
BAB III

TINJAUAN PUSTAKA

3.1 TINJAUAN UMUM

Untuk mendapatkan kesempurnaan dalam sebuah perencanaan pekerjaan diperlukan suatu tinjauan pustaka. Dengan tinjauan pustaka diharapkan mampu memberikan kontribusi yang besar terhadap sebuah perencanaan pekerjaan. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa semakin banyak tinjauan pustaka yang dibutuhkan semakin mendekati sempurna pula sebuah perencanaan pekerjaan.

Isi dari tinjauan pustaka dapat berupa dasar-dasar teori yang berhubungan dengan pekerjaan yang direncanakan, dimana dasar teori ini digunakan sebagai acuan awal dalam kegiatan perencanaan pekerjaan. Begitu juga dalam perencanaan sistem drainase, dibutuhkan dasar teori yang mendukung. Berikut adalah beberapa teori ilmu pengetahuan yang saling mendukung : hidrologi, hidrolika, topografi dan daya dukung tanah, pasang surut air laut dan ilmu lainnya yang mendukung.

3.2 MACAM DRAINASE

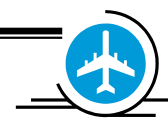
3.2.1 Drainase Sistem Gravitasi

Drainase sistem gravitasi adalah sistem drainase yang paling sederhana, yaitu pengaliran air dari tempat yang lebih tinggi ke lebih rendah. Pada daerah perbukitan biasanya kemiringan tanahnya cukup curam dan menyebabkan kecepatan aliran di saluran melampaui batas maksimum, sehingga diperlukan bangunan terjun agar tidak merusak permukaan saluran

3.2.2 Drainase Sistem Sub Surface

Drainase sistem *sub surface* yaitu sistem pematuan permukaan tanah akibat adanya curah hujan dengan cara meresapkan ke dalam tanah untuk kemudian ditampung, disalurkan melalui pipa berpori (dengan kedalaman tertentu) ke sistem jaringan drainase yang ada disekitar lokasi pori tersebut. Penentuan kedalaman pipa berdasarkan pada perbedaan muka tanah dan muka air banjir. Semakin dalam pipa maka jarak antara pipa semakin jauh. Apabila kedalaman pipa dangkal, maka jarak pipa semakin dekat.

Untuk pertimbangan ekonomi sehingga perlu dicari kedalaman pipa yang paling murah dan mudah dilaksanakan (Sugiyanto, 2001).



Perhitungan *sub* surface drainase berdasarkan asumsi sebagai berikut:

- 1) Tidak adanya aliran *runoff* (aliran permukaan).
- 2) Kondisi lapisan dan permukaan kering.
- 3) Tidak ada air yang keluar / masuk daerah tangkapan.

3.2.3 Drainase Sistem Polder

Drainase sistem polder digunakan apabila penggunaan drainase sistem gravitasi sudah tidak memungkinkan lagi, walaupun biaya dan operasinya lebih mahal.

Drainase sistem polder akan digunakan pada kondisi sebagai berikut ini:

- a) Elevasi atau ketinggian muka tanah lebih rendah dari pada elevasi muka air laut pasang. Pada daerah tersebut sering terjadi genangan akibat air pasang (rob).
- b) Elevasi muka tanah lebih rendah dari pada muka air banjir di sungai yang merupakan *outlet* saluran drainase kota.
- c) Daerah yang mengalami penurunan, sehingga daerah tersebut yang semula lebih tinggi dari muka air laut pasang maupun muka air banjir di sungai diprediksikan akan tergenang

Sesuai dengan kondisi di lapangan, maka ada enam bentuk sistem polder yaitu:

- o Drainase sistem polder dengan menggunakan pompa dan kolam retensi di satu tempat. Digunakan apabila lahan untuk keperluan kolam retensi tidak ada masalah.
- o Drainase sistem polder dengan menggunakan pompa dan kolam retensi. Digunakan apabila kondisi di lapangan tidak memiliki lahan yang cukup (pemukiman padat).
- o Drainase sistem polder dengan pompa dan tampungan memanjang.
- o Drainase sistem polder dengan pompa dan kolam retensi tidak di satu tempat.
- o Drainase sistem polder dengan kolam retensi dan kolam air.
- o Drainase sistem polder tanpa kolam retensi dan kolam air.



3.3 TINJAUAN HIDROLOGI

Hidrologi adalah suatu ilmu tentang kehadiran dan gerakan air di alam kita ini. Secara khusus menurut SNI No. 1724-1989-F hidrologi didefinisikan sebagai ilmu yang mempelajari kejadian air di atas, pada permukaan, dan di dalam tanah (C.D Soemarto,1999). Curah hujan pada suatu daerah merupakan salah satu faktor yang menentukan besarnya debit banjir yang terjadi pada daerah yang menerimanya.

Analisa hidrologi digunakan untuk menentukan besarnya debit banjir rencana pada suatu perencanaan bangunan air. Data untuk penentuan debit banjir rencana pada perencanaan ini adalah data curah hujan, dimana curah hujan merupakan salah satu dari beberapa data yang dapat digunakan untuk memperkirakan besarnya debit banjir rencana baik secara rasional, empiris maupun statistik.

Penetapan besarnya debit banjir rencana adalah permasalahan pertimbangan hidro-ekonomis, karena itu besarnya debit rencana diambil tidak terlalu kecil sehingga bangunan menjadi tidak aman karena konstruksi yang tidak kuat dan juga debit banjir rencana tidak terlalu besar sehingga bangunan menjadi tidak ekonomis.

3.3.1 Pengukuran Dispersi

Pada kenyataannya bahwa tidak semua varian dari suatu variabel hidrologi terletak atau sama dengan nilai rata-ratanya. Variasi atau dispersi adalah besarnya derajat dari sebaran varian disekitar nilai rata-ratanya. Cara mengukur besarnya dispersi disebut pengukuran dispersi.

Adapun cara pengukuran dispersi antara lain :

a Deviasi Standart (S)

$$\text{Rumus : } S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}} \dots\dots\dots (1)$$

(Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisis Data. Jilid I. Soewarno, hal : 20)

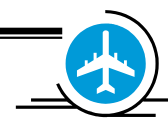
dimana :

S = Deviasi standar

X_i = Nilai varian ke i

\bar{X} = Nilai rata-rata varian

N = jumlah data



b Koefisien Skewness (CS)

Kemencengan (*skewness*) adalah suatu nilai yang menunjukkan derajat ketidaksimetrisan dari suatu bentuk distribusi.

$$\text{Rumus : CS} = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - X)^3}{(n-1)(n-2)S^3} \dots\dots\dots (2)$$

(*Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisis Data. Jilid I. Soewarno, hal : 29*)

dimana :

- CS = koefisien Skewness
- X_i = Nilai varian ke i
- X = Nilai rata-rata varian
- n = Jumlah data
- S = Deviasi standar

c Pengukuran Kurtosis (CK)

Pengukuran kurtosis dimaksud untuk mengukur keruncingan dari bentuk kurva distribusi, yang umumnya dibandingkan dengan distribusi normal.

Rumus :

$$\text{CK} = \frac{n^2 \sum_{i=1}^n (X_i - X)^4}{(n-1)(n-2)(n-3)S^4} \dots\dots\dots (3)$$

(*Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisis Data. Jilid I. Soewarno, hal : 30*)

dimana :

- CK = Koefisien Kurtosis
- X_i = Nilai varian ke i
- X = Nilai rata-rata varian
- n = Jumlah data
- S = Deviasi standar

d Koefisien Variasi (CV)

Koefisien Variasi adalah nilai perbandingan antara deviasi standar dengan nilai rata-rata hitung suatu distribusi.



$$\text{Rumus : } CV = \frac{S}{\bar{X}} \dots\dots\dots (4)$$

(Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisis Data. Jilid I. Soewarno, hal : 29)

dimana :

CV = Koefisien variasi

\bar{X} = Nilai rata-rata varian

Dari nilai-nilai di atas, kemudian dilakukan pemilihan jenis sebaran yaitu dengan membandingkan koefisien distribusi dari metode yang akan digunakan.

3.3.2 Pemilihan Jenis Sebaran

Ada berbagai macam distribusi teoritis yang kesemuanya dapat dibagi menjadi dua yaitu distribusi diskrit dan distribusi kontinyu. Yang diskrit adalah binomial dan poisson, sedangkan yang kontinyu adalah Normal, Log Normal, Gama, Beta, Pearson dan Gumbel.

Untuk memilih jenis sebaran, ada beberapa macam distribusi yang sering dipakai yaitu :

a Distribusi Normal

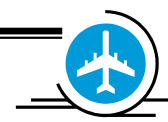
Dalam analisis hidrologi distribusi normal sering digunakan untuk menganalisis frekuensi curah hujan, analisis statistik dari distribusi curah hujan tahunan, debit rata-rata tahunan.

Distribusi tipe normal, mempunyai koefisien kemencengan (*Coefisien of skewness*) atau CS = 0

b Distribusi Log Normal

Distribusi Log Normal, merupakan hasil transformasi dari distribusi Normal, yaitu dengan mengubah varian X menjadi nilai logaritmik varian X. Distribusi ini dapat diperoleh juga dari distribusi Log Person Tipe III, apabila nilai koefisien kemencengan CS = 0 .

Distribusi tipe Log Normal, mempunyai koefisien kemencengan (*Coefisien of skewness*) atau CS. Besarnya $CS = 3 CV + CV^2$



c Distribusi Gumbel I

Distribusi Tipe I Gumbel atau Distribusi Ekstrim Tipe I digunakan untuk analisis data maksimum, misalnya untuk analisis frekuensi banjir.

Distribusi Tipe I Gumbel, mempunyai koefisien kemencengan (*Coefisien of skewness*) atau $CS = 1,1396$.

d Distribusi Log Person Tipe III

Distribusi Log Person Tipe III atau Distribusi Ekstrim Tipe III digunakan untuk analisis variabel hidrologi dengan nilai varian minimum misalnya analisis frekuensi distribusi dari debit minimum (*low flows*).

Distribusi Log Person Tipe III, mempunyai koefisien kemencengan (*Coefisien of skewness*) atau $CS \approx 0$.

Setelah pemilahan jenis sebaran dilakukan maka prosedur selanjutnya yaitu mencari curah hujan rencana periode ulang 2, 5, 10, 25, 50 dan 100 tahun.

Tabel 3.1 Syarat Distribusi Data

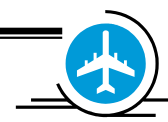
No.	Jenis Distribusi	Syarat
1.	Normal	$Cs \approx 0$ $Ck = 3$
2.	Log Normal	$Cs \approx 3Cv + Cv^2 \approx 0,237$ $Cv \approx 0,06$
3.	Gumbel Tipe I	$Cs \leq 1,1396$ $Ck \leq 5,4002$
4.	Log Pearson Tipe III	$Cs \approx 0$ $Ck \approx 0,3$

(Sumber : Hidrologi Terapan, Dr. Ir. Sri Harto Br. Dipl. H)

3.3.3 Curah Hujan Rencana dengan Periode Ulang Tertentu

Analisa curah hujan rencana ini ditujukan untuk mengetahui besarnya curah hujan harian maksimum dalam periode ulang tertentu yang nantinya digunakan untuk perhitungan debit banjir rencana.

Metode yang umum digunakan untuk perhitungan curah hujan rencana ini adalah *metode gumbel, metode normal, metode log normal* dan *metode log pearson tipe III*.



1. Metode Gumbel

Adapun rumus-rumus yang digunakan dalam perhitungan curah hujan rencana dengan metode gumbel adalah sebagai berikut :

$$X_t = X_r + (K * S_x)$$

$$K = \frac{Y_t - Y_n}{S_n}$$

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (X_t - X_r)^2}{n - 1}}$$

(5)

Dimana:

Y_n : Harga rata-rata *reduced mean* (Tabel 3.2).

S_n : *Reduced Standard Deviation* (Tabel 3.3).

Y_t : *Reduced variate* (Tabel 3.4).

X_t : Hujan dalam periode ulang tahun.

X_r : Curah hujan rata-rata (mm).

S_x : Standar deviasi.

N : Banyaknya data.

(Sumber : Dr. Ir. Suripin, M. Eng. Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan hal 51)

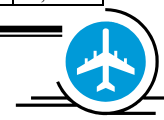
Tabel 3.2 Reduced Mean (Yn)

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,4952	0,4996	0,5035	0,5070	0,5100	0,5128	0,5157	0,5181	0,5202	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	0,5565	0,5567
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	0,5592	0,5593	0,5595	0,5596	0,5598	0,5599
100	0,5600	0,5602	0,5603	0,5604	0,5606	0,5607	0,5608	0,5609	0,5610	0,5611

(Sumber : Dr. Ir. Suripin, M. Eng. Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan hal 51)

Tabel 3.3 Reduced Standard Deviation (Sn)

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,9496	0,9676	0,9833	0,9971	1,0095	1,0206	1,0316	1,0411	1,0493	1,0565
20	1,0628	1,0696	1,0754	1,0811	1,0864	1,0315	1,0961	1,1004	1,1047	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
60	1,1747	1,1759	1,1770	1,1782	1,1793	1,1803	1,1814	1,1824	1,1834	1,1844
70	1,1854	1,1863	1,1873	1,1881	1,1890	1,1898	1,1906	1,1915	1,1923	1,1930
80	1,1938	1,1945	1,1953	1,1959	1,1967	1,1973	1,1980	1,1987	1,1994	1,2001
90	1,2007	1,2013	1,2026	1,2032	1,2038	1,2044	1,2046	1,2049	1,2055	1,2060



100	1,2065	1,2069	1,2073	1,2077	1,2081	1,2084	1,2087	1,2090	1,2093	1,2096
-----	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

(Sumber : Dr. Ir. Suripin, M. Eng. Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan hal 52)

Tabel 3.4 Reduced Variate (Y_t)

Periode Ulang	Reduced Variate
2	0,3668
5	1,5004
10	2,2510
20	2,9709
25	3,1993
50	3,9028
100	4,6012
200	5,2969
500	6,2149
1000	6,9087
5000	8,5188
10000	9,2121

(Sumber : Dr. Ir. Suripin, M. Eng. Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan hal 52)

2. Metode Normal

Rumus yang digunakan dalam perhitungan dengan metode ini adalah sebagai berikut :

$$X_T = \bar{X} + K_t * S \dots\dots\dots (6)$$

Dimana :

- X_T : Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang T-tahun.
- S : Deviasi standar nilai variat.
- \bar{X} : Curah hujan rata-rata.
- K_t : Faktor frekuensi (variabel reduksi Gauss), yang besarnya diberikan pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Nilai Variabel Reduksi Gauss

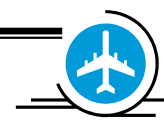
Periode Ulang (tahun)					
2	5	10	25	50	100
0,000	0,840	1,280	1,708	2,050	2,330

(Sumber : Dr. Ir. Suripin, M. Eng. Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan hal 37)

3. Metode Log Normal

Rumus yang digunakan dalam perhitungan dengan metode ini adalah sebagai berikut :

$$X_T = \bar{X} + K_t * S \dots\dots\dots (7)$$



Dimana :

- X_T : Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang T-tahun.
- S : Deviasi standar nilai variat.
- \bar{X} : Curah hujan rata-rata.
- Kt : Faktor frekuensi (variabel reduksi *Gauss*), yang besarnya diberikan pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Nilai Variabel Reduksi Gauss

Periode Ulang (tahun)					
2	5	10	25	50	100
0,000	0,840	1,280	1,708	2,050	2,330

(Sumber : Dr. Ir. Suripin, M. Eng. Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan hal 37)

4. Metode Distribusi Log Pearson III

Langkah-langkah yang diperlukan adalah sebagai berikut :

- Gantilah data $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ menjadi data dalam bentuk logaritma, yaitu : $\log X_i$

- Hujan rata-rata dari logaritma data tersebut :

$$\text{Log } X = \frac{\sum \log X_i}{n}$$

- Hitung standar deviasi dari logaritma data :

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \ln X_i + 1)^2}{n - 1}} \quad \dots \dots \dots (8)$$

- Hitung koefisien kemencengan :

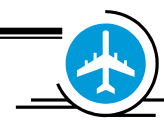
$$G = \frac{\sum (\log X_i - \log X_i)^3}{[(n - 1) * (n - 2)] * S^3}$$

- Hitung logaritma data interval pengulangan atau kemungkinan prosentase yang dipilih.

$$\text{Log } X_t = \log X_r + K * S_x \dots \dots \dots (9)$$

Dimana :

X_i : Data curah hujan.



- n : Jumlah data curah hujan.
- K : Koefisien (Tabel 3.7).
- Sx : Standar deviasi.
- Xt : Curah hujan rencana.
- Xr : Nilai rata-rata.

Tabel 3.7 Nilai K Untuk Distribusi Log Pearson III

Kemencengan (CS)	Periode Ulang (tahun)							
	2	5	10	25	50	100	200	1000
	Peluang (%)							
	50	20	10	4	2	1	0,5	0,1
3,0	-0,396	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	2,706	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	1,998	2,453	2,891	3,312	4,250
0,7	-0,116	0,790	1,333	1,967	2,407	2,824	3,223	4,105
0,6	0,099	0,800	1,328	1,939	2,359	2,755	3,132	3,960
0,5	-0,083	0,808	1,323	1,910	2,311	2,686	3,041	3,815
0,4	-0,066	0,816	1,317	1,880	2,261	2,615	2,949	3,670
0,3	-0,050	0,824	1,309	1,849	2,211	2,544	2,856	3,525
0,2	-0,033	0,830	1,301	1,818	2,159	2,472	2,763	3,380
0,1	-0,017	0,836	1,292	1,785	2,107	2,400	2,670	3,235
0,0	0,000	0,842	1,282	1,751	2,054	2,326	2,576	3,090
-0,1	0,017	0,836	1,270	1,761	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	0,066	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	0,854	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	1,198	1,270	1,318	1,351	1,465



Kemencengan (CS)	Periode Ulang (tahun)							
	2	5	10	25	50	100	200	1000
	Peluang (%)							
	50	20	10	4	2	1	0,5	0,1
-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	1,995	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	0,396	0,636	0,660	0,666	0,666	0,667	0,667	0,668

(Sumber : Soewarno. Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisis Data. Jilid I)

3.3.4 Plotting Data

Sebelum dilakukan penggambaran, data harus diurutkan dahulu, dari kecil ke besar. Penggambaran posisi (*plotting positions*) yang dipakai adalah cara yang dikembangkan oleh Weinbull dan Gumbel, yaitu :

$$P(X_m) = \frac{m}{n+1} * 100\% \dots\dots\dots (10)$$

Dimana :

P (X_m) : data sesudah dirangking dari kecil ke besar

m : nomor urut

n : jumlah data

Dalam kertas probabilitas titik-titik plotting merupakan nilai P=m/(n+1) sedangkan garis lurus merupakan curah hujan rencana dengan periode ulang tertentu (X_t=X_{rt} + k.S). Plotting data dilakukan pada kertas probabilitas Normal, Log Normal, Gumbel dan Log Pearson III bertujuan untuk mencocokkan rangkaian data dengan jenis sebaran yang dipilih, dimana kecocokan dapat dilihat dengan persamaan garis yang membentuk garis lurus.

3.3.5 Uji Keselarasan

Untuk menentukan pola distribusi data curah hujan rata-rata yang paling sesuai dari beberapa metode distribusi statistik yang telah dilakukan maka dilakukan uji keselarasan.



Ada dua jenis uji keselarasan (*The Goodness of fittest test*), yaitu uji keselarasan *Chi Square* dan *Smirnov-Kolmogorof*.

Pada tes ini biasanya yang diamati adalah hasil perhitungan yang diharapkan.

a. Uji Keselarasan *Chi Square*

Uji keselarasan *chi square* menggunakan rumus :

$$X^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \dots\dots\dots (11)$$

(Soewarno, Jilid I, 1995)

Dimana :

- X^2 : Harga *chi square* terhitung.
- O_i : Jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok ke-1.
- E_i : Jumlah nilai teoritis pada sub kelompok ke-1.
- N : Jumlah data.

Suatu distrisbusi dikatakan selaras jika nilai X^2 hitung < dari X^2 kritis. Dari hasil pengamatan yang didapat dicari penyimpangannya dengan *chi square* kritis paling kecil.

Untuk suatu nilai nyata tertentu (*level of significant*) yang sering diambil adalah 5 %. Derajat kebebasan ini secara umum dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$Dk = n - 3 \dots\dots\dots (12)$$

Dimana :

- Dk : Derajat kebebasan.
- n : Banyaknya data.

Tabel 3.8 Nilai Kritis untuk Distribusi Chi-Square

dk	α Derajat kepercayaan							
	0,995	0,99	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01	0,005
1	0,0000393	0,000157	0,000982	0,00393	3,841	5,024	6,635	7,879
2	0,0100	0,0201	0,0506	0,103	5,991	7,378	9,210	10,597
3	0,0717	0,115	0,216	0,352	7,815	9,348	11,345	12,838
4	0,207	0,297	0,484	0,711	9,488	11,143	13,277	14,860
5	0,412	0,554	0,831	1,145	11,070	12,832	15,086	16,750
6	0,676	0,872	1,237	1,635	12,592	14,449	16,812	18,548
7	0,989	1,239	1,690	2,167	14,067	16,013	18,475	20,278
8	1,344	1,646	2,180	2,733	15,507	17,535	20,090	21,955
9	1,735	2,088	2,700	3,325	16,919	19,023	21,666	23,589



10	2,156	2,558	3,247	3,940	18,307	20,483	23,209	25,188
11	2,603	3,053	3,816	4,575	19,675	21,920	24,725	26,757
12	3,074	3,571	4,404	5,226	21,026	23,337	26,217	28,300
13	3,565	4,107	5,009	5,892	22,362	24,736	27,688	29,819
dk	α Derajat kepercayaan							
	0,995	0,99	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01	0,005
14	4,075	4,660	5,629	6,571	23,685	26,119	29,141	31,319
15	4,601	5,229	6,262	7,261	24,996	27,488	30,578	32,801
16	5,142	5,812	6,908	7,962	26,296	28,845	32,000	34,267
17	5,697	6,408	7,564	8,672	27,587	30,191	33,409	35,718
18	6,265	7,015	8,231	9,390	28,869	31,526	34,805	37,156
19	6,844	7,633	8,907	10,117	30,144	32,852	36,191	38,582
20	7,434	8,260	9,591	10,851	31,41	34,170	37,566	39,997
21	8,034	8,897	10,283	11,591	32,671	35,479	38,932	41,401
22	8,643	9,542	10,982	12,338	33,924	36,781	40,289	42,796
23	9,260	10,196	11,689	13,091	36,172	38,076	41,683	44,181
24	9,886	10,856	12,401	13,848	36,415	39,364	42,980	45,558
25	10,520	11,524	13,120	14,611	37,652	40,646	44,314	46,928
26	11,160	12,198	13,844	15,379	38,885	41,923	45,642	48,290
27	11,808	12,879	14,573	16,151	40,113	43,194	46,963	49,645
28	12,461	13,565	15,308	16,928	41,337	44,461	48,278	50,993
29	13,121	14,256	16,047	17,708	42,557	45,722	49,588	52,336
30	13,787	14,953	16,791	18,493	43,773	46,979	50,892	53,672

(Sumber : Soewarno, Jilid I,1995)

b. Uji Keselarasan *Smirnov-Kolmogorof*

Uji keselarasan *Smirnov-Kolmogorof*, sering juga disebut uji keselarasan non parametrik (non parametrik tes), karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu. Prosedurnya adalah sebagai berikut :

1. Urutkan data dari besar ke kecil atau sebaliknya dan tentukan besarnya peluang dari masing-masing data tersebut

$$X_1 \rightarrow P(X_1)$$

$$X_2 \rightarrow P(X_2)$$

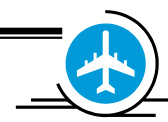
$$X_m \rightarrow P(X_m)$$

$$X_n \rightarrow P(X_n)$$

2. Tentukan nilai masing-masing peluang teoritis dari hasil penggambaran data (persamaan distribusinya) :

$$X_1 \rightarrow P'(X_1)$$

$$X_2 \rightarrow P'(X_2)$$



$$X_m \rightarrow P'(X_m)$$

$$X_n \rightarrow P'(X_n)$$

3. Dari kedua nilai peluang tersebut, tentukan selisih terbesar antara peluang pengamatan dengan peluang teoritis.

$$D = \text{maksimum} [P(X_m) - P'(X_m)] \dots\dots\dots (13)$$

4. Berdasarkan tabel nilai kritis (*Smirnov-Kolmogorof test*) tentukan harga D_0 .

Apabila $D < D_0$, maka distribusi teoritis yang digunakan untuk menentukan persamaan distribusi dapat diterima, apabila $D > D_0$, maka distribusi teoritis yang digunakan untuk menentukan persamaan distribusi tidak dapat diterima.

Tabel 3.9 Nilai Delta Kritis untuk Uji Keselarasan Smirnov Kolmogorof

Jumlah data N	α Derajat Kepercayaan			
	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	0,15	0,17	0,19	0,23
n>50	$1,07/n^{0,5}$	$1,22/n^{0,5}$	$1,36/n^{0,5}$	$1,63/n^{0,5}$

(Sumber : Dr. Ir. Suripin, M. Eng. Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan hal 59)

3.3.6 Intensitas Curah Hujan

Curah hujan jangka pendek dinyatakan dalam intensitas per jam yang disebut dengan Intensitas Curah Hujan. Hujan dalam intensitas yang besar umumnya terjadi dalam waktu yang pendek. Hubungan intensitas curah hujan dengan waktu hujan banyak dirumuskan, yang pada umumnya tergantung pada parameter setempat. Besarnya intensitas curah hujan berbeda-beda biasanya disebabkan oleh lamanya curah hujan dan frekuensi kejadiannya. Intensitas curah hujan rata-rata digunakan sebagai parameter perhitungan debit banjir dengan menggunakan cara *Rasional* atau *Storage Function*. Ada banyak model untuk mengestimasi intensitas curah hujan rata-rata dari curah hujan harian.

Beberapa rumus intensitas curah hujan yang berhubungan dengan hal ini disusun sebagai rumus-rumus empiris yang dapat dituliskan sebagai berikut:

1. Menurut Prof. Talbot (1881)

Untuk hujan dengan waktu < 2 jam, Prof. Talbot (1881) menuliskan rumus :



$$I = \frac{a}{t + b} \dots\dots\dots (14)$$

Dimana :

- I : Intensitas curah hujan (mm/jam).
- t : Waktu (durasi) curah hujan (menit).
- a,b : Konstanta yang tergantung dari keadaan setempat.

$$a = \frac{[I.t][I^2] - [I^2.t][I]}{N - [I^2] - [I][I]} \dots\dots\dots (15)$$

$$b = \frac{[I][I.t] - N[I^2.t]}{N[I^2] - [I][I]} \dots\dots\dots (16)$$

2. Menurut Prof. Sherman (1905)

Untuk hujan dengan waktu > 2 jam, Prof. Sherman (1905) menuliskan rumus :

$$I = \frac{a}{t^n} \dots\dots\dots (17)$$

Dengan :

$$\text{Log } a = \frac{\sum (\log I) * \sum (\log t)^2 - \sum (\log I * \log t) * \sum (\log t)}{N \sum (\log t)^2 - (\sum \log t) * (\sum \log t)} \dots\dots (18)$$

$$n = \frac{\sum (\log I) * \sum (\log t) - N \sum (\log I * \log t)}{N \sum (\log t)^2 - (\sum \log t) * (\sum \log t)} \dots\dots\dots (19)$$

Dimana :

- I : Intensitas curah hujan (mm/jam).
- t : Waktu (durasi) curah hujan (menit).
- a : Konstanta yang tergantung pada lama curah hujan di daerah aliran.

3. Menurut Dr. Ishiguro (1953)

Rumus diatas dikembangkan oleh Dr. Ishiguro (1953) menjadi :

$$I = \frac{a}{\sqrt{t + b}} \dots\dots\dots (20)$$

Dengan :

$$a = \frac{\sum (I * \sqrt{t}) * \sum (I^2) - \sum (I^2 * \sqrt{t}) * (\sum I)}{N \sum (I^2) - (\sum I)^2} \dots\dots\dots (21)$$



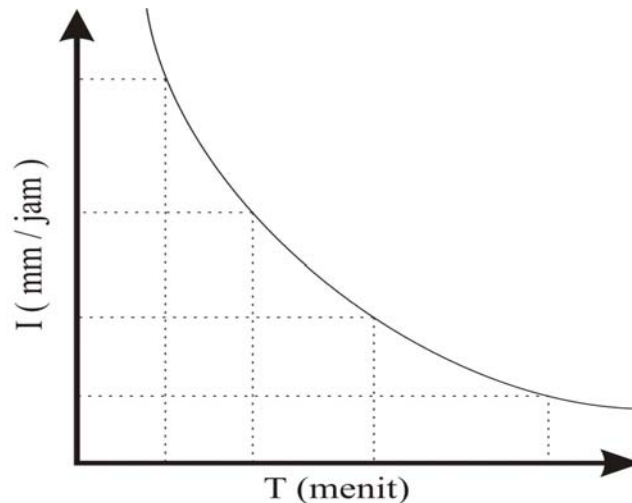
$$b = \frac{(\sum I) * \sum (I * \sqrt{t}) - N \sum (I^2 * \sqrt{t})}{N \sum (I^2) - (\sum I)^2} \dots\dots\dots (22)$$

Dimana :

I : Intensitas curah hujan (mm/jam).

t : Waktu (durasi) curah hujan (menit).

a,b : Konstanta yang tergantung pada lam curah hujan di daerah aliran.



Gambar 3.1 Kurva Intensitas Hujan

Intensitas curah hujan yang dipakai adalah rumus **Talbot** karena berdasarkan hasil perhitungan intensitas curah hujan, rumus Talbot yang paling mendekati hasil pengukuran intensitas curah hujan sesungguhnya.

3.3.7 Debit Banjir Rencana

Metode yang sering digunakan untuk mendapatkan debit banjir adalah hubungan empiris antara curah hujan – limpasan namun dalam perencanaan sistem drainase ini digunakan perangkat lunak (*software*) EPA SWMM (*Storm Water Management Model*) Version 5.0. EPA SWMM adalah model simulasi limpasan (*runoff*) curah hujan periodik yang digunakan untuk mensimulasi kejadian tunggal atau kejadian terus-menerus dengan kuantitas dan kualitas

limpasan dari wilayah yang ditinjau. Komponen limpasan SWMM dioperasikan dengan menjumlahkan luas daerah tangkapan (*subcatchment*) yang menerima hujan total



dan membangkitkannya dalam bentuk limpasan (*runoff*) dan beban polusi. Aliran limpasan di SWMM dapat ditelusuri melalui sistem pipa, saluran terbuka, kolam tampungan dan pompa. SWMM merupakan kuantitas dan kualitas limpasan yang dibangkitkan pada masing-masing daerah tangkapan (*subcatchment*), rata-rata aliran, kedalaman aliran, kualitas air di masing-masing pipa dan saluran terbuka waktu simulasi dimasukkan dalam penambahan waktu (*Rossmann, 2005*).

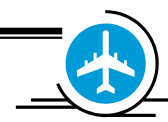
SWMM digunakan untuk menghitung berbagai jenis proses hidrologi yang menghasilkan limpasan di daerah yang ditinjau. Hal itu meliputi :

- Perbedaan waktu curah hujan
- Penguapan pada permukaan air
- Timbunan salju dan lelehan salju
- Kehilangan hujan dari tampungan-cekungan
- Infiltrasi curah hujan ke dalam permukaan tanah tak jenuh
- Perkolasi dari air infiltrasi ke dalam permukaan air tanah
- Aliran antara air tanah dengan sistem drainase
- Penelusuran waduk nonlinear dari aliran permukaan

Variasi ruang hujan dalam semua proses ini diselesaikan dengan membagi studi area ke dalam lingkup yang lebih kecil, luas daerah tangkapan (*Subcatchment*) homogen, masing-masing mengandung fraksi *pervious* dan *impervious* sub-area sendiri-sendiri. Aliran permukaan dapat ditelusuri antar sub-area, antar daerah tangkapan (*Subcatchment*), atau antar titik masuk dari sistem drainase.

SWMM juga mengandung aturan yang fleksibel untuk kemampuan pemodelan hidrolika yang digunakan untuk menelusuri limpasan dan aliran eksternal melalui jaringan sistem drainase pipa, saluran terbuka, kolam tampungan dan bangunan pengelak. Hal ini termasuk kemampuan untuk :

- Mengendalikan jaringan yang ukurannya tidak terbatas
- Menggunakan lebar yang bermacam-macam dari bentuk saluran tertutup atau saluran terbuka yang standar sebaik saluran alam
- Memodelkan bagian-bagian yang khusus seperti kolam tampungan, aliran pembagi, pompa, bendung dan saluran pembuang
- Meminta memasukkan aliran eksternal dan kualitas air dari limpasan permukaan, aliran antara air tanah, curah hujan yang dipengaruhi



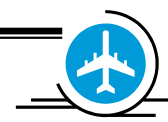
infiltrasi/aliran, aliran pembuangan kering udara dan pembatasan pengguna aliran antara

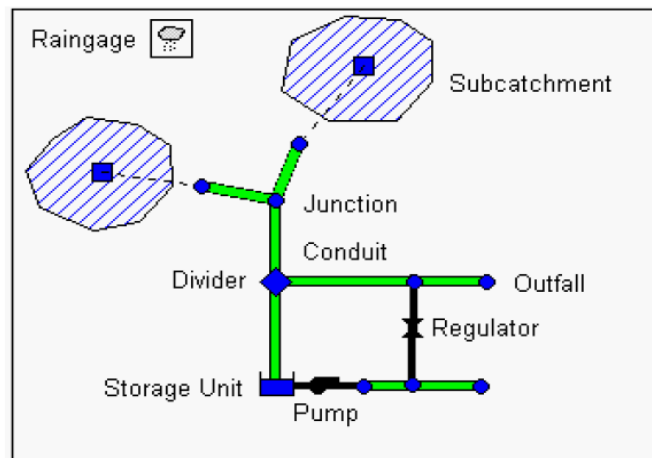
- Menggunakan salah satu metode penelusuran aliran diantara gelombang kinematik atau gelombang dinamik penuh
- Memodelkan bermacam-macam cara aliran, seperti *backwater*, *subcharging*, aliran pembalik dan kolam permukaan
- Meminta pembatasan aturan pengendali dinamis untuk mensimulasi pengoperasian pompa, pembukaan saluran pembuang dan level puncak bendung

Konsep dari SWMM adalah pemodelan dari siklus hidrologi yang ada di bumi, pemodelan ini berisikan dengan :

- ❖ Pemodelan curah hujan. Hujan merupakan faktor terpenting dalam hidrologi. Derajat curah hujan biasanya dinyatakan oleh jumlah curah hujan dalam satuan waktu tertentu dan disebut intensitas curah hujan (*Kensaku Takeda, 1993*). Di dalam SWMM curah hujan digambarkan dengan simbol *raingage* untuk mewakili hujan yang akan disimulasikan
- ❖ Pemodelan permukaan tanah, dimana dalam hal ini diwakili oleh simbol *Subcatchment*. Permukaan tanah menerima curah hujan dari atmosfer kemudian sebagian air akan meresap kedalam tanah sebagai infiltrasi dan sebagian akan menjadi limpasan permukaan
- ❖ Pemodelan air tanah yang mana melalui proses infiltrasi menerima air dari permukaan. Dalam SWMM dilambangkan dalam simbol *Aquifer*
- ❖ Pemodelan jaringan transportasi air. Dimana air dialirkan melalui kanal, saluran pipa, kemudian juga dapat disimulasikan tentang penggunaan pompa, kolam penampungan dan pengolahan limbah. Dalam SWMM bagian ini disimbolkan dengan *Node* dan *Link*

Pemodelan seperti tersebut diatas dirangkai menjadi satu kesatuan sehingga menggambarkan suatu sistem drainase. Gambar dan rangkaian tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut :





Gambar 3.2 Pemodelan Rangkaian Sistem Drainase pada SWMM

a) *Rain Gage*

Rain Gage adalah pemodelan yang mewakili curah hujan yang akan mensuplai area studi. Data hujan yang digunakan adalah data curah hujan yang telah diolah terlebih dahulu sehingga didapatkan format yang diinginkan. Beberapa format curah hujan dapat digunakan dalam simulasi ini.

- Intensitas curah hujan yaitu jumlah hujan rata-rata dalam satuan waktu tertentu
- Volume curah hujan yaitu jumlah hujan yang tercatat pada pengukur hujan dalam waktu tertentu
- Curah hujan kumulatif yaitu jumlah curah hujan yang terjadi dari hujan mulai turun hingga berhenti

Data masukkan untuk curah hujan :

- Tipe data hujan (intensitas, volume, kumulatif)
- Interval pencatatan curah hujan (60 menit, 15 menit, 5 menit, dan lain-lain)
- Sumber dari data hujan
- Nama sumber data hujan

b) *Subcatchment*

Subcatchment atau disebut juga sub daerah pengaliran sungai adalah salah satu unit hidrologi dipermukaan tanah yang mempunyai topografi dan elemen sistem drainase internal yang mengalirkan limpasan permukaan ke satu titik outlet.

Subcatchment dapat dibagi menjadi bagian *Pervious Subarea* dan *Impervious*

Subarea dimana limpasan dapat mengalami infiltrasi jika melewati *Pervious Subarea* tetapi tidak dapat jika melewati *Impervious Subarea*.

Limpasan dapat mengalir dari satu subarea ke subarea lainnya atau mengalir bersama ke satu titik outlet. Infiltrasi air hujan pada *Subcatchment* dengan *Pervious Area* dapat didiskripsikan dengan tiga model yang berbeda :

- Model infiltrasi Horton
- Model infiltrasi Green-Ampt
- Model infiltrasi SCS Curve Number

Masukkan parameter lain untuk *Subcatchment* adalah :

- Menentukan *Rain Gage* yang akan digunakan
- Menentukan outlet *Subcatchment*
- Menentukan tata guna lahan
- Menentukan *Pervious* dan *Impervious Subarea*
- Menentukan slope atau kemiringan *Subcatchment*
- Menentukan lebar *Subcatchment*
- Menentukan bilangan manning untuk aliran permukaan
- Menentukan persentase *Impervious Subarea*

c) *Junction Nodes* (Titik Pertemuan)

Junction merupakan titik pertemuan aliran. Dalam keadaan sebenarnya *Junction* dapat menggambarkan pertemuan antara saluran, *manholes* pada *Sewer System*, ataupun pada pipa saluran tertutup. Aliran yang akan masuk kedalam sistem drainase harus melalui *Junction*. Kelebihan air pada *Junction* dapat menyebabkan meluapnya air pada titik tersebut sehingga dapat digambarkan sebagai banjir pada titik tersebut.

Masukkan parameter untuk *Junction* adalah :

- ▶ Elevasi dasar
- ▶ Tinggi hingga permukaan tanah
- ▶ Kolam penampungan pada permukaan ketika terjadi banjir (*Optional*)
- ▶ Data debit dari luar (*Optional*)

d) *Outfall Nodes* (Titik Pengeluaran)



Outfalls Nodes adalah terminal terakhir dari rangkaian aliran sistem drainase, menggambarkan titik akhir berupa muara ataupun keluaran lainnya.

Pada *Outfalls Nodes* dapat digambarkan dengan beberapa kondisi antara lain :

- ✦ Kedalaman aliran pada penghubung saluran
- ✦ Kondisi air pasang tertinggi (*Fixed Tide*)
- ✦ Tabel pasang surut

Parameter masukkan lainnya :

- ▶ Elevasi dasar
- ▶ Keadaan pasang surut
- ▶ Pintu engsel untuk mencegah *Backwater* melalui *Outfalls*

e) *Flow Divider Nodes*

Flow Divider Nodes adalah suatu titik yang membagi sebagian aliran ke saluran yang lain. Suatu *divider* hanya dapat membagi aliran menjadi dua.

Ada empat jenis *Flow Dividers* berdasarkan cara membagi aliran :

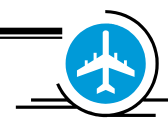
- ✦ *Cutoff Divider* : membagi aliran berdasarkan jumlah yang telah ditentukan sebelumnya
- ✦ *Overflow Divider* : membagi aliran berdasarkan kapasitas maksimum saluran utama, jika saluran utama melewati kapasitas maksimum maka aliran akan langsung terbagi
- ✦ *Tabular Divider* : membagi aliran berdasarkan tabel fungsi total aliran
- ✦ *Weir Divider* : membagi aliran berdasarkan persamaan *weir* (Bendung)

f) *Storage Units* (Kolam Tampungan)

Storage Units merupakan suatu titik dimana dapat menyediakan tampungan air dengan volume tertentu. Dalam hal ini *storage unit* menggambarkan suatu tampungan air dengan volume tertentu dimana air dapat ditahan untuk sementara. Volume tampungan diperoleh dari tabel fungsi luas permukaan kolam dengan kedalaman.

Masukkan lainnya untuk *Storage Unit* :

- ❖ Elevasi dasar
- ❖ Kedalaman maksimum



- ❖ Tabel fungsi luas permukaan dan kedalaman
- ❖ Penguapan
- ❖ Genangan dipermukaan (*Optional*)

g) *Conduits* (Saluran)

Conduits adalah penghubung yang mengalirkan air dari suatu node ke node lainnya dalam sistem pengaliran, dalam hal ini dapat berupa saluran terbuka ataupun tertutup. Penampang melintang saluran dapat ditentukan melalui tabel yang telah disediakan. Selain itu bentuk saluran alam yang tidak beraturan juga dapat digunakan.

Masukkan untuk *Conduit* :

- Nama node masuk dan node keluar
- Panjang saluran
- Bilangan kekasaran manning

Tabel 3.10 Nilai Kekasaran Manning (*n*) untuk Aliran Permukaan






















Surface	n
Smooth asphalt	0.011
Smooth concrete	0.012
Ordinary concrete lining	0.013
Good wood	0.014
Brick with cement mortar	0.014
Vitrified clay	0.015
Cast iron	0.015
Corrugated metal pipes	0.024
Cement rubble surface	0.024
Fallow soils (no residue)	0.05
Cultivated soils	
Residue cover < 20%	0.06
Residue cover > 20%	0.17
Range (natural)	0.13
Grass	
Short, prarie	0.15
Dense	0.24
Bermuda grass	0.41
Woods	
Light underbrush	0.40
Dense underbrush	0.80

- Geometri penampang melintang

Gambar bentuk penampang melintang saluran dalam EPA SWMM 5.0 dapat dilihat pada Tabel 3.11 dibawah ini :



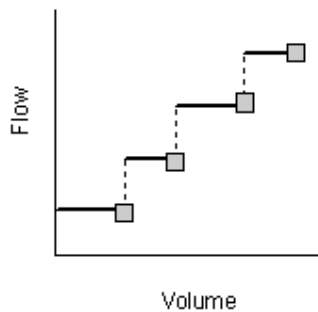
Tabel 3.11 Bentuk Penampang Melintang Saluran dalam EPA SWMM 5.0

Name	Parameters	Shape	Name	Parameters	Shape
Circular	Depth		Filled Circular	Depth, Filled Depth	
Rectangular - Closed	Depth, Width		Rectangular - Open	Depth, Width	
Trapezoidal	Depth, Base Width, Side Slopes		Triangular	Depth, Top Width	
Horizontal Ellipse	Depth, Max Width		Vertical Ellipse	Depth, Max Width	
Arch	Depth, Max Width		Parabolic	Depth, Top Width	
Power	Depth, Top Width, Exponent		Rectangular-Triangular	Depth, Top Width, Triangle Height	
Rectangular-Round	Depth, Width		Modified Baskethandle	Depth, Bottom Width	
Egg	Depth		Horseshoe	Depth	
Gothic	Depth		Catenary	Depth	
Semi-Elliptical	Depth		Baskethandle	Depth	
Semi-Circular	Depth				

h) Pompa

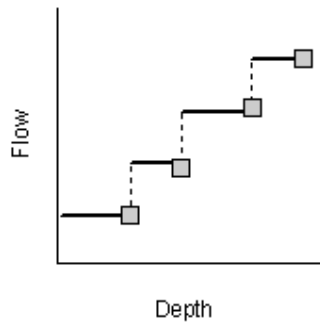
Pompa adalah alat yang digunakan menaikkan air ke elevasi yang lebih tinggi. Sebuah kurva pompa menggambarkan hubungan antara aliran rata-rata pompa dan kondisi *node* di *inlet* dan *outlet*. Ada empat tipe pompa yang digunakan dalam SWMM.

❖ Tipe 1



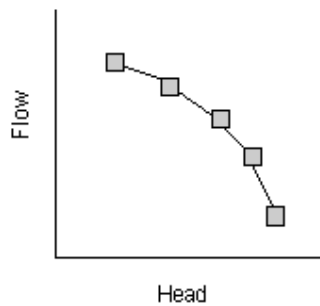
Pompa *off-line* dimana aliran pompa bertambah secara bertahap berdasarkan volume air dalam tampungan.

❖ Tipe 2



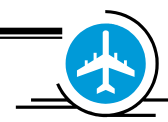
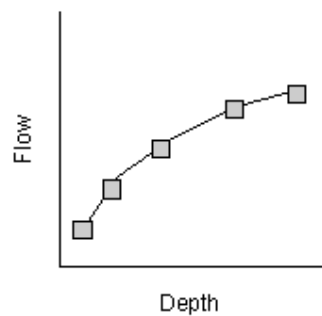
Pompa *in-line* dimana aliran pompa bertambah secara bertahap berdasarkan kedalaman air yang masuk.

❖ Tipe 3



Pompa *in-line* dimana aliran bervariasi terus menerus berdasarkan perbedaan puncak antara inlet dan outlet.

❖ Tipe 4



Pompa *in-line* dengan kecepatan bervariasi dimana aliran bertambah terus menerus berdasarkan kedalaman di titik inlet.

i) *Orifices*

Orifices digunakan untuk model struktur diversifikasi dan saluran dari sistem drainase, yang secara khusus membuka dinding dari *manhole*, fasilitas tampungan dan pengendali *gate*. *Orifices* secara internal diwakili didalam SWMM sebagai mata rantai yang menghubungkan dua *node*. *Orifices* bisa memiliki bentuk bulat atau persegi, bisa diletakkan didasar ataupun sepanjang sisi *node* di hulu dan mempunyai *flap gate* penutup untuk mencegah *backflow*. Aliran sepanjang *Orifices* dihitung berdasarkan pada area pembukaannya, koefisien *dischargenya* dan perbedaan puncak diseberangnya.

Parameter masukan untuk *Orifices* antara lain :

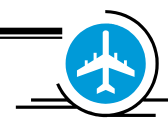
- ❖ Nama titik *inlet* dan *outlet*
- ❖ Tipe *Orifices* (dasar atau sisi)
- ❖ Bentuk *Orifices* (bulat atau persegi)
- ❖ Tinggi *Orifices* saat terbuka penuh

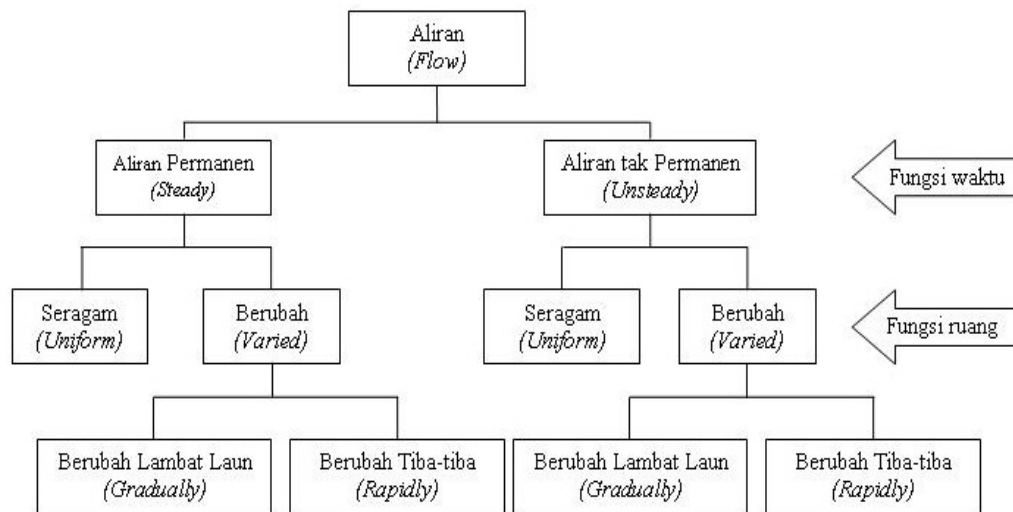
3.4 TINJAUAN HIDROLIKA

Hidrolika adalah ilmu yang mempelajari tentang sifat-sifat zat cair. Analisis hidrolika dimaksudkan untuk mengetahui kapasitas alur sungai dan saluran pada kondisi sekarang terhadap banjir rencana, yang selanjutnya digunakan untuk mendesain alur sungai dan saluran.

3.4.1 Aliran

Aliran dalam suatu saluran mempunyai permukaan bebas disebut aliran permukaan bebas (*Free Surface Flow*) atau aliran saluran terbuka (*Open Channel Flow*). Aliran permukaan bebas dapat diklasifikasikan menjadi beberapa tipe tergantung kriteria yang digunakan. Jika berdasarkan fungsi kedalaman dan atau kecepatan mengikuti fungsi waktu, maka aliran dibedakan menjadi aliran permanen (*Steady*) dan tidak permanen (*Unsteady*). Sedangkan jika berdasarkan fungsi ruang, maka aliran dibedakan menjadi aliran seragam (*Uniform*) dan tidak seragam (*Nonuniform*).





Gambar 3.3 Klasifikasi Aliran pada Saluran Terbuka

Dari Gambar 3.3 dapat dilihat bahwa aliran berubah dapat dibagi lagi berdasarkan laju perubahan kecepatan terhadap jarak, menjadi aliran berubah lambat laun (*Gradually Varied Flow*) dan aliran berubah tiba-tiba (*Rapidly Varied Flow*).

■ Aliran seragam

Uniform Flows adalah aliran seragam yang mempunyai variabel aliran seperti kedalaman, tampang basah, kecepatan dan debit pada setiap tampang disepanjang aliran adalah konstan. Rumus yang digunakan dalam kondisi aliran normal adalah rumus Manning karena mudah pemakaiannya (Bambang Triatmodjo, *Hidrolika II*, 1996).

■ Aliran tidak seragam

Non uniform Flows adalah aliran tidak seragam atau berubah yang mempunyai variabel aliran seperti kedalaman, tampang basah, kecepatan dan debit pada setiap tampang disepanjang aliran adalah tidak konstan. Aliran tidak seragam dapat dibedakan dalam dua kelompok berikut ini :



1. Aliran berubah cepat (*Rapidly Varied Flow*), dimana parameter hidrolis berubah secara mendadak dan kadang-kadang juga berubah tidak secara kontinyu (*Discontinue*).
2. Aliran berubah lambat laun (*Gradually Varied Flow*), dimana parameter hidrolis (kecepatan, tampang basah) berubah secara progresif dari satu tampang ke tampang lainnya.

■ Aliran berubah lambat laun (*Gradually Varied Flow*)

Aliran berubah lambat laun berbeda dengan aliran seragam maupun aliran berubah tiba-tiba (loncatan air). Pada aliran berubah lambat laun, kedalaman air pada saluran berubah gradual terhadap jarak. Dalam aliran seragam kedalaman air adalah konstan yang dikenal dengan nama kedalaman normal. Garis kemiringan energi sejajar dengan garis muka air dan garis dasar saluran. Distribusi kecepatan tetap sepanjang saluran, sehingga perhitungan kedalaman air cukup dilakukan sekali sepanjang saluran. Pada aliran berubah tiba-tiba, seperti pada loncatan air, kedalaman air berubah secara cepat pada jarak yang pendek. Terjadi perubahan kecepatan air secara signifikan disertai dengan perubahan penampang basah saluran secara cepat. Dengan laju perlambatan aliran yang mendadak, maka terjadi kehilangan energi. Perhitungan kedalaman air tidak dapat dilakukan dengan prinsip energi, melainkan dengan prinsip momentum. Pada aliran berubah lambat laun, perubahan kecepatan terjadi secara gradual terhadap jarak, sehingga pengaruh percepatan pada aliran antara dua potongan yang berdekatan dapat diabaikan. Perhitungan profil muka air dapat dilakukan dengan persamaan energi.

■ Aliran laminar dan turbulen

Jika partikel zat cair yang bergerak mengikuti alur tertentu dan aliran tampak seperti serat-serat tipis yang paralel, maka aliran tersebut disebut laminar. Sebaliknya, jika partikel zat cair yang bergerak mengikuti alur yang tidak beraturan, baik ditinjau terhadap ruang dan waktu maka aliran tersebut disebut aliran turbulen. Faktor yang menentukan kedalaman aliran adalah pengaruh relatif antara gaya kekentalan (viskositas) dan gaya inersia. Jika viskositas yang dominan maka alirannya laminar, sedangkan jika gaya inersia yang dominan maka alirannya turbulen. Tidak seperti aliran dalam pipa,



dimana diameter pipa biasanya dipakai sebagai panjang karakteristik, pada aliran bebas dipakai kedalaman hidrolis atau jari-jari hidrolis sebagai panjang karakteristik. Kedalaman hidrolis didefinisikan sebagai luas penampang basah dibagi lebar permukaan air, sedangkan jari-jari hidrolis didefinisikan sebagai luas penampang basah dibagi keliling basah. Batas peralihan antara aliran laminer dan turbulen pada aliran bebas terjadi pada bilangan Reynold = 600, yang dihitung berdasarkan jari-jari hidrolis sebagai panjang karakteristik.

■ Aliran subkritis, kritis dan superkritis

Aliran dikatakan kritis apabila kecepatan aliran sama dengan kecepatan gelombang gravitasi. Jika kecepatan aliran lebih kecil dari pada kecepatan kritis, maka alirannya disebut subkritis, sedangkan jika kecepatan alirannya lebih besar dari pada kecepatan kritis, maka alirannya disebut superkritis. Parameter yang menentukan ketiga jenis aliran tersebut adalah nisbah antara gaya gravitasi dan gaya inersia yang dinyatakan dengan bilangan Froude (Fr).

3.4.2 Perencanaan Saluran

3.4.2.1 Trase Saluran

Pada ruas sungai yang belok-belokannya sangat tajam atau *meander*-nya sangat kritis, maka tanggul yang akan dibangun biasanya akan menjadi lebih panjang. Selain itu pada ruas sungai yang demikian, gerusan pada belokan luar sangat meningkat dan terjadi kerusakan tebing sungai yang akhirnya mengancam kaki tanggul. Sebaliknya pada belokan dalamnya terjadi pengendapan yang intensif pula. Jadi alur sungai menjadi lebih panjang dan dapat mengganggu kelancaran aliran banjir. Guna mengurangi keadaan yang kurang menguntungkan tersebut, maka pada ruas sungai tersebut pula dipertimbangkan pembuatan alur baru (sudetan) agar pada ruas tersebut alur sungai mendekati garis lurus dan lebih pendek (*Sosrodarsono dan Tominaga, 1985*).

Pada perencanaan drainase perkotaan, alinyemen saluran disesuaikan dengan kondisi Rencana Umum Tata ruang Kota (RUTK).

3.4.2.2 Bentuk Penampang Melintang Saluran

Ada beberapa bentuk penampang melintang saluran banjir yang umum dilaksanakan, yaitu penampang berganda, penampang tunggal trapesium, penampang tunggal persegi. Potongan melintang saluran yang paling ekonomis adalah saluran yang



dapat melewati debit maksimum untuk luas penampang basah, kekasaran dan kemiringan dasar tertentu. Faktor yang terpenting dalam menentukan pilihan bentuk penampang saluran adalah pertimbangan ekonomis (Suripin, 2004).

3.4.3 Perencanaan Kapasitas Saluran dengan HEC-RAS

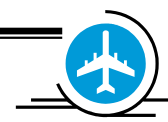
Dalam perencanaan dimensi sungai digunakan program HEC-RAS (*Hydrologic Engineering Center-River Analysis System*). HEC-RAS adalah sebuah sistem yang menyeluruh dari software, didesain untuk penggunaan yang interaktif dalam lingkungan yang bermacam-macam. Ruang lingkup HEC-RAS adalah menghitung profil muka air dengan pemodelan aliran *steady* dan *unsteady*, serta perhitungan pengangkutan sedimen. Elemen yang paling penting dalam HEC-RAS adalah tersedianya geometri saluran, baik memanjang maupun melintang.

3.4.3.1 Profil Muka Air Pada Aliran Steady

Dalam bagian ini HEC-RAS memodelkan suatu saluran dengan aliran *steady* berubah lambat laun. Sistem ini dapat mensimulasikan aliran pada seluruh jaringan saluran ataupun pada saluran tunggal tanpa percabangan, baik itu aliran kritis, subkritis, superkritis ataupun campuran sehingga didapat profil muka air yang diinginkan. Konsep dasar dari perhitungan adalah menggunakan persamaan energi dan persamaan momentum. Kehilangan energi juga diperhitungkan dalam simulasi ini dengan menggunakan prinsip gesekan pada saluran, belokan serta perubahan penampang, baik akibat adanya jembatan, gorong-gorong ataupun bendung pada saluran atau sungai yang ditinjau.

3.4.3.2 Profil Muka Air Pada Aliran Unsteady

Pada sistem pemodelan ini HEC-RAS mensimulasikan aliran *unsteady* pada jaringan saluran terbuka. Konsep dasarnya adalah persamaan aliran *unsteady* yang dikembangkan oleh Dr. Robert L. Barkau's UNET model (Barkau, 1992 dan HEC, 1997). Pada awalnya aliran *unsteady* hanya didesain untuk memodelkan aliran subkritis, tetapi versi terbaru dari HEC-RAS yaitu versi 3.1 dapat juga untuk memodelkan aliran superkritis, kritis, subkritis ataupun campuran secara loncatan hidrolis. Selain itu penghitungan kehilangan energi pada gesekan saluran, belokan serta perubahan penampang juga diperhitungkan.



3.4.3.3 Konsep Perhitungan Profil Muka Air dalam HEC-RAS

Dalam HEC-RAS penampang sungai atau saluran ditentukan terlebih dahulu, kemudian luas penampang akan dihitung.

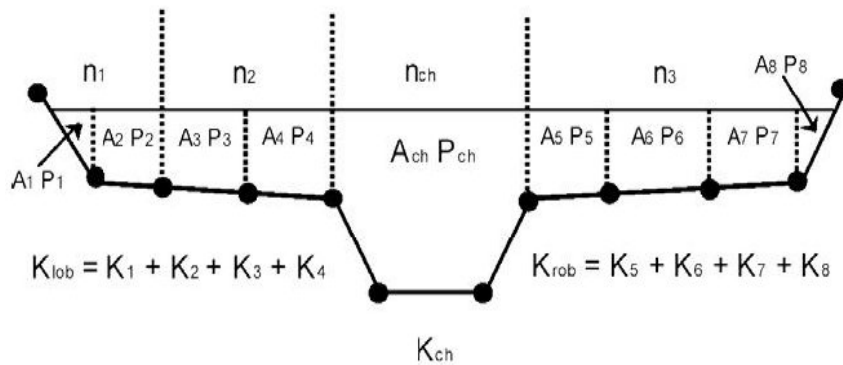
Untuk mendukung fungsi saluran sebagai penghantar aliran maka penampang saluran di bagi atas beberapa bagian. Pendekatan yang dilakukan HEC-RAS adalah membagi area penampang berdasarkan dari nilai n (koefisien kekasaran manning) sebagai dasar bagi pembagian penampang. Setiap aliran yang terjadi pada bagian dihitung dengan menggunakan persamaan Manning :

$$Q = K S_f^{1/2} \text{ dan } K = \frac{1,486}{n} A R^{2/3} \dots\dots\dots (23)$$

Dimana :

- K : nilai pengantar aliran pada unit
- n : koefisien kekasaran manning
- A : luas bagian penampang
- R : jari-jari hidrolis
- S_f : kemiringan aliran

Perhitungan nilai K dapat dihitung berdasarkan kekasaran manning yang dimiliki oleh bagian penampang tersebut seperti terlihat pada Gambar 3.4



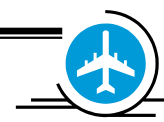
Gambar 3.4 Contoh penampang saluran dalam HEC-RAS

Setelah penampang ditentukan maka HEC-RAS akan menghitung profil muka air. Konsep dasar penghitungan profil permukaan air berdasarkan persamaan energi yaitu:

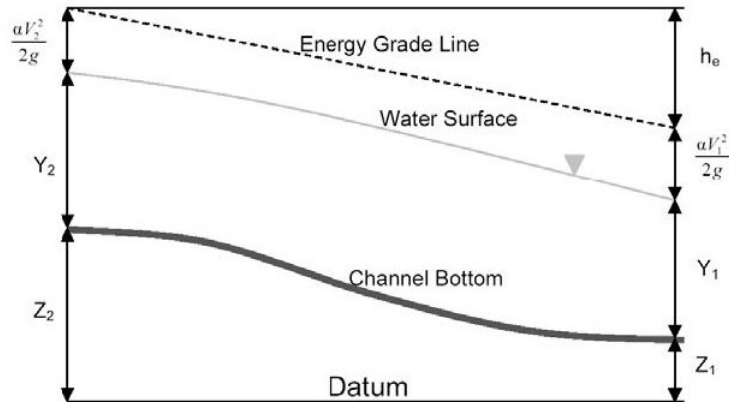
$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \dots\dots\dots (24)$$

Dimana :

- Z : fungsi titik diatas garis referensi



- Y : fungsi tekanan di suatu titik
- V : kecepatan aliran
- α : koefisien kecepatan
- h_e : energi *head loss*



Gambar 3.5 Penggambaran Persamaan Energi pada Saluran Terbuka

Nilai h_e didapat dengan persamaan :

$$h_e = L \cdot S_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \dots\dots\dots (25)$$

Dimana :

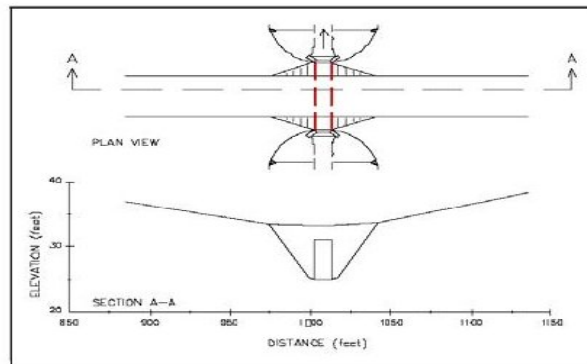
- L : jarak antara dua penampang
- S_f : kemiringan aliran
- C : koefisien kehilangan energi (penyempitan, pelebaran atau belokan)

Langkah berikutnya dalam perhitungan HEC-RAS adalah dengan mengasumsikan nilai muka air (*water surface*) pada penampang awal saluran (dalam hal ini penampang di hilir). Kemudian dengan menggunakan persamaan energi diatas maka profil muka air untuk semua penampang di saluran dapat diketahui.

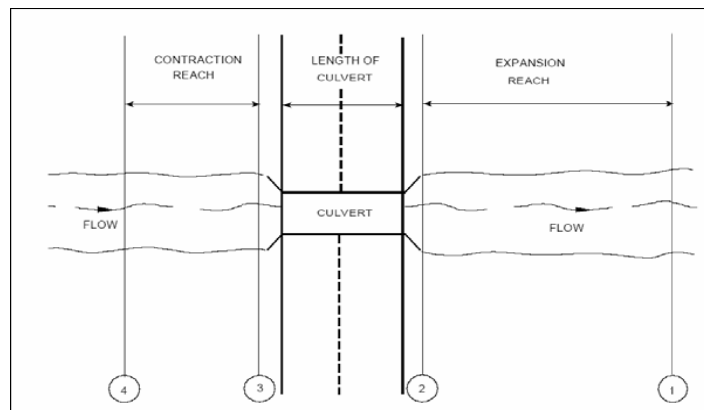
3.4.3.4 Perhitungan Aliran Air melalui Gorong-gorong (*Culvert*) dengan HEC-RAS

Perhitungan gorong-gorong dalam HEC-RAS sama untuk perhitungan jembatan, tetapi berdasarkan Federal Highway Administration’s (FHWA, 1985) rumus standar untuk hidrolika gorong-gorong digunakan untuk memasukan kontrol kehilangan saat pemasukan pada struktur.





Gambar 3.6 Tipe Gorong-gorong yang Melintasi Jalan Raya



Gambar 3.7 Layout untuk Metode Gorong-gorong

Gorong-orong merupakan saluran tertutup yang relatif pendek, yang menghubungkan dua segmen saluran terbuka. Ada dua tipe gorong-gorong yang sering digunakan yaitu gorong-gorong bulat (*circular pipe culverts*) dan gorong-gorong persegi (*box culverts*).

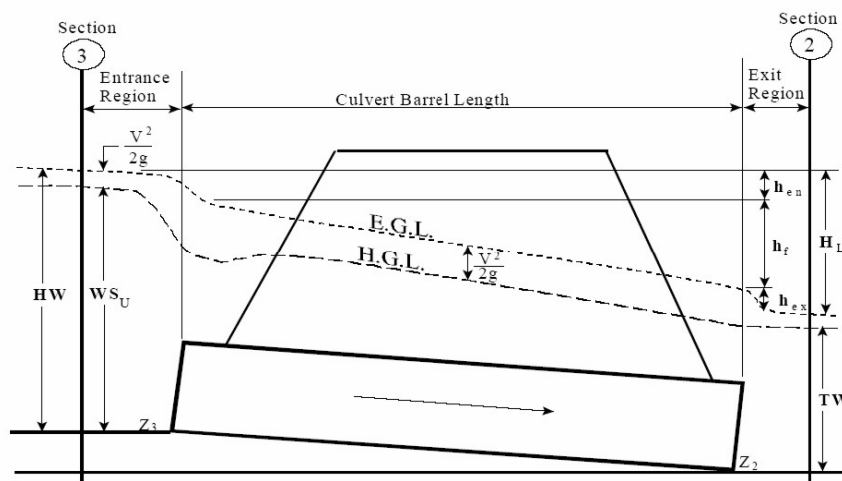
Gorong-gorong terdiri dari pemasukan (*entrance*) dimana air mengalir kedalam gorong-gorong, *barrel* merupakan saluran gorong-gorong itu sendiri dan pengeluaran (*exit*) adalah saat air keluar dari gorong-gorong.

- ❖ *Tailwater* (TW) pada gorong-gorong adalah kedalaman air di titik pengeluaran atau bagian hilir (*downstream*) dari gorong-gorong, yang diukur dari dasar gorong-



gorong di *downstream*. Kedalaman *tailwater* tergantung pada aliran rata-rata dan kondisi hidrolika di *downstream*.

- ❖ *Headwater* (HW) adalah kedalaman air dari dasar pemasukan (*inlet*) sampai garis tinggi energi (*energy grade line*). *Headwater* menggambarkan banyaknya puncak energi yang diijinkan mengalir melalui gorong-gorong.
- ❖ *Upstream Water Surface* (WS_U) adalah kedalaman air pada pemasukan atau bagian hulu (*upstream*) dari gorong-gorong, yang diukur dari dasar gorong-gorong di *upstream*.
- ❖ *Total Energy* disemua titik adalah sama untuk elevasi dasar ditambah *specific energy* (kedalaman air + puncak kecepatan). Semua perhitungan gorong-gorong dalam HEC-RAS dihitung total energi di ujung *upstream*.



Gambar 3.8 Layout untuk Metode Gorong-gorong

3.4.3.4.1 Analisis Aliran pada Gorong-gorong

- ❖ Kontrol Pemasukan (*Inlet control*)
 - Untuk kondisi kontrol pemasukan, kapasitas gorong-gorong dibatasi oleh luas penampang daripada kondisi di hilir. Perhitungan kontrol pemasukan terdiri pemasukan tidak tenggelam (*unsubmerged inlet*) dan pemasukan tenggelam (*submerged inlet*).

➤ Pemasukan Tidak Tenggelam

$$\frac{HW_i}{D} = \frac{H_c}{D} + K \left[\frac{Q}{AD^{0.5}} \right]^M - 0,5S \dots\dots\dots (26)$$



$$\frac{HW_i}{D} = K \left[\frac{Q}{AD^{0,5}} \right]^M \dots\dots\dots (27)$$

➤ Pemasukan Tenggelam

$$\frac{HW_i}{D} = c \left[\frac{Q}{AD^{0,5}} \right]^2 + Y - 0,5S \dots\dots\dots (28)$$

Dimana :

HW_i : kedalaman energi air puncak diatas dasar gorong-gorong pada pemasukan (m)

D : diameter gorong-gorong (m)

H_c : puncak spesifik pada kedalaman kritis ($d_c + Vc^2/2g$) (m)

Q : debit yang melewati gorong-gorong (m³/dt)

A : luas penampang melintang gorong-gorong (m²)

S : kemiringan gorong-gorong (m/m)

K,M,c,Y : konstanta, tergantung bentuk gorong-gorong dan kondisi pemasukan

❖ Kontrol Pengeluaran (*Outlet control*)

Untuk kontrol pengeluaran HEC-RAS menggunakan rumus Bernoulli's untuk menghitung perubahan energi melalui gorong-gorong dibawah kondisi control pengeluaran. Rumus yang digunakan adalah :

$$Z_3 + Y_3 + \frac{\alpha_3 V_3^2}{2g} = Z_2 + Y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} H_L \dots\dots\dots (29)$$

Dimana :

Z₃ = elevasi dasar *upstream* pada gorong-gorong

Y₃ = kedalaman air diatas elevasi dasar *upstream*

V₃ = kecepatan rata-rata *upstream* pada gorong-gorong

3.4.3.4.2 Kehilangan energi pada gorong-gorong terdiri dari:

❖ Kehilangan energi pada pemasukan (*entrance*):

$$h_e = 0,5 \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots (30)$$

❖ Kehilangan energi sepanjang gorong-gorong:



$$h_f = \frac{\lambda L}{D} \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots (31)$$

❖ Kehilangan energi pada pengeluaran (*exit*):

$$h_0 = \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots (32)$$

Dimana:

V : kecepatan aliran dalam gorong-gorong

λ : koefisien gesekan pada dinding gorong-gorong

L : panjang gorong-gorong

D : diameter gorong-gorong

3.4.4 Perencanaan Pintu Air

Pintu air (*Gate, Sluice*) yang biasanya dibangun memotong tanggul sungai atau antara sungai utama dengan saluran drainase berfungsi sebagai pengatur aliran air untuk pembuang (*drainage*), penyadap dan pengatur lalu-lintas air. Ditinjau dari konstruksinya, secara garis besarnya pintu air dapat dibedakan dalam dua tipe yaitu pintu air tipe saluran terbuka atau disebut pintu air saluran (*gate*) dan pintu air tipe saluran tertutup atau disebut pintu air saluran terowongan (*sluice*). Pintu air saluran pada umumnya dibangun pada sistem saluran air yang besar-besar, sedangkan pintu air terowongan dibangun pada sistem saluran air yang relatif kecil. Fungsi pintu air adalah mengatur aliran air untuk pembuang, penyadap dan pengatur lalu-lintas air. Sebagai pembuang yang dibangun di muara sistem drainase biasanya senantiasa dalam keadaan terbuka dan penutupnya dilakukan manakala elevasi muka air di dalam sungai induk lebih tinggi dari elevasi air yang terdapat didalam saluran drainase.

Dengan demikian, dapat dicegah masuknya sungai ke dataran yang dilindungi. Sedangkan pintu air sebagai penyadap untuk mengatur besarnya debit air yang dialirkan ke dalam sistem saluran air yang dibelakanginya, sehingga daun pintunya senantiasa diatur disesuaikan debit yang diinginkan.

Selain itu bangunan pintu air harus dapat pula berfungsi sebagai tanggul banjir, karenanya bidang kontak antara bangunan pintu air yang terdiri dari beton dan tubuh tanggul yang terdiri dari urugan tanah haruslah benar-benar rapar air, agar tidak terjadi



kebocoran melalui kontak tersebut yang dapat menjebolkan tanggul disekitar bangunan pintu tersebut (*Sosrodarsono dan Takeda, 1985*).

Tahap-tahap yang dilakukan dalam perencanaan pintu air adalah :

A. Penentuan Dimensi Pintu Air

Dimensi pintu air ditetapkan berdasarkan debit yang akan dilewatkan melalui pintu. Untuk dimensi pintu drainase ditentukan berdasarkan elevasi muka air banjir di sungai, elevasi banjir dan debit drainase yang dibuang melalui pintu tersebut. Apabila banjir pada sungai bersamaan dengan terjadinya hujan pada daerah pengaliran pintu drainasinya, maka genangan air hujan tersebut tidak dapat dihindarkan, tetapi durasinya, kedalaman serta luas kedalaman haruslah dibatasi pada tigtat yang tidak membahayakan.

Apabila persyaratan tersebut tidak terpenuhi, maka haruslah dipertimbangkan untuk pemasangan pompa drainase. Kecepatan aliran air yang diinginkan melalui adalah antara 1 – 2 m/dt, tetapi untuk pintu-pintu air berdimensi kecil dapat mencapai kecepatan 3,5 m/dt.

B. Penentuan Penampang Pintu Drainase

Meskipun penampang pintu tidak berubah, akan tetapi debit yang akan dialirkan melalui pintu tersebut tidaklah selalu sama. Tetapi penampang pintu ditentukan berdasarkan debit hasil perhitungan limpasan, genangan yang diijinkan di areal yang diamankan dan pertimbangan-pertimbangan ekonomi lainnya. Kapasitas pintu drainase umumnya diperoleh dari hasil perhitungan aliran *uniform* atau aliran *non uniform* yang dimulai dari elevasi muka air sungai.

3.4.5 Perencanaan Tinggi Jagaan Saluran

Besarnya tinggi jagaan yang paling baik adalah berkisar antara 0,75 m – 1,5 m. Hal-hal lain yang mempengaruhi besarnya nilai tinggi jagaan adalah penimbunan sedimen di dalam saluran, berkurangnya efisiensi hidrolis karena tumbuhnya tanaman, penurunan tebing dan kelebihan jumlah aliran selama terjadinya hujan. Sedangkan secara praktis besarnya tinggi jagaan yang diambil berdasarkan debit banjir, seperti dalam tabel berikut :

Tabel 3.12 Hubungan Debit – Tinggi Jagaan

Debit Rencana (m^3/det)	Tinggi Jagaan (m)
$200 < Q < 500$	0,75



500 < Q < 2000	1,00
2000 < Q < 5000	1,25
5000 < Q < 10000	1,50
10000 < Q	2,00

(sumber : Ir. Sugiyanto, M Eng. "Pengendalian Banjir")

3.4.6 Perencanaan Kolam Tampungan (Pond)

Pengendalian banjir direncanakan dengan memanfaatkan waduk-waduk di daerah pegunungan dan rawa-rawa (*Retarding Basin*), di daerah dataran, atau diantara sungai dan *retarding basin* dibuat suatu tanggul yang sebagian dimanfaatkan sebagai pelimpah guna memotong puncak debit banjir sehingga *retarding basin* berubah menjadi kolam pengatur. Hal ini dianggap lebih menguntungkan dari pada penanganan debit banjir rencana yang dilakukan dengan perbaikan dan pengaturan sungai.

Kolam pengatur berfungsi sebagai pemotong puncak debit banjir, dengan demikian kolam yang tidak luas pun dapat mengendalikan banjir secara efektif. Dalam perencanaan pengendalian banjir, penentuan dimensi dari masing-masing komponen sistem pengendalian banjir harus ditelaah dari segi teknis, ekonomis maupun sosial dalam rangka perencanaan persungai secara keseluruhan (*Sosrodarsono dan Tominaga, 1985*).

❖ **Perencanaan Kapasitas Kolam.**

Perhitungan kapasitas kolam dimaksudkan untuk menentukan batasan maksimum yang dapat ditampung oleh kolam penampungan. Volume air hujan yang terjadi dihitung dengan metode hidrograf satuan *Snyder*.

$$\gamma = 10^{\left[\frac{-a(1-x)^2}{x} \right]} \dots\dots\dots (33)$$

$$a = 1,32\lambda^2 + 0,15\lambda + 0,045 \dots\dots\dots (34)$$

$$\lambda = \frac{Qp * Tp}{W} \dots\dots\dots (35)$$

Dimana :

Qp : Debit banjir rencana (m³/detik).

W : γ air * h * A

H : Tinggi permukaan air dari dari dasar saluran.

A : Luas daerah pelayanan.



γ air : 1 (ton/m³)

T_p : *Time rise to peak* (detik).

Jika $T_c > T_r$ maka $T_p = t'p + 0,5 tr$ ($tr = 1$ jam)

$t'p = tp + 0.25 tr$ ($tr - tc$)

$tc = tp / 5,5$

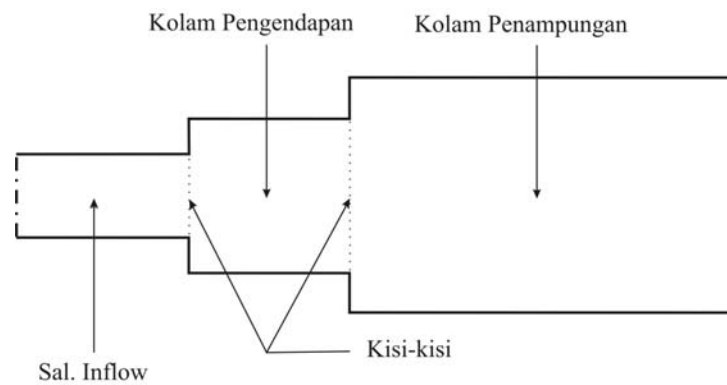
$tp = Ct (L \cdot Lc)^{0,3}$

$Ct =$ Koefisien antara = 1,35 – 1,65 diambil = 1,5

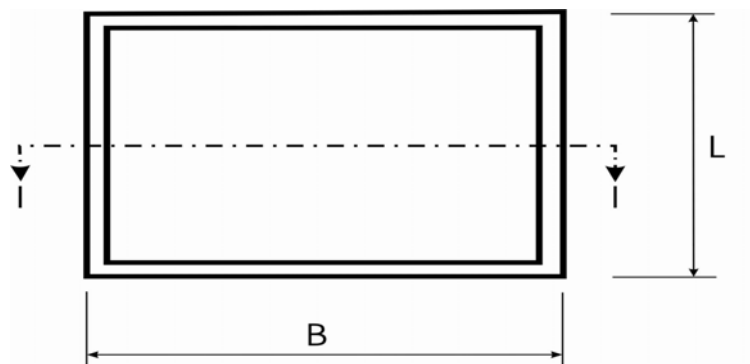
$Lc =$ jarak antara *centroid* dengan mulut aliran

Jika $tc < tr$ maka $T_p = tp = 0,5 tr$

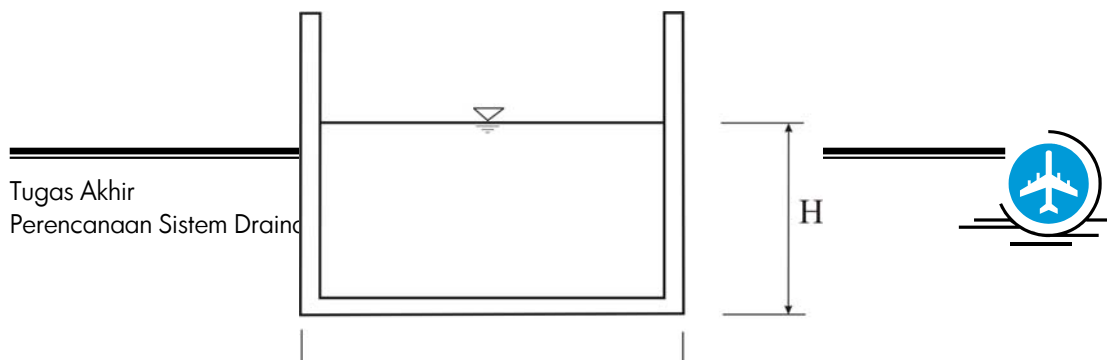
(Sumber : Ir. Joesron Lubis M.Eng, *Banjir Rencana Untuk Bangunan Air*, DPU, Badan Penerbit PU, 1987).



Gambar 3.9 Kolam Penampungan dan Bangunan Pelengkapya



Gambar 3.10 Kolam Penampungan



Gambar 3.11 Potongan I-I Kolam Penampungan

3.4.7 Perencanaan Stasiun Pompa

Dataran rendah di kanan kiri sungai, ada yang lebih rendah daripada muka air banjirnya dan dapat terendam apabila terjadi luapan air banjir sungai atau saluran tersebut. Air genangan pada dataran semacam ini akan meluas dan genangan akan cukup lama.

Untuk mencegah terjadinya genangan yang lama, maka pada dataran rendah tersebut dibangun pompa air drainase. Sebagai pompa pengangkat air dari elevasi yang lebih rendah ke elevasi yang lebih tinggi. Pompa drainase umumnya beroperasi pada saat terjadi banjir dan tinggi tekan serta debitnya berubah-ubah sepanjang waktu.

Terdapat berbagai jenis pompa, tergantung dari konstruksi, kapasitas, dan spesifikasinya. Untuk pompa drainase umumnya digunakan jenis pompa turbin seperti pompa aliran (*axial flow*) atau pompa aliran semi aksial (*mix flow*) untuk tinggi tekanan yang lebih rendah dan sedang dengan kapasitas yang besar, dan pompa volut (*volute pump*) untuk tekanan yang tinggi.

Faktor-faktor yang mempengaruhi penggunaan pompa antara lain :

- a. Debit air
- b. Pengoperasian pompa
- c. Kapasitas pompa

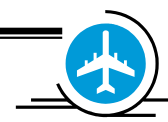
Sedangkan rumus yang digunakan untuk menghitung daya pompa (D_p) tersebut adalah sebagai berikut :

$$D_p = \frac{H_p * B * \gamma_w}{\eta} \dots\dots\dots (36)$$

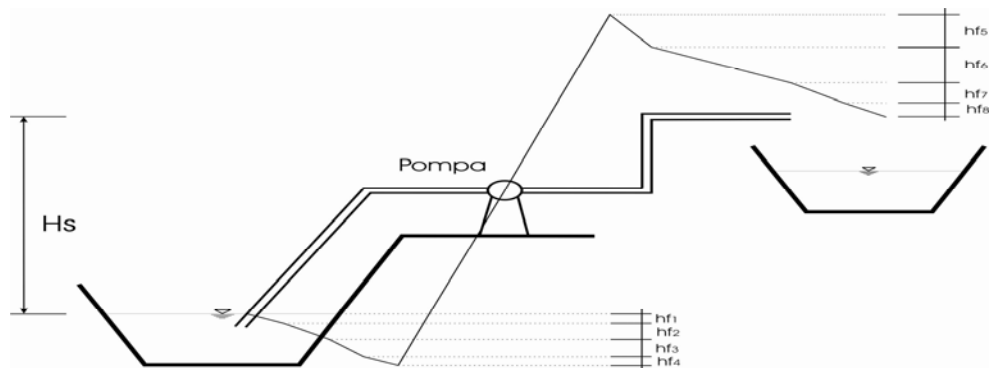
Dimana :

D_p : Daya pompa

H_p : $H_s + \sum h_f$



- Q : Debit air
- γ_w : Berat jenis air
- η : Efisiensi pompa



Gambar 3.12 Pompa Air

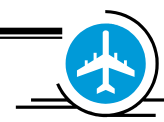
3.5 TINJAUAN PASANG SURUT AIR LAUT

Pada saat terjadi pasang, muka air laut mencapai permukaan tertinggi (*HWL = High Water Level*) sedangkan pada saat surut maka permukaan air akan menurun dan mencapai ketinggian terendah (*LWL = Low Water Level*). Dengan adanya pasang ini maka akan terjadi pengaruh *back water* yang mengakibatkan bertambah tingginya permukaan air di saluran atau sungai. Untuk menghitung pengaruh dari *back water* pada saluran atau kali yang ada maka digunakan *Standard Step Methode*. Dimana dasar perhitungan dari *Standard Step Methode* adalah sebagai berikut :

Dari Gambar 3.8, tinggi muka air di atas muka bidang datar pada kedua ujung penampungan adalah :

Tinggi total pada kedua titik :

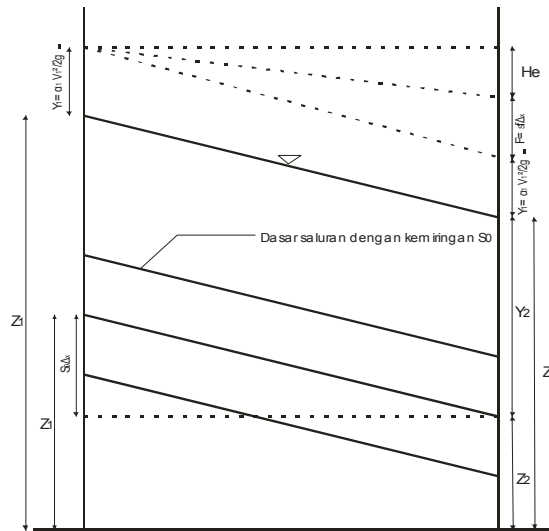
$$H_1 = Z_1 + \alpha 1 \left(\frac{V_1^2}{2g} \right) \dots\dots\dots (37)$$



$$H_2 = Z_2 + \alpha 2 \left(\frac{V_2^2}{2g} \right) \dots\dots\dots (38)$$

Maka :

$$H_1 = H_2 + H_f + H_e \dots\dots\dots (39)$$



Gambar 3.13 Standard Step Methode

3.6 TINJAUAN TOPOGRAFI DAN DAYA DUKUNG TANAH

3.6.1. Topografi

Topografi merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi perencanaan konstruksi sistem drainase sehingga perlu dijadikan sebagai faktor pertimbangan dalam perencanaan. Topografi adalah uraian atau keterangan terperinci (dengan peta) tentang suatu daerah atau tempat mengenai gunung-gunung, lembah-lembah, jalan-jalan, dataran rendah, dataran tinggi, dan sebagainya.

Kondisi corak, elevasi, dan gradien topografi dari daerah pengairan mempengaruhi sungai dan kondiasi hidrologis daerah tersebut. Corak merupakan faktor bentuk perbandingan panjang sungai utama dengan lebar rata-rata daerah pengaliran. Dengan perbandingan curah hujan yang sama, nilai faktor kecil lebih sulit terkena banjir.



Elevasi daerah pengaliran berhubungan erat dengan suhu dan curah hujan. Gradien kemiringan daerah adalah salah satu faktor penting yang mempengaruhi waktu mengalirnya aliran permukaan, waktu konsentrasi ke sungai oleh curah hujan, dan mempunyai hubungan langsung dengan debit banjir.

3.6.2. Daya Dukung Tanah

Daya dukung tanah (*Bearing Capacity*) adalah kemampuan tanah untuk mendukung beban baik dari segi struktur pondasi maupun bangunan di atasnya tanpa terjadinya keruntuhan geser.

Daya dukung batas (*Ultimate Bearing Capacity*) adalah daya dukung terbesar dari tanah dan biasanya diberi simbol q_{ult} . Daya dukung ini merupakan kemampuan tanah mendukung beban, dan diasumsikan tanah mulai terjadi keruntuhan. Untuk mengetahui daya dukung tanah harus dilakukan penyelidikan tanah.

Maksud dari penyelidikan tanah adalah untuk investigasi pondasi rencana bangunan, dengan mempelajari susunan lapisan tanah yang ada, serta sifat-sifat yang berkaitan dengan bangunan yang akan dibangun di atasnya. Sedangkan tujuan dari penyelidikan tanah adalah memberikan data parameter tanah untuk perencanaan pondasi bangunan yang akan dibuat.

Pekerjaan penelitian tanah ini merupakan penyelidikan laboratorium dengan memakai sondir dan bor. Penyelidikan tanah dilakukan untuk mengetahui jenis lapisan tanah dan mengetahui daya dukung tanah.

Besarnya daya dukung batas ditentukan oleh :

- a. Parameter kekuatan geser tanah yang terdiri dari kohesi (c) dan sudut geser dalam (φ).
- b. Berat isi tanah (γ).
- c. Kedalaman pondasi dari permukaan tanah (Z_f).
- d. Lebar dasar pondasi (B).

Besarnya daya dukung yang diijinkan sama dengan daya dukung batas dibagi angka keamanan.

Rumusnya adalah :

$$q_a = \frac{q_{ult}}{FS} \dots\dots\dots (40)$$

❖ Daya dukung tanah pada pondasi dangkal



Besarnya kemampuan dukung tanah pada pondasi dangkal dihitung dengan menggunakan rumus *terzaghi pock* yang didasarkan pada hasil laboratorium {kohesi (c), sudut geser dalam tanah (ϕ), dan berat isi tanah (γ)}.

➤ Pondasi menerus

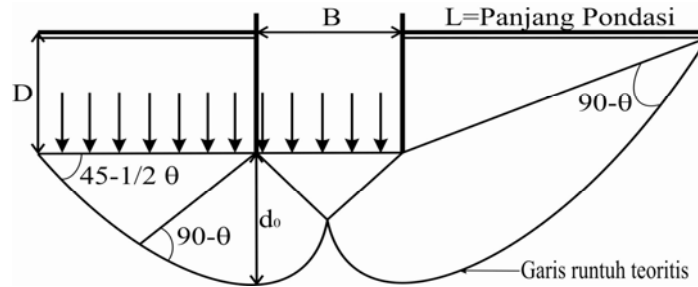
$$q_{ult} = c.N_c + \gamma.D.N_q + \gamma(B/2).N_\gamma \dots\dots\dots (41)$$

➤ Pondasi persegi

$$q_{ult} = c.N_c (1+0,3(B/L)) + \gamma.D.N_q + 0,4\gamma.B.N_\gamma \dots\dots\dots (42)$$

➤ Pondasi bulat, dengan R= jari-jari pondasi

$$q_{ult} = 1,3c.N_c + \gamma.D.N_q + 0,6\gamma.R.N_\gamma \dots\dots\dots (43)$$



Gambar 3.14 Daya Dukung Tanah Pada Pondasi Dangkal

Kondisi yang dipenuhi :

- a. D/B , apabila $D/B \leq 1$ termasuk di dalam kategori pondasi dangkal, sedangkan apabila $D/B \geq 4$ termasuk di dalam kategori pondasi dalam (Joseph E. Bowles, P.E, S.E., Analisis dan desain pondasi, tahun 1992).
- b. Permukaan air tanah lebih rendah dari dasar pondasi
- c. Beban vertikal sentris
- d. Geseran dan adhesi pada sisi vertikal pondasi diabaikan

Keterangan :

- D : Kedalaman pondasi (m)
- B : Lebar pondasi (m)
- c : Kohesi (ton/m^2)
- ϕ : Sudut geser dalam tanah ($^\circ$)
- q_{ult} : Daya dukung ijin tanah (ton/m^2)
- d_0 : Kedalaman tanah seragam dari dasar pondasi (m)

N_c , N_q , dan N_γ adalah faktor daya dukung yang sebanding dengan sudut geser dalam tanah, tidak berdimensi dan dapat ditentukan dari grafik.



(Suyono Sosrodarsono, Kazuto Nakazawa, Mekanika tanah dan teknik pondasi, tahun 1984)

❖ Daya dukung tanah pada pondasi dalam

Pondasi dalam digunakan apabila lapisan tanah dasar pondasi yang mampu mendukung beban yang dilimpahkan terletak cukup dalam atau dengan pertimbangan penggerusan maupun galian dekat pondasi. Beberapa macam jenis pondasi dalam antara lain :

➤ **Pondasi Tiang Pancang**

Faktor pendukung tiang pancang dapat digolongkan sebagai berikut :

▪ **End Bearing Pile**

Tiang pancang yang dihitung berdasarkan tahanan ujung dan memindahkan beban yang diterima kelapisan tanah keras dibawahnya.

▪ **Friction Pile**

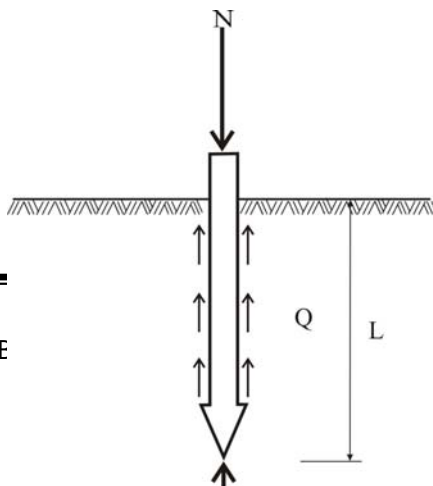
Jika pemancangan tiang sampai lapisan tanah keras sulit dilaksanakan karena letaknya sangat dalam, dapat dipergunakan tiang pancang yang daya dukungnya berdasarkan perletakan antara tiang dengan tanah.

Persamaan daya dukung yang diijinkan untuk *End Bearing Pile* dan *Friction Pile* adalah sebagai berikut :

$$Q_{\text{tiang}} = \frac{A_{\text{tiang}} * P}{SF} + \frac{O * L * C}{SF} \dots\dots\dots (44)$$

Dimana :

- Q_{tiang} : Daya dukung tiang (kg)
- A_{tiang} : Luas permukaan tiang (m²)
- O : Keliling tiang pancang (m)
- L : Panjang tiang pancang yang masuk ke tanah (m)
- C : Harga *cleef* rata-rata (kg/m)
- P : Nilai *conus* sondir (kg/m²)
- SF : *Safety Factor* (angka keamanan)



**Gambar 3.15 Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Tegangan Ujung
Dan Lekatan Tanah**

➤ **Tiang Pancang Kelompok (*Pile Group*)**

Dalam pelaksanaan jarang dijumpai pondasi yang hanya terdiri dari satu tiang pancang saja, tetapi terdiri dari kelompok tiang pancang.

Teori membuktikan dalam daya dukung kelompok tiang geser tidak sama dengan daya dukung tiang secara individu dikalikan jumlah tiang pancang dalam kelompok, melainkan akan lebih kecil karena adanya faktor efisiensi.

▪ **Kelompok Tiang *End Bearing Piles***

Perhitungan daya dukung tiang berdasarkan pada tekanan ujung, sehingga kemampuan tiang dalam kelompok sama dengan kemampuan tiang tunggal dikalikan banyaknya tiang.

$$Q_{pq} = n * Q_s \dots\dots\dots (45)$$

Dimana :

Q_{pq} : Daya dukung kelompok tiang (kg)

n : Banyaknya tiang pancang (buah)

Q_s : Daya dukung tiang tunggal (kg)

▪ **Kelompok Tiang Pancang**

Daya dukung kelompok tiang dihitung berdasarkan *cleef* dan *conus*, persamaan-persamaan yang digunakan dirumuskan berdasarkan efisiensi kelompok tiang pancang group.

$$Q_f = \text{Eff} * Q_{\text{tiang}} \dots\dots\dots (46)$$

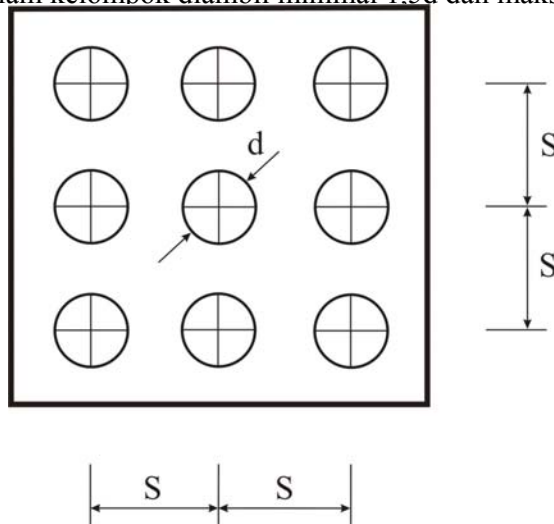
$$\text{Eff} = 1 - \frac{\Phi}{90} \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{(m+n)} \right] \dots\dots\dots (47)$$



Dimana :

- m : Jumlah baris
- n : Jumlah tiang satu baris
- Φ : $\tan^{-1}(d/s)$
- d : Diameter tiang (cm)
- s : Jarak antar tiang (cm)
- Eff : Efisiensi tiang pancang *group* (%)

Untuk pertimbangan efektifitas, maka jarak antar tiang satu sama yang lainnya dalam kelompok diambil minimal 1,5d dan maksimal 3,5d



Gambar 3.16 Sketsa Contoh Penempatan Tiang Pancang

Selain digunakan untuk menghitung daya dukung tanah, data tanah hasil penyelidikan tanah di laboratorium juga digunakan untuk menghitung stabilitas bangunan terhadap beberapa faktor antara lain :

- ❖ Tinjauan terhadap guling

Rumus yang digunakan :

$$\frac{\sum M_V}{\sum M_H} = FS \dots\dots\dots (48)$$

Dimana :

$\sum M_V$: Resultan momen arah vertikal.

$\sum M_H$: Resultan momen arah horisontal.



FS : Faktor keamanan (diambil = 1,5).

❖ Tinjauan terhadap geser

Rumus yang digunakan :

$$\frac{\sum V.tg\phi+c.l}{\sum H} = FS \dots\dots\dots (49)$$

Dimana :

$\sum V$: Resultan momen arah vertikal.

$\sum H$: Resultan momen arah horisontal.

$tg\phi$: Besarnya nilai sudut geser.

c : Kohesi tanah.

FS : Faktor keamanan (diambil 1,5).

❖ Tinjauan terhadap pecahnya konstruksi

Rumus yang digunakan :

$$e \geq \frac{B}{6} \dots\dots\dots (50)$$

Dimana :

$$e = \frac{B}{2} - \frac{\sum M_v \cdot \sum M_H}{\sum G_v} \dots\dots\dots (51)$$

B = Lebar pondasi.

❖ Tinjauan terhadap daya dukung tanah

Rumus yang digunakan :

$$q_{ult} = c.Nc + \gamma.D.Nq + \frac{1}{2} \cdot \gamma.B.N\gamma \dots\dots\dots (52)$$

$$q_{ult} > \frac{\sigma_{max}}{FS} \dots\dots\dots (53)$$

Dimana :

q_{ult} : Daya dukung tanah *ultimate*.



-
-
- c : Kohesi tanah.
- γ : Berat isi tanah.
- N_c, q, N_γ : Koefisien–koefisien daya dukung.
- B : Lebar pondasi.
- FS : Faktor keamanan.

(Sumber : Ir. Suyono Sosrodarsono dan Kazuto Nakazawa, “Mekanika Tanah & Teknik Pondasi”)

3.6.3. Tinjauan Stabilitas Tanggul

Berbagai penyebab kerusakan tubuh tanggul adalah sebagai berikut (Sosrodarsono dan Tominaga, 1985) :

- ❖ Terbentuknya bidang gelincir yang menerus akibat kemiringan lereng tanggul terlalu curam
- ❖ Terjadinya keruntuhan lereng tanggul akibat kejenuhan air dalam tubuh tanggul yang disebabkan oleh rembesan air pada saat banjir atau pada saat terjadinya hujan yang terus menerus
- ❖ Terjadinya kebocoran-kebocoran pada pondasi tanggul
- ❖ Tergerusnya lereng depan tanggul oleh arus sungai
- ❖ Terjadinya limpasan pada mercu tanggul
- ❖ Terjadinya pergeseran pondasi akibat gempa

Salah satu program yang digunakan dalam analisis stabilitas tanggul adalah GEO-SLOPE. Didalam program GEO-SLOPE terdapat 7 (tujuh) *product software* dalam GeoStudio, masing-masing adalah SLOPE/W, SEEP/W, SIGMA/W, QUAKE/W, TEMP/W, CTRAN/W DAN VADOSE/W. Sedangkan untuk perhitungan stabilitas lereng sendiri digunakan *software* SLOPE/W. Aplikasi dalam SLOPE/W bisa mengatasi masalah stabilitas apapun, diantaranya :

- Lereng tanah asli dan batuan
- Kemiringan galian
- Tanggul alam
- Kebocoran dinding
- Struktur yang diangkur dengan kuat
- Limpasan pada mercu tanggul

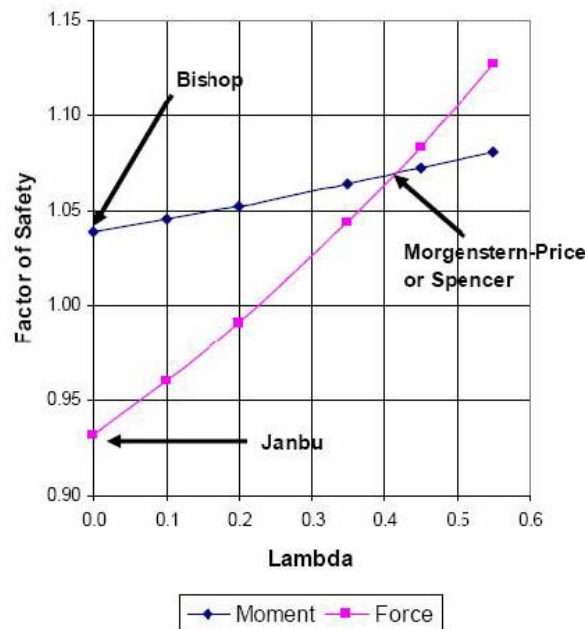


- Perkuatan tanah, termasuk paku bumi dan *geofabric*
- Beban *seismic* dan beban gempa bumi
- Rekahan
- Rembesan sebagian ataupun total
- Beban garis pada titik manapun
- Kelakuan tanah tak jenuh

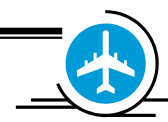
3.6.3.1. Metode Faktor Keamanan (*Factor Safety Methods*)

Ada beberapa metode faktor keamanan yang terdapat dalam SLOPE/W. Semua metode berdasarkan rumus batas keseimbangan (*Limit Equilibrium Formulations*). Metode yang bisa digunakan antara lain :

- ❖ Metode Ordinary (*Ordinary Method Of Analysis*)
- ❖ Metode Bishop's (*Bishop's Method Of Analysis*)
- ❖ Metode Janbu's (*Janbu's Method Of Analysis*)
- ❖ Metode Spencer's (*Spencer's Method*)
- ❖ Metode Morgenstern-Price (*Morgenstern-Price Method*)
- ❖ *The Generalized Limit Equilibrium Method*

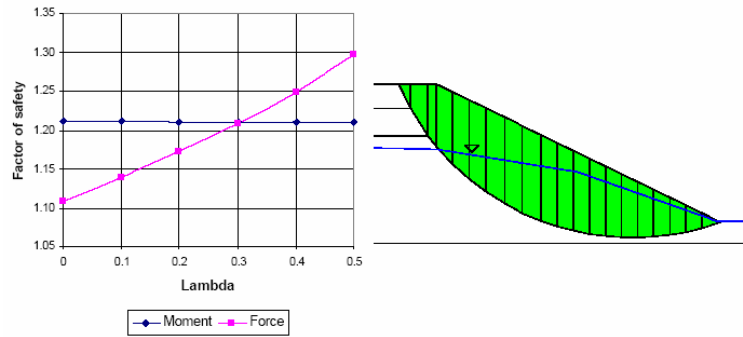


Gambar 3.17 Plot Angka Keamanan Terhadap Lambda (λ)



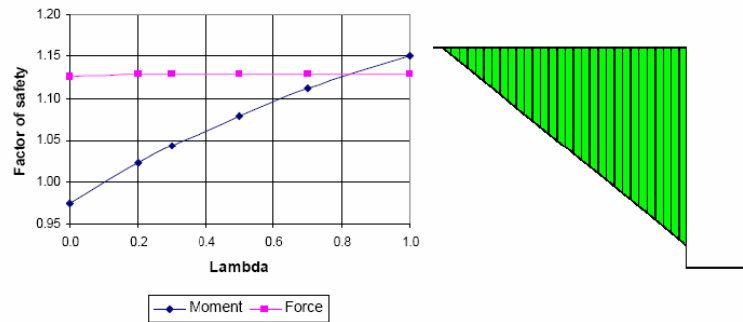
3.6.3.2. Bentuk Bidang Gelincir (*Slip Surface*)

❖ Bidang gelincir circular



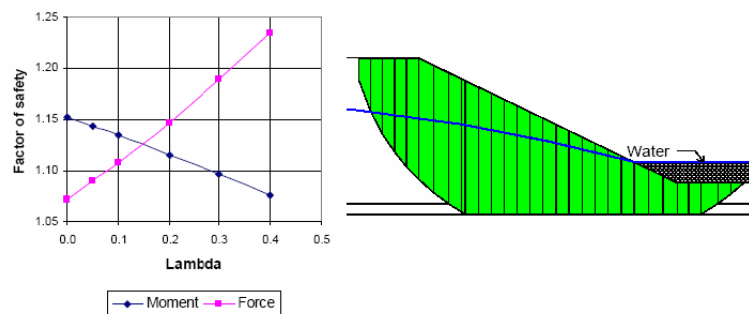
Gambar 3.18 Kondisi Untuk Bidang Gelincir Circular Sederhana

❖ Bidang gelincir planar



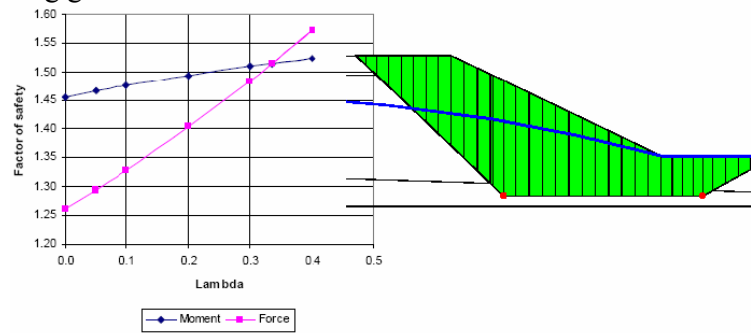
Gambar 3.19 Situasi Untuk Bidang Gelincir Planar

❖ Bidang gelincir komposit



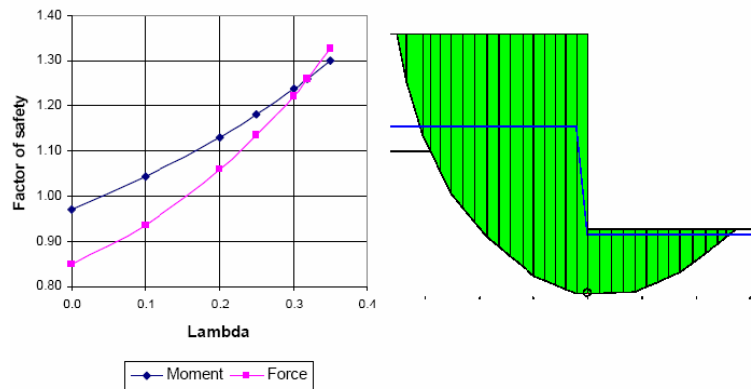
Gambar 3.20 Situasi Untuk Bidang Gelincir Komposit Khusus

❖ Bidang gelincir block



Gambar 3.21 Situasi Bidang Gelincir Block Khusus

❖ Shoring Wall



Gambar 3.22 Kedalaman Stabilitas Shoring Wall

