) . Penyimpangan dari angka rata-rata tersebut seringkali dijumpai karena adanya perbedaan jenis tanah dan varietas tanaman. Volume akar tidak menyebar seragam ke seluruh kedalaman akar, akan tetapi umumnya sekitar 70% dari volume akar terdapat pada lapisan pertama dengan kedalaman 30 cm sampai 60 cm di bawah tanah.

### 3.3.1.2 Struktur Tanah

Struktur tanah (agregasi dan penyusunan partikel tanah) yang baik berarti kondisi yang menguntungkan untuk aerasi dan simpanan lengas tanah, dan juga hambatan mekanik pertumbuhan akar akan berkurang dan tercipta stabilitas traksi untuk peralatan pertanian. Drainase mempengaruhi struktur tanah melalui pengaruhnya terhadap level muka air tanah.

Tabel 3.2 . Rata-rata kedalaman perakaran tanaman pada kondisi lengas tanah optimum (van de Goor, 1972)

Tanaman	Kedalaman (cm)
bawang, kubis, kacang-kacangan	30 - 60
kentang, terong	60
cabe	60 - 90
kelapa, sawit	60 - 120
jagung, tebu, melon, jeruk	150 - 180
kapas	120

### 3.3.1.3 Suhu tanah

Penurunan lengas tanah dan bertambahnya kandungan udara akibat drainase, menghasilkan penurunan panas spesifik tanah. Air memerlukan panas 5 kali lebih besar untuk menaikkan suhu dari pada tanah kering. Akibatnya tanah basah dengan lengas tanah sekitar 50% akan memerlukan panas sekitar 2,5 kali lebih besar dari pada tanah kering. Untuk perkecambahan benih diperlukan suhu tanah tertentu.

### 3.3.1.4 Kemampuan kerja (*workability*) dan Daya Sangga (*bearing capacity*)

Untuk pengolahan tanah diperlukan lengas tanah sekitar kapasitas lapang atau sedikit di bawah kapasitas lapang. Pada penggunaan alat/mesin mekanis, jumlah hari kerja operasi alat perlu mendapatkan perhatian. Drainase meningkatkan jumlah hari kerja peralatan. Tergantung pada jenis traktornya umumnya traktor roda empat akan mampu beroperasi di lapang jika daya sangganya lebih dari 5 kg/cm<sup>2</sup>. Semakin besar kadar air tanah daya sangganya semakin kecil.

Pengalaman di daerah irigasi di Jalur Pantura (Pantai Utara) menunjukkan bahwa karena kurangnya saluran drainase di lahan sawah, maka pengolahan tanah pada waktu MT2 tidak dapat dilakukan lebih awal sesuai dengan jadwal irigasi. Perlu waktu sekitar 1 - 2 bulan setelah panen MT1, dimana air dapat dibuang sehingga traktor dapat masuk dan bekerja di petakan sawah. Begitu juga 2 minggu menjelang panen, drainase tidak bekerja optimum sehingga tanah masih tetap basah akibatnya *Combine Harvester* tidak dapat bekerja.

### 3.3.1.5 Penurunan Tanah (*subsidence*)

Penurunan tanah akibat drainase terutama terjadi pada tanah yang baru dibuka (direklamasi). Untuk tanah gambut *subsidence* terjadi akibat dari drainase yang disebabkan oleh sifat-sifat fisika dan kimia (oksidasi bahan organik). Pada tanah gambut, drainase dapat mempercepat proses pematangan tanah.

Tabel 3.3. Produksi berbagai tanaman pada berbagai kedalaman air-tanah (van Hoorn, 1958)

Tanaman	Jumlah tahun	Hasil Relatif (%) pada berbagai kedalaman air-tanah (cm)					Hasil (kg/ha)
		40	60	90	120	150	
		40	60	90	120	150	100%
Gandum	6	58	77	89	95	100	4.600
Barley	5	58	80	89	95	100	4.100
Oats	3	49	74	85	99	100	5.000
Peas	4	50	90	100	100	100	2.750
Beans	3	79	84	90	94	100	3.100
Kentang	1	90	100	95	92	96	26.000

## 3.3.2 Kimia Tanah

### 3.3.2.1 Pasok (*supply*) Hara

Berbagai aktifitas mikro-organisma dan bakteri tergantung pada aerasi yang baik. Fiksasi Nitrogen dan Nitrifikasi adalah dua prinsip proses aerobik yang berpengaruh penting pada

## Teknik Irigasi dan Drainase

pertumbuhan tanaman. Semakin dalam penetrasi akar maka semakin banyak hara yang tersedia untuk tanaman. Dekomposisi bahan organik oleh mikroba akan terjadi pada drainase yang baik sehingga ketersediaan hara akan lebih baik pula. Dalam keadaan anaerobik akan terjadi penumpukan Mn dan Fe yang berbahaya untuk tanaman.

Penggenangan terus-terusan pada padi akan menghasilkan akumulasi  $H_2S$  yang berbahaya untuk tanaman. drainase sewaktu-waktu dapat menghindari akumulasi tersebut. Pada tanah dengan muka air tanah dangkal maka daun akan menguning sebagai indikasi kekurangan N. Pengaruh drainase terhadap produksi jagung dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

### 3.3.2.2 Salinitas dan Alkalinitas Tanah

Salinitas tanah berkaitan dengan konsentrasi tinggi dari garam terlarut dalam lengas tanah pada daerah perakaran. Konsentrasi garam terlarut yang tinggi ini menyebabkan tekanan osmotik yang tinggi sehingga mempengaruhi pertumbuhan tanaman dengan cara menghambat pengisapan air oleh akar. Pada tanah dengan konsentrai Na yang tinggi (alkalinitas) biasanya disertai dengan pH tinggi ( $pH > 9$ ) juga mempengaruhi kondisi fisik tanah akibat dari dispersi partikel liat. Hasilnya adalah struktur tanah yang jelek. Hal ini akan mengurangi laju infiltrasi dan perkolasi tanah dan juga mengurangi laju difusi gas.

Pengaruh utama salinitas pada pertumbuhan dan produksi tanaman adalah :

- Perkecambahan benih akan terhambat
- Secara fisiologis tanaman akan kering dan layu
- Pertumbuhan tanaman terhambat, daun kecil, ruas pendek dan percabangan sedikit.
- Daun berwarna hijau kebiruan
- Pembungaan terhambat, biji lebih kecil
- Sebagai akibatnya produksi juga akan berkurang.

Tabel 3.4. Produksi jagung (kg/ha) dalam kaitannya dengan kondisi drainase dan pemupukan Nitrogen (Sumber: Shalhevet dan Zwerman, 1962)

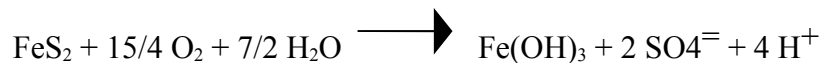
Pemupukan	Kondisi Drainase		
	Baik	Sedang	Buruk
$NO_3^-$	2.800	2.036	1.190
$NH_4^+$	3.320	1.895	591
Tanpa	2.843	931	249

Toleransi tanaman terhadap salinitas dinyatakan dengan konduktivitas listrik ekstrak jenuh tanah (ECe dalam mmho/cm) di daerah perakaran tanaman. Berdasarkan percobaan di lapangan beberapa tanaman seperti gandum, padi, oat dan rye tahan pada ECe = 4 - 8 mmhos/cm. Tanaman lainnya seperti kapas, sayuran, kurma tahan pada ECe = 8 - 16 mmhos/cm (Tabel 3.5). Beberapa pengarang menyatakan salinitas dalam satuan dS/m (desi Siemens/m). Konversi satuan ini  $dS/m = mS/cm$  (mili Siemens/cm = mmhos/cm)

### 3.3.2.3 Kemasaman (*Acidity*)

Pada tanah yang mengandung *pyrite* atau disebut juga *cat-clay* ( $FeS_2$ ) maka dengan drainase akan terjadi oksidasi membentuk  $H_2SO_4$  sehingga pH tanah kurang dari 3 (masam). Proses tersebut disertai juga dengan terbentuknya  $Fe^{++}$  dan  $Al^{+++}$  yang mudah

larut (*soluble*) dan berbahaya pada tanaman. Proses ini terutama terjadi di daerah pasang-surut. Proses tersebut digambarkan dengan reaksi kimia sebagai berikut :



Proses pemasaman tanah terjadi, dan pada kondisi masam terjadi pembongkaran kisi-kisi mineral liat sehingga dilepaskan  $\text{Al}^{3+}$  yang bersifat racun bagi tanaman. Lahan bersulfat masam biasanya sering terjadi di daerah pasang-surut, sehingga proses drainase harus dijaga sedemikian rupa supaya oksidasi lapisan pirit ini tidak terjadi. Budidaya padi di mana selalu dalam keadaan tergenang biasanya masih dapat dilakukan di lahan tersebut walaupun hasilnya tidak begitu memuaskan. Drainase permukaan dengan pencucian (*leaching*) pada musim hujan pada jangka waktu panjang dapat membantu reklamasi lahan sulfat masam.

Sebagai tentatif kedalaman air tanah optimum untuk berbagai jenis tanaman pada berbagai jenis tekstur tanah dapat dilihat pada Tabel 3.6 di bawah ini.

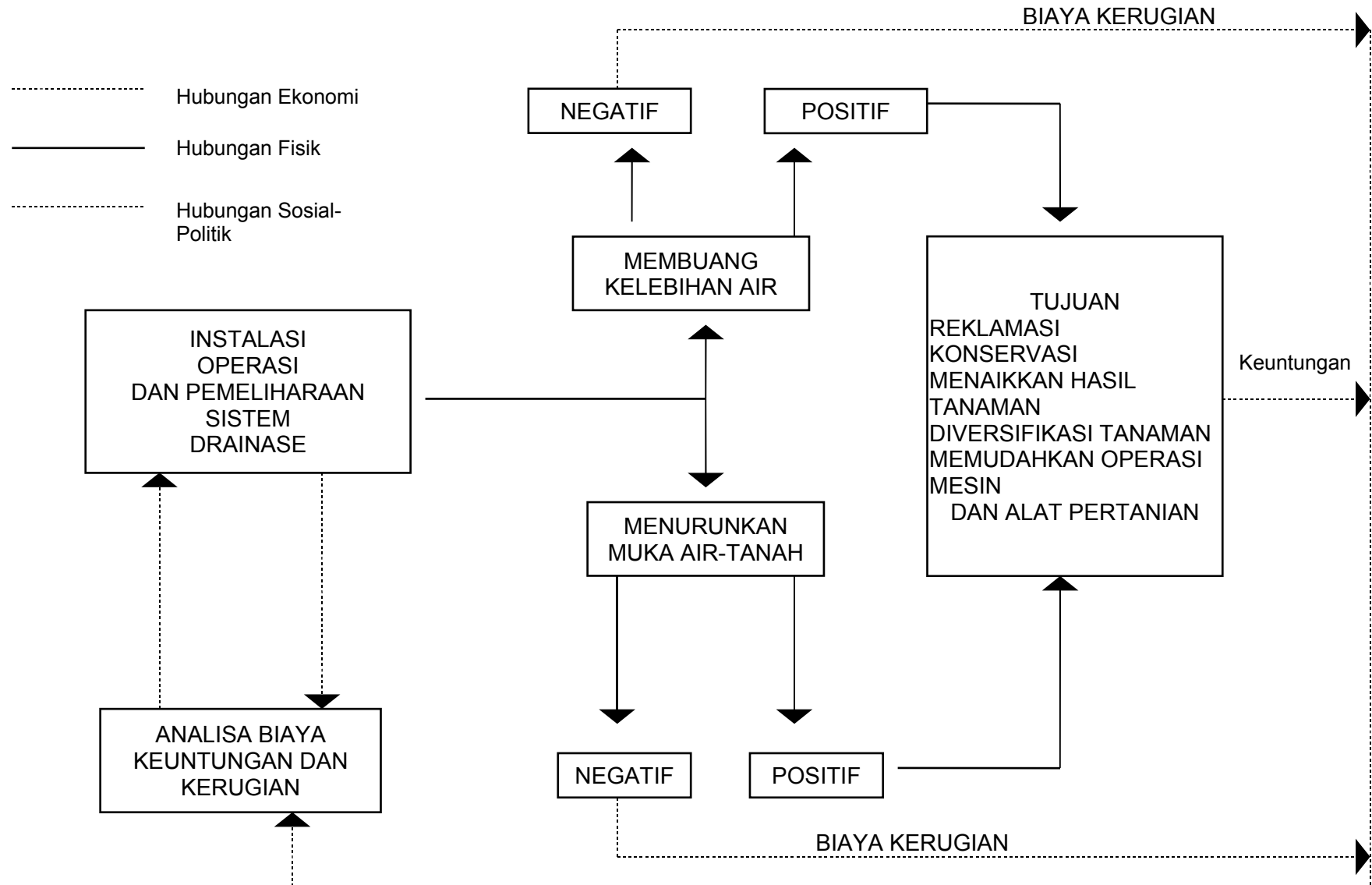
Tabel 3.5. Toleransi Salinitas Tanah dan pH Pada Berbagai Jenis Tanaman<sup>1</sup>

TANAMAN	SALINITAS (mmhos/cm) pada pengurangan produksi (%)					PH	
	0	10	25	50	100	KISARAN	OPTIMUM
Buncis	1	1,5	2,3	3,6	6,5	5,2 - 8,2	6,0 - 7,0
Cabai	1,5	2,2	3,3	5,1	8,5	5,2 - 8,2	6,0 - 7,6
Jagung	1,7	2,5	3,8	5,9	10	5,2 - 8,5	5,8 - 7,8
Kacang Tanah	3,2	3,5	4,1	4,9	6,5	5,4 - 8,2	6,0 - 7,5
Kedelai	5	5,5	6,2	7,5	10	5,2 - 8,2	5,5 - 7,5
Kelapa	4	8	12	16	25	4,5 - 8,5	5,2 - 7,5
Nenas	0,5	1	2	3	6	4,0 - 7,8	5,0 - 6,5
Padi	3	3,8	5,1	7,2	12	4,5 - 8,2	5,5 - 7,5
Sawit	0,5	1	2	3	8	3,5 - 7,5	5,0 - 6,5
Semangka	2,5	3,3	4,4	6,3	10	5,0 - 8,2	5,6 - 7,6
Tomat	2,5	3,5	5	7,6	12,5	5,0 - 8,2	6,0 - 7,5

Tabel 3.6. Tentatif kedalaman air-tanah optimum

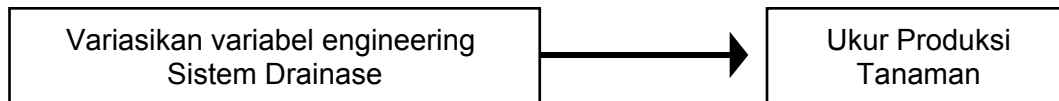
Jenis Tanaman	Tekstur Tanah		
	Berpasir ( <i>sandy</i> )	Lempung/debu ( <i>loam/silt</i> )	Liat ( <i>clay</i> )
Rumput-rumputan	0,5	0,6	0,7
Biji-bijian, tebu	0,6	0,7	0,8
Tanaman berumbi, serat-seratan, minyak biji, sayuran	0,8	0,9	1,0
Buah-buahan (pohon)	1,0	1,2	1,4
Lahan yang diberakan untuk sementara dengan kenaikan kapiler dari air-tanah yang salin	1,2	1,5	1,3

<sup>1</sup> Sumber: Sys C.; E. Van Ranst; J. Debaveye; F. Beernaert, 1993. Land Evaluation Part III: Crop Requirements. Agricultural Publications No 7. General Administration for Development Cooperation. Belgium

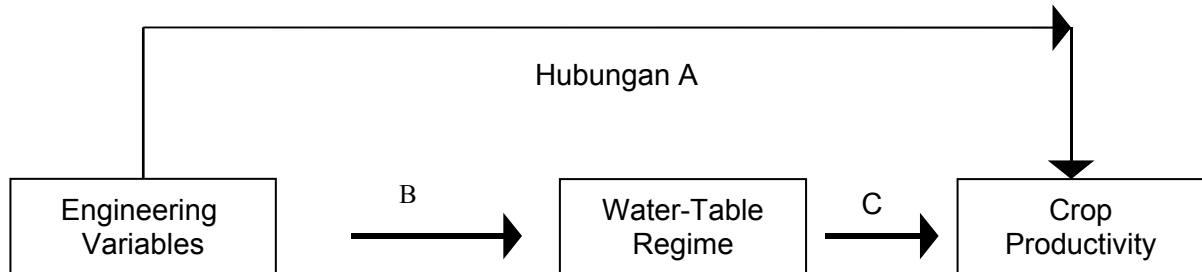


Gambar 3.1. Diagram pengaruh drainase pada pertanian dan evaluasi ekonomi

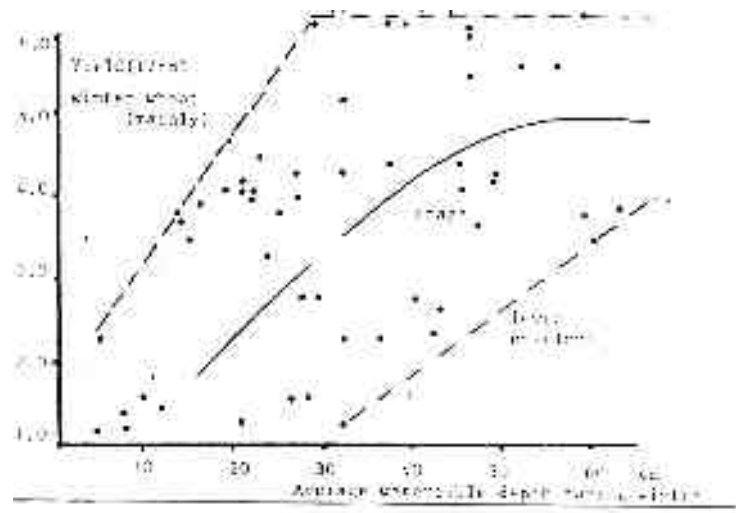




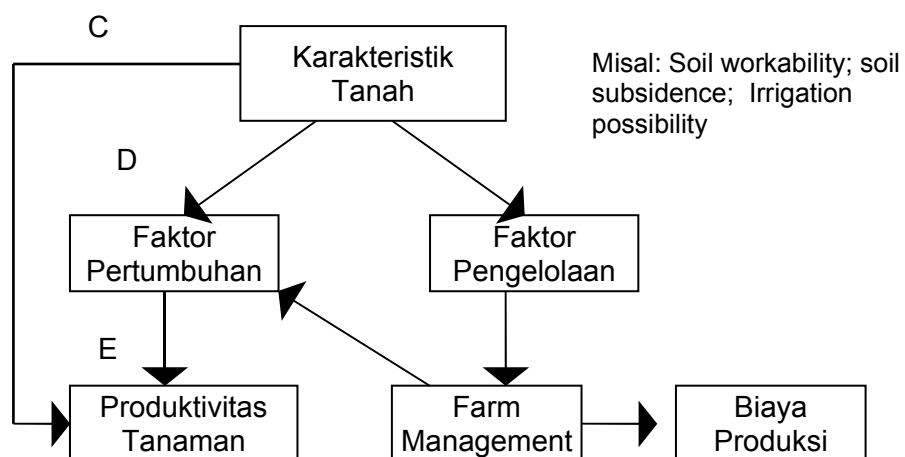
Gambar 3.2. Metoda A



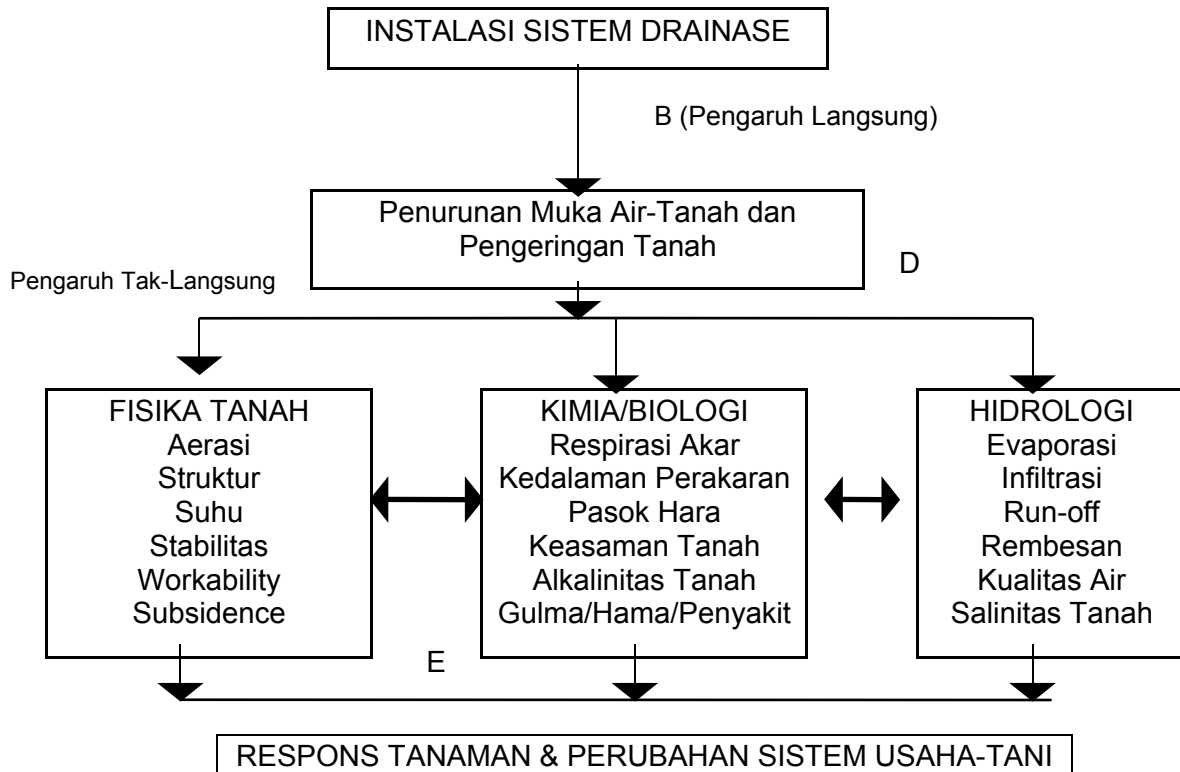
Gambar 3.3. Pemecahan A menjadi B dan C



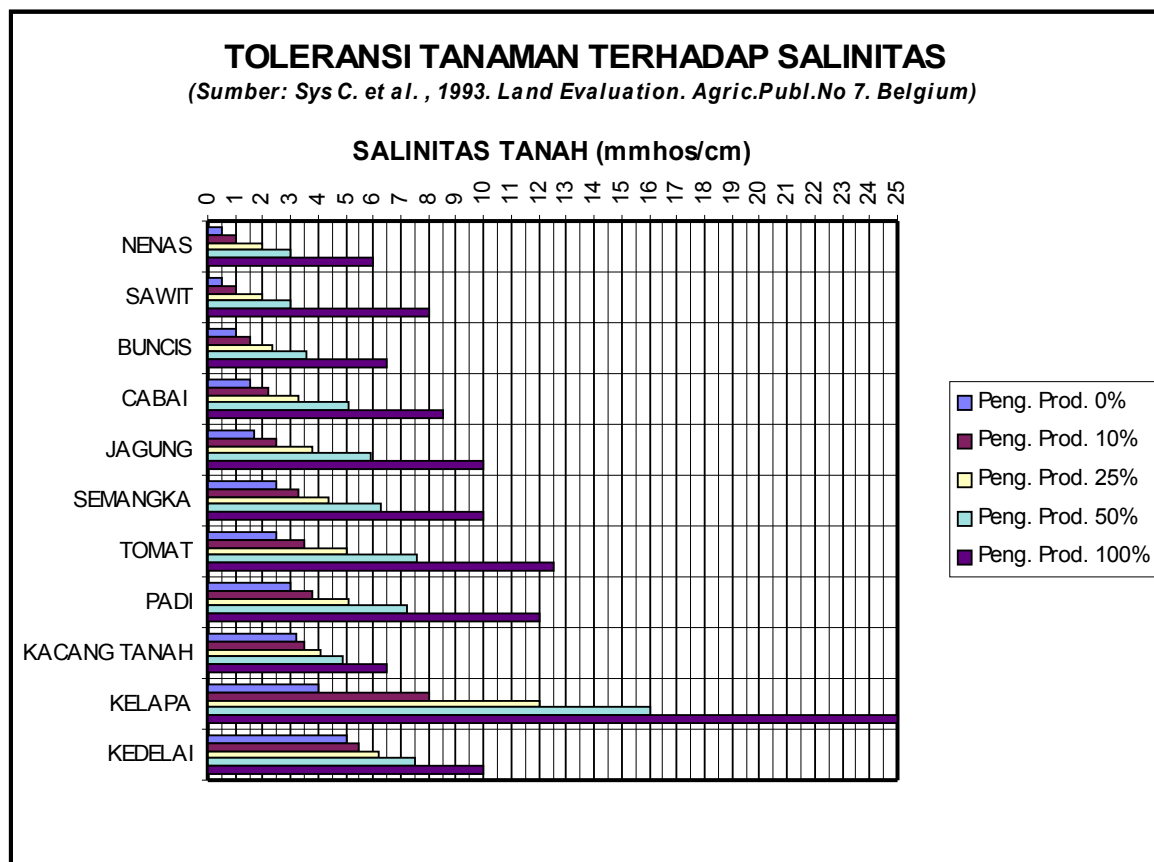
Gambar 3.4. Hubungan C (Departemen Pertanian Inggris, berdasarkan pengamatan pada tanah liat Drayton selama 5 tahun)



Gambar 3.5. Hubungan C dipecah Menjadi D dan E



Gambar 3.6. Faktor-faktor dalam hubungan D dan E pada Gambar 3.5



2. **PENDUGAAN PUNCAK LIMPASAN****4 PENDUGAAN PUNCAK LIMPASAN**

Oleh

**Dedi Kusnadi Kalsim**

Laboratorium Teknik Tanah dan Air, FATETA IPB

Po Box 220 Bogor 16002, Telp (0251) 627.225, E-mail: tta@bogor.wasantara.net.id

**4.1 Metoda Rasional**

Metoda rasional menyatakan bahwa puncak limpasan pada suatu DAS akan diperoleh pada intensitas hujan maksimum yang lamanya sama dengan waktu konsentrasi ( $T_c$ ). Waktu konsentrasi adalah lamanya waktu yang diperlukan untuk pengaliran air dari yang paling ujung dari suatu DAS sampai ke outlet. Apabila lama hujannya kurang dari waktu konsentrasi, maka intensitasnya kemungkinan lebih besar akan tetapi luas DAS yang memberikan kontribusi terhadap debit akan lebih kecil dari total luas DAS ( $A$ ). Apabila lama waktu hujan lebih besar dari waktu konsentrasi maka luas areal sama dengan total luas DAS ( $A$ ) tetapi intensitasnya kurang dari intensitas hujan pada lama hujan sama dengan  $T_c$ .

Rumus metoda Rasional dinyatakan :

a. Untuk satuan seragam

$$Q = C.i.A \quad /4.1/$$

dimana  $Q$  : puncak limpasan ( $L^3 T^{-1}$ );  $C$  : koefisien limpasan ( $0 < C < 1$ );  $i$  : intensitas hujan maksimum dengan lama hujan sama dengan waktu konsentrasi ( $L.T^{-1}$ );  $A$ : luas DAS ( $L^2$ ).

b. Dalam satuan khusus di mana  $i$  dalam mm/jam;  $A$  dalam hektar dan  $Q$  dalam  $m^3/det$ , maka rumus tersebut dinyatakan:

$$Q = 0.0028 C.i.A \quad /4.2/$$

Untuk pendugaan waktu konsentrasi ( $T_c$ ) terdapat beberapa metoda :

a. **Metoda Kirpich (1940) :**

$$T_c = 0.0195 L^{0.77} S^{-0.385} \quad /4.3/$$

$T_c$  : waktu konsentrasi (menit);  $L$ : maksimum panjang aliran (m);  $S$ : gradient DAS (meter perbedaan elevasi dibagi meter panjang ( $L$ ))

b. **Rumus Rhiza**

$$T_1 = \frac{L}{w_1} \quad (\text{detik}) \quad /4.4a/$$

$$w_1 = 20 \left( \frac{h}{L} \right)^{0.6} \quad (\text{m/det}) \quad /4.4b/$$

**atau**

$$T_2 = \frac{L}{w_2} \quad (\text{jam}) \quad /4.4c/$$

$$w_2 = 72 \left( \frac{h}{L} \right)^{0.6} \quad (\text{km/jam}) \quad /4.4d/$$

Tabel 4.1 . Waktu konsentrasi (menit) untuk DAS kecil (Berdasarkan rumus Kirpich)

Panjang aliran max (m)	Rata-rata gradient (%)					
	0.05	0.1	0.5	1	2	5
100	12	9	5	4	3	2
200	20	16	8	7	5	4
500	44	34	17	14	10	8
1000	75	58	30	24	18	13
2000	130	100	50	40	31	22
3000	175	134	67	55	42	30
4000	216	165	92	70	54	38
5000	250	195	95	82	65	45

**c. Kraven**

Sama dengan Rhiza hanya kecepatan aliran dinyatakan sebagai berikut :

<u>Slope</u>	<u>w1 (m/det)</u>
> 1/100	3.5
1/100 - 1/200	3.0
< 1/200	2.1

**d. California Highway Department (1942)**

$$T = \left( \frac{11.9 L^3}{H} \right)^{0.385} \quad /4.5/$$

T : waktu konsentrasi (jam); L : jarak horizontal (mile); H : beda tinggi (feet).

- e. Untuk pendugaan intensitas hujan dengan lama hujan kurang dari 24 jam di Jepang digunakan rumus empirik dari **Mononobe** :

$$r_t = \frac{R_{24}}{24} \left( \frac{24}{t} \right)^n \quad /4.6/$$

$r_t$  : intensitas hujan dengan t jam (mm/jam);  $R_{24}$  : maksimum hujan 24 jam (mm); n : koefisien yang besarnya antara 1/3 - 2/3

Di Indonesia dikenal suatu metoda rasional yang disebut metoda **Melchior** (1914) dan metoda **Der Weduwen** (1937). Secara umum metoda Rasional ditulis sebagai :

$$Q_n = a.b.q_n.A \quad /4.7/$$

$Q_n$  : puncak limpasan ( $m^3/det$ ) untuk perioda ulang tertentu;  $a$  : koefisien limpasan;  $b$ : koefisien pengurangan luas daerah hujan;  $q_n$ : curah hujan dalam  $m^3/(det.km^2)$  dengan perioda ulang tertentu;  $A$  : luas DAS ( $km^2$ ).

Untuk menghitung  $Q_n$  ada 2 metoda yang dapat digunakan :

- (1) Metoda **Der Weduwen** untuk luas DAS sampai  $100 km^2$  (10.000 hektar)
- (2) Metoda **Melchior** untuk luas DAS lebih besar dari  $100 km^2$ .

Kedua metoda tersebut telah menetapkan hubungan empiris  $a$ ,  $b$  dan  $q_n$ . Waktu konsentrasi dinyatakan sebagai fungsi dari debit puncak, panjang sungai dan kemiringan rata-rata DAS.

#### (1) Metoda Melchior (1914):

Curah hujan  $q_n$  dinyatakan sebagai intensitas hujan rata-rata sampai terjadinya debit puncak yang lamanya sama dengan waktu konsentrasi ( $T$ ). Curah hujan  $q_n$  dinyatakan sebagai hujan terpusat (*point rainfall*) dan dikonversikan ke luas daerah hujan dengan  $b.q$ . Dalam Gambar 4.1, luas daerah hujan  $b.q$  ( $m^3/(det.km^2)$ ) dinyatakan sebagai fungsi waktu lama hujan (jam) dan luas daerah hujan  $F$  ( $km^2$ ) untuk curah hujan sehari sebesar 200 mm.

$b.q$  untuk  $F = 0$  dan  $T = 24$  jam, dihitung sebagai berikut :

$$b.q = \frac{0.2 \times 1000 \times 1000}{24 \times 3600} = 2.31 \quad m^3/(det.km^2)$$

Bila curah hujan dalam sehari  $q_n$  berbeda dengan 200 mm, maka harga pada Gambar tersebut akan berubah secara proporsional, misalnya untuk hujan = 240 mm, maka harga  $b.q_n$  dari  $F = 0$  dan  $T = 24$  jam akan menjadi

$$b.q_n = 2.31 \times (240/200) = 2.77 \quad m^3/(det.km^2)$$

Variasi luas daerah hujan diperkirakan berbentuk bundar atau elips (Gambar 2). Untuk menemukan luas daerah hujan di suatu DAS, sebuah elips digambar mengelilingi batas-batas DAS. Panjang sumbu yang pendek minimal harus  $2/3$  dari sumbu terpanjang. Garis elips tersebut mungkin memintas ujung DAS yang memanjang. Luas elips  $F$  ( $\pi.a.b$ ) digunakan untuk menentukan harga  $b.q_n$  untuk luas DAS  $A$ . Pada Gambar 4.1, diberikan harga-harga  $b.q$  untuk masing-masing luas  $F$ .

Waktu Konsentrasi :

Melchior menetapkan waktu konsentrasi ( $T_c$ ) sebagai berikut :

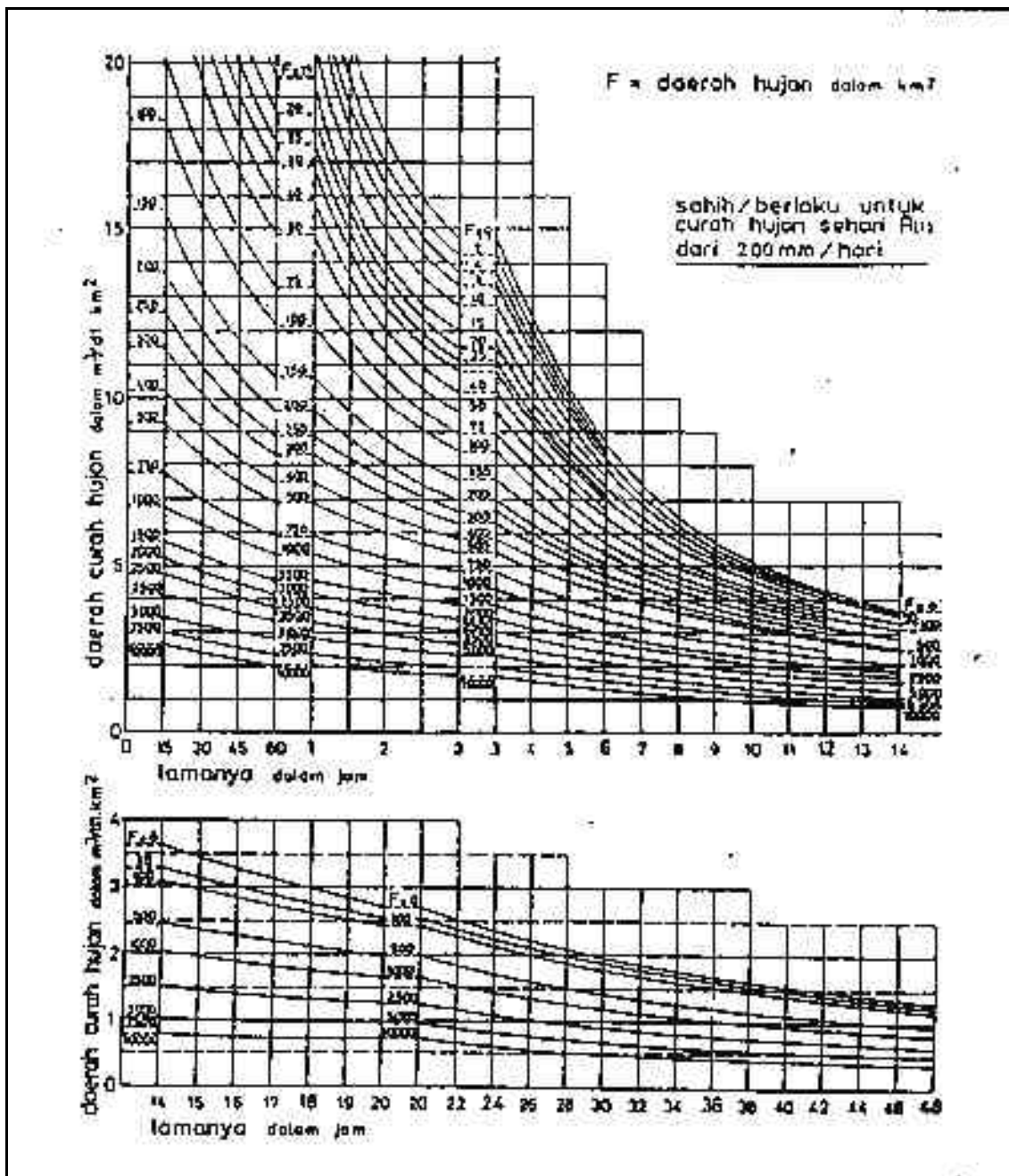
$$T_c = 0.186 L Q^{-0.2} I^{-0.4} \quad /4.8/$$

di mana  $T_c$  : waktu konsentrasi (jam);  $L$  : panjang sungai (km);  $Q$  : debit puncak ( $m^3/det$ );  $I$  : gradient rata-rata DAS

Untuk penentuan gradient DAS, 10 persen bagian hulu dari panjang DAS tidak dihitung. Beda elevasi dan panjang DAS diambil dari suatu titik 0,1 L dari batas hulu DAS (lihat Gambar 4.2).

#### Koefisien Limpasan (C)

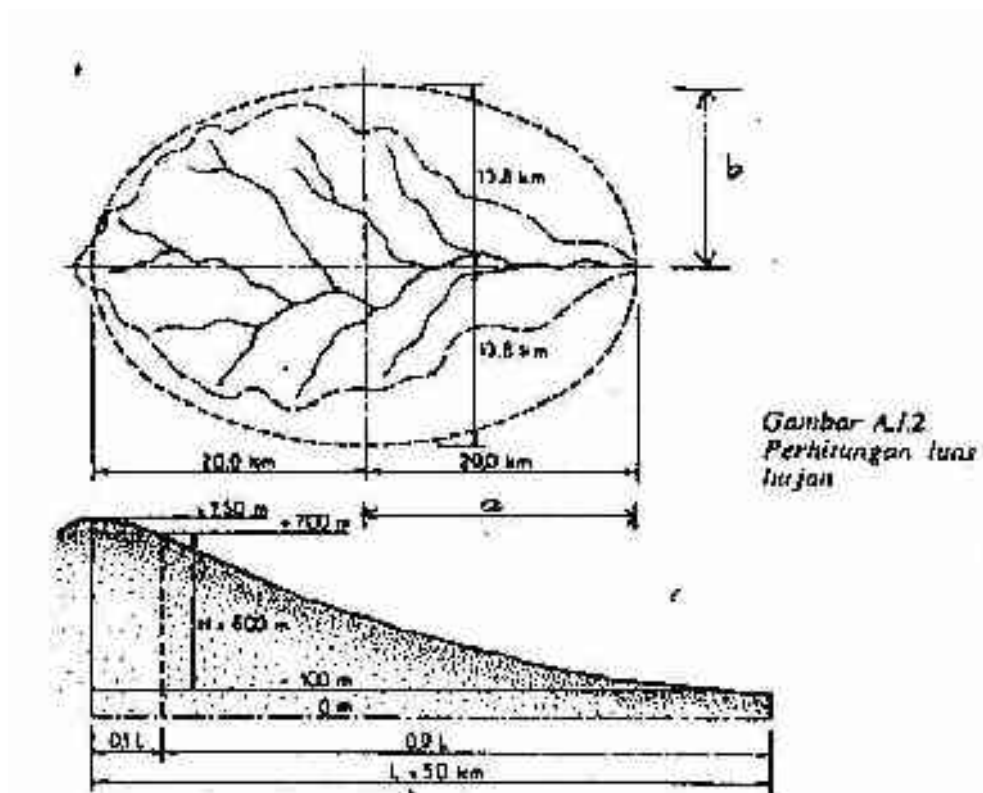
Koefisien Limpasan C dipengaruhi oleh karakteristik fisik DAS yakni sifat dan jenis tanah, tata-guna lahan, kemiringan lahan dan sebagainya. Beberapa pustaka koefisien limpasan C adalah seperti sebagai berikut (Tabel 4.2):



Gambar 4.1. Luas daerah hujan Melchior

Tabel 4.2. Koefisien limpasan C untuk metoda Rasional berdasarkan lereng, tanaman penutup tanah dan tekstur tanah<sup>2</sup>

Lereng (%)	Lempung berpasir (sandy loam)	Liat dan debu berlempung (clay and silt loam)	Liat berat (tight clay)
HUTAN			
0 - 5	0.10	0.30	0.40
5 - 10	0.25	0.35	0.50
10 - 30	0.30	0.50	0.60
Padang Rumput			
0 - 5	0.10	0.30	0.40
5 - 10	0.15	0.35	0.55
10 - 20	0.20	0.40	0.60
Lahan Pertanian (Arable land)			
0 - 5	0.30	0.50	0.60
5 - 10	0.40	0.60	0.70
10 - 20	0.50	0.70	0.80



Gambar 4.2. Penentuan luas daerah hujan F dan gradient I (Melchior)

<sup>2</sup> Sumber : Schwab, Frevert and Barnes (1966), *Soil and Water Conservation Engineering*, Wiley, New York.

Tabel 4.3. Koefisien C untuk DAS Pertanian (Grup tanah B)

No	Kondisi penutup dan hidrologi	Intensitas hujan (mm/jam)		
		25	100	200
1	Tanaman dalam barisan, kultur teknis jelek	0.63	0.65	0.66
2	Tanam dalam barisan, kultur teknis bagus	0.47	0.58	0.62
3	Tanaman kacang-kacangan, kultur teknis jelek	0.38	0.38	0.38
4	Tanam kacang-kacangan, kultur teknis bagus	0.18	0.21	0.22
5	Semak dengan dominasi rumput, rotasi baik	0.29	0.36	0.39
6	Rumput makanan ternak, permanen, baik	0.02	0.17	0.23
7	Hutan, matang, baik	0.02	0.1	0.15

Tabel 4.4. Grup hidrologi tanah

Grup	Keterangan	Laju Infiltrasi Akhir (mm/jam)
A	Potensial limpasan rendah, lapisan tanah dalam, pasir dengan sedikit debu dan liat, mudah meloloskan air	8 - 12
B	Potensial limpasan cukup rendah, lapisan tanah berpasir dengan kedalaman kurang dari A	4 - 8
C	Potensial Limpasan cukup tinggi, lapisan tanah dangkal dengan kandungan liat dan koloid cukup besar	1 - 4
D	Potensial limpasan tinggi, lapisan tanah dangkal dengan kandungan liat tinggi, terdapat lapisan kedap dekat permukaan tanah	0 - 1

Tabel 4.5. Faktor konversi Grup Tanah<sup>3</sup>

Kondisi penutup dan hidrologi	Konversi koefisien limpasan dari Grup B ke		
	Grup A	Grup C	Grup D
1	0.89	1.09	1.12
2	0.86	1.09	1.14
3	0.86	1.11	1.16
4	0.84	1.11	1.16
5	0.81	1.13	1.18
6	0.64	1.21	1.31
7	0.45	1.27	1.40

<sup>3</sup> Sumber : Schwab G.O.; R.K. Prevert; T.W. Edminster; K.K. Barnes (1981) : *Soil and Water Conservation Engineering*. John Wiley and Sons, New York.



Tabel 4.6. Koefisien limpasan untuk Metoda Rasional <sup>4</sup>

Karakter Permukaan	Periode Ulang (tahun)						
	2	5	10	25	50	100	500
Daerah telah berkembang :							
Aspal	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Beton/atap	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
Rerumputan (taman) :							
• Kondisi Jelek (penutupan < 50%):							
- Datar (0-2%)	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
- Sedang (2-7%)	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
- Curam (>7%)	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
• Kondisi Sedang (penutupan 50-70%):							
- Datar	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
- Sedang	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
- Curam	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
• Kondisi baik (penutupan > 70%):							
- Datar	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
- Sedang	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
- Curam	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58
Daerah Belum berkembang:							
• Lahan diusahakan pertanian:							
- Datar	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
- Sedang	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
- Curam	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
• Penggembalaan :							
- Datar	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
- Sedang	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
- Curam	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
• Hutan:							
- Datar	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
- Sedang	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56
- Curam	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

Prosedur pendugaan puncak debit limpasan dengan Metoda Melchior

1. Tentukan besarnya curah hujan maksimum sehari untuk perioda ulang yang dipilih
2. Tentukan a (koefisien limpasan C) yang paling sesuai untuk DAS tersebut
3. Hitung A, F, L dan I untuk DAS tersebut
4. Buat perkiraan harga pertama waktu konsentrasi  $T_0$  berdasarkan Tabel 8
5. Ambil harga  $T_c = T_0$  untuk  $b.q_n$  dari Gambar 1 dan hitung  $Q_0 = a.b.q_n$  A
6. Hitung waktu konsentrasi  $T_c$  untuk  $Q_0$  dengan persamaan /7/
7. Ulangi langkah-langkah 4 dan 5 untuk harga  $T_0$  baru yang sama dengan  $T_c$  sampai waktu konsentrasi yang diperkirakan sama dengan yang dihitung
8. Hitung debit puncak untuk harga ahir T.

<sup>4</sup> Digunakan sebagai standard di Austin, Texas, USA.

Sumber : Ven Te Chow; D.R. Maidment; L.W. Mays (1988). *Applied Hydrology*. Mc Graw Hill, Singapore

Tabel 4.7. Koefisien runoff untuk metoda Rasional<sup>5</sup>

Tipe Areal	Koefisien C
Areal bisnis:	
- Downtown	0.70 - 0.95
- Neighborhood	0.50 - 0.70
Perumahan (residential)	
- Single family	0.30 - 0.50
- Multiunits, detached	0.40 - 0.60
- Multiunits, attached	0.60 - 0.75
Residential (suburban)	0.50 - 0.70
Apartment	0.50 - 0.70
Daerah Industri	
- Industri Ringan	0.50 - 0.70
- Industri Berat	0.60 - 0.90
Taman (parks), kuburan (cemeteries)	0.10 - 0.25
Taman bermain (playgrounds)	0.20 - 0.35
Railroad yard	0.20 - 0.35
Unimproved	0.10 - 0.30
Pavement:	
- Asphal atau concrete	0.70 - 0.95
- Pasangan bata (bricks)	0.70 - 0.85
Atap rumah (Roofs):	
Lawns, tekstur tanah berpasir	
- Datar, 2%	0.05 - 0.10
- Medium 2-7%	0.10 - 0.20
- Curam > 7%	0.15 - 0.20
Lawns, tekstur tanah liat berat	
- Datar, 2%	0.13 - 0.17
- Medium 2-7%	0.18 - 0.22
- Curam > 7%	0.25 - 0.35
Kerikil lintasan kendaraan dan pejalan kaki	0.15 - 0.30

Tabel 4.8. Perkiraan nilai To

F (km <sup>2</sup> )	To (jam)	F (km <sup>2</sup> )	To (jam)
100	7.0	500	12.0
150	7.5	600	14.0
200	8.5	1000	16.0
300	10.0	1500	18.0
400	11.0	3000	24.0

## (2) Metoda Der Weduwen (1937)

Persamaan umumnya :  $Q_n = a \cdot b \cdot q_n \cdot A$  /4.7/

Koefisien limpasan a dapat dihitung dengan rumus :

<sup>5</sup> Sumber: ASCE and WPCF (1969)

$$a = 1 - \frac{4.1}{b \cdot q_n + 7} \quad /4.9/$$

Koefisien pengurangan daerah hujan b dihitung dengan rumus:

$$b = \frac{120 + \frac{t+1}{t+9} A}{120 + A} \quad /4.10/$$

Curah hujan  $q_n$  ( $m^3/(det.km^2)$ ) dihitung dengan rumus :

$$q_n = \frac{R_n}{240} \frac{67.65}{t + 1.45} \quad /4.11/$$

di mana A : luas DAS ( $km^2$ ),  $R_n$  : maksimum hujan sehari (mm) untuk periode ulang tertentu, t : lamanya curah hujan (jam) yang mempunyai hubungan dengan panjang sungai (L, km) , Q ( $m^3/det$ ) dan gradient Melchior (I) sebagai berikut :

$$t = 0.25 L Q^{-0.125} I^{-0.25} \quad /4.12/$$

Perlu diingat bahwa t dalam metoda Der Weduwen adalah saat-saat kritis curah hujan yang mengacu pada terjadinya debit puncak. Ini tidak sama dengan waktu konsentrasi dalam metoda Melchior.

#### Prosedur perhitungan :

1. Hitung A, L dan I dari peta topografi DAS.
2. Hitung nilai  $R_n$  (mm), maksimum hujan sehari untuk perioda ulang tertentu
3. Buatlah harga  $t = 0$

#### Hitung dengan persamaan

$$q_n \quad /4.11/$$

$$b \quad /4.10/$$

$$a \quad /4.9/$$

$$Q_n \quad /4.7/$$

$$t \quad /4.12/$$

4. Gunakan nilai t ini, dan ulangi lagi tahap 3 sampai nilai dugaan sama dengan nilai t hitungan

Persamaan /4.12/ dapat disederhanakan dengan mengasumsikan hubungan tetap antara L dengan A :

$$L = 1.904 A^{0.5} \quad /4.13/$$

Jika disubstitusikan ke persamaan /4.12/, maka menghasilkan :

$$t = 0.476 Q^{-0.125} A^{0.5} I^{-0.25} \quad /4.14/$$

Dengan menggunakan persamaan /4.14/, maka hubungan Q, A dan I untuk nilai Rn tertentu dinyatakan dalam grafik seperti pada Gambar 4.3 sampai dengan 4.7. Untuk DAS yang panjang sungainya (L) lebih besar dari pada persamaan /4.13/, maka Q yang diambil dari grafik akan terlalu besar, dan sebaliknya apabila L lebih kecil dari persamaan /4.13/ maka Q grafik akan terlalu kecil.

Contoh perhitungan dengan Metoda Der Weduwen:

Luas DAS A = 41 km<sup>2</sup>  
 Panjang sungai = 11 km  
 Elevasi pada ujung DAS = + 340 m  
 Elevasi pada 0.1 L = + 300 m  
 Elevasi sungai pada bendung = + 50 m

Hitung debit puncak dengan perioda ulang 5 tahun?

Penyelesaian :

Gradient menurut Melchior :  $(300-50)/(0.9 \times 11 \times 1000) = 0.025$  atau 2.5%.

Misalkan hasil analisis maksimum hujan harian di daerah tersebut adalah sebagai berikut (di Jawa) :

Periode ulang (tahun)   Hujan sehari (mm)

1/5	61
1/4	67
1/3	75
1/2	86
1/1	105
2	120
5	160
10	185
20	210
50	245
100	275

Jadi untuk periode ulang 5 tahun  $R_n = 160$  mm

1.  $t = 0$

<u>Persamaan</u>	<u>Hasil</u>
4.11	$q_n = 31.10$
4.10	$b = 0.774$
4.9	$a = 0.868$
4.7	$Q_n = 856.653$

$$4.12 \quad t = 2.97$$

$$2. \quad t = 2.97$$

<u>Persamaan</u>	<u>Hasil</u>
4.11	$qn = 10.20$
4.10	$b = 0.830$
4.9	$a = 0.735$
4.7	$Qn = 255.12$
4.12	$t = 3.46$

$$3. \quad t = 3.46$$

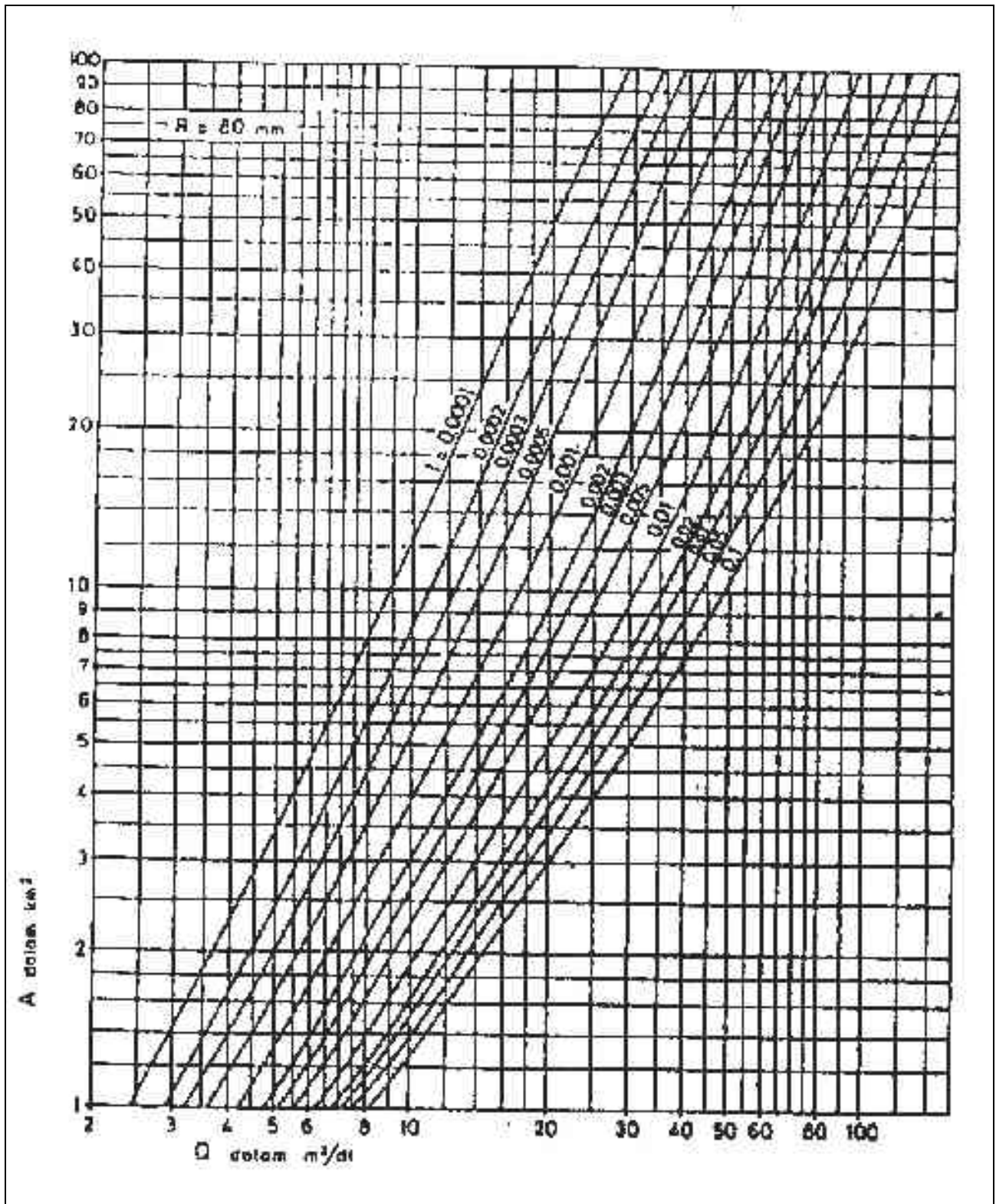
<u>Persamaan</u>	<u>Hasil</u>
4.11	$qn = 9.185$
4.10	$b = 0.836$
4.9	$a = 0.721$
4.7	$Qn = 226.99$
4.12	$t = 3.51$

$$4. \quad t = 3.51$$

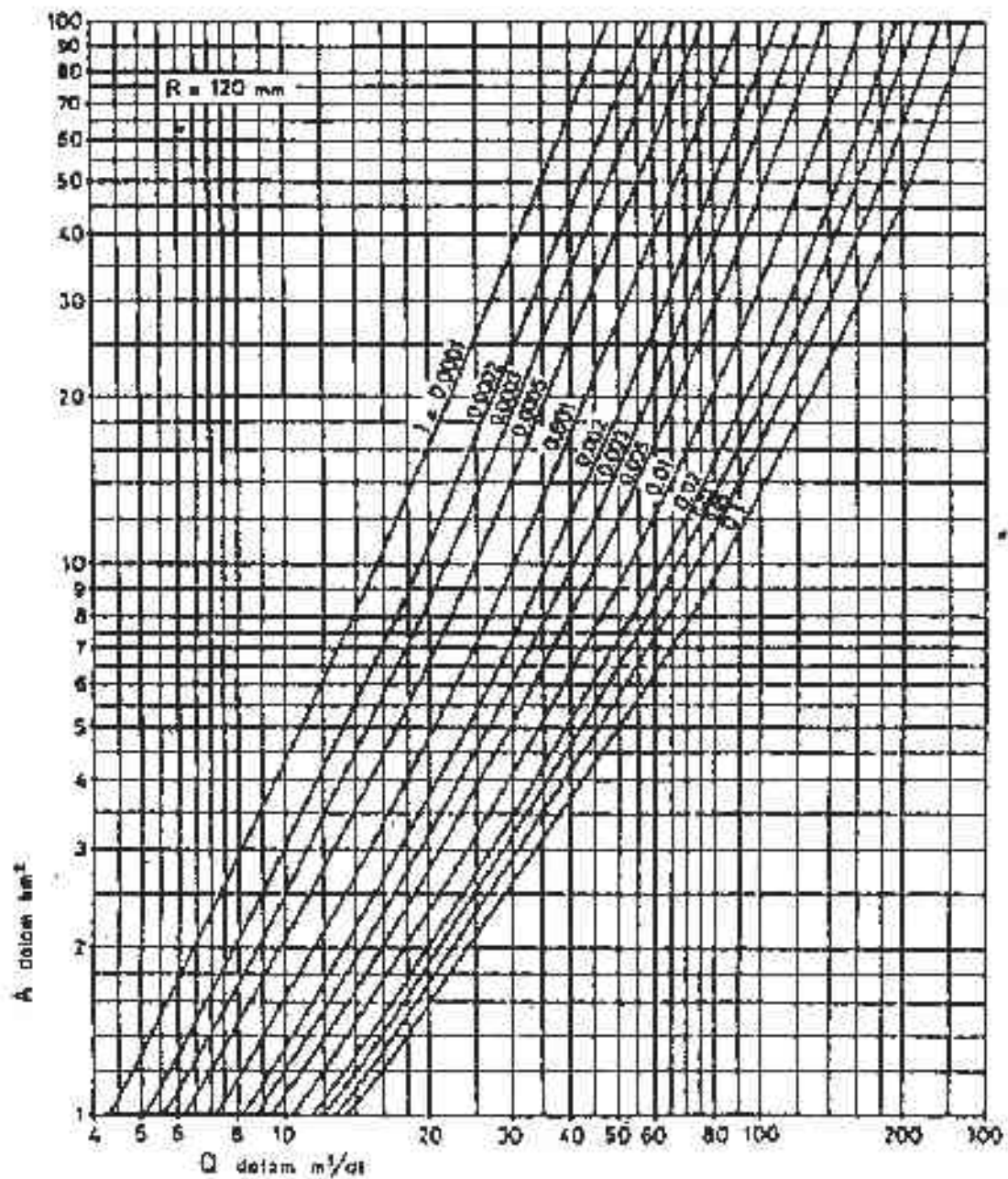
<u>Persamaan</u>	<u>Hasil</u>
4.11	$qn = 9.093$
4.10	$b = 0.837$
4.9	$a = 0.719$
4.7	$Qn = 224.3$
4.12	$t = 3.51$

Dengan demikian Debit puncak dengan perioda ulang 5 tahun =  $224.3 \text{ m}^3/\text{det}$ .

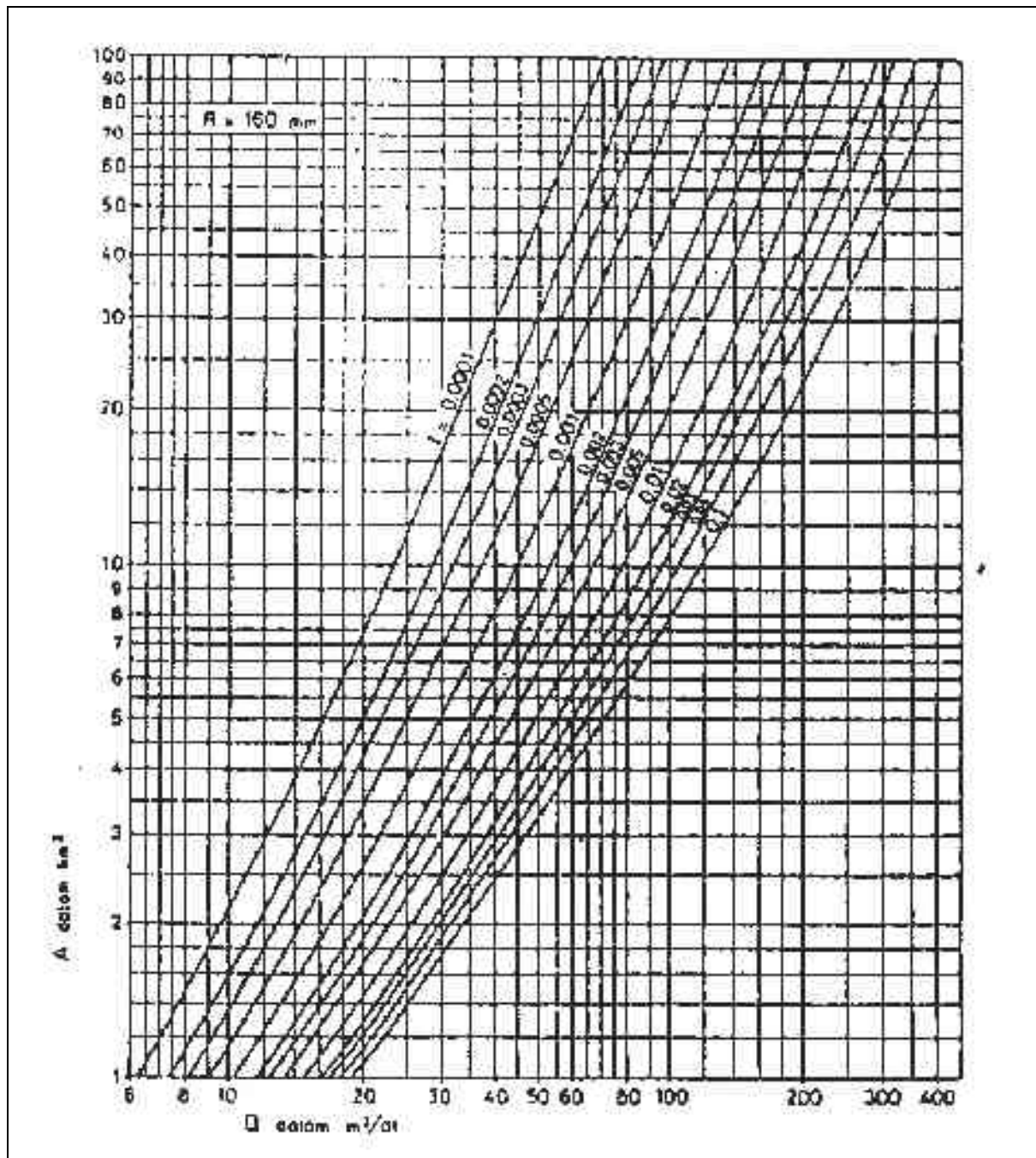
Apabila menggunakan grafik, maka debit puncak =  $200 \text{ m}^3/\text{det}$ .



Gambar 4.3. Grafik Q untuk curah hujan harian  $R_n = 80 \text{ mm}$

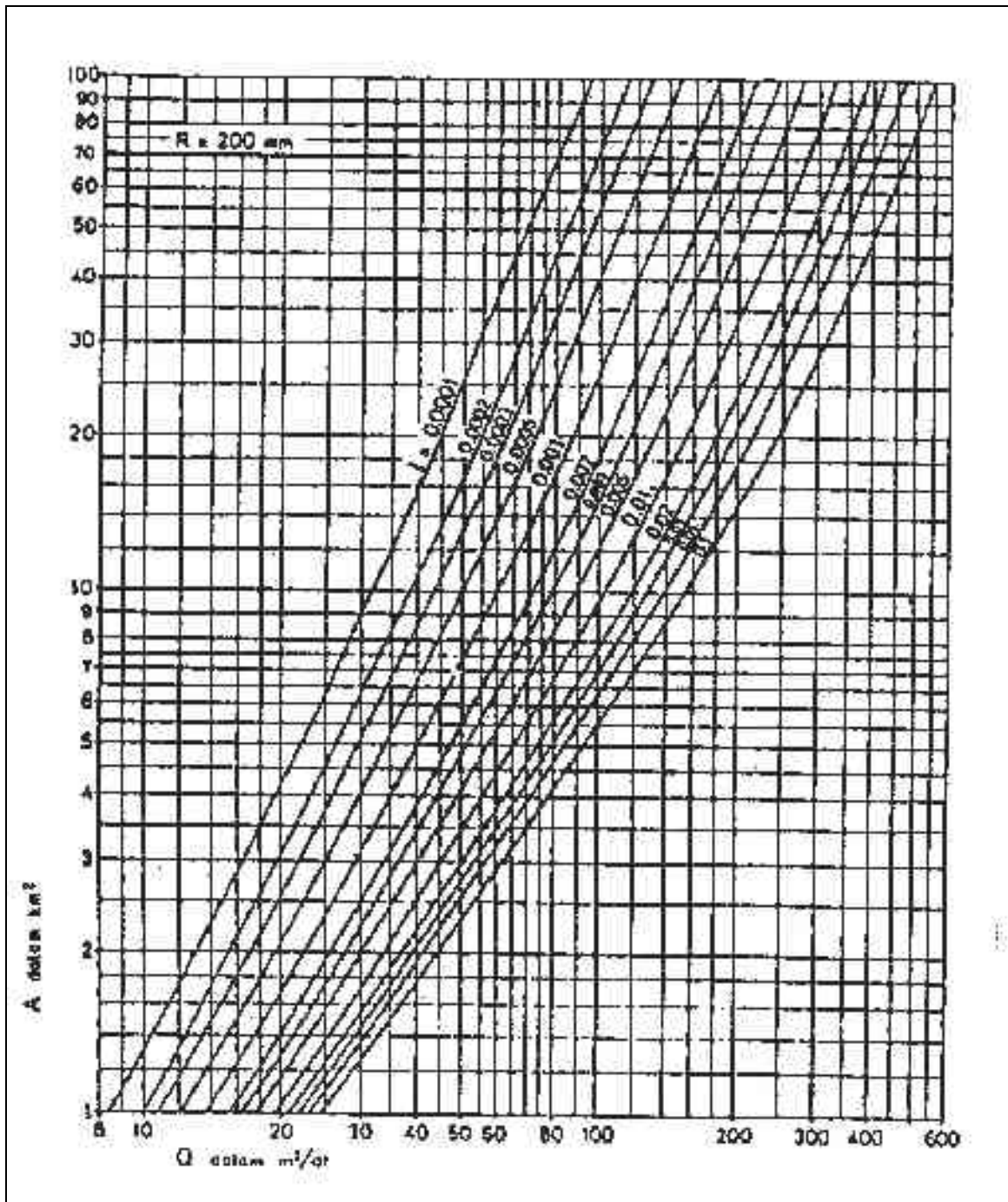


Gambar 4.4. Grafik Q untuk curah hujan harian  $R_n = 120 \text{ mm}$

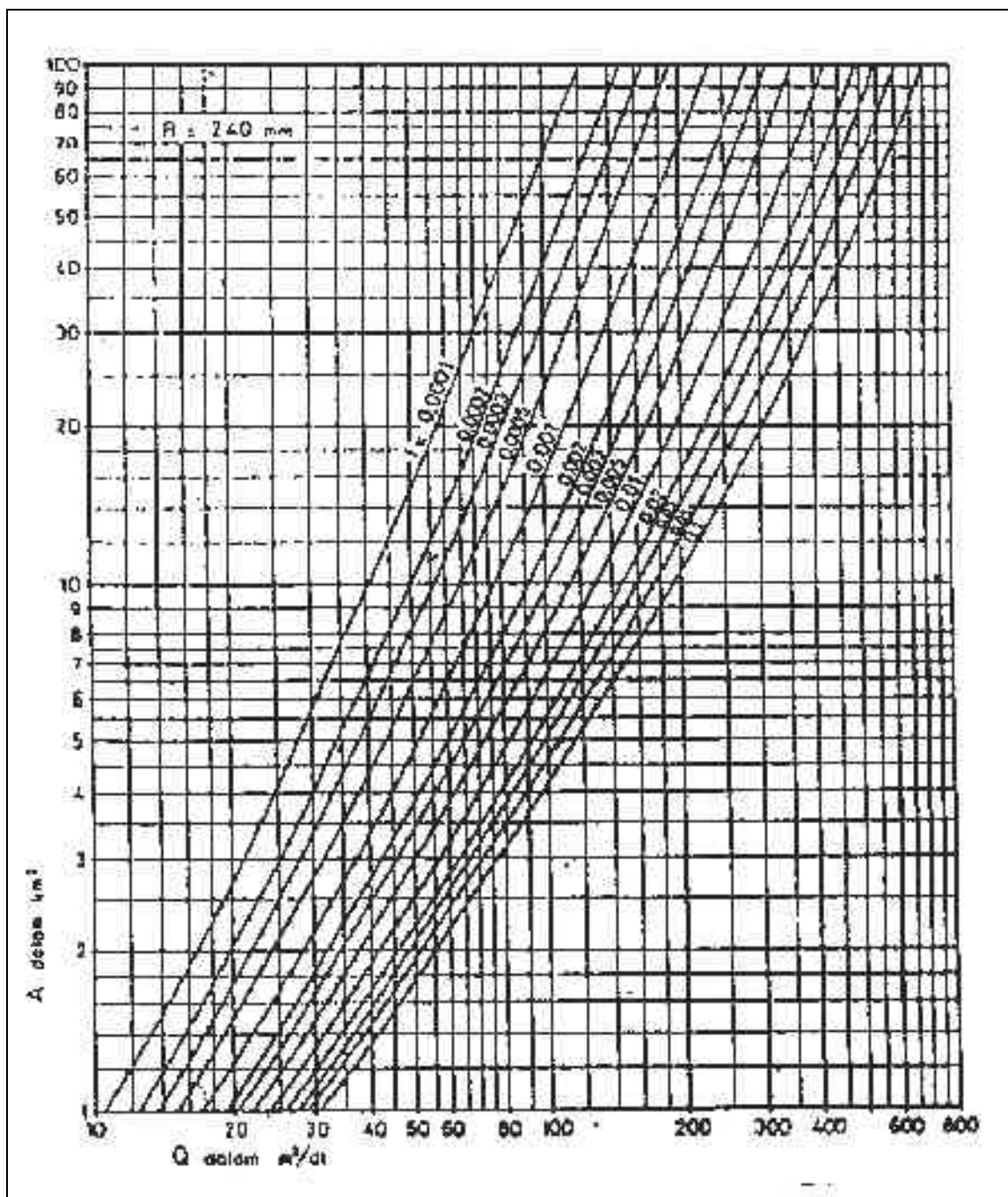


Gambar 4.5. Grafik Q untuk curah hujan harian  $R_n = 160$  mm





Gambar 4.6. Grafik Q untuk curah hujan harian  $R_n = 200 \text{ mm}$



Gambar 4.7. Grafik Q untuk curah hujan harian  $R_n = 240 \text{ mm}$

### 3. Teknik Drainase Permukaan



## 5 TEKNIK DRAINASE PERMUKAAN

Oleh

**Dedi Kusnadi Kalsim**

Laboratorium Teknik Tanah dan Air, FATETA IPB

Po Box 220 Bogor 16002, Telp (0251) 627.225, E-mail: dedkus@telkom.net

### 5.1 Data Perencanaan Saluran Pembuang

#### 5.1.1 Data Topografi

- Peta topografi skala 1:50.000 sampai 1:25.000 dengan dilengkapi dengan garis kontour selang 0,5 m untuk daerah datar atau 1,0 m untuk daerah berbukit.
- Profil memanjang (*longitudinal*) dengan skala horizontal 1 : 2.000 dan skala vertikal 1:200 (atau 1:100 untuk saluran yang kecil jika diperlukan)
- Potongan melintang (*cross section*) dengan skala 1:200 (atau 1:100 untuk saluran kecil) pada setiap interval 50 m untuk trase yang lurus dan 25 m untuk trase yang melengkung.

Penggunaan foto udara dan ortho-foto yang dilengkapi dengan garis ketinggian sangat penting khususnya untuk perencanaan tata-letak.

#### 5.1.2 Debit Rencana

##### 5.1.2.1 Jaringan Pembuang

Pada umumnya jaringan pembuang direncanakan untuk mengalirkan kelebihan air secara gravitasi. Pembuangan kelebihan air dengan pompa biasanya tidak layak dari segi ekonomi. Pembuangan air di daerah datar dan daerah pasang-surut yang dipengaruhi oleh fluktuasi muka air di laut, sangat tergantung pada muka air sungai, saluran atau laut yang merupakan outlet dari pembuang. Muka air di outlet ini sangat penting dalam perencanaan bangunan-bangunan khususnya di lokasi ujung saluran pembuang, misalnya pintu klep otomatis (*flape gate*) yang menutup selama muka air tinggi untuk mencegah air masuk ke areal drainase dan membuka kembali pada waktu muka air rendah.

##### 5.1.2.2 Modulus Drainase untuk Tanaman Padi Sawah

Lahan yang ditanami padi umumnya datar atau berteras. Besarnya penurunan hasil yang diakibatkan oleh kelebihan air tergantung pada :

- Ketinggian genangan
- Lamanya genangan tersebut berlangsung
- Tahap pertumbuhan tanaman
- Varietas padi.

Tahapan pertumbuhan tanaman yang paling peka terhadap kelebihan genangan adalah di pesemaian, selama tanam (pemindahan bibit dari pesemaian ke lahan) dan permulaan

masa berbunga (*panicle*). Secara umum dapat dikatakan apabila tanaman padi tergenang melebihi saparoh tinggi tanaman selama lebih dari 3 hari berturutan maka akan mengurangi produksi secara nyata. Apabila kurang dari 3 hari maka pengurangan hasil tidak begitu nyata.

Sebagai standar untuk perencanaan drainase tanaman padi<sup>6</sup>:

- (1) Tinggi genangan yang diijinkan di petakan sawah harus kurang dari 30 cm dan lama genangan tidak lebih dari 3 hari
- (2) Tinggi genangan lebih dari 30 cm harus tidak lebih dari 24 jam (1 hari)

Kelebihan genangan di petakan sawah disebabkan oleh: hujan lebat, limpasan air irigasi atau drainase, rembesan dari saluran irigasi. Untuk keperluan drainase tanaman lainnya yakni nenas dan singkong berdasarkan pengalaman petani di Anjir Basarang (Kalimantan Tengah) menunjukkan bahwa tanaman singkong akan mati apabila terendam 1 hari, sedangkan nenas masih bertahan walaupun tergenang selama 2 - 3 hari berturutan.

Tabel 5.1. Taksiran kerusakan padi akibat genangan air berlebihan di Jepang <sup>7</sup>

Tahap Pertumbuhan	Pengurangan Hasil (%) menurut Lama Hari Genangan							
	Air Jernih				Air Berlumpur			
	1 - 2	3 - 4	5 - 7	> 7	1 - 2	3 - 4	5 - 7	> 7
• 20 hari setelah tanam	10	20	30	35	-	-	-	-
• Pembentukan malai muda, sebagian terendam	10	0	65	90-100	20	50	85	90-100
• Pembentukan malai muda, seluruhnya terendam	25	45	80	80-100	70	80	85	90-100
• Pemuatan	15	25	30	70	30	80	90	100
• Pemasakan	10	15	20	20	5	20	30	30

Penentuan modulus drainase untuk padi dapat dilakukan dengan cara :

- (1) Memplotkan hujan maksimum untuk beberapa hari berturutan pada berbagai periode ulang dan penentuan tinggi genangan maksimum yang masih diijinkan seperti pada Gambar 5.1.
- (2) Simulasi tinggi genangan harian dengan neraca air harian di petakan sawah<sup>8</sup>.

$$WL_i = WL_{i-1} + R_i + IR_i + Qin_i - P_i - ET_i - Qo_i$$

di mana :  $WL_i$  : tinggi genangan air di petakan sawah pada hari ke  $i$  (mm);  $R_i$  : hujan hari ke  $i$  (mm);  $Qin$  : limpasan dari petakan lain (mm);  $IR$  : air irigasi yang diberikan (mm);  $P$  : perkolasi (mm);  $ET$  : evapotranspirasi (mm);  $Qo$  : drainase yang dilakukan (mm).

Kriteria yang dilakukan dalam perhitungan tinggi genangan :

(i) Untuk  $WL_i \geq WL_{MAX}$  :

Jika  $(WL_i - WL_{MAX}) \geq Qo$ , selanjutnya dipakai  $WL_i = (WL_i - Qo)$

<sup>6</sup> Sumber : Design Drainage Project, Ciujung Sub Project, Final Report vol.1 Main Report, PROSIDA, May 1981

<sup>7</sup> Sumber : Fukuda dan Tsutsui (1968)

<sup>8</sup> Skripsi Muchtadi F 24.0075, 1992. Penentuan Modulus Drainase untuk Padi Sawah Berdasarkan Perhitungan Neraca Air Harian

Jika  $(WL_i - WL_{MAX}) < Q_0$ , selanjutnya dipakai  $WL_i = WL_{MAX}$

(ii) Untuk  $WL_{MIN} < WL_i < WL_{MAX}$ , selanjutnya dipakai  $WL_i = WL_i$

a. Tadah hujan :

Jika  $WL_i < 0$ , selanjutnya dipakai  $WL_i = 0$

b. Beririgasi :

Jika  $WL_i < WL_{MIN}$ , selanjutnya dipakai  $WL_i = WLOP$

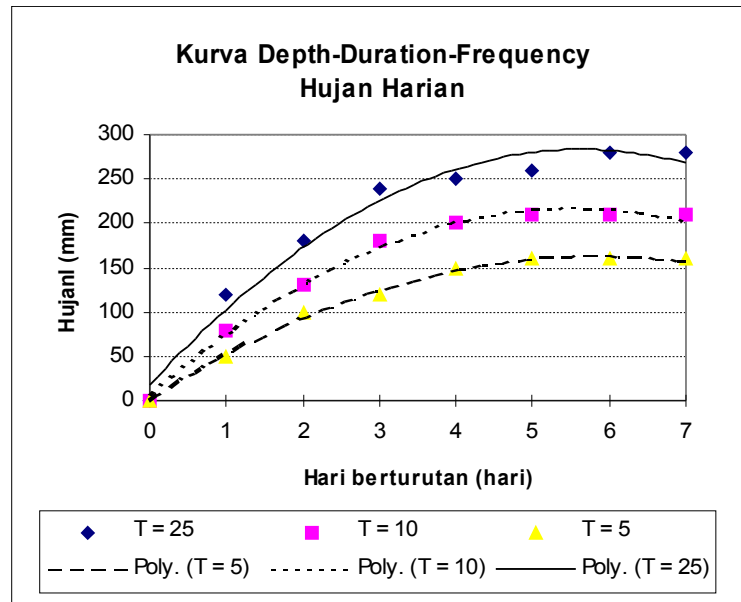
$WL_{MAX}$  : tinggi genangan maksimum;  $WL_{MIN}$  : tinggi genangan minimum;  $WLOP$  : tinggi genangan optimum setelah pemberian air irigasi

(3) Penentuan modulus drainase untuk padi sawah dapat dilakukan pula dengan metoda:

$$D_n = R_n^T + n(I - ET - P) - S$$

$n$ : jumlah hari berturutan;  $D_n$ : pengeluaran air permukaan selama  $n$  hari berturutan (mm);  $R_n^T$  : hujan maksimum  $n$  hari berturutan dengan periode ulang  $T$  tahun (mm);  $I$ : air irigasi (mm/hari);  $ET$ : evapotranspirasi (mm/hari);  $P$ : perkolasi (mm/hari);  $S$ : genangan air maksimum yang diijinkan di petakan sawah (mm). Umumnya nilai  $n$  yang dipakai adalah 3 hari berturutan.

Di Jepang umumnya digunakan standar modulus drainase selama periode irigasi dan tak irigasi masing-masing sebesar 0,2 - 0,5 dan 0,05 - 0,1  $m^3 \cdot det^{-1} \cdot km^{-2}$ .



Gambar 5.1. Kedalaman, lama hujan dan frekwensi dalam penentuan Modulus Drainase untuk padi sawah

Untuk areal seluas 400 ha, Debit Pembuang Rencana dapat diambil konstan ( $1 \cdot det^{-1} \cdot ha^{-1}$ ). Apabila luas areal lebih besar dari 400 ha, maka debit rencana akan berkurang akibat dari menurunnya curah hujan rata-rata dan adanya tampungan

sementara yang relatif lebih besar. Di Indonesia secara empirik pengaruh luas areal tersebut dinyatakan dengan persamaan :

$$Q_d = f \cdot D_m \cdot A$$

- untuk luas areal  $\leq 400$  ha,  $f = 1.0$
- untuk luas areal  $> 400$  ha,  $f = 1.62 A^{-0.08}$

$Q_d$  : debit pembuang rencana (l/det);  $D_m$  : modulus drainase (l/det.ha);  $A$ : luas areal (ha);  $f$ : faktor reduksi luas. Faktor pengurangan ( $f$ ) debit pembuang rencana tersebut dinyatakan dalam Gambar 5.2.

### 5.1.2.3 Untuk Daerah Berbukit

Untuk areal yang berbukit di mana umumnya tanaman yang diusahakan bukan padi sawah, maka untuk perencanaan saluran pembuang ada dua macam debit yang perlu dipertimbangkan yakni :

- a. Debit puncak maksimum dalam jangka waktu pendek
- b. Debit rencana yang dipakai untuk perencanaan saluran pembuang.

#### 5.1.2.3.1 Debit puncak

Di Indonesia umumnya digunakan metoda rasional der Weduwen untuk areal kurang dari 100 km<sup>2</sup> dan Melchior untuk areal lebih besar dari 100 km<sup>2</sup> (Lihat Pendugaan Debit Puncak Empirik).

#### 5.1.2.3.2 Debit Rencana

Debit rencana didefinisikan sebagai volume limpasan air hujan dalam waktu sehari dari suatu daerah yang akan dibuang airnya yang disebabkan oleh curah hujan sehari yang terjadi di daerah tersebut. Volume limpasan tersebut harus dapat dibuang dalam waktu sehari, sehingga akan dihasilkan debit rencana yang konstan.

USBR (1977) :

$$Q_d = 0,116 \cdot a \cdot f \cdot R_{(1)5} \cdot A$$

- untuk  $A \geq 400$  ha,  $f = 1,62 A^{-0.08}$
- untuk  $A < 400$  ha,  $f = 1,0$

$Q_d$ : debit rencana (l.det<sup>-1</sup>);  $a$  : koefisien limpasan;  $R_{(1)5}$ : hujan sehari maksimum dengan periode ulang 5 tahun (mm.hari<sup>-1</sup>);  $A$  : luas areal drainase (ha).

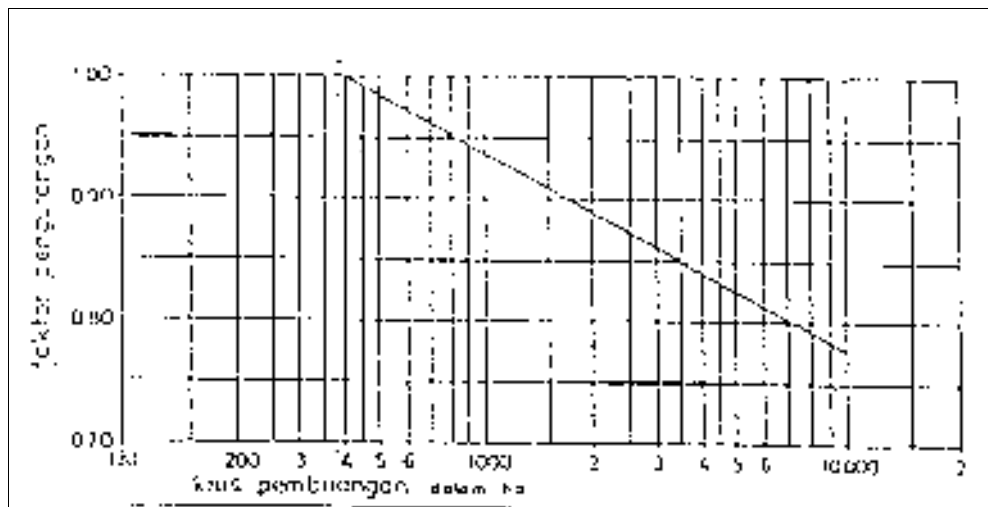
#### 5.1.2.4 Debit Pembuang

Debit rencana akan dipakai untuk merencanakan kapasitas saluran pembuang dan elevasi muka air rencana. Debit pembuang ini terdiri dari :

- a. Debit pembuang untuk petakan sawah seperti pada 5.1.2.2
- b. Debit dari areal perbukitan seperti pada 5.1.2.3.

Jaringan pembuang direncanakan untuk mengalirkan debit pembuang rencana dari areal sawah dan non-sawah (perbukitan) di dalam maupun di luar areal dengan menggunakan saluran intersepsi (pencegat). Muka air yang dihasilkan tidak boleh menghalangi pembuangan air dari sawah di daerah irigasi.

Debit puncak akan dipakai untuk menghitung muka air tertinggi di saluran pembuang. Muka air ini akan digunakan untuk merencanakan pengendalian banjir (misalnya tanggul banjir) dan bangunan-bangunan air lainnya (misalnya jembatan, gorong-gorong). Selama terjadi debit puncak terhambatnya pembuangan air dari petakan sawah masih dapat diterima karena hanya berlangsung beberapa jam saja. Elevasi muka air pada debit puncak sering melebihi elevasi lahan sehingga diperlukan sarana pengendalian banjir dengan membuat tanggul sepanjang saluran pembuang.



Gambar 5.2. Faktor pengurangan debit karena luas areal

Periode ulang untuk debit puncak biasanya diambil sebesar 5 tahun untuk saluran pembuang kecil di daerah irigasi atau 25 tahun atau lebih untuk saluran pembuang besar tergantung dari nilai ekonomis sarana yang dilindungi (misalnya di daerah perkotaan). Periode ulang debit rencana biasanya digunakan 5 tahun.

Pada pertemuan dua saluran pembuang di mana debit puncak bertemu, maka debit puncak yang tergabung dihitung sebagai berikut :

- (1) Apabila dua daerah yang akan dibuang airnya luasnya kurang lebih sama (40%-50% dari luas total), maka debit puncak gabungan dihitung sebagai 0,8 kali jumlah kedua debit puncak.
- (2) Jika luas daerah yang satu lebih kecil dari yang lainnya (kurang dari 20% dari luas total), maka gabungan kedua debit puncak dihitung sebagai luas total
- (3) Bila persentase luas areal antara 20%-40% dari luas total, maka gabungan debit puncak dihitung dengan interpolasi antara nilai yang didapat dari kasus 1 dan kasus 2.

Untuk menghitung debit rencana pada pertemuan dua saluran pembuang, maka debit rencana gabungan dihitung sebagai jumlah debit rencana dari masing-masing saluran pembuang.

### 5.1.3 Data Mekanika Tanah

Masalah utama dalam perencanaan saluran pembuang adalah ketahanan tubuh saluran terhadap erosi dan stabilitas talud serta tanggul. Klasifikasi tekstur, indeks plastisitas dan ruang pori di perlukan untuk pertimbangan kecepatan maksimum (Lihat Lampiran)

## 5.2 Perencanaan Saluran Pembuang

### 5.2.1 Perencanaan Saluran Pembuang yang Stabil

Perencanaan saluran pembuang harus memberikan pemecahan dengan biaya pelaksanaan dan pemeliharaan yang terendah. Ruas-ruas saluran harus stabil terhadap erosi dan sedimentasi harus minimal pada setiap potongan melintang dan harus seimbang. Dengan adanya pembuang, air dari persawahan menjadi lebih bersih dari sedimen. Erosi di saluran pembuang akan merupakan kriteria yang menentukan. Kecepatan aliran rencana hendaknya tidak melebihi kecepatan maksimum yang diijinkan. Kecepatan maksimum yang diijinkan tergantung pada bahan tanah serta kondisinya.

Saluran pembuang dirancang di tempat terendah dan melalui daerah depresi. Kemiringan alamiah lahan dalam trase ini menentukan kemiringan memanjang saluran pembuang tersebut. Apabila kemiringan dasar terlalu curam sehingga kecepatan maksimum akan terlampaui, maka harus dibuat bangunan terjun.

Kecepatan rencana sebaiknya diambil sama atau mendekati kecepatan maksimum yang diijinkan, karena debit rencana atau debit puncak tidak sering terjadi maka debit dan kecepatan aliran saluran pembuang akan lebih rendah di bawah kondisi eksploitasi rata-rata. Pada debit yang rendah, aliran akan cenderung berkelok-kelok bila dasar salurannya lebar. Oleh karena itu biasanya saluran pembuang dirancang relatif sempit dan dalam dibandingkan dengan saluran irigasi. Variasi tinggi air dengan debit yang berubah-ubah biasanya tidak mempunyai arti penting pada saluran pembuang (lain halnya dengan saluran irigasi). Potongan melintang yang dalam akan memberikan pemecahan yang lebih ekonomis.

### 5.2.2 Rumus dan Kriteria Hidrolik

#### 5.2.2.1 Rumus Hidrolik

Untuk perencanaan saluran pembuang, aliran dianggap *steady* dan seragam (*uniform*) untuk itu diterapkan rumus Strickler-Manning :

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

di mana : V: kecepatan aliran (m.det<sup>-1</sup>);  
 km : koefisien kehalusan Strickler  
 (km = 1/n, n : koefisien kekasaran

Manning); R : jari-jari hidrolis (m) (R = A/P; P :perimeter basah (m); A:luas penampang aliran (m<sup>2</sup>); I : kemiringan dasar saluran; z = talud (horizontal z : vertikal 1); w = b/h (perbandingan lebar dasar dengan tinggi air)

$$A = b.h + z.h^2 = h^2(w + z)$$



$$P = b + 2 \cdot h \sqrt{1 + z^2} = h \left[ w + 2 \sqrt{1 + z^2} \right]$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{h(w + z)}{w + 2 \sqrt{1 + z^2}}$$

$$Q = A \cdot k_m \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} = k_m I^{1/2} (w + z) h^2 \left[ \frac{h(w + z)}{w + 2 \sqrt{1 + z^2}} \right]^{2/3}$$

misalkan

$$F = \frac{(w + z)^{5/3}}{\left[ w + 2 \sqrt{1 + z^2} \right]^{2/3}}$$

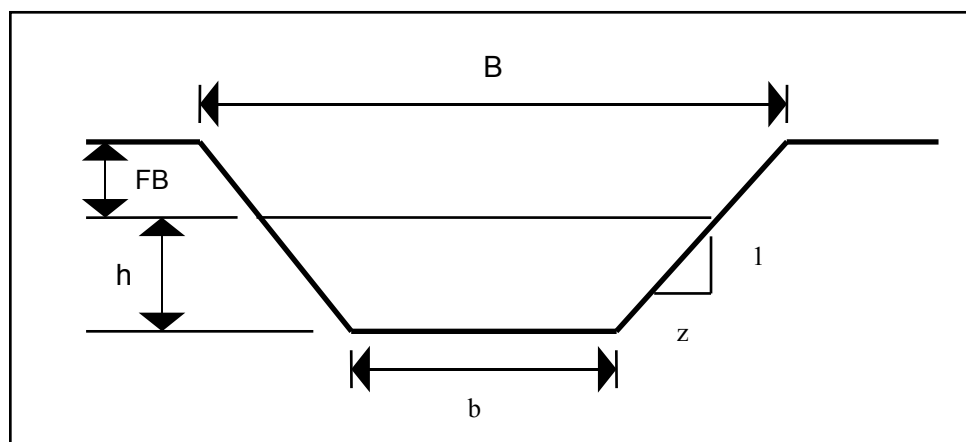
maka :

$$h = \left[ \frac{Q}{F \cdot k_m I^{1/2}} \right]^{3/8}$$

Nilai b (lebar dasar saluran) yang didapatkan dari perhitungan biasanya harus dibulatkan ke suatu angka yang secara praktis dapat dikerjakan di lapangan. Dengan menambah atau mengurangi nilai b dengan  $\Delta b$ , maka akan terjadi perubahan h ( $\Delta h$ ). Dari gambar di bawah ini dapat dilihat bahwa dengan penambahan  $\Delta b$ , maka luas penampang aliran (A) tidak boleh berubah.

$$\Delta b \times h = - \Delta h \times B = - \Delta h \times (b + 2 z h) = - \Delta h (w + 2 z)h$$

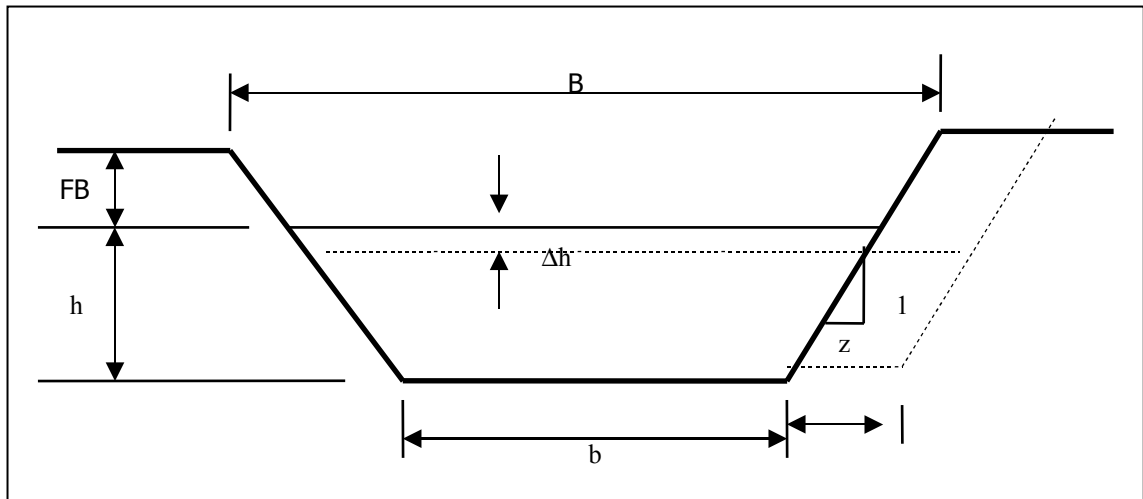
$$\Delta h = \frac{- \Delta b}{(w + 2z)}$$



Gambar 5.3. Geometri saluran

Faktor-faktor yang mempengaruhi rancangan :

- maksimum talud
- kecepatan maksimum yang diijinkan
- kecepatan minimum
- lebar dasar minimum untuk mencegah penyumbatan dan kemudahan konstruksi
- perbandingan  $b/h$



Gambar 5.4. Perubahan  $\Delta b$  dan  $\Delta h$

#### 5.2.2.2 Koefisien kehalusan Strickler

Koefisien kehalusan Strickler tergantung kepada sejumlah faktor yakni :

- Kekasaran dasar dan talud saluran
- Lebatnya vegetasi
- Panjang batang vegetasi
- Ketidak-teraturan dan trase
- Jari-jari hidrolis dan dalamnya saluran

Karena saluran pembuang tidak selalu terisi air, maka vegetasi akan mudah sekali tumbuh dan banyak mengurangi nilai  $k_m$ . Pembabadan rumput yang teratur akan memperkecil pengurangan nilai  $k_m$ . Nilai  $k_m$  pada tabel di bawah ini umumnya dipakai untuk merancang saluran pembuang dengan mengasumsikan bahwa vegetasi dipotong secara teratur.

Tabel 5.1. Koefisien kehalusan Strickler untuk **saluran pembuang**

Kedalaman aliran (m)	$k_m$
$h > 1,5$	30
$h \leq 1,5$	25

Untuk saluran irigasi yang terbuat dari galian atau timbunan tanah, nilai  $k_m$  yang biasa digunakan pada pelbagai nilai  $Q$  adalah seperti pada Tabel di bawah ini. Beberapa nilai koefisien kekasaran Manning dapat dilihat pada Tabel 5.3 di bawah ini.

### 5.2.2.3 Kecepatan Maksimum yang Diijinkan

Kecepatan maksimum yang diijinkan adalah kecepatan aliran (rata-rata) maksimum yang tidak menyebabkan erosi di permukaan saluran. Konsep ini didasarkan pada hasil riset USSCS (*United State Soil Conservation Services, Design of Open Channel, 1977*) yang memerlukan data lapangan yakni klasifikasi tanah (*Unified Classification system*), Indeks Plastisitas dan angka pori.

Tabel 5.2. Koefisien kehalusan Strickler untuk saluran irigasi

Q (m <sup>3</sup> .det <sup>-1</sup> )	$K_m$
Q > 10	45
5 < Q < 10	42.5
1 < Q < 5	40
Q < 1	35

Kecepatan maksimum yang diijinkan ditentukan dengan dua tahapan :

- (1) Penetapan kecepatan dasar ( $V_b$ ) untuk saluran lurus dengan kedalaman air 1 m seperti pada Gambar 5.5.
- (2) Penentuan faktor koreksi untuk lengkung saluran, berbagai kedalaman air dan angka pori seperti pada Gambar 5.6.

$$V_{\max} = V_b \times A \times B \times C \times D$$

di mana , $V_{\max}$  : kecepatan maksimum yang diijinkan (m/det);  $V_b$  : kecepatan dasar (m/det); A: faktor koreksi untuk angka pori tanah permukaan saluran; B: faktor koreksi untuk kedalaman aliran; C: faktor koreksi untuk lengkung saluran; D: faktor koreksi untuk periode ulang banjir rencana (Gambar 5.7).

Faktor D ditambahkan apabila dipakai banjir rencana dengan periode ulang yang tinggi lebih dari 10 tahun. Diasumsikan bahwa kelangkaan terjadinya banjir dengan periode ulang di atas 10 tahun menyebabkan sedikit kerusakan akibat erosi. Hal ini dinyatakan dengan menerima  $V_{\max}$  yang lebih tinggi. Untuk jaringan pembuang internal diasumsikan bahwa airnya bebas sedimen. Sedangkan untuk pembuang lahan berbukit, asal air harus diperiksa. Untuk konstruksi pada tanah-tanah non-kohefif kecepatan dasar yang diijinkan adalah 0,6 m/det. Suatu daftar kecepatan maksimum yang diijinkan berdasarkan jenis tanah dan kandungan lumpur air yang mengalir adalah seperti pada Tabel 5.4.

### 5.2.2.4 Kecepatan Minimum

Kecepatan minimum adalah batas kecepatan terendah yang mengakibatkan adanya sedimentasi, pertumbuhan gulma dan perkembang-biakan nyamuk yang dapat menyebabkan penyakit malaria. Untuk mencegah pertumbuhan gulma air diperlukan kecepatan minimum 0,75 m/detik, sedangkan untuk mencegah malaria dan *bilharzia* (penyakit kaki gajah) kecepatan minimum 0,4 m/detik.

Tabel 5.3. Koefisien kekasaran Manning (n)

Jenis bahan saluran	Minimum	Normal	Maksimum
1. Pipa dan Saluran Berlapis :			
• logam,kayu,plastik, semen,beton	0,010	0,013	0,015
• bata	0,025	0,030	0,035
• pipa bergelombang ( <i>corrugated</i> )		0,024	
2. Saluran tanah galian :			
• saluran tanah,lurus,seragam bersih tanpa rumputan berumput pendek	0,016 0,022	0,018 0,027	0,020 0,023
• saluran tanah, tidak lurus tanpa vegetasi	0,023	0,025	0,030
• berumput	0,025	0,030	0,033
• berumput rapat dan gulma air	0,030	0,035	0,040

Sumber : Ven Te Chow, 1959. *Open Channel Hydraulics*. McGraw Hill, New York

#### 5.2.2.5 Tinggi Muka Air

Tinggi muka air di saluran pembuang tergantung pada fungsi saluran tersebut. Di jaringan tersier, kelebihan air di lahan dibuang langsung ke saluran pembuang kuarter atau tersier sehingga elevasi muka air rencana dapat diambil sama dengan elevasi permukaan lahan. Jaringan pembuang sekunder menerima air buangan dari jaringan tersier di lokasi tertentu. Elevasi muka air rencana di sekunder ditentukan oleh elevasi muka air di ujung saluran pembuang tersier. Demikian pula dengan saluran primer ditentukan oleh muka air rencana di ujung saluran sekunder. Di saluran pembuang primer (atau sekunder) pada debit puncak elevasi muka air harus dapat dikendalikan dengan adanya tanggul banjir (Gambar 5.8), dengan tinggi jagaan sekitar 0,4 sampai 1,0 m.

#### 5.2.2.6 Potongan Melintang Saluran Pembuang

##### 5.2.2.6.1 Geometri

Potongan melintang saluran pembuang dirancang relatif lebih dalam daripada saluran irigasi dengan alasan sebagai berikut :

- Untuk mengurangi biaya pelaksanaan dan pembebasan lahan
- Variasi tinggi muka air akibat variasi debit dapat diterima untuk saluran pembuang
- Saluran pembuang yang dalam akan memiliki aliran lebih stabil pada debit rendah, sedangkan saluran pembuang yang lebar akan cenderung menyebabkan aliran yang berkelok.

Perbandingan lebar dasar dan kedalaman aliran (b/h) untuk saluran pembuang sekunder diambil antara 1 sampai 3. Untuk saluran yang lebih besar nilai ini harus paling tidak 3. Untuk saluran sekunder dan primer, lebar dasar minimum sebesar 0,6 m, sedangkan untuk saluran lapangan lebar dasar minimum 0,3 m. Suatu petunjuk hubungan antara Q, h dan b/h pada umumnya untuk saluran drainase adalah seperti pada Tabel 5.6. Untuk saluran irigasi hubungan Q, z, b/h dan km yang umumnya dipakai adalah seperti pada Tabel 5.7 di bawah ini.

## 5.2.2.6.2 Kemiringan Talud

Nilai kemiringan talud minimum untuk saluran pembuang dapat diambil dari Tabel 5.8 atau Tabel 5.9 atau Gambar 5.8. Pada daerah yang diperkirakan terjadi rembesan yang besar ke dalam saluran pembuang maka talud harus dirancang lebih besar dari tabel 5.8

Tabel 5.4. Kecepatan maksimum

Bahan saluran	Kecepatan maksimum (m/detik)	
	Air Bersih	Air Berlumpur
Pasir teguh, berkoloid	0,45	0,70
Lempung berpasir, tak berkoloid	0,55	0,70
Lempung berdebu, tak berkoloid	0,60	0,90
Debu endapan, tak berkoloid	0,60	1,050
Lempung teguh	0,70	1,050
Debu vulkanik	0,70	1,050
Liat lekat, berkoloid	1,15	1,50
Debu endapan (alluvial), berkoloid	1,15	1,50
Kerikil halus	0,70	1,50
Kerikil kasar	1,20	1,85

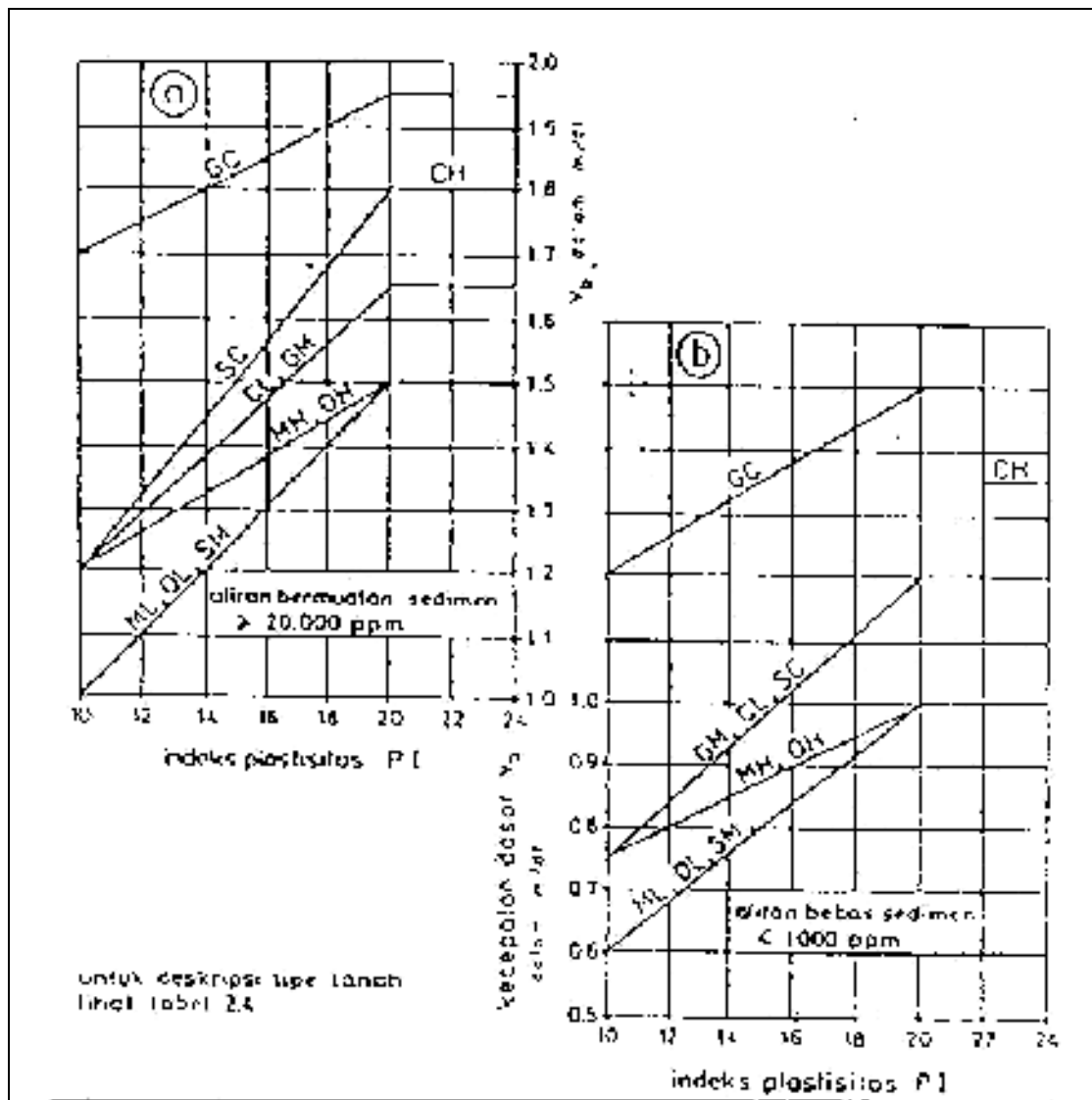
Sumber : Ven Te Chow, 1959. *Open Channel Hydraulics*. McGraw Hill, New York

Tabel 5.5. Kecepatan maksimum untuk saluran tanah dan berlapis

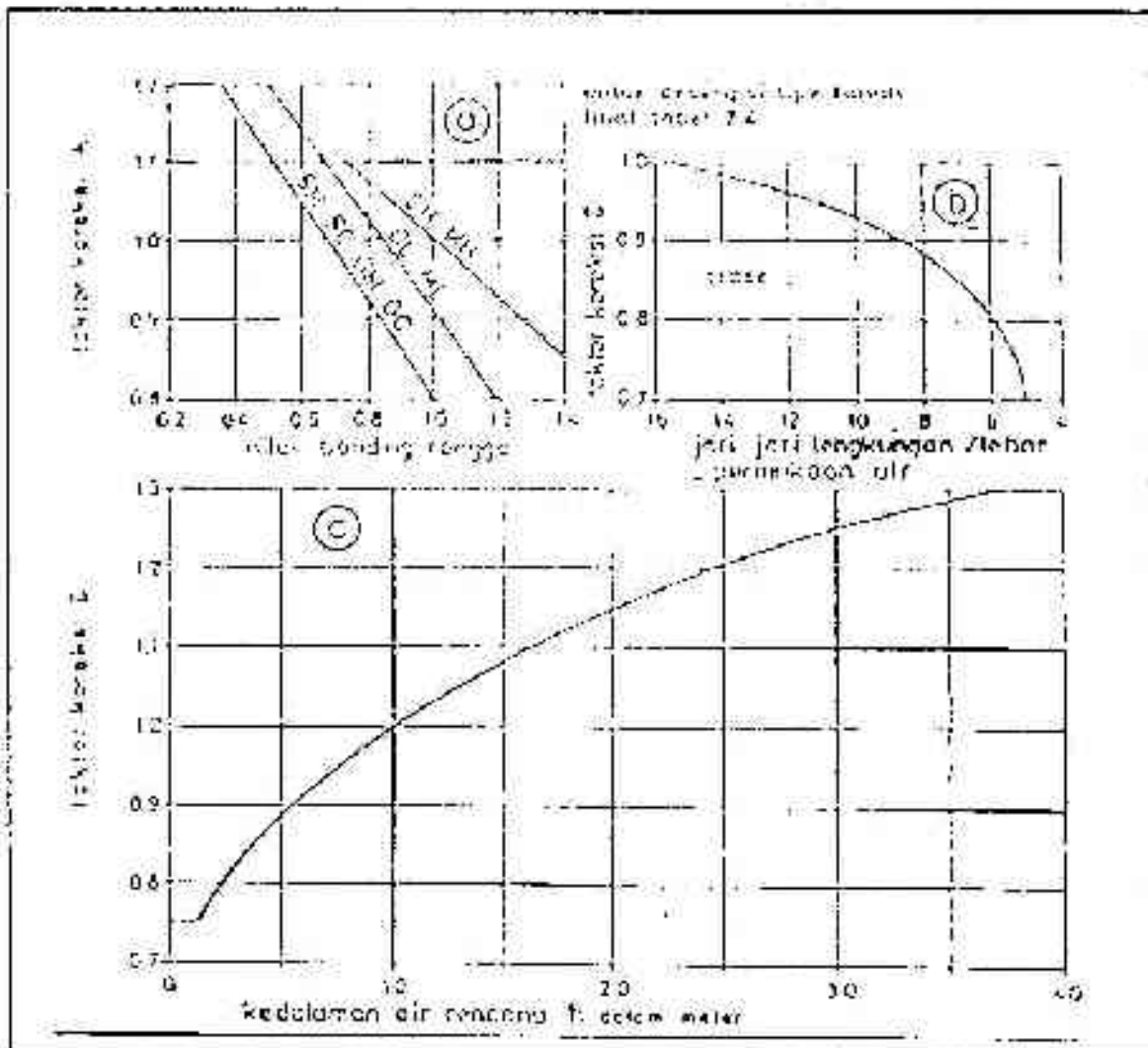
Saluran	Tipe tanah/Bahan pelapis	Kecepatan maksimum (m/det)
Tanah tak berlapis	lempung berpasir	0,5 - 0,7
	lempung berliat	0,6 - 0,9
	liat	0,9 - 1,0
	kerikil	0,9 - 1,5
	batu (rock)	1,2 - 1,8
Berlapis	beton pasangan	1,5 - 2,0
	PCC blocks	1,5 - 2,0
	bata pasangan	1,2 - 1,8

Tabel 5.6. Hubungan antara Q, h dan b/h untuk saluran pembuang

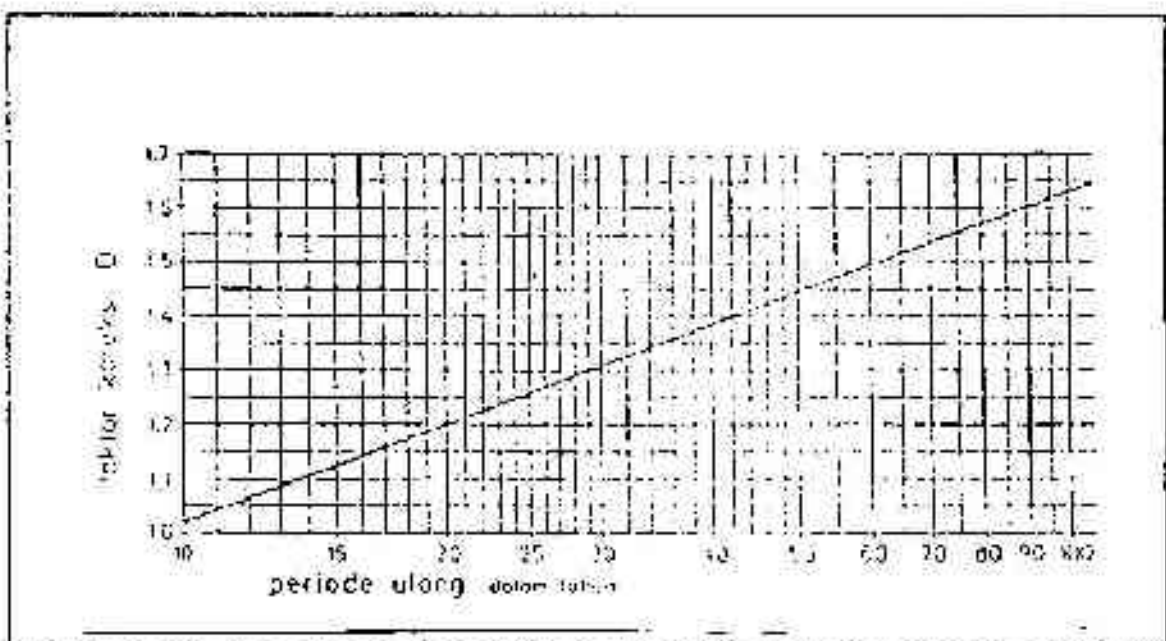
Q (m <sup>3</sup> /det)	h(m)	b/h
<0,5	< 0,5	1
0,5 - 1,1	0, - 0,75	2
1,1 - 3,5	0,75 - 1,0	2,5
> 3,5	> 1,0	3



Gambar 5.5. Kecepatan dasar ( $V_b$ ) untuk tanah koheren (USSCS)



Gambar 5.6. Faktor koreksi terhadap kecepatan dasar (USSCS)



Gambar 5.7. Koefisien koreksi (D) untuk berbagai periode ulang

Tabel 5.7. Hubungan antara Q, z, b/h dan  $k_m$  untuk saluran irigasi

Q (m <sup>3</sup> /det)	Z	b/h	$k_m$
<0,5	1,0	1,0	30
0,15 - 0,30	1,0	1,0	35
0,30 - 0,50	1,0	1,0 - 1,2	35
0,50 - 0,75	1,0	1,2 - 1,3	35
0,75 - 1,0	1,0	1,3 - 1,5	35
1,0 - 1,5	1,0	1,5 - 1,8	35
1,5 - 3,0	1,5	1,8 - 2,3	40
3,0 - 4,5	1,5	2,3 - 2,7	40
4,5 - 5,0	1,5	2,7 - 2,9	40
5,0 - 6,0	1,5	2,9 - 3,1	42,5
6,0 - 7,5	1,5	3,1 - 3,5	42,5
7,5 - 9,0	1,5	3,5 - 3,7	42,5
9,0 - 10,0	1,5	3,7 - 3,9	42,5
10,0 - 11,0	2,0	3,9 - 4,2	45
11,0 - 15,0	2,0	4,2 - 4,9	45
15,0 - 25,0	2,0	4,9 - 6,5	45
25,0 - 40,0	2,0	6,5 - 9,0	45

Tabel 5.8. Kemiringan talud minimum saluran pembuang

Kedalaman Galian D (m)	Kemiringan talud horizontal : vertikal
D < 1	1,0
1,0 < D < 2,0	1,5
D > 2,0	2,0

Tabel 5.9. Kemiringan talud berdasarkan jenis tanah di mana saluran tersebut dibuat

Jenis Tanah	Kemiringan talud horizontal : vertikal
Batuan ( <i>rock</i> )	0
Tanah gambut ( <i>peat soil</i> ) matang	1/4
Liat lekat atau berlapis beton	1/2 - 1
Tanah dengan berlapis batu	1
Tanah untuk saluran besar	1
Liat teguh ( <i>firm clay</i> )	1,5
Pasir	2
Lempung berpasir atau liat porous	3

Sumber : Ven Te Chow, 1959. *Open Channel Hydraulics*. McGraw Hill, New York

#### 5.2.2.6.3 Lengkung saluran pembuang

Jari-jari minimum lengkung yang diukur dari poros saluran adalah seperti pada Tabel 5.10. Jika diperlukan jari-jari yang lebih kecil, jari-jari tersebut boleh dikurangi sampai 3 x lebar dasar dengan cara memberi pasangan pada bagian luar lengkung saluran.



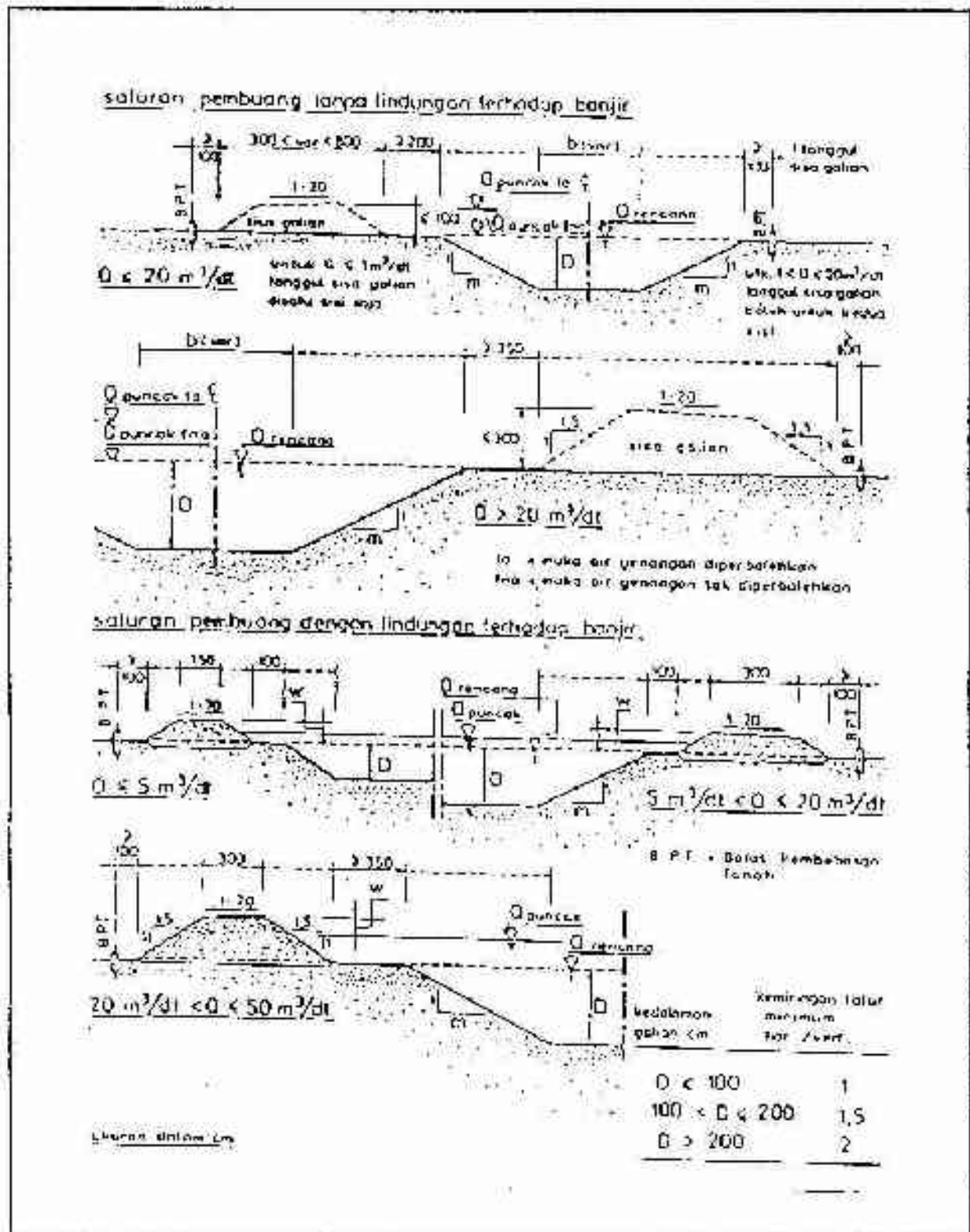
Tabel 5.10. Jari-jari lengkung saluran pembuang

$Q_{\text{rencana}}$ ( $\text{m}^3/\text{det}$ )	Jari-jari minimum (m)
$Q \leq 5$	3 x lebar dasar
$5 < Q \leq 7.5$	4 x
$7.5 < Q \leq 10$	5 x
$10 < Q \leq 15$	6 x
$Q > 15$	7 x

#### 5.2.2.6.4 Tinggi Jagaan

Karena debit pembuang rencana akan terjadi dengan periode ulang rata-rata 5 tahun, maka elevasi muka air rencana maksimum diambil sama dengan elevasi lahan. Galian tanah tambahan sebenarnya tidak diperlukan lagi. Akan tetapi untuk keamanan biasanya ditambahkan jagaan sekitar 0,1 m sampai 0,5 m (Lihat Gambar 5.9).

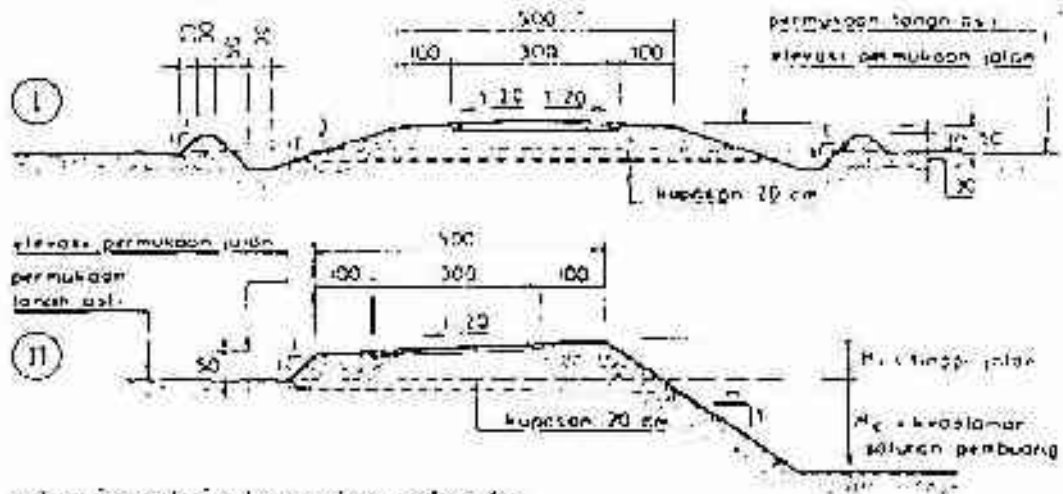
Apabila saluran pembuang utama juga harus menerima air hujan buangan dari daerah bukan sawah atau berbukit dan harus memberikan perlindungan penuh terhadap banjir, maka tinggi jagaan diambil sekitar 0,4 m sampai 1,0 m (Lihat Gambar 5.10).



Gambar 5.8. Tipe potongan melintang saluran pembuang

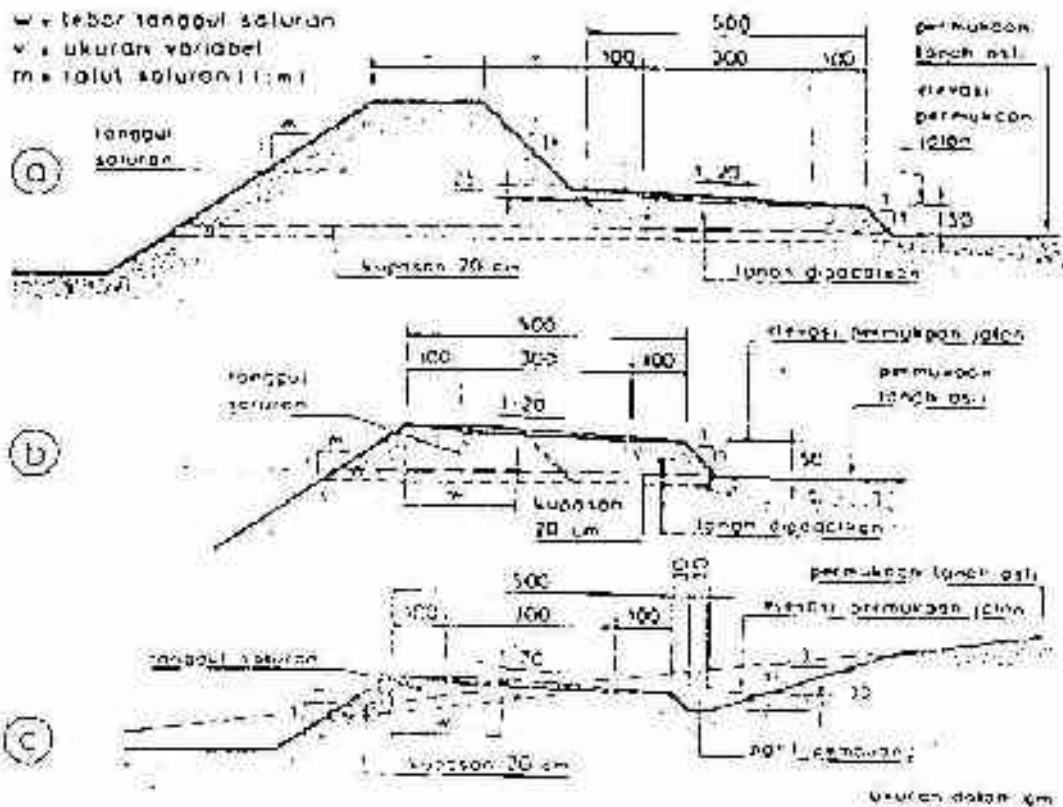
146 Kriteria Perencanaan Bangunan

jalan masuk



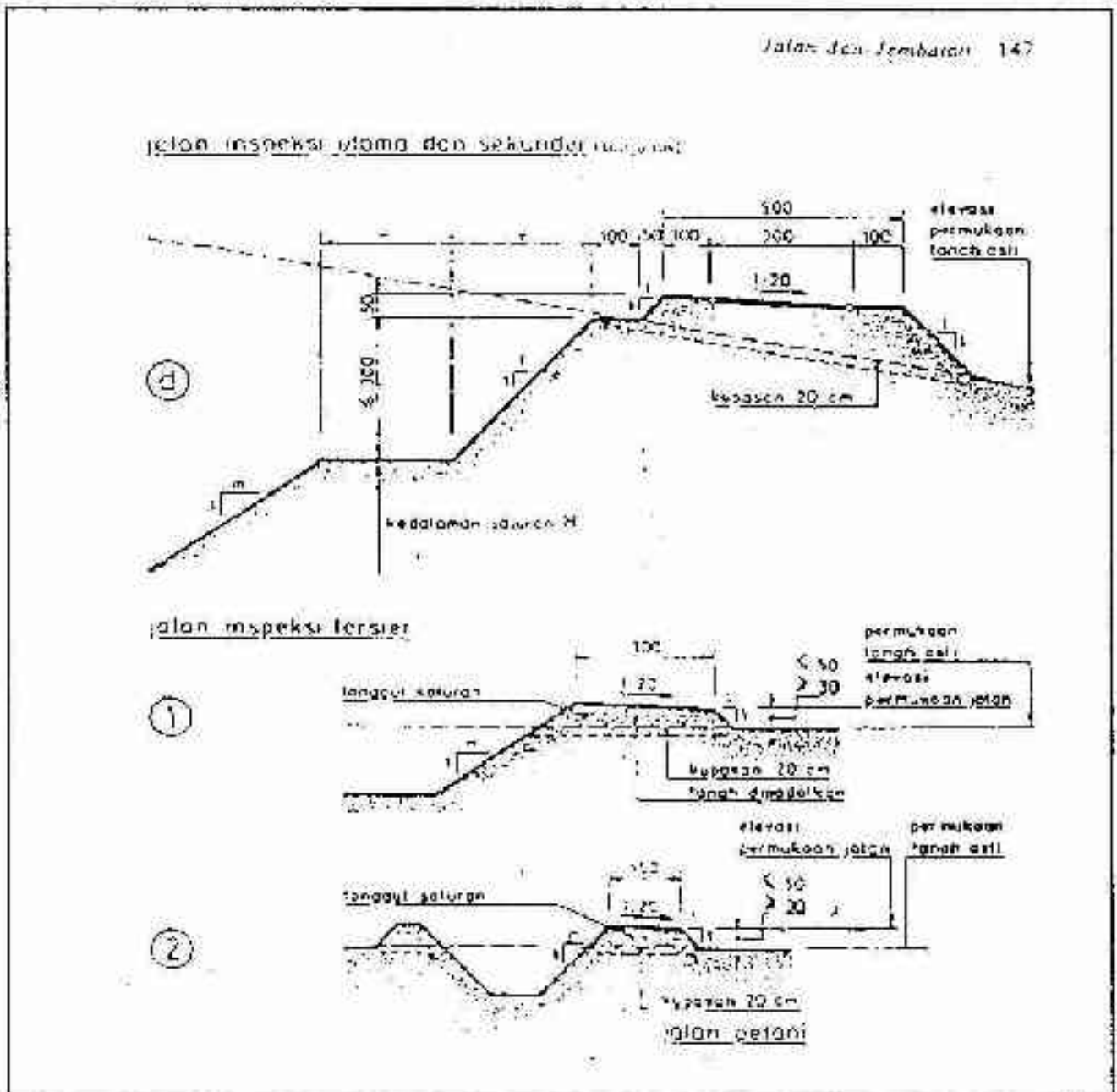
jalan inspeksi utama dan sekunder

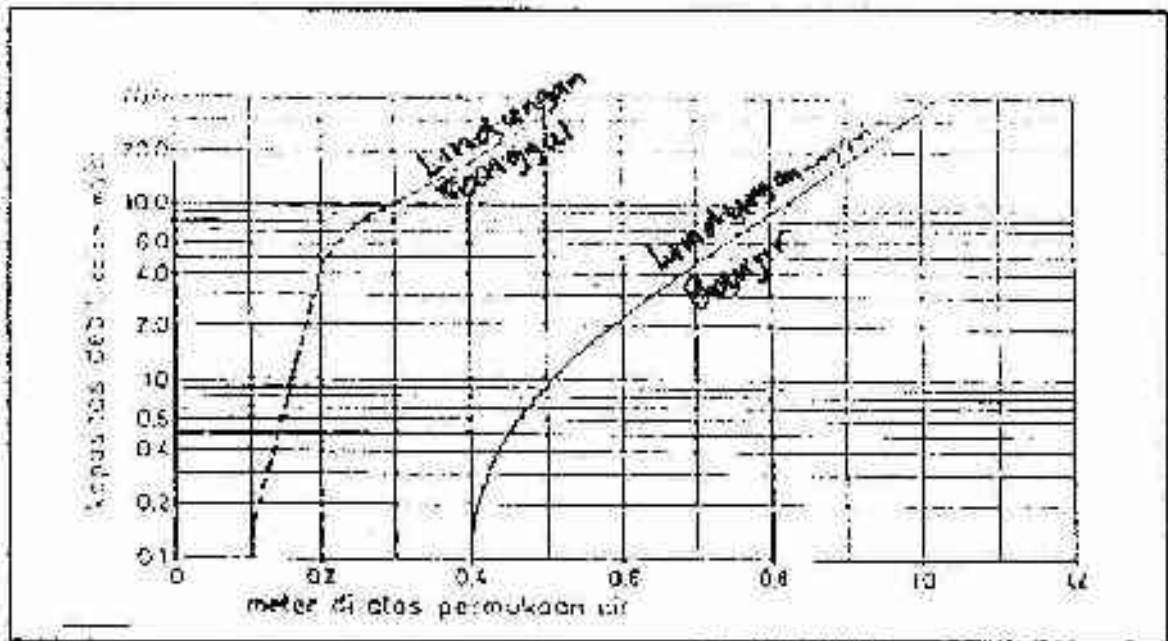
W = lebar tanggul saluran  
V = ukuran variabel  
m = talut saluran (cm)



Gambar 5.1a Tipe-tipe potongan melintang jalan inspeksi

Gambar 5.9a. Tipe potongan melintang jalan inspeksi





Gambar 5.10. Tinggi jagaan untuk saluran pembuang (USBR)

#### 5.2.2.7 Prosedur Rancangan Saluran Terbuka

##### Paramater yang diketahui/diduga :

- Nilai kehalusan Strickler  $k_m$
- Nilai Debit Rancangan (Q) ( $m^3/det$ )
- Nilai talud (z) yang dipilih
- Nilai  $w = b/h$  yang dipilih
- Nilai Kecepatan maximum ( $V_{max}$ ) ( $m/det$ )
- Nilai Kecepatan minimum ( $V_{min}$ ) ( $m/det$ )
- Kemiringan lahan di mana trace saluran berada

##### Perhitungan :

1. Hitung F
2. Hitung h (dengan menggunakan I yang ada)
3. Hitung A, cek  $V = Q/A$  ?
4. Apabila  $V > V_{max}$  → kembali ke 2 dengan I yang lebih kecil
5. Apabila  $V < V_{min}$  → kembali ke 2 dengan I yang lebih besar
6. Pilih V dan I yang optimum
7. Cek b, perlu di sesuaikan atau tidak? (diperbesar/diperkecil)
8. Kalau b disesuaikan, Hitung kembali penyesuaian h
9. Dimensi saluran optimum : b, h, z, I, FB, B, V,  $k_m$
10. Gambarkan penampang memanjang (*longitudinal*) saluran di lokasi trace saluran yang direncanakan:
  - Elevasi dasar saluran
  - Elevasi muka air rencana
  - Elevasi tanggul
  - Elevasi lahan di trace saluran
  - Nama ruas saluran

- Karakteristik hidrolik :  $b, z, h, FB, B, V, I, k_m$
  - Lokasi bangunan lainnya yang diperlukan (bangunan terjun, gorong-gorong, jembatan, siphon dll)
11. Gambarkan penampang melintang (*cross-section*) saluran di beberapa ruas saluran :
- Garis poros (*center line*)
  - Elevasi dasar saluran, tanggul
  - Elevasi lahan di titik pusat saluran dan sebelah kiri/kanan (profil melintang)
  - Hitung luas penampang galian atau timbunan

### Contoh Perhitungan :

1. Diketahui :

Saluran Drainase:  $Q = 3,5 \text{ m}^3/\text{det}$ ;  $z = 1$ ;  $V_{\max} = 1,2 \text{ m/det}$ ;  $V_{\min} = 0,6 \text{ m/det}$ ;  $I \text{ tersedia} = 0,001$ ;  $k_m = 35$

Perhitungan :

$h = 1,07$ ,  $b = 2,67$ ,  $V = 0,87$

Apabila  $V$  sudah cukup baik maka  $b$  dapat dibulatkan menjadi  $2,70 \text{ m}$ ,  $h = 1,06$ , sehingga dimensi sekarang :  $b = 2,70$ ;  $h = 1,06$ ;  $z = 1$ ;  $I = 0,001$ ;  $V = 0,87$ ;  $d = 1,74$ ;  $B = 6,2 \text{ m}$ .

Apabila diinginkan  $V$  mendekati  $V_{\max}$ , maka  $I$  harus **diperbesar** :

$I = 0,002$	maka $h = 0,94$	$b = 2,35$	$V = 1,13$
$I = 0,003$	maka $h = 0,87$	$b = 2,18$	$V = 1,32$
$I = 0,0025$	maka $h = 0,90$	$b = 2,25$	$V = 1,23$

Pilih  $I = 0,002$ ;  $b$  dibulatkan menjadi  $b = 2,5 \text{ m}$ ; maka  $h = 0,91 \text{ m}$ ;  $V = 1,13 \text{ m/det}$ ,  $d = 1,59 \text{ m}$ ;  $B = 5,7 \text{ m}$ .

2. Diketahui :

Saluran Drainase:  $Q = 5,5 \text{ m}^3/\text{det}$ ;  $z = 1$ ;  $V_{\max} = 1,2 \text{ m/det}$ ;  $V_{\min} = 0,6 \text{ m/det}$ ;  $I \text{ tersedia} = 0,005$ ;  $k_m = 35$

Perhitungan :

h = 0,88	b = 2,65	V = 1,77 (terlalu besar), kurangi I	
I = 0,004	h = 0,92	b = 2,76	V = 1,63
I = 0,003	h = 0,97	b = 2,91	V = 1,46
I = 0,002	h = 1,05	b = 3,14	V = 1,25
I = 0,001	h = 1,19	b = 3,58	V = 0,97
I = 0,0015	h = 1,11	b = 3,32	V = 1,13
I = 0,0018	h = 1,07	b = 3,20	V = 1,21
I = 0,0017	h = 1,08	b = 3,24	V = 1,18

Pilih  $I = 0,0017$ , bulatkan  $b = 3,2$ ;  $h = 1,09$ ;  $V = 1,19$ ;  $d = 1,90$ ;  $B = 6,80$

Pada kasus ini ternyata  $I$  rancangan lebih kecil dari  $I$  yang tersedia di lokasi trase saluran, dalam hal ini ada 2 pilihan kemungkinan yang harus dipertimbangkan :

- Apabila memungkinkan memindahkan trase saluran sehingga didapat  $I$  sekitar  $0,0017$

- b. Apabila tidak memungkinkan pemindahan trase saluran, maka pada trase tersebut harus dibuat Bangunan Terjun (Tentukan lokasi dan rancang Bangunan Terjun)

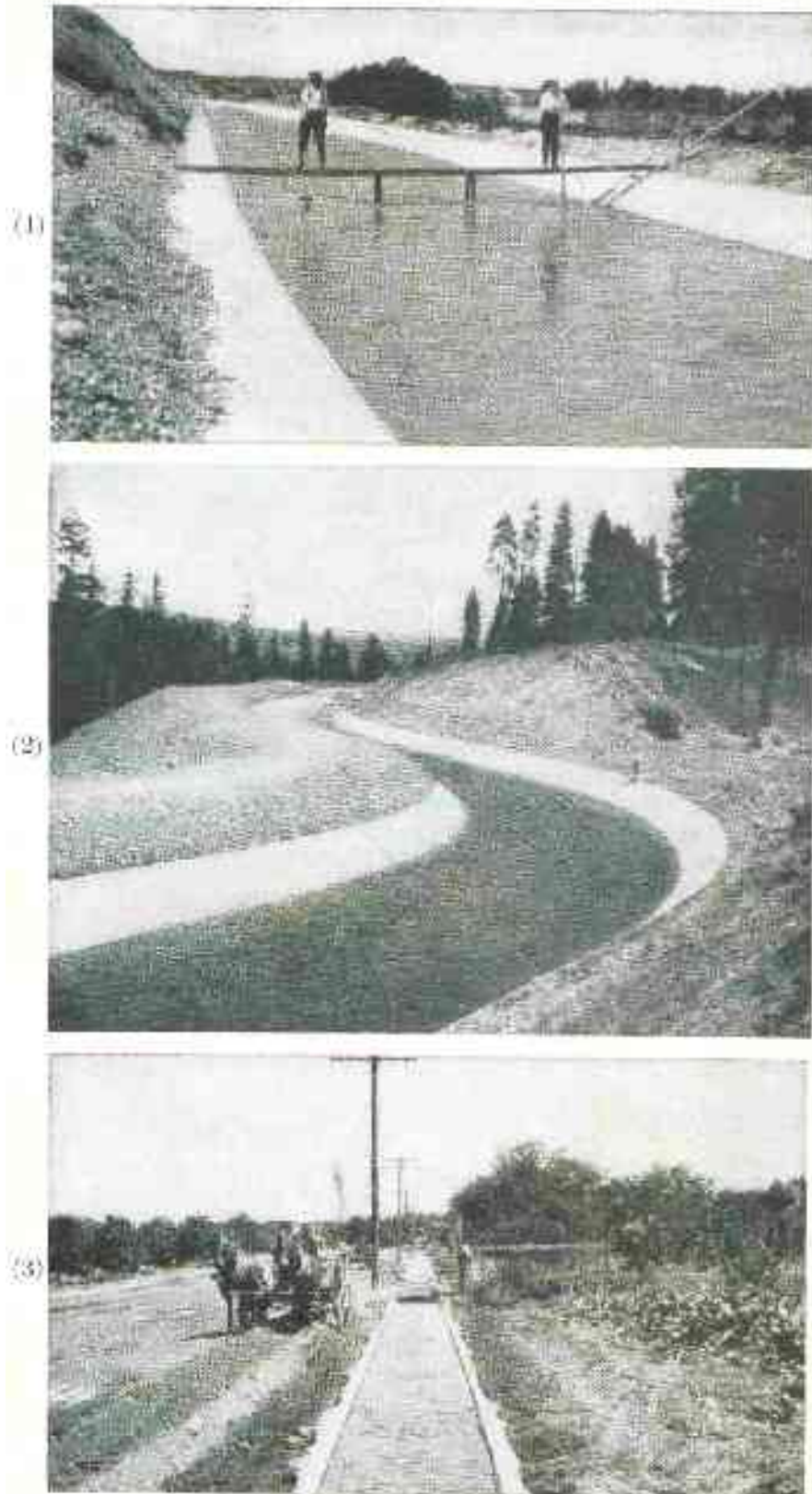


FIG. 5-5 (1-3)

Beberapa Gambaran nilai  $n$  dari saluran:

Foto 1:  $n = 0.012$  . Saluran berlapis concrete slab dengan sambungan semen halus

Foto 2:  $n = 0.014$  . Concrete canal poured behind screeding and smoothing platform

Foto 3:  $n = 0.016$  . Saluran kecil berlapis concrete, lurus dan seragam

Sumber: Ven Te Chow, 1959. Open Channel Hydraulics halaman 116





Beberapa Gambaran nilai  $n$  dari saluran: Foto. 5-5 (7-9)

Foto 7:  $n = 0.020$  . Saluran irigasi, lurus, in hard packed smooth sand

Foto 8:  $n = 0.022$  . Saluran berlapis plaster semen dengan rumput tumbuh di pecahan semen

Foto 9:  $n = 0.024$  . Saluran tanah digali pada silty clay loam

Sumber: Ven Te Chow, 1959. Open Channel Hydraulics halaman 118



Beberapa Gambaran nilai  $n$  dari saluran:

FIG. 5-5 (13-15)

Foto 13:  $n = 0.029$  . Saluran tanah galian di alluvial silt loam, dengan dasar pasir dan rumput tumbuh di tanggul

Foto 14:  $n = 0.030$  . Canal with large-cobblestone bed

Foto 15:  $n = 0.035$  . Saluran alami dengan talud tak teratur

Sumber: Ven Te Chow, 1959. Open Channel Hydraulics halaman 120



Fig. 5-5 (19-21)

Beberapa Gambaran nilai  $n$  dari saluran:

Foto 19:  $n = 0.050$  . Saluran galian dengan talud dan dasar yang tak teratur

Foto 20:  $n = 0.060$  . Saluran pada silty clay berat, talud dan dasar saluran tak teratur

Foto 21:  $n = 0.080$  . Saluran gali pada tanah liat dengan talud dan dasar saluran tak teratur, rumput tumbuh .

Sumber: Ven Te Chow, 1959. Open Channel Hydraulics halaman 122



## Penutup

### Pertanyaan dan Soal Latihan

- (1) Tuliskan rumus pendugaan puncak limpasan menurut metoda Rasional. Terangkan kenapa disebut metoda Rasional?
- (2) Berikan beberapa contoh variabel keteknikan (*engineering variable*) dalam teknik rancangan drainase ?
- (3) Terangkan beberapa parameter fisika tanah yang dipengaruhi oleh drainase?
- (4) Suatu indikasi adanya kelebihan air (drainase jelek) adalah daun tanaman yang berwarna pucat menguning. Terangkan kenapa hal tersebut terjadi? dan apa dampaknya terhadap produksi tanaman?
- (5) Terangkan proses terjadinya penurunan tanah (*subsidence*) akibat dari drainase bawah permukaan (penurunan elevasi muka air tanah)?
- (6) Uraikan beberapa pengaruh utama dari salinitas tanah terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman?
- (7) Uraikan proses terbentuknya *pyrite* (*cat clay*) di lahan pasang surut dan apa pengaruhnya terhadap tanaman?
- (8) Terangkan beberapa kemungkinan usaha reklamasi tanah sulfat masam di daerah pasang-surut?
- (9) Apa tujuan drainase permukaan
- (10) Apa yang dimaksud dengan modulus drainase. Apa satuannya
- (11) Bagaimana caranya menghitung modulus drainase untuk padi sawah dan non-padi
- (12) Apa yang dimaksud dengan kurva DDF. Bagaimana membuatnya?
- (13) Terangkan berbagai metoda untuk menghitung puncak limpasan
- (14) Apa yang dimaksud dengan kecepatan minimum dan kecepatan maksimum dalam perencanaan dimensi saluran
- (15) Parameter apa yang menentukan nilai kecepatan maksimum dalam rancangan saluran
- (16) Bagaimana caranya menghitung dimensi saluran. Parameter apa yang harus diketahui?
- (17) Pada rancangan saluran drainase utama beberapa data diketahui sebagai berikut:  
Debit rancangan  $Q = 2,0 \text{ m}^3/\text{det}$ , koefisien kekasaran  $n = 0,025$ ; talud  $z = 1,5$ ;  
Kecepatan maksimum =  $1,1 \text{ m/det}$ ; Kecepatan minimum =  $0,5 \text{ m/det}$ . Survey

elevasi lahan di lokasi trase pusat kanal dan elevasi muka air yang diperlukan di ujung saluran kolektor adalah seperti pada tabel di bawah ini.

- Hitung dimensi saluran dan kemiringan dasar saluran?
- Gambarkan penampang memanjang saluran drainase utama termasuk elevasi muka air, elevasi dasar saluran dan tanggul pada kertas grafik (mm block)
- Apakah diperlukan bangunan terjun?, kalau diperlukan di mana lokasinya?

Jarak dari outlet (m)	Elevasi lahan (m)	Elevasi muka air yang diperlukan pada saluran kolektor (m)
0	+ 6.00	+ 5.50
100	+ 6.50	
200	+ 6.90	
300	+ 7.10	
400	+ 7.50	
500	+ 8.00	+ 7.00
600	+ 8.50	
700	+ 8.80	
800	+ 9.10	
900	+ 9.65	
1000	+ 10.00	+ 9.50

- (18) Pada rancangan saluran drainase diketahui beberapa parameter rancangan sebagai berikut: (a) Debit rancangan  $Q = 4,5 \text{ m}^3/\text{det}$ ; (b) Kecepatan maksimum dan minimum:  $V_{\max} = 1,2 \text{ m/det}$ ,  $V_{\min} = 0,4 \text{ m/det}$ ; (c) Kemiringan tanah tersedia  $I = 0,004$ ; (d) talud  $z = 1,5$ ; (e) koefisien kehalusan  $k_m = 40$ . Rancang dimensi saluran drainase tersebut.
- (19) Pada rancangan saluran drainase diketahui beberapa parameter rancangan sebagai berikut: (a) Debit rancangan  $Q = 3,0 \text{ m}^3/\text{det}$ ; (b) Kecepatan maksimum dan minimum:  $V_{\max} = 1,2 \text{ m/det}$ ,  $V_{\min} = 0,4 \text{ m/det}$ ; (c) Kemiringan tanah tersedia  $I = 0,004$ ; (d) talud  $z = 1,5$ ; (e) koefisien kehalusan  $k_m = 40$ . Rancang dimensi saluran drainase tersebut.
- (20) Pada rancangan saluran drainase diketahui beberapa parameter rancangan sebagai berikut: (a) Debit rancangan  $Q = 2,0 \text{ m}^3/\text{det}$ ; (b) Kecepatan maksimum dan minimum:  $V_{\max} = 1,2 \text{ m/det}$ ,  $V_{\min} = 0,4 \text{ m/det}$ ; (c) Kemiringan tanah tersedia  $I = 0,004$ ; (d) talud  $z = 1,5$ ; (e) koefisien kehalusan  $k_m = 40$ . Rancang dimensi saluran drainase tersebut.
- (21) Pada rancangan saluran irigasi diketahui beberapa parameter rancangan sebagai berikut: (a) Debit rancangan  $Q = 4,5 \text{ m}^3/\text{det}$ ; (b) Kecepatan maksimum dan minimum:  $V_{\max} = 1,2 \text{ m/det}$ ,  $V_{\min} = 0,4 \text{ m/det}$ ; (c) Kemiringan tanah tersedia  $I = 0,004$ ; (d) talud  $z = 1,5$ ; (e) koefisien kehalusan  $k_m = 40$ . Rancang dimensi saluran irigasi tersebut.
- (22) Pada rancangan saluran irigasi diketahui beberapa parameter rancangan sebagai berikut: (a) Debit rancangan  $Q = 3,0 \text{ m}^3/\text{det}$ ; (b) Kecepatan maksimum dan minimum:  $V_{\max} = 1,2 \text{ m/det}$ ,  $V_{\min} = 0,4 \text{ m/det}$ ; (c) Kemiringan tanah tersedia  $I =$

0,004; (d) talud  $z = 1,5$ ; (e) koefisien kehalusan  $k_m = 40$ . Rancang dimensi saluran irigasi tersebut.

(23) Pada rancangan saluran irigasi diketahui beberapa parameter rancangan sebagai berikut: (a) Debit rancangan  $Q = 2,0 \text{ m}^3/\text{det}$ ; (b) Kecepatan maksimum dan minimum:  $V_{\max} = 1,2 \text{ m/det}$   $V_{\min} = 0,4 \text{ m/det}$ ; (c) Kemiringan tanah tersedia  $I = 0,004$ ; (d) talud  $z = 1,5$ ; (e) koefisien kehalusan  $k_m = 40$ . Rancang dimensi saluran irigasi tersebut.

(24) Suatu areal pertanian dengan luas 100 ha terdiri dari : 40 ha lahan pertanian dengan lereng 0 - 5% bertekstur lempung berdebu (*silt loam*), 20 ha padang rumput lereng 5 - 10% bertekstur lempung berpasir dan 40 ha hutan lereng 10 - 30% bertekstur liat. Panjang maksimum aliran 1 000 m dengan beda elevasi dari titik tertinggi ke outlet sebesar 10 m. Data intensitas-lama hujan dan frekuensi di daerah tersebut adalah sebagai berikut :

Lama Hujan (menit)	Intensitas hujan maksimum (mm/jam)	
	T = 5 tahun	T = 10 tahun
10	60	80
20	40	70
30	25	50
40	20	40
50	15	30
1440	2	5

Ditanyakan :

- Hitung besarnya debit puncak untuk perioda ulang 5 tahun?
- Hitung besarnya debit rencana untuk saluran drainase utama?
- Tentukan dimensi saluran drainase utama untuk daerah tersebut, apabila diketahui data :  $n = 0.025$ ,  $z = 1.5$ ,  $V_{\max} = 1.0 \text{ m/det}$ ,  $V_{\min} = 0.5 \text{ m/det}$ ,  $T = 5$  tahun
- Gambarkan rancangan anda pada penampang longitudinal (elevasi muka air rencana , dasar saluran dan elevasi tanggul), apabila data elevasi lahan pada lokasi di mana saluran akan dibuat (*trace saluran*) adalah sebagai berikut :

Jarak dari outlet (m)	Elevasi lahan (m)
0	+ 6.00
100	+ 6.50
200	+ 6.90
300	+ 7.10
400	+ 7.50
500	+ 8.00
600	+ 8.50
700	+ 8.80
800	+ 9.10
900	+ 9.65
1000	+ 10.00

- Di mana bangunan terjun harus dibuat dan buat rancangannya?

- f. Berdasarkan hasil pada d) apa saran sdr supaya didapatkan rancangan saluran yang lebih ekonomis?
  - g. Untuk menghitung volume gali dan timbun, data apa yang diperlukan?. Berikan contoh perhitungannya?
- (25)Uraikan perbedaan pokok rancangan saluran untuk irigasi dan untuk drainase (jelaskan alasannya)?
- (26)Terangkan beberapa faktor yang menentukan besarnya talud (z) dalam rancangan saluran terbuka?
- (27)a. Uraikan pengaruh drainase terhadap produktivitas tanaman  
b. Uraikan hubungan antara *variable engineering* dengan rancangan sistim drainase
- (28)Formulasikan suatu kriteria rancangan sistim drainase untuk: (a) Drainase permukaan, (b). Drainase bawah permukaan
- (29)Dalam rancangan saluran drainase diketahui parameter rancangan sebagai berikut :  
 $Q = 2.0 \text{ m}^3/\text{det}$  ;  $n = 0.025$ ;  $z = 1.5$  ;  $S = 0.001$   
 a) Tentukan dimensi saluran  
 b) Cek kecepatan alirannya (kecepatan maksimum yang diijinkan =  $1.1 \text{ m/det}$  )  
 c) Apabila diinginkan kecepatannya mendekati kecepatan maksimum, berapa kemiringan saluran harus dibuat ? dan bagaimana dimensi salurannya?
- (30)Pada peta topografi di bawah ini, di mana sdr akan meletakkan saluran drainase dan berikan alasannya?

### Kunci Jawaban

- (1)  $Q = C \times i \times A$ , Rasional karena debit puncak akan terjadi pada intensitas hujan dengan lama hujan sama dengan waktu konsentrasi
- (2)

Tipe Drainase	Variabel keteknikan
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Drainase bawah permukaan, gravitasi</li> <li>• Drainase bawah permukaan, dengan sumur pompa</li> <li>• Drainase permukaan, preventif</li> <li>• Parit, kolektor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kedalaman, spasing, ukuran pipa</li> <li>• kedalaman, spasing, kapasitas pompa</li> <li>• panjang dan kemiringan lahan</li> <li>• dimensi, kemiringan saluran</li> </ul>

- (3) Lihat teks
- (4) Drainase jelek, kekurangan oksigen, akar tak mampu menyerap hara, sehingga daun berwarna kuning
- (5) Penurunan elevasi muka airtanah, terjadi oksidasi bahan organik, tanah organik semakin matang, Bobot isi semakin besar, porositas semakin kecil, tekanan tanah tidak disangga oleh air dalam pori (jenuh) sehingga terjadi penurunan permukaan tanah
- (6) Naiknya kandungan garam dalam larutan tanah menyebabkan tekanan osmotik semakin besar sehingga gaya yang diperlukan akar untuk mengisap air menjadi lebih besar

- (7) FeS teroksidasi akan menghasilkan sulfat yang menyebabkan pH tanah turun dan tanaman yang peka akan mati
- (8) Reklamasi tanah sulfat masam tidak berdampak negatif terhadap tanaman selama tergenang (reduksi) tidak teroksidasi. Tanaman yang cocok adalah yang tahan genangan
- (9) Membuang kelebihan air permukaan sehingga tinggi dan lama genangan dapat dikendalikan
- (10) Jumlah kelebihan air yang harus dibuang per satuan waktu (mm/hari atau liter/detik/ha)
- (11) Buat kurva DDF. Untuk padi sawah tentukan genangan maksimum yang masih diijinkan. Tarik dari titik tersebut garis lurus menyinggung kurva DDF. Slope garis tersebut merupakan modulus drainase (mm/hari). Untuk non padi genangan yang diijinkan nol
- (12) DDF adalah Depth Duration Frequency Curve. Diperlukan data hujan harian minimal 10 tahun. Anda dapat menggunakan software RAINBOW untuk analisis frekuensinya.
- (13) Lihat teks
- (14) Kecepatan minimum adalah kecepatan dimana akan terjadi pengendapan sedimen, tumbuhnya gulma air di dalam saluran. Kecepatan maksimum adalah kecepatan yang akan menyebabkan erosi tebing pada saluran
- (15) Kecepatan maksimum tergantung pada jenis/tekstur tanah dimana saluran akan dibuat
- (16) Lihat teks: Gunakan persamaan Manning-Strickler
- (17) Gambar penampang memanjang lokasi saluran pada kertas grafik. Hitung dimensi saluran termasuk slope saluran dijaga supaya kecepatan aliran lebih kecil dari kecepatan maksimum dan lebih besar dari kecepatan minimum. Gambar penampang memanjang saluran. Tentukan dasar saluran, muka air rencana, tanggul.
- (18)  $Q = 4,5 \text{ m}^3/\text{det}$ ;  $z = 1,5$ ;  $km = 40$ ;  $I = 0,0015$ ;  $V = 1,15 \text{ m}/\text{det}$ ;  $b = 2,8 \text{ m}$ ;  $h = 0,93 \text{ m}$
- (19)  $Q = 3,0 \text{ m}^3/\text{det}$ ;  $z = 1,5$ ;  $km = 40$ ;  $I = 0,002$ ;  $V = 1,17 \text{ m}/\text{det}$ ;  $b = 2,0 \text{ m}$ ;  $h = 0,80 \text{ m}$
- (20)  $Q = 2,0 \text{ m}^3/\text{det}$ ;  $z = 1,5$ ;  $km = 40$ ;  $I = 0,0025$ ;  $V = 1,15 \text{ m}/\text{det}$ ;  $b = 1,6 \text{ m}$ ;  $h = 0,67 \text{ m}$
- (21)  $Q = 4,5 \text{ m}^3/\text{det}$ ;  $z = 1,5$ ;  $km = 40$ ;  $I = 0,0015$ ;  $V = 1,15 \text{ m}/\text{det}$ ;  $b = 2,6 \text{ m}$ ;  $h = 0,96 \text{ m}$
- (22)  $Q = 3,0 \text{ m}^3/\text{det}$ ;  $z = 1,5$ ;  $km = 40$ ;  $I = 0,002$ ;  $V = 1,17 \text{ m}/\text{det}$ ;  $b = 1,9 \text{ m}$ ;  $h = 0,82 \text{ m}$
- (23)  $Q = 2,0 \text{ m}^3/\text{det}$ ;  $z = 1,5$ ;  $km = 40$ ;  $I = 0,0025$ ;  $V = 1,16 \text{ m}/\text{det}$ ;  $b = 1,4 \text{ m}$ ;  $h = 0,70 \text{ m}$
- (24) Hitung debit puncak. Rancang dimensi saluran. Plot pada kertas grafik penampang memanjang saluran.
- (25) Untuk saluran irigasi: elevasi muka air dirancang serendah mungkin tetapi cukup tinggi sesuai dengan yang diperlukan. Pada saluran drainase: elevasi muka air dirancang setinggi mungkin tetapi cukup rendah sesuai dengan yang diperlukan.
- (26) Lihat teks
- (27) Lihat teks
- (28) Lihat teks
- (29)  $Q = 2,0 \text{ m}^3/\text{det}$ ;  $z = 1,5$ ;  $km = 40$ ;  $I = 0,001$ ;  $V = 0,81 \text{ m}/\text{det}$ ;  $b = 2,0 \text{ m}$ ;  $h = 0,78 \text{ m}$ .  
Jika diinginkan  $v$  mendekati  $v$  maks maka  $I = 0,002$ ;  $V = 1,05 \text{ m}/\text{det}$ ;  $b = 1,7 \text{ m}$ ;  $h = 0,69 \text{ m}$

## Daftar Pustaka

1. Dedi Kusnadi K., 2002 (edisi ke 2). Rancangan Irigasi Gravitasi, Drainase dan Infrastruktur. Laboratorium Teknik Tanah dan Air, Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.



2. Ditjen. Pengairan Republik Indonesia, 1986. Standard Perencanaan Irigasi : Kriteria Perencanaan Bagian Saluran, KP-03. C.V. Galang Persada. Bandung
3. ILRI, 1974. Drainage Principles and Application. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen. The Netherlands.
  - a. Volume I : Introductory Subjects
  - b. Volume II : Theory of Field Drainage and Watershed Runoff
  - c. Volume III : Surveys and Investigations
  - d. Volume IV : Design and Management of Drainage Systems.
4. Meijer, T.K.E., 1990. Design of Smallholders' Irrigation Systems. Wageningen Agricultural University, The Netherlands.
5. Ritzema, H.P.; R.A.L. Kselik; Fernando Chanduvi, 1996. Drainage of Irrigated Lands. Irrigation Water Management: Training Manual No 9. FAO, Rome, Italy