

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bangunan Pengendali Banjir

Pengendalian banjir meliputi kegiatan perencanaan, pelaksanaan pekerjaan, eksploitasi dan pemeliharaan sungai. Metode pendekatan yang digunakan dalam analisis pengendalian banjir yaitu:

1. Metode Struktural
 - a. Perbaikan dan pengaturan sistem sungai berupa sistem jaringan sungai, normalisasi sungai, tanggul banjir, sudetan, flood way.
 - b. Bangunan pengendali banjir berupa bendungan, kolam retensi, pembuatan cek dam, polder.
2. Metode Non-Struktural berupa pengelolaan Daerah Aliran Sungai, pengaturan tata guna lahan, pengendalian erosi, peramalan banjir, dan peringatan bahaya banjir.

Bangunan pengaturan sungai adalah suatu bangunan air yang dibangun pada sungai dan berfungsi sebagai:

1. Mengatur aliran air agar tetap stabil, dan
2. Sebagai pengendali banjir.

2.1.1 Jenis-jenis Bangunan Pengatur Sungai

1. Perkuatan Lereng (revetments)

Perkuatan Lereng (revetments) adalah bangunan yang ditempatkan pada permukaan suatu lereng guna melindungi suatu tebing dalam sungai atau permukaan tanggul secara keseluruhan berperan meningkatkan stabilitas alur sungai atau tubuh tanggul yang dilindunginya. Pengembangan lanjut terhadap konstruksi, salah satu bangunan persungai yang sangat vital ini dan pada saat ini telah dimungkinkan memilih salah satu konstruksi, bahan dan cara pelaksanaan yang paling cocok disesuaikan dengan berbagai kondisi setempat. Walaupun demikian konstruksi perkuatan lereng secara terus menerus dikembangkan dan disempurnakan.

2. Pelindung Tebing Tidak Langsung (krib)

Pelindungan tebing tidak langsung atau pengarah arus (krib) merupakan bangunan air yang secara aktif mengatur arah aliran sungai dan mempunyai efek positif yang besar jika dibangun secara benar. Sebaliknya, apabila krib dibangun secara kurang benar, maka tebing diseberang dan bagian sungai sebelah hilir akan mengalami kerusakan. Tujuan utamanya pembuatan krib adalah:

- a. Mengatur arah arus sungai,
- b. Mengurangi kecepatan arus sungai sepanjang tebing sungai,
- c. Mempercepat sedimentasi,
- d. Menjamin keamanan tanggul atau tebing terhadap gerusan,
- e. Mempertahankan lebar dan kedalaman air pada alur sungai,
- f. Mengonsentrasikan arus sungai dan memudahkan penyadapan.

3. Tanggul

Tanggul disepanjang sungai adalah salah satu bangunan yang paling utama dan paling penting dalam usaha melindungi kehidupan dan harta benda masyarakat terhadap genangan yang disebabkan oleh banjir. Tanggul dibangun terutama dengan konstruksi urugan tanah karena tanggul merupakan bangunan menerus yang sangat panjang serta membutuhkan bahan urugan dengan volume besar karena tanah merupakan bahan yang sangat mudah penggarapannya dan setelah menjadi tanggul sangat mudah pula menyesuaikan diri dengan tanah pondasi yang mendukungnya, serta mudah pula menyesuaikan dengan kemungkinan penurunan yang tidak rata, sehingga perbaikan yang disebabkan oleh penurunan tersebut mudah dikerjakan.

4. Dam penahan sedimen (Check Dam)

Dam penahan sedimen (Check Dam) adalah bangunan yang berfungsi menampung dan menahan sedimen dalam jangka waktu sementara atau tetap, dan harus melewatkan aliran air melalui mercu maupun tubuh bangunan. Check dam juga digunakan untuk mengatur kemiringan dasar saluran drainase sehingga mencegah terjadinya penggerusan dasar yang membahayakan stabilitas saluran drainase.

5. Ground Sill

Ground sill direncanakan berupa ambang atau lantai yang berfungsi untuk mengendalikan ketinggian dan kemiringan dasar sungai agar dapat mengurangi atau menghentikan degradasi sungai. Bangunan ini juga dibangun untuk menjaga agar dasar sungai tidak turun terlalu berlebihan.

2.1.2 Prasarana Peringatan Banjir

Permasalahan utama sungai di Indonesia adalah terjadinya banjir pada saat musim hujan. Fenomena banjir disebabkan oleh dua faktor, yaitu:

1. Faktor alam dapat berupa topografi pada hulu sungai curam sedangkan hilir sungai relatif datar, sebagian daerah banjir merupakan daerah yang lebih rendah dari muka air laut rata-rata, intensitas hujan tinggi (diatas 2000 mm), dan dalam waktu yang lama, terlalu kecil kapasitas sungai dibandingkan dengan banjir yang lewat, akibat air laut pasang yang menghalangi aliran air laut.
2. Faktor manusia dapat berupa alih fungsi sungai dan rawa, pemanfaatan bantaran sungai dan dataran banjir untuk pemukiman, menurunnya kapasitas sungai akibat kurangnya pemeliharaan dan buangan sampah di sungai, penggunaan lahan di hulu yang tidak sesuai dengan kaidah konservasi, meningkatnya debit banjir, erosi dan sedimentasi karena rusaknya DAS, penurunan permukaan tanah akibat pengambilan air tanah.

Meningkatnya jumlah penduduk maka kebutuhan akan tempat tinggal ikut meningkat sehingga pembangunan perumahan terus mengisi lahan-lahan terbuka. Luas lahan dengan tutupan perumahan atau perkerasan beton atau aspal/jalan semakin meningkat sehingga semakin kecil jumlah luasan lahan infiltrasi (resapan air) yang mengakibatkan imbuhan air tanah (groundwater recharge) semakin mengecil dan aliran limpasan permukaan atau run off semakin meningkat dari waktu ke waktu. Hal ini yang menjadikan banjir sebagai fenomena alam yang paling sering terjadi di kota-kota besar, maka ada baiknya dilakukan persiapan dalam hal mitigasi bencana banjir.

Adapun prasarana sungai yang dapat digunakan sebagai peringatan dini banjir adalah sebagai berikut:

1. Stasiun Curah Hujan/Klimatologi,
2. Alat Duga Air Manual.

Dalam kegiatan peringatan dini banjir, data dan koordinasi dari petugas stasiun hidrologi di lokasi tersebut sangat penting. Koordinasi yang dimaksud adalah antara petugas pos hidrologi dengan Unit Hidrologi Kabupaten, Unit Hidrologi Provinsi, Unit Hidrologi Balai Besar, BPBD Kabupaten/Provinsi, dan Instansi terkait lainnya.

2.2 Analisis Hidrologi

2.2.1 Analisis Curah Hujan Maksimum Harian Rata-rata Daerah Aliran Sungai

Analisis curah hujan maksimum harian rata-rata daerah dilakukan dengan metode Polygon Thiessen. Cara ini memperhitungkan luas daerah yang diwakili oleh stasiun yang bersangkutan untuk menghitung hujan maksimum harian rata-rata daerah. Rumus dalam menghitung Polygon Thiessen (\bar{P}) adalah:

$$\bar{P} = \frac{A_1P_1 + A_2P_2 + \dots + A_nP_n}{A_{total}} \quad \dots(2.1)$$

Keterangan:

\bar{P} = hujan rata-rata (mm),

A_i = Luas catchment area pada stasiun i (km²),

A_{tot} = Luas catchment area total (km²),

P_i = Curah hujan maksimum harian (mm).

2.2.2 Analisis Distribusi Curah Hujan

Dari hasil perhitungan curah hujan maksimum harian rata-rata daerah dengan metode *Polygon Thiessen* di atas perlu ditentukan kemungkinan terulangnya curah hujan maksimum harian guna menentukan debit banjir rencana. Untuk penentuan curah hujan yang akan dipakai dalam menghitung besarnya debit banjir rencana berdasarkan analisa distribusi curah hujan awalnya dengan pengukuran dispersi dilanjutkan pengukuran dispersi dengan logaritma dan pengujian kecocokan sebaran.

Pada pengukuran dispersi tidak semua nilai dari suatu variabel hidrologi terletak atau sama dengan nilai rata-ratanya akan tetapi kemungkinan ada nilai yang lebih besar atau lebih kecil daripada nilai rata-ratanya. Besarnya derajat dari sebaran nilai disekitar nilai rata-ratanya disebut dengan variasi atau dispersi suatu data sembarang variabel hidrologi. Beberapa macam cara untuk mengukur dispersi diantaranya adalah:

1. Standar Deviasi (S_d), dengan rumus:

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad \dots(2.2)$$

Keterangan:

S_d = Standar deviasi

X_i = Curah hujan di stasiun hujan ke- i (mm)

\bar{X} = Curah hujan rata-rata (mm)

n = Jumlah data.

2. Koefisien *Skewness* merupakan nilai yang menunjukkan derajat ketidaksimetrisan dari suatu bentuk distribusi dengan rumus:

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)S_d^3} \quad \dots(2.3)$$

Keterangan:

C_s = Koefisien *Skewness*,

S_d = Standar deviasi,

X_i = Curah hujan di stasiun hujan ke- i (mm),

\bar{X} = Curah hujan rata-rata (mm),

n = Jumlah data.

3. Koefisien *Kurtosis* berfungsi untuk mengukur keruncingan dari bentuk kurva distribusi, yang umumnya dibandingkan dengan distribusi normal dengan rumus:

$$C_k = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{S_d^4} \quad \dots(2.4)$$

Keterangan:

C_k = Koefisien *Kurtosis*

S_d = Standar deviasi

X_i = Curah hujan di stasiun hujan ke- i (mm)

\bar{X} = Curah hujan rata-rata (mm)

n = Jumlah data.

4. Koefisien Variasi merupakan nilai perbandingan antara standar deviasi dengan nilai rata-rata hitung suatu distribusi dengan rumus:

$$C_v = \frac{S_d}{\bar{X}} \quad \dots(2.5)$$

Keterangan:

C_v = Koefisien variasi

S_d = Standar deviasi

\bar{X} = Curah hujan rata-rata (mm).

2.2.3 Penentuan Jenis Distribusi

Untuk menentukan jenis distribusi data, digunakan beberapa pendekatan yang bertujuan agar jenis distribusi data yang dipilih sesuai dengan keadaan data yang ada. Adapun beberapa pendekatan yang dilakukan, yaitu:

1. Berdasarkan hasil perhitungan parameter statistik ditunjukkan oleh Tabel 2.1 berikut ini:

Tabel 2.1 Berdasarkan Hasil Perhitungan Parameter Statistik

No	Jenis Distribusi	Syarat
1	Normal	$Cs \approx 0$ dan $Ck \approx 3$
2	Log Normal	$Cs \approx 3Cv + Cv^3$ dan $Ck \approx Cv^8 + 6Cv^6 + 15Cv^4 + 16Cv^2 + 3$
3	Gumbel Tipe I	$Cs \approx 1,1396$ dan $Ck \approx 5,4002$
4	Log Person Tipe III	selain dari nilai diatas

Sumber: Hidrologi Terapan (Triatmodjo, 2008)

2. Berdasarkan Plotting terhadap kertas Probabilitas Jenis distribusi data dapat diamati dari garis yang terbentuk oleh titik-titik hasil *plotting* data pada kertas probabilitas. Apabila *plotting* titik-titik pada kertas probabilitas tersebut mendekati garis lurus, berarti pemilihan distribusinya semakin mendekati benar.
3. Berdasarkan hasil uji keselarasan dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi peluang yang telah dipilih dapat mewakili dari distribusi statistik sampel data yang dianalisis. Ada dua jenis keselarasan (*Goodness of Fit Test*), yaitu uji keselarasan *Chi Square* dan *Smirnov Kolmogorof*. Pada tes ini biasanya yang diamati adalah nilai hasil perhitungan yang diharapkan.
 - a. Uji keselarasan Chi Square

Prinsip pengujian dengan metode ini didasarkan pada jumlah pengamatan yang diharapkan pada pembagian kelas dan ditentukan terhadap jumlah data pengamatan yang terbaca di dalam kelas tersebut atau dengan membandingkan nilai *Chi Square* (X^2) dengan nilai *Chi Square* kritis ($X^2 - Cr$) dengan rumus:

$$X^2 = \sum_{i=1}^n \left[\frac{E_{fi} - O_{fi}}{E_{fi}} \right]^2 \quad \dots(2.6)$$

Keterangan:

X^2 = Harga *Chi Square*,

E_{fi} = Banyaknya frekuensi yang diharapkan pada data ke-i,

O_{fi} = Frekuensi terbaca pada kelas yang sama pada data ke-i,
 n = Jumlah data.

Prosedur perhitungan uji Chi Square adalah sebagai berikut:

- 1) Urutkan data pengamatan dari besar ke kecil
- 2) Hitunglah jumlah kelas yang ada (K) = $1 + 3,3222 \log n$ (dalam pembagian kelas disarankan agar setiap kelas terdapt minimal tiga buah pengamatan).
- 3) Hitung nilai $E_f = \left[\frac{\sum n}{\sum K} \right]$
- 4) Hitunglah banyak nya O_f untuk masing masing kelas
- 5) Hitung nilai X^2 untuk setiap kelas kemudian hitung nilai total X^2 , dari tabel untuk derajat nyata tertentu yang sering diambil sebesar 5 % dengan parameter derajat kebebasan (tabel 2.2) akan didapat X^2_{Cr}

Rumus derajat kebebasan adalah:

$$DK = K - (R + I) \quad \dots(2.7)$$

Keterangan:

DK = Derajat Kebebasan

K = Banyaknya Kelas

R = Banyaknya keterikatan ($R=2$ untuk distribusi normal dan binominal)

I = 1 untuk distribusi *Poisson* dan *Gumbel*.

Jika nilai *Chi Square* (X^2) < Nilai *Chi Square* kritis (X^2_{Cr}), analisis data dapat menggunakan persamaa distribusi data sesuai dengan yang diasumsikan pada *Chi Square*.

Tabel 2.2 Nilai Kritis untuk Distribusi *Chi Square*

DK	A									
	0,995	0,99	0,975	0,95	0,9	0,1	0,05	0,025	0,01	0,005
1	-	-	0,001	0,004	0,016	2,706	3,841	5,024	6,635	7,879
2	0,010	0,020	0,051	0,103	0,211	4,605	5,991	7,378	9,210	10,597
3	0,072	0,115	0,216	0,352	0,584	6,251	7,815	9,348	11,345	12,838
4	0,207	0,297	0,484	0,711	1,064	7,779	9,488	11,143	13,277	14,860
5	0,412	0,554	0,831	1,145	1,610	9,236	11,071	12,833	15,087	16,750
6	0,676	0,872	1,237	1,635	2,204	10,645	12,592	14,449	16,812	18,548
7	0,989	1,239	1,690	2,167	2,833	12,017	14,067	16,013	18,475	20,278
8	1,344	1,646	2,180	2,733	3,490	13,362	15,507	17,535	20,090	21,955
9	1,735	2,088	2,700	3,325	4,168	14,684	16,919	19,023	21,666	23,589

10	2,156	2,558	3,247	3,940	4,865	15,987	18,307	20,483	23,209	25,188
11	2,603	3,053	3,816	4,575	5,578	17,275	19,675	21,920	24,725	26,757
12	3,074	3,571	4,404	5,226	6,304	18,549	21,026	23,337	26,217	28,299
13	3,565	4,107	5,009	5,892	7,042	19,812	22,362	24,736	27,688	29,819
14	4,075	4,660	5,629	6,571	7,790	21,064	23,685	26,119	29,141	31,319
15	4,601	5,229	6,262	7,261	8,547	22,307	24,996	27,488	30,578	32,801
16	5,142	5,812	6,908	7,962	9,312	23,542	26,296	28,845	32,000	34,267
17	5,697	6,408	7,564	8,672	10,085	24,769	27,587	30,191	33,409	35,817
18	6,265	7,015	8,231	9,390	10,865	25,989	28,869	31,526	34,805	37,156
19	6,844	7,633	8,907	10,117	11,651	27,204	30,144	32,852	36,191	38,582
20	7,434	8,260	9,591	10,851	12,443	28,412	31,410	34,170	37,566	39,997
21	8,034	8,897	10,283	11,591	13,240	29,615	32,671	35,479	38,932	41,401
22	8,643	9,542	10,982	12,338	14,042	30,813	33,924	36,781	40,289	42,796
23	9,262	10,196	11,689	13,091	14,848	32,007	35,172	38,076	41,638	44,181
24	9,886	10,854	12,401	13,848	15,659	33,196	36,415	39,364	42,980	45,559
25	10,520	11,524	13,120	14,611	16,473	34,382	37,652	40,646	44,314	46,928
26	11,160	12,198	13,844	15,379	17,292	35,563	38,885	41,923	45,642	48,290
27	11,808	12,879	14,573	16,151	19,114	36,741	40,113	43,194	46,963	49,645
28	12,461	13,565	15,308	16,928	18,939	37,916	41,337	44,461	48,278	50,993
29	13,121	14,257	16,047	17,708	19,768	39,087	42,557	45,722	49,588	52,336
30	13,787	14,944	16,791	18,493	20,599	40,256	43,773	46,979	50,892	53,672
40	20,707	22,164	24,433	26,509	29,051	51,805	55,758	59,342	63,691	66,776
50	27,991	29,707	32,357	34,764	37,689	63,167	67,505	71,420	76,154	79,490
60	35,534	37,485	40,482	43,188	46,459	74,397	79,082	83,298	88,379	91,952
70	43,275	45,442	48,758	51,739	55,329	85,257	90,531	95,023	100,425	104,215
80	51,172	53,540	57,153	60,391	64,278	96,578	101,879	106,629	112,329	116,321
90	59,196	61,754	65,647	69,126	73,291	107,565	113,145	118,136	124,116	128,299
100	67,328	70,065	74,222	77,929	82,358	118,498	124,342	129,561	135,807	140,169

Sumber: Hidrologi Aplikasi Metode Statistik Untuk Analisa Data (Soewarno, 1995)

b. Uji keselarasan *Smirnov Kolmogorof*

Pengujian kecocokan sebaran dengan metode ini dilakukan dengan membandingkan probabilitas untuk tiap variabel dari distribusi empiris dan teoritis sehingga didapat perbedaan tertentu. Perbedaan maksimum yang dihitung dibandingkan dengan perbedaan kritis untuk suatu derajat nyata dan banyaknya varian tertentu, maka sebaran sesuai jika $(\Delta_{maks}) < (\Delta_{cr})$.

Rumus:

$$\Delta_{maks}[P(X) - P(X_i) < \Delta C_r(\alpha, n)] \quad \dots(2.8)$$

Keterangan:

$\Delta_{maks}[P(X) - P(X_i)]$ = Perbedaan maksimum yang dihitung,

ΔC_r = Perbedaan Kritis Suatu derajat.

Tabel 2.3 Nilai Δ Kritis untuk Uji Keselarasan *Smirnov Kolmogorof*

Jumlah data	α Derajat Kepercayaan			
	0,20	0,10	0,05	0,01
N	0,20	0,10	0,05	0,01
5	0,45	0,51	0,56	0,67
10	0,32	0,37	0,41	0,49
15	0,27	0,30	0,34	0,40
20	0,23	0,26	0,29	0,36
25	0,21	0,24	0,27	0,32
30	0,19	0,22	0,24	0,29
35	0,18	0,20	0,23	0,27
40	0,17	0,19	0,21	0,25
45	0,16	0,18	0,20	0,24
50	0,16	0,17	0,19	0,23
N > 50	1,07 / n	1,22 / n	1,36 / n	1,63 / n

Sumber: *Hidrologi Aplikasi Metode Statistik Untuk Analisa Data (Soewarno, 1995)*

2.2.4 Curah Hujan Rencana

Perhitungan curah hujan rencana digunakan untuk memperkirakan besarnya hujan dengan periode ulang tertentu. Berdasarkan curah hujan rencana tersebut kemudian dicari intensitas hujan yang digunakan untuk mencari debit banjir rencana. Untuk memperkirakan curah hujan rencana dilakukan dengan analisis frekuensi data hujan.

Ada beberapa metode yang dapat digunakan dalam menghitung analisis frekuensi data hujan, yaitu:

1. Metode Normal (Cara Analitis)

Adapun persamaan-persamaan yang digunakan pada perhitungan dengan Metode Normal atau disebut pula Distribusi *Gauss* adalah sebagai berikut:

$$X_T = \bar{X} + (KS_d) \quad \dots(2.9)$$

Keterangan:

X_T = Curah hujan dengan periode ulang T tahun (mm)

- \bar{X} = Harga rata-rata curah hujan (mm)
 K = Nilai variabel reduksi *Gauss* periode ulang T tahun (tabel 2.4)
 S_d = Standar deviasi (simpangan baku)

Tabel 2.4 Nilai Variabel Reduksi Gauss (K)

Periode Ulang T (tahun)	Peluang	K
1,001	0,999	-3,05
1,005	0,995	-2,58
1,01	0,99	-2,33
1,05	0,95	-1,64
1,11	0,9	-1,28
1,25	0,8	-0,84
1,33	0,75	-0,67
1,43	0,7	-0,52
1,67	0,6	-0,25
2	0,5	0
2,5	0,4	0,25
3,3	0,3	0,52
4	0,25	0,67
5	0,2	0,84
10	0,1	1,28
20	0,05	1,64
50	0,02	2,05
100	0,01	2,33
200	0,005	2,58
500	0,002	2,88
1000	0,001	3,09

Sumber: *Hidrologi Terapan (Harto, 1981)*

2. Metode Gumbel Tipe I

Untuk menghitung curah hujan rencana dengan metode distribusi Gumble Tipe I digunakan persamaan distribusi frekuensi empiris sebagai berikut:

$$X_T = \bar{X} + \frac{S_n}{S_d} (Y_T - Y_n) \quad \dots(2.10)$$

Keterangan:

- X_T = Curah hujan dengan periode ulang T tahun (mm),
 \bar{X} = Harga rata-rata curah hujan (mm),
 S_d = Standar deviasi (simpangan baku),
 Y_n = Nilai rata-rata dari reduksi variasi (*mean of reduce variate*) nilainya tergantung dari jumlah data (n), seperti pada Tabel 2.5,

S_n = Standar deviasi dari reduksi variasi (*mean of reduced*) nilainya tergantung dari jumlah data (n), seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.6,

Y_T = Nilai reduksi variasi dari variabel yang diharapkan terjadi pada periode ulang tertentu, hubungan antara periode ulang T dengan Y dapat dilihat pada Tabel 2.7 (untuk $T \geq 20$, $Y_T = \ln T$).

$$Y_T = -\ln \left[-\ln \frac{T-1}{T} \right] \quad \dots(2.11)$$

Tabel 2.5 Nilai Rata-rata dari Reduksi (Y_n)

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,4952	0,4996	0,5035	0,5070	0,5100	0,5157	0,5128	0,5180	0,5502	0,5220
20	0,5236	0,5252	0,5268	0,5283	0,5296	0,5300	0,5820	0,5882	0,5343	0,5353
30	0,5363	0,5371	0,5380	0,5388	0,5396	0,5400	0,5410	0,5418	0,5424	0,5430
40	0,5463	0,5442	0,5448	0,5453	0,5458	0,5468	0,5468	0,5473	0,5477	0,5481
50	0,5485	0,5489	0,5493	0,5497	0,5501	0,5504	0,5508	0,5511	0,5515	0,5518
60	0,5521	0,5524	0,5527	0,5530	0,5533	0,5535	0,5538	0,5540	0,5543	0,5545
70	0,5548	0,5550	0,5552	0,5555	0,5557	0,5559	0,5561	0,5563	0,5583	0,5585
80	0,5569	0,5570	0,5572	0,5574	0,5576	0,5578	0,5580	0,5581	0,5583	0,5585
90	0,5586	0,5587	0,5589	0,5591	0,5593	0,5593	0,5595	0,5596	0,5598	0,5599
100	0,5600									

Sumber: Hidrologi Teknik (Soemarto,1999)

Tabel 2.6 Standar Deviasi dari Reduksi Variasi (S_n)

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,9496	0,9676	0,9633	0,9971	1,0095	1,0206	1,0316	1,0411	1,0493	1,0565
20	1,0626	1,0696	1,0754	1,0811	1,0864	1,0315	1,0961	1,1004	1,1074	1,1080
30	1,1124	1,1159	1,1193	1,1226	1,1255	1,1285	1,1313	1,1339	1,1363	1,1388
40	1,1413	1,1436	1,1458	1,1480	1,1499	1,1519	1,1538	1,1557	1,1574	1,1590
50	1,1607	1,1923	1,1638	1,1658	1,1667	1,1681	1,1696	1,1708	1,1721	1,1734

Sumber: Hidrologi Teknik (Soemarto,1999)

Tabel 2.7 Nilai Reduksi Variasi (Y_t)

Periode Ulang (tahun)	Reduced Variated
2	0,3665
5	1,4999
10	2,2502
20	2,9606
25	3,1985
50	3,9019
100	4,6001

200	5,296
500	6,214
1000	6,919
5000	8,539
10000	9,921

Sumber: Hidrologi Teknik (Soemarto,1999)

3. Metode Log Pearson Tipe III

Apabila digambarkan pada kertas peluang logaritmik akan merupakan persamaan garis lurus, sehingga dapat dinyatakan sebagai model matematik dengan persamaan sebagai berikut:

$$\log X_T = \log \bar{X} + K \times S_d \quad \dots(2.12)$$

Keterangan:

$\log X_T$ = Nilai logaritma curah hujan dengan periode ulang tertentu,

$\log \bar{X}$ = Nilai logaritma rata-rata curah hujan,

S_d = Standar deviasi,

K = Karakteristik distribusi peluang Log Pearson Tipe III.

Langkah-langkah perhitungan kurva distribusi Log Pearson Tipe III adalah:

a. Tentukan logaritma dari semua nilai X

b. Hitung nilai rata-ratanya

$$\log \bar{X} = \frac{\sum \log X}{n} \quad \dots(2.13)$$

c. Hitung nilai deviasi satandar dari Log X:

$$S \log \bar{X} = \sqrt{\frac{\sum (\log x - \log(\bar{x}))^2}{n-1}} \quad \dots(2.14)$$

d. Hitung nilai koefisien kemencengan (C_s):

$$C_s = \frac{n \sum (\log x - \log(\bar{x}))^3}{(n-1)(n-2)(S \log(\bar{x}))} \quad \dots(2.15)$$

e. Sehingga persamaannya dapat ditulis:

$$\log X_T = \log \bar{x} + k(S \log(\bar{x})) \quad \dots(2.16)$$

f. Tentukan anti log dari $\log X_T$, untuk mendapatkan nilai X yang diharapkan terjadi pada tingkat peluang atau periode ulang tertentu sesuai dengan nilai koefisien kemencengan (C_s). Nilai K dapat dilihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Harga K untuk Distribusi Log Pearson III

Kemencengan (C_s)	Periode Ulang T Tahun							
	2	5	10	25	50	100	200	1000
	Peluang (%)							
	50	20	10	4	2	1	0,5	0,1
3,0	-0,395	0,420	1,180	2,278	3,152	4,051	4,970	7,250
2,5	-0,360	0,518	1,250	2,262	3,048	3,845	4,652	6,600
2,2	-0,330	0,574	1,284	2,240	2,970	3,705	4,444	6,200
2,0	-0,307	0,609	1,302	2,219	2,912	3,605	4,298	5,910
1,8	-0,282	0,643	1,318	2,193	2,848	3,499	4,147	5,660
1,6	-0,254	0,675	1,329	2,163	2,780	3,388	3,990	5,390
1,4	-0,225	0,705	1,337	2,128	2,705	3,271	3,828	5,110
1,2	-0,195	0,732	1,340	2,087	2,626	3,149	3,661	4,820
1,0	-0,164	0,758	1,340	2,043	2,542	3,022	3,489	4,540
0,9	-0,148	0,769	1,339	2,018	2,498	2,957	3,401	4,395
0,8	-0,132	0,780	1,336	2,998	2,453	2,891	3,312	4,250
0,7	-0,116	0,790	1,333	2,967	2,407	2,824	3,223	4,105
0,6	-0,099	0,800	1,328	2,939	2,359	2,755	3,132	3,960
0,5	-0,083	0,808	1,323	2,910	2,311	2,686	3,041	3,815
0,4	-0,065	0,816	1,317	2,880	2,261	2,615	2,949	3,670
0,3	-0,050	0,824	1,309	2,849	2,211	2,544	2,856	3,525
0,2	-0,033	0,830	1,301	2,818	2,159	2,472	2,763	3,380
0,1	-0,017	0,836	1,292	2,785	2,107	2,400	2,670	3,235
0,0	0,000	0,842	1,282	2,751	2,054	2,326	2,576	3,090
-0,1	0,017	0,836	1,270	2,761	2,000	2,252	2,482	3,950
-0,2	0,033	0,850	1,258	1,680	1,945	2,178	2,388	2,810
-0,3	0,050	0,853	1,245	1,643	1,890	2,104	2,294	2,675
-0,4	0,065	0,855	1,231	1,606	1,834	2,029	2,201	2,540
-0,5	0,083	0,856	1,216	1,567	1,777	1,955	2,108	2,400
-0,6	0,099	0,857	1,200	1,528	1,720	1,880	2,016	2,275
-0,7	0,116	0,857	1,183	1,488	1,663	1,806	1,926	2,150
-0,8	0,132	0,856	1,166	1,488	1,606	1,733	1,837	2,035
-0,9	0,148	0,864	1,147	1,407	1,549	1,660	1,749	1,910
-1,0	0,164	0,852	1,128	1,366	1,492	1,588	1,664	1,800
-1,2	0,195	0,844	1,086	1,282	1,379	1,449	1,501	1,625
-1,4	0,225	0,832	1,041	2,198	1,270	1,318	1,351	1,465
-1,6	0,254	0,817	0,994	1,116	1,166	1,200	1,216	1,280

-1,8	0,282	0,799	0,945	1,035	1,069	1,089	1,097	1,130
-2,0	0,307	0,777	0,895	0,959	0,980	0,990	0,995	1,000
-2,2	0,330	0,752	0,844	0,888	0,900	0,905	0,907	0,910
-2,5	0,360	0,711	0,771	0,793	0,798	0,799	0,800	0,802
-3,0	0,395	0,636	0,636	0,666	0,667	0,667	0,668	0,668

Sumber: Hidrologi Aplikasi Metode Statistik Untuk Analisa Data (Soewarno,1995)

4. Metode Log Normal

Apabila digambarkan pada kertas logaritmik merupakan persamaan garis lurus, sehingga dapat dinyatakan sebagai model matematik dengan persamaan sebagai berikut:

$$X_T = \bar{X} + K S_d \quad \dots(2.17)$$

Keterangan:

X_T = Nilai logaritma curah hujan dengan periode ulang tertentu

\bar{X} = Harga rata-rata curah hujan (mm)

S_d = Standar deviasi

K = Karakteristik distribusi peluang Log-normal parameter yang merupakan fungsi dari koefisien kemencengan (Cs) pada tabel 2.9.

Tabel 2.9 Faktor Frekuensi K untuk Distribusi Log Normal

C_s	Periode Ulang T Tahun					
	2	5	10	20	50	100
0,05	-0,25	0,8334	1,2965	1,6863	2,1341	2,437
0,10	-0,0496	0,8222	1,3087	1,7247	2,213	2,5489
0,15	-0,0738	0,8085	1,3156	1,7598	2,2899	2,6607
0,20	-0,0971	0,7926	1,32	1,7911	2,364	2,7716
0,25	-0,1194	0,7794	1,3209	1,8183	2,4348	2,8805
0,30	-0,1406	0,7547	1,3183	1,8414	2,5316	2,9866
0,35	-0,1604	0,7333	1,3126	1,8602	2,5638	3,089
0,40	-0,1788	0,71	1,3037	1,8746	2,6212	3,187
0,45	-0,1957	0,687	1,292	1,8848	2,6734	3,2109
0,50	-0,2111	0,6626	1,2778	1,8909	2,7202	3,3673
0,55	-0,2251	0,6129	1,2513	1,8931	2,7615	3,4488
0,60	-0,2375	0,5879	1,2428	1,8916	2,7974	3,5241
0,65	-0,2485	0,5879	1,2226	1,8866	2,8279	3,593
0,70	-0,2582	0,5631	1,2011	1,8786	2,8532	3,6568
0,75	-0,2667	0,5387	1,1748	1,8577	2,8735	3,7118
0,80	-0,2739	0,5148	1,1548	1,8543	2,8891	3,7617

0,85	-0,2801	0,4914	1,1306	1,8388	2,9002	3,8056
0,90	-0,2852	0,4886	1,106	1,8212	2,9071	3,8537
0,95	-0,2895	0,4466	1,081	1,8012	2,9102	3,8762

Sumber: *Hidrologi Aplikasi Metode Statistik Untuk Analisa Data (Soewarno, 1995)*

2.2.5 Analisis Intensitas Curah Hujan

Intensitas hujan adalah tinggi atau kedalaman air hujan per satuan waktu. Sifat umum hujan adalah makin singkat hujan berlangsung intensitasnya cenderung makin tinggi dan makin tinggi dan makin besar periode ulangnya makin tinggi pula intensitasnya.

Langkah pertama dalam perencanaan sumur resapan yaitu menentukan debit yang harus diperhitungkan. Besarnya debit (banjir) perencanaan ditentukan oleh intensitas hujan yang terjadi pada suatu kurun waktu di mana air tersebut berkonsentrasi. Analisis intensitas curah hujan ini dapat diproses dari data curah hujan yang telah terjadi pada masa lampau.

Intensitas curah hujan yang dinyatakan dengan (I) menyatakan besarnya curah hujan dalam jangka pendek yang memberikan gambaran derasnyanya hujan per jam. Untuk mengubah curah hujan menjadi intensitas curah hujan dapat digunakan 2 metode sebagai berikut:

1. Metode Van Breen

Beranggapan bahwa besarnya atau lama durasi hujan harian adalah berpusat selama 4 jam dengan hujan efektif sebesar 90% dari hujan selama 24 jam dengan rumus:

$$I = \frac{90\% \times R_{24}}{4} \quad \dots(2.18)$$

Keterangan:

I = Intensitas hujan (mm/jam)

R_{24} = Curah Hujan maksimum (mm/hari)

Berdasarkan rumus diatas, maka dapat dibuat suatu kurva durasi intensitas hujan. Van Breen mengambil bentuk kurva kota Jakarta sebagai kurva basis. Kurva basis tersebut dapat memberikan kecendrungan bentuk kurva untuk daerah-daerah lain di Indonesia pada umumnya. Berdasarkan pada kurva pola Van Breen kota Jakarta, besarnya intensitas hujan dapat didekati dengan persamaan:

$$I_T = \frac{54R_T + 0,007R_T^2}{t + 0,31R_T} \quad \dots(2.19)$$

Keterangan:

I_T = Intensitas Hujan (mm/jam)

t = Durasi waktu hujan (menit)

R_T = Curah hujan harian maksimum PUH T (mm/24jam)

2. Metode Hasfer Der Weduwen

Merupakan hasil penyelidikan di Indonesia yang dilakukan oleh Hasfer dan Weduwen. Penurunan rumus diperoleh berdasarkan kecendrungan curah hujan harian yang dikelompokkan atas dasar anggapan bahwa hujan mempunyai distribusi yang simetris dengan durasi hujan (t) lebih kecil dari 1 jam dan durasi hujan sampai 24 jam. (Anonim dalam *Melinda*, 2007).

Persamaan yang digunakan adalah:

$$R_t = X_t \left[\frac{1218t+54}{X_t(1-t)+1272t} \right] \quad \dots(2.20)$$

$$R = \sqrt{\frac{11300}{t+3,12}} \left[\frac{R_t}{100} \right] \quad \dots(2.21)$$

Keterangan:

I = Intensitas hujan (mm/jam)

X_t = Curah hujan harian maksimum (mm/jam)

t = Durasi waktu hujan (menit)

R = Curah hujan (mm).

2.2.6 Debit Banjir Rencana

1. Metode Rasional

Metode ini penggunaannya terbatas untuk DAS dengan ukuran kecil, yaitu kurang dari 30 km². Persamaan Metode Rasional dinyatakan dalam bentuk:

$$Q_n = 0,2778 CIA \quad \dots(2.22)$$

Keterangan:

Q_n = Laju aliran permukaan/Debit puncak (m³/dtk)

C = Koefisien aliran permukaan ($0 < C < 1$)

I = Intensitas hujan (mm/jam)

A = Luas DAS (ha)

2. Metode Der Weduwen

Metode ini digunakan untuk DAS dengan ukuran $30 \text{ km}^2 < A < 100 \text{ km}^2$, debit rancangan dengan Metode Der Weduwen berdasarkan persamaan berikut ini:

$$Q_n = \alpha\beta q_n A \quad \text{.....(2.23)}$$

$$\alpha = 1 - \frac{4,1}{\beta q_n + 7} \quad \text{.....(2.24)}$$

$$\beta = \frac{120 + \frac{t+1}{t+9}A}{120+A} \quad \text{.....(2.25)}$$

$$q_n = \frac{67,65}{t+1,45} \quad \text{.....(2.26)}$$

$$t = 0,25 \times L \times Q^{-0,125} \times I^{-0,25} \quad \text{.....(2.27)}$$

Keterangan:

Q_n = debit rancangan (m^3/dtk) dengan kala ulang n tahun

R_n = curah hujan rancangan (mm/hari)

α = koefisien limpasan air hujan

β = koefisien pengurangan luas untuk curah hujan di daerah aliran sungai

q_n = luasan curah hujan ($\text{m}^3/\text{dtk km}^2$)

A = luas DAS (km^2)

t = durasi hujan (jam)

L = panjang sungai/saluran (km)

I = kemiringan sungai

3. Metode SCS Curve Number

Metode didasarkan pada kesetimbangan air dan dua hipotesis yang digunakan pada DAS dengan luasan $> 100 \text{ km}^2$ yang dinyatakan dalam bentuk persamaan berikut:

$$P = I_a + F + Pe \quad \text{.....(2.28)}$$

$$\frac{Q}{P-I_a} = \frac{F}{S} \quad \text{.....(2.29)}$$

$$I_a = \lambda S \quad \text{.....(2.30)}$$

$$Q = \frac{(P-I_a)^2}{P+S-I_a} \quad \text{.....(2.31)}$$

Keterangan:

P = tinggi hujan kumulatif (mm)

I_a = abstraksi (mm)

F = kumulatif infiltrasi (mm)

Q = debit banjir (m^3/dtk)

S = tampungan (mm)

λ = rasio abstraksi

Jika $I_a = 0,2 S$ maka persamaan (2.31) akan menjadi:

$$Q = \frac{(P-0,2S)^2}{P+0,8S} \quad \dots(2.32)$$

Besarnya perbedaan antara curah hujan dan limpasan permukaan S berhubungan dengan angka kurva limpasan (CN) dimana:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad \dots(2.33)$$

Nilai *Curve Number* dapat ditentukan dengan tabel berdasarkan pada kelompok tanah hidrologis dan nilai *antecedent moisture conditions* (AMC). Berikut ini kelompok tanah hidrologis dan nilai AMC:

Tabel 2.10 Kelompok Tanah Hidrologis

Kelompok Tanah	Deskripsi	Laju Infiltrasi Minimum (In/jam)
A	Pasir	0,30 - 0,45
B	Lempung Berpasir	0,15 - 0,30
C	Lanau Lempung	0,05 - 0,15
D	Lanau	0,00 - 0,05

Sumber: *Rekayasa Hidrologi (Fransiska Yustiana,2008)*

Tabel 2.11 Nilai AMC

AMC	Tinggi hujan dalam x hari	
	5 hari (in)	7 hari (in)
AMC 1/Kering	< 1	< 0,5
AMC 2/Sedang	1 – 2	0,5 - 1,5
AMC 3/Basah	> 2	> 1,5

Sumber: *Rekayasa Hidrologi (Fransiska Yustiana,2008)*

Tabel 2.12 Nilai Koefisien Curve Number

CN	Koefisien						
	Perumahan	Sawah	Struktur	Rumput	Perkebunan	Hutan	Rawa
A	77	68	77	68	68	68	68
B	86	79	86	79	79	79	79
C	91	86	91	86	86	86	86
D	94	89	94	89	89	89	89




Sumber: *US Army Corp of Engineers*

2.3 Analisis Hidraulika

2.3.1 Unsur-unsur Geometris Penampang Saluran

Geometris penampang saluran lihat Tabel 2.13

Tabel 2.13 Geometris Penampang Saluran

Penampang Melintang	Area (A)	Keliling Penampang Basah (P)	Radius (R)	Lebar Atas (T)	Kedalaman (D)
 Persegi Panjang	bh	$b+2h$	$\frac{bh}{b+2h}$	b	h
 Trapesium	$(b+zh)h$	$b+2h\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zh)h}{b+2h\sqrt{1+z^2}}$	$b+2y$	$\frac{(b+zh)h}{b+2z}$
 Segitiga	zh^2	$2h\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zh}{2\sqrt{1+z^2}}$	$2zh$	$\frac{1}{2h}$

Keterangan:

- Luas penampang melintang (A) adalah luas cairan yang dipotong oleh penampang melintang dan tegak lurus pada arah aliran,
- Keliling basah penampang (P) adalah panjang dasar dan sisi-sisi permukaan cairan,
- Jari-jari Hidraulis (R) adalah perbandingan luas penampang melintang (A) dan keliling basah (P),
- Lebar puncak (T) adalah lebar permukaan air bagian atas,
- Kedalaman hidrolis (D) adalah perbandingan luas penampang melintang (A) dengan lebar puncak (T).

2.3.2 Kecepatan Aliran

1. Kecepatan Aliran Menurut Chezy

Rumus Chezy:

$$v = CR^{1/2}S^{1/2} = C\sqrt{RS} \quad \dots(2.34)$$

Keterangan:

- v = Kecepatan Aliran,
 S = Kemiringan Saluran,
 R = Radius Hidrolik,
 C = Koefisien Chezy.

Menentukan nilai koefisien Chezy (C):

a. Kutter (1869)

$$C = \frac{23 + \frac{0,00155}{S} + \frac{1}{N}}{1 + \frac{N}{\sqrt{R}} \left(23 + \frac{0,00155}{S} \right)} \quad \dots(2.35)$$

Keterangan:

N = Koefisien kekasaran Kutter,

R = Radius Hidrolik,

S = Kemiringan saluran.

Tabel 2.14 Koefisien Kekasaran Kutter (N), $N=1/kst$

No.	Keterangan Permukaan Saluran	N
1	Kayu yang diketam dengan baik, gelas atau kuningan	0,009
2	Saluran dari papan-papan kayu, beton yang diratakan	0,01
3	Pipa riol yang digelas, pipa pembuang yang digelasir, pipa beton	0,013
4	Bata dengan adukan semen, batu	0,015
5	Pasangan batu pecah dengan semen	0,025
6	Saluran lurus dalam tanah yang tidak di lapisi	0,02
7	Saluran lurus dalam kerikil yang tidak dilapisi	0,0225
8	Saluran dari logam bergelombang, tikungan saluran dilapisi	0,025
9	Saluran dengan dasar berbatu kasar atau ditumbuhi rumput	0,03
10	Sungai kecil alamiah yang berliku serta dalam kondisi baik	0,035
11	Sungai dengan penampang tak beraturan dan berliku	0,04-0,1

b. Bazin (1897)

$$C = \frac{157,6}{1,81 + \frac{m}{\sqrt{R}}} = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}} \quad \dots(2.36)$$

Keterangan:

$$\gamma = \frac{m}{1,81}$$

m = koefisien Bazin

Tabel 2.15 Koefisien Bazin

No.	Keterangan Permukaan Saluran	N
1	Semen yang sangat halus atau kayu yang diketam	0,11
2	Kayu tak diketam, beton atau bata	0,21
3	Papan, batu	0,29
4	Pasangan batu pecah dengan semen	0,83
5	Saluran tanah dalam keadaan baik	1,54
6	Saluran tanah dalam keadaan rata-rata	2,36
7	Saluran tanah dalam keadaan kasar	3,17

2. Kecepatan Aliran Menurut Darcy Weisbach

Rumus Darcy Weisbach:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\lambda}} \sqrt{8gRS} \quad \dots(2.37)$$

Keterangan:

λ = faktor gesekan,

g = gravitasi bumi,

R = radius hidraulik,

S = kemiringan saluran.

3. Kecepatan Aliran Menurut Manning-Gaukler-Strickler (MGS)

Rumus Manning-Gaukler-Strickler:

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad \dots(2.38)$$

Keterangan:

n = Koefisien kekasaran manning,

R = radius hidrolik,

S = kemiringan saluran.

Tabel 2.16 Nilai Koefisien Kekasaran Manning

No	Tipe Saluran dan Jenis Bahan	Min	Nor	Maks
1	Beton			
	- Gorong-gorong lurus dan bebas kotoran	0,01	0,011	0,013
	- Gorong-gorong dengan lengkung dan sedikit kotoran/gangguan	0,011	0,013	0,014
	- Beton dipoles	0,011	0,012	0,014
	- Saluran pembuangan dengan bak kontrol	0,013	0,015	0,017
2	Tanah, Lurus, dan Seragam			
	- Bersih baru	0,016	0,018	0,02
	- Bersih telah melapuk	0,018	0,022	0,025
	- Berkerikil	0,022	0,025	0,030
	- Berumput pendek, sedikit tanaman pengganggu	0,022	0,027	0,033
3	Saluran alam			
	- Bersih lurus	0,025	0,030	0,033
	- Bersih Berkelok	0,033	0,040	0,045
	- Banyak tanaman pengganggu	0,050	0,070	0,08
	- Dataran banjir berumput pendek tinggi	0,025	0,030	0,035
	- Saluran belukar	0,035	0,050	0,07

2.3.3 Kemiringan Sungai

Kemiringan memanjang saluran biasanya diatur oleh keadaan topografi dan tinggi energi yang diperlukan untuk mengalir air. Dapat juga dirumuskan dengan:

$$I = \frac{\Delta H}{L} \quad \dots(2.39)$$

Keterangan:

I = Kemiringan saluran

ΔH = Perbedaan elevasi pada hulu dan hilir sungai

L = Panjang Sungai

2.3.4 Kehilangan Energi

Untuk gorong-gorong yang lebih panjang dari 20 m perlu perhitungan yang lebih teliti dalam menentukan tinggi energi, maka dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\Delta H_{\text{masuk}} = \varepsilon_{\text{masuk}} \frac{(v_a - v)^2}{2 \times g} \quad \dots(2.40)$$

$$\Delta H_{\text{keluar}} = \varepsilon_{\text{keluar}} \frac{(v_a - v)^2}{2 \times g} \quad \dots(2.41)$$

$$\Delta H_f = \frac{v^2 \times L}{\frac{1}{n^2} R^{4/3}} \quad \dots(2.42)$$

Keterangan:

$\Delta H_{k,m}$ = Kehilangan energi pada pintu masuk dan keluar (m)

ΔH_f = Kehilangan energi akibat gesekan pada dinding saluran (m)

v = Kecepatan aliran (m/dtk)

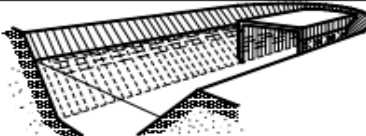
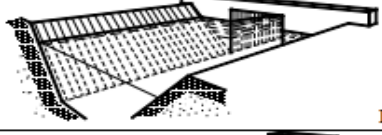
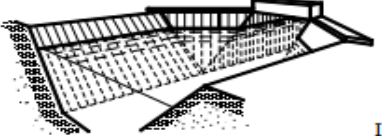
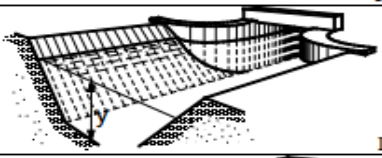
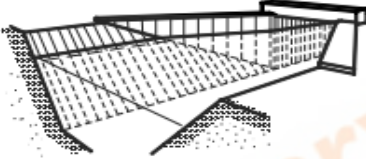
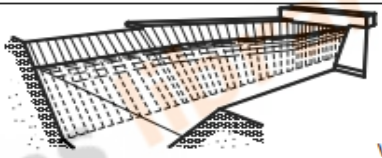
L = Panjang saluran (m)

R = Jari-jari hidraulis (m)

n = Koefisien manning

$\varepsilon_{k,m}$ = Faktor kehilangan energi yang bergantung kepada bentuk hidrolis peralihan pintu masuk atau keluar

g = Gravitasi bumi (m/dtk²)

			Persamaan	
			5.3	5.4
		<p>pipa gorong-gorong sampai ke peralihan samping saluran</p>  <p>I</p>	ξ_{masuk}	ξ_{keluar}
			0.50	1.00
Dianjurkan		<p>pipa gorong-gorong sampai di dinding hulu melalui saluran</p>  <p>II</p>		
			0.50	1.00
		<p>peralihan punggung patah dengan sudut pelebaran 1:1 atau 1:2</p>  <p>III</p>		
			0.30	0.60
Dianjurkan		<p>dinding hulu dengan peralihan yang dibulatkan dengan jari-jari lebih dari 0,1 y</p>  <p>IV</p>		
			0.25	0.50
Dianjurkan		<p>peralihan punggung patah dengan sudut pelebaran sekitar 1:5</p>  <p>V</p>		
			0.20	0.40
		<p>peralihan berangsur antara potongan melintang segiempat dan trapesium</p>  <p>VI</p>		
			0.10	0.20

Gambar 2.1 Faktor kehilangan energi yang bergantung kepada bentuk hidrolis peralihan pintu masuk atau keluar