BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Analisa Hidrologi

2.1.1 Umum

Analisa hidrologi merupakan hal yang penting dalam merencanakan proyek-proyek sumber daya air. Analisa hidrologi yang umum dilakukan dalam setiap pekerjaan proyek sumber daya air meliputi analisa curah hujan dan analisa debit puncak banjir yang terjadi.

Sebelum data hidrologi dapat digunakan untuk berbagai analisis, data tersebut harus diolah terlebih dahulu menjadi data siap pakai. Untuk menjadi data siap pakai maka harus dilakukan pengujian tentang konsistensi *(consistency)* dan kesamaan jenis *(homogenity).*

2.1.2 Uji konsistensi data hujan

Uji konsistensi berarti menguji kebenaran data lapangan yang tidak dipengaruhi oleh kesalahan pada saat pengiriman atau saat pengukuran, data tersebut harus betul-betul menggambarkan fenomena hidrologi seperti keadaan sebenarnya dilapangan. Dengan kata lain data hidrologi disebut tidak konsisten apabila terdapat perbedaan antara nilai pengukuran dan nilai sebenarnya (Soewarno, 1995 : 23).

Uji konsistensi yang digunakan dalam studi ini adalah dengan kurva massa ganda (*double mass curve*). Kurva massa ganda dapat digunakan untuk memperbaiki kesalahan pada pengamatan yang terjadi yang disebabkan oleh perubahan posisi atau cara pemasangan yang tidak baik oleh alat ukur dan jangka waktu pengamatan dari data curah hujan tahunan yang cukup panjang (Sosrodarsono, 2003:52).

Data hujan yang tidak konsisten ini disebabkan oleh (Subarkah, 1979 : 28) :

1. Perubahan mendadak pada sistem lingkungan hidrologis, misalnya karena adanya pembangunan gedung-gedung, tumbuhnya pohon-pohon, gempa bumi, meletusnya gunung berapi dan lain-lain.
2. Pemindahan alat ukur.
3. Perubahan cara pengukuran (misalnya berhubung dengan adanya alat baru / metode baru)
4. Perubahan iklim
5. Perubahan letak stasiun.

Apabila tidak ada perubahan terhadap lingkungan maka akan diperoleh garis ABC. Tetapi pada tahun tertentu terjadi perubahan lingkungan maka diperoleh garis ABC'. Penyimpangan tiba-tiba dari garis semula menunjukkan adanya perubahan tersebut yang bukan disebabkan oleh perubahan trend (Soemarto, 1995 : 14). Apabila terjadi penyimpangan (garis ABC'), maka dapat dikoreksi menjadi garis ABC dengan menggunakan rumus :

$$Hz = Ho\left(\frac{Tan\alpha}{Tan\beta}\right) \qquad (2\text{-}1)$$

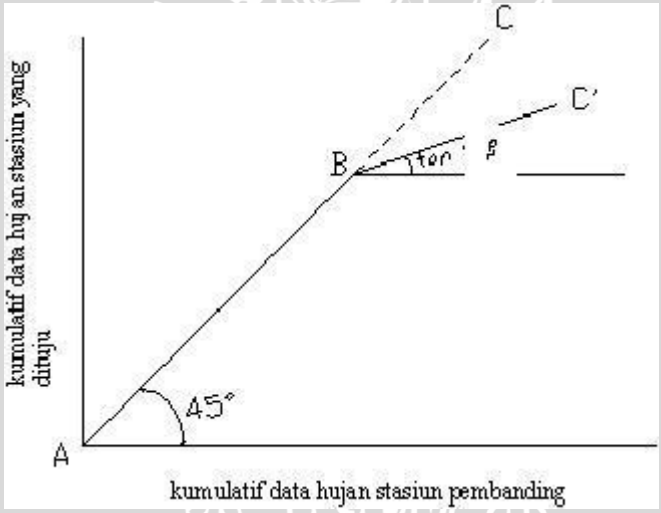
dengan :

Hz = data hujan terkoreksi

Ho = data hujan pengamatan

Tan α = kemiringan garis sebelum penyimpangan

Tan β = kemiringan garis setelah penyimpangan



Gambar 2.1 Grafik Uji Konsistensi

2.1.3 Curah hujan rerata daerah *(areal rainfall)*

Dalam menyusun suatu rancangan pemanfaatan air dan rancangan pengendalian banjir, data yang diperlukan adalah curah hujan rata-rata di seluruh daerah yang bersangkutan, bukan curah hujan pada suatu titik tertentu. Curah hujan ini disebut curah hujan rerata daerah dan dinyatakan dalam millimeter (Sosrodarsono, 2003:23)

Metode perhitungan curah hujan rata-rata daerah dari pengamatan curah hujan dari beberapa titik, antara lain (Suripin, 2004) :

1. Metode rerata Aritmatik

Metode ini yang paling sederhana dalam perhitungan curah hujan daerah. Metode ini cocok untuk kawasan dengan topografi rata atau datar, alat penakar tersebar merata/hampir merata, dan cocok untuk kawasan dengan topografi rata atau datar, dan harga individual curah hujan tidak terlalu jauh dari harga rata-ratanya. Hujan daerah diperoleh dari persamaan berikut (Suripin, 2004:27) :

$$P = \frac{P_1 + P_2 + ... + P_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^{n} P_i}{n} \qquad (2\text{-}2)$$

dengan :

$P_1, P_2, \ldots P_n$ = curah hujan yang tercatat di pos penakar hujan 1, 2,…..n

n = banyaknya pos penakar hujan.

2. Metode garis-garis Isohyet

Metode ini memperhitungkan secara aktual pengaruh tiap-tiap pos penakar hujan. Metode ini cocok untuk daerah berbukit dan tidak teratur dengan luas lebih dari 5000 km^2. Hujan rerata daerah dihitung dengan persamaan berikut (Suripin, 2004:30).

$$P = \frac{A_1\left(\frac{P_1 + P_2}{2}\right) + A_2\left(\frac{P_2 + P_3}{2}\right) + ... + A_{n-1}\left(\frac{P_{n-1} + P_n}{2}\right)}{A_1 + A_2 + ... + A_{n-1}}$$

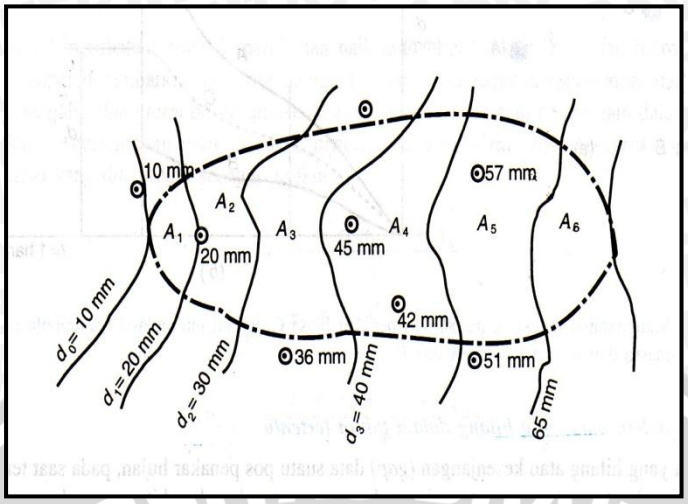
$$= \frac{\sum\left[A\left(\frac{P_1 + P_2}{2}\right)\right]}{\sum A} \qquad (2\text{-}3)$$

dengan :

$P_1, P_2, \ldots, P_n$ = curah hujan yang tercatat di pos penakar hujan 1, 2, ..., n

$A_1, A_2, ..., An$ = luas poligon 1, 2, …, n dan n adalah banyaknya pos penakar hujan

Adapun penjelasan garis isohyet dapat dilihat pada **Gambar 2.2** berikut ini :



Gambar 2.2 Garis Isohyet (Sumber : Suripin, 2004)

3. Metode poligon Thiessen

Metode ini memberikan proporsi luasan daerah pengaruh pos penakar hujan untuk mengakomodasi ketidakseragaman jarak. Meskipun belum dapat memberikan bobot yang tepat sebagai sumbangan satu stasiun hujan untuk hujan daerah, metode ini telah memberikan bobot tertentu kepada masing-masing stasiun sebagai fungsi jarak stasiun hujan. Metode ini cocok untuk daerah datar dengan luas 500 – 5000 km^2.

Hujan rerata daerah untuk metode Poligon Thiessen dihitung dengan persamaan berikut. (Suripin, 2004:27).

$$P = \frac{P_1A_1 + P_2A_2 + \ldots + P_nA_n}{A_1 + A_2 + \ldots + A_n} = \frac{\sum_{i=1}^{n} P_iA_i}{\sum_{i=1}^{n} A_i} \qquad (2\text{-}4)$$

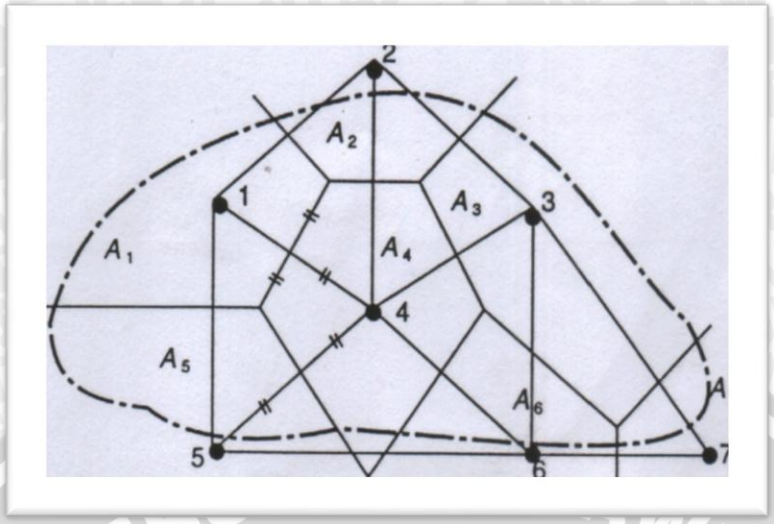
dengan :

$P_1, P_2, \ldots P_n$ = curah hujan yang tercatat di pos penakar hujan 1, 2, ….n

$A_1, A_2, \ldots A_n$ = luas polygon 1, 2, ….n

n = banyaknya pos penakar hujan

Adapun Penjelasan metode Poligon Thiessen ini dapat dilihat pada **Gambar 2.3**



Gambar 2.3 Gambar Poligon Thiessen (Sumber : Suripin, 2004)

Penentuan atau pemilihan metode curah hujan daerah dapat dihitung dengan parameter luas daerah tinjauan sebagai berikut (Sosrodarsono, 2003: 51):

1. Untuk daerah tinjauan dengan luas 250 ha dengan variasi topografi kecil diwakili oleh sebuah stasiun pengamatan.
2. Untuk daerah tinjauan dengan luas 250 - 50.000 ha yang memiliki 2 atau 3 stasiun pengamatan dapat menggunakan metode rata-rata aljabar.
3. Untuk daerah tinjauan dengan luas 120.000 - 500.000 ha yang memiliki beberapa stasiun pengamatan tersebar cukup merata dan dimana curah hujannya tidak terlalu dipengaruhi oleh kondisi topografi dapat menggunakan metode rata-rata aljabar, tetapi jika stasiun pengamatan tersebar tidak merata dapat menggunakan metode Thiessen.
4. Untuk daerah tinjauan dengan luas lebih dari 500.000 ha menggunakan metode Isohyet atau metode potongan antara.

Berdasarkan penjelasan di atas, maka studi ini menggunakan Metode rerata Aritmatik karena pada kawasan ini mempunyai topografi rata atau datar, alat penakar tersebar merata/hampir merata, dan cocok untuk kawasan dengan topografi rata atau datar, dan harga individual curah hujan tidak terlalu jauh dari harga rata-ratanya.

2.1.4 Curah hujan rancangan

Curah hujan rancangan (*design rainfall*) adalah curah hujan terbesar tahunan dengan suatu peluang tertentu yang mungkin terjadi pada suatu daerah pada periode

kala ulang tertentu. Periode waktu yang dibutuhkan dalam mencari curah hujan rancangan disesuaikan dengan keperluan perencanaan, yaitu perhitungan debit rencana yang diperlukan. Dikenal beberapa jenis distribusi frekuensi dan yang paling sering digunakan dalam hidrologi antara lain :

1. Distribusi Normal
2. Distribusi Log Normal
3. Distribusi *Log Pearson type III*
4. Distribusi Gumbel

Distribusi *Log Pearson tipe III* lebih sering digunakan karena metode ini lebih luwes dan dapat digunakan untuk semua macam sebaran data (Pilgrim, 1991:207). Selain itu menurut (Sri Harto, 1993), data hujan maupun debit untuk 30 DAS di pulau Jawa menunjukkan bahwa analisis frekuensi hujan yang dilakukan untuk DAS-DAS tersebut banyak mengikuti distribusi *Log Pearson tipe III.* Disebut *Log Pearson tipe III* karena memperhitungkan 3 parameter, yaitu:

1. Harga rata-rata (*mean*)
2. Simpangan baku (*standart deviasi*)
3. Koefisien kepencengan (*skewness*)

Adapun tahapan dalam perhitungan *Log Pearson type III* ini adalah sebagai berikut (Soemarto, 1987:243):

1. Mengubah curah hujan harian maksimum ke dalam bentuk logaritma
2. Menghitung nilai logaritma rata-rata :

$$\overline{\log X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \log . X_i}{n} \qquad (2\text{-}5)$$

3. Menghitung standart deviasinya (simpangan baku):

$$\text{Si} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (\log X_i - \overline{\log X})^2}{n-1}} \qquad (2\text{-}6)$$

4. Menghitung koefisien kepencengan :

$$Cs = \frac{n\sum(Log\ Xi - \overline{Log\ X})^3}{(n-1)(n-2)(S)^3} \qquad (2\text{-}7)$$

5. Menghitung logaritma curah hujan rancangan dengan kala ulang tertentu :

$$\text{Log Xt} = \overline{\log X} + \text{G. Si} \qquad (2\text{-}8)$$

6. Menghitung antilog dari Xt

Dengan :

X_i = data hujan

$\overline{X}$ = rerata data hujan

n = jumlah data

Xt = curah hujan rancangan

$\overline{\log X}$ = rerata logaritma curah hujan tahunan maksimum

G = konstanta

Si = simpangan baku

2.1.5 Uji kesesuaian distribusi

Untuk mengetahui apakah pemilihan distribusi yang digunakan dalam perhitungan curah hujan rancangan diterima atau ditolak, maka perlu dilakukan uji kesesuaian distribusi. Uji ini dilakukan secara horisontal dengan menggunakan *Metode Smirnov Kolmogorof* dan vertikal dengan menggunakan *Metode Chi Square.*

1. Uji *Smirnov-Kolmogorov*

Uji ini digunakan untuk menguji simpangan secara horizontal, yaitu merupakan selisih simpangan maksimum antara distribusi teoritis dan empiris (Δo). Dengan pemeriksaan uji ini akan diketahui :

1. Kebenaran antara hasil pengamatan dengan model distribusi yang diharapkan atau yang diperoleh secara teoritis.
2. Kebenaran hipotesa diterima atau ditolak.

Uji kesesuaian *Smirnov-Kolmogorov,* sering juga disebut uji kecocokan non parametrik *(non parametric test),* karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu.

Langkah-langkah pengujian *Smirnov-Kolmogorov* adalah sebagai berikut (Soewarno, 1995: 198) :

1. Mengurutkan data (dari besar ke kecil atau sebaliknya) dan juga besarnya peluang dari masing-masing data tersebut.
2. Menentukan nilai masing-masing peluang teoritis dari hasil penggambaran data (persamaan distribusinya).
3. Dari kedua nilai peluang ditentukan selisih terbesarnya antara peluang pengamatan dengan peluang teoritis.

4. Berdasarkan tabel nilai kritis (*Smirnov-Kolmogorov Test*) dapat ditentukan harga Δcr.

Apabila Δo lebih kecil dari Δcr maka distribusi teoritis yang digunakan untuk menentukan persamaan distribusi dapat diterima, apabila Δo lebih besar dari Δcr maka distribusi teoritis yang digunakan untuk menentukan persamaan distribusi tidak dapat diterima. Nilai Δcr untuk uji S*mirnov-Kolmogorov* tersebut dapat dilihat pada **Tabel 2.1** berikut ini.

Tabel 2.1 Nilai Kritis (Δcr) untuk Uji *Smirnov-Kolmogorov*

n \ α	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	$\frac{1,07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,63}{\sqrt{n}}$

Sumber : Suripin, 2004:59

2. Uji *Chi-Square*

Uji ini digunakan untuk menguji simpangan secara vertikal apakah distribusi pengamatan dapat diterima secara teoritis. Pada penggunaan Uji *Smirnov-Kolmogorov*, meskipun menggunakan perhitungan metematis namun kesimpulan hanya berdasarkan bagian tertentu (sebuah *variant*) yang mempunyai penyimpangan terbesar, sedangkan Uji *Chi-Square* menguji penyimpangan distribusi data pengamatan dengan mengukur secara metematis kedekatan antara data pengamatan dan seluruh bagian garis persamaan distribusi teoritisnya. Uji *Chi-Square* dapat diturunkan menjadi persamaan sebagai berikut (Soewarno, 1995: 194):

$$X^2 = \sum \frac{(Ef - Of)^2}{Ef} \qquad (2\text{-}9)$$

dengan :

X^2 = *Chi-Square*.

Ef = frekuensi (banyaknya pengamatan) yang diharapkan, sesuai dengan pembagian kelasnya

Of = frekuensi yang terbaca pada kelas yang sama.

Nilai X^2 yang terhitung ini harus lebih kecil dari harga X^2_{cr} (yang didapat dari tabel *Chi-Square*).

Derajat kebebasan ini secara umum dapat dihitung dengan :

$$DK = K-(P + 1) \quad (2\text{-}10)$$

dengan :

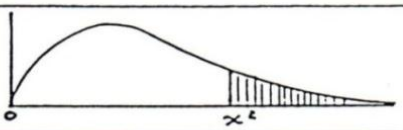
DK = derajat kebebasan.

K = banyaknya kelas.

P = banyaknya keterikatan atau sama dengan banyaknya parameter, yang untuk sebaran *Chi-Square* adalah sama dengan 2 (dua).

Berdasarkan literatur di atas, pada uji *Chi-Square* menguji penyimpangan distribusi data pengamatan dengan mengukur secara metematis kedekatan antara data pengamatan dan seluruh bagian garis persamaan distribusi teoritisnya dengan niliai X^2_{cr}. Nilai X^2_{cr} untuk uji *Chi Square* dapat dilihat pada **Tabel 2.2** berikut ini.

Tabel 2.2 Nilai X^2_{cr} untuk Uji *Chi-Square*

Degress of freedom			Probability of a deviation grether than X^2		
	0,20	0,10	0,05	0,01	0,001
1	1,642	2,706	3,841	6,635	10,827
2	3,219	4,605	5,991	9,210	13,815
3	4,642	6,251	7,815	11,345	16,268
4	5,989	7,779	9,488	13,277	18,465
6	8,558	10,645	12,592	16,812	22,547
7	9,803	12,017	14,067	18,475	24,322
8	11,030	13,362	15,507	20,090	26,125
9	12,242	14,684	16,919	21,666	27,877
10	13,442	15,987	18,307	23,209	29,588
11	14,631	17,275	19,675	24,725	31,264
12	15,812	18,549	21,026	26,217	32,909
13	16,985	19,812	22,362	27,688	34,528
14	18,151	21,064	23,685	29,141	36,123
15	19,311	22,307	24,996	30,578	37,697
16	20,465	23,542	26,296	32,000	39,252
17	21,615	24,769	27,587	33,409	40,790
18	22,760	25,989	28,869	34,805	42,312
19	23,900	27,204	30,144	36,191	43,820
20	25,038	28,412	31,410	37,566	45,315

Sumber : Suripin, 2004:59

2.2 Debit Banjir Rancangan

Untuk menentukan kapasitas saluran drainase harus dihitung dahulu jumlah air hujan dan jumlah air buangan rumah tangga yang akan melewati saluran drainase utama di lokasi studi.

2.2.1 Debit air hujan

Ada beberapa metode yang dapat digunakan dalam menghitung debit air hujan atau kapasitas pengaliran, antara lain :

- Metode Rasional
- Metode Hidrograf Satuan Sintetis

Untuk daerah pengaliran yang luasnya lebih kecil dari 50 km^2, kapasitas pengalirannya ditentukan dengan metode Rasional. Sedangkan untuk daerah pengaliran yang luasnya lebih dari 50 km^2, kapasitas pengalirannya ditentukan dengan metode Hidrograf Satuan Sintetis (Suhardjono, 1984 :13). Dalam studi ini, mengingat luas lokasi studi < 50 km^2 maka digunakan metode Rasional.

Perhitungan debit air hujan pada saluran-saluran drainase dihitung dengan menggunakan metode rasional. Dikenal dengan metode rasional karena metode ini memperhitungkan faktor hujan, keadaan fisik dan sifat hidrolika daerah aliran. Karena sederhananya rumus ini dan memberikan hasil yang memuaskan maka rumus ini lebih sering digunakan. Dalam metode rasional apabila luas daerah pengaliran lebih kecil dari 0.80 km^2, kapasitas pengaliran dihitung dengan rumus :

$$Q = 0.278\ C\ I\ A \qquad (2\text{-}11)$$

dengan :

Q = kapasitas pengaliran (m^3/dt)

C = koefisien pengaliran

I = intensitas hujan (mm/jam)

A = luas daerah pengaliran (km^2)

0.278 = faktor konversi

Apabila luas daerah pengaliran antara 0.8-50 km^2, maka metode rasional tersebut harus dimodifikasi dengan memperhitungkan efek penampungan saluran.

Rumus modifikasi metode rasional :

$$Q = 0.278\ C_s\ C\ I\ A \qquad (2\text{-}12)$$

dengan :

C_s = koefisien penampungan

$$C_s = \frac{2tc}{2tc + td}$$

t_c = waktu konsentrasi (menit)

t_d = lama pengaliran dalam saluran (menit)

2.2.1.1 Koefisien pengaliran

Koefisien pengaliran adalah perbandingan antara jumlah air yang mengalir di suatu daerah akibat turunnya hujan dengan jumlah air hujan yang turun di daerah tersebut. Besarnya koefisien pengaliran dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain (Subarkah, 1978 : 41) :

- Jenis permukaan tanah
- Kemiringan daerah aliran dan sungai
- Luas dan bentuk daerah pengaliran
- Suhu udara, angin dan evaporasi
- Infiltrasi dan perkolasi

- Karakteristik hujan
- Daya tampung palung sungai dan daerah sekitarnya
- Tata guna lahan
- Tingkat jenuh air tanah

Koefisien pengaliran ini besarnya selalu lebih kurang dari 1 oleh karena adanya kehilangan-kehilangan yang disebabkan oleh beberapa hal misalnya ditahan oleh tumbuh-tumbuhan, terjadinya infiltrasi, tertahan dipermukaan tanah, evaporasi dan transpirasi.

Besarnya koefisien pengaliran berdasarkan tata guna tanah dan jenis permukaan tanah dapat dilihat pada **Tabel 2.3**. untuk menentukan harga koefisien pengaliran suatu daerah yang terdiri dari beberapa jenis tata guna tanah dapat ditentukan dengan memperhitungkan bobot masing-masing bagian sesuai dengan luas daerah yang diwakilinya (Suhardjono, 1984:23).

$$C_m = \frac{\sum_{i=1}^{n} A_x . C_i}{\sum_{n=i}^{n} A_i} \qquad (2\text{-}13)$$

dengan :

Cm = koefisien pengaliran rata-rata

Ai = luas daerah dari masing-masing tata guna tanah

Ci = koefisien pengaliran masing-masing tata guna tanah

n = banyaknya jenis penggunaan tanah dalam suatu daerah pengaliran

Adapun beberapa nilai koefisien pengaliran berdasarkan jenis permukaan atau tata guna lahan dapat di lihat pada **Tabel 2.3** berikut ini :

Tabel 2.3 Koefisien Pengaliran Berdasarkan Jenis Permukaan Tata Guna Tanah

Jenis Permukaan / Tata Guna Tanah	Koefisien Pengaliran
• Perumputan	
1. Tanah pasir, slope 2%	0.05-0.10
2. Tanah pasir, slope 2-7%	0.10-0.15
3. Tanah pasir, slope 7%	0.15-0.20
• Bisnis	
1. Pusat kota	0.75-0.95
2. Daerah pinggiran	0.50-0.70
• Perumahan	
2. Kepadatan 20 rumah/ha	0.50-0.60
3. Kepadatan 20-60 rumah/ha	0.60-0.80
4. Kepadatan 60-160 rumah/ha	0.70-0.90
• Daerah Industri	
1. Industri ringan	0.50-0.80
2. Indusrti berat	0.60-0.90
• Daerah pertanian	0.45-0.55
• Daerah perkebunan	0.20-0.30
• Tanah/kuburan	0.45-0.55
• Tempat bermain	0.10-0.25
• Jalan aspal	0.20-0.35
• Jalan beton	0.70-0.95
• Jalan batu	0.80-0.95
	0.70-0.85

Sumber : Subarkah, 1979:55

2.2.1.2 Intensitas hujan rancangan

Intensitas hujan merupakan curah hujan rata-rata yang terjadi di suatu daerah dalam suatu waktu tertentu yang sesuai dengan konsentrasi dan periode ulang tertentu. Untuk mendapatkan intensitas hujan selama waktu konsentrasi digunakan rumus Mononobe (Subarkah, 1979 :20):

$$I = \frac{R_{24}}{24}\left[\frac{24}{t_c}\right]^{2/3} \qquad (2\text{-}14)$$

dengan :

I = intensitas hujan selama waktu konsentrasi (mm/jam)

R_{24} = curah hujan maksimum harian dalam 24 jam (mm)

t_c = waktu konsentrasi (jam)

2.2.1.3 Waktu konsentrasi

Waktu konsentrasi adalah lama waktu yag diperlukan oleh air hujan yang jatuh di tempat terjauh untuk mencapai titik pengamatan atau titik yang ditinjau pada suatu daerah pengaliran. Waktu konsentrasi dapat dihitung dengan membedakannya menjadi dua komponen, yaitu (1) waktu yang diperlukan air untuk mengalir di permukaan lahan sampai saluran terdekat t_o dan (2) waktu perjalanan dari pertama masuk saluran sampai titik keluaran t_d, sehingga

$$tc = t_o + t_d \quad (2\text{-}15)$$

di mana :

$$(t_o) + (t_d) = \left(\frac{2}{3} \text{ x } 3{,}28 \text{ x L x } \frac{n}{\sqrt{S}}\right) + \left(\frac{L_s}{60V}\right) \quad (2\text{-}16)$$

atau

$$t_c = \left(\frac{0{,}87 \; x \; Ls^2}{1000 \; x \; S}\right)^{0{,}385} \quad (2\text{-}17)$$

dengan :

n = angka kekasaran Manning

S = kemiringan lahan

L = panjang lintasan aliran di atas permukaan lahan (m)

Ls = panjang lintasan aliran di dalam saluran atau sungai (m)

V = kecepatan aliran di dalam saluran (m/dtk)

2.2.2 Debit air buangan

Debit air buangan adalah debit yang berasal dari air buangan rumah tangga, bangunan gedung, tempat rekreasi, industri, instalasi, dan lainnya. Untuk memperkirakan jumlah air buangan yang akan dialirkan kesaluran drainase, terlebih dahulu harus diketahui jumlah kebutuhan air rata-rata dan jumlah penduduk daerah studi. Besarnya air yang terbuang diasumsikan 70% - 80% dari kebutuhan air bersih. Untuk penduduk berjumlah Pn orang, air kotor yang akan dibuang adalah :

Qak = Pn . jumlah kebutuhan air bersih . 80% (2-18)

dengan :

Qak = debit air kotor (m^3/detik)

Pn = jumlah penduduk (orang)

2.2.2.1 Kependudukan

Semakin berkembangnya tata guna lahan di wilayah jalan Raya Oro-oro Ombo yang disertai dengan bertambahnya penduduk, maka akan menimbulkan masalah yang berhubungan dengan aspek-aspek hidrologi khususnya penambahan debit limpasan.

Untuk memproyeksikan jumlah penduduk pada tahun 2016 dan 2021 digunakan cara perhitungan "*Geometric rate of growth"* (pertumbuhan geometri) dan *"Exponensial rate of growth"* (pertumbuhan eksponensial). Selanjutnya data penduduk tahun 2016 dan 2021 akan didapat nantinya.

Cara perhitungannya adalah sebagai berikut :

a. Pertumbuhan geometri

Pertumbuhan penduduk yang menggunakan dasar bunga berbunga (bunga majemuk), yang mana angka pertumbuhannya sama untuk setiap tahun. Ramalan laju geometri adalah sebagai rumus berikut :

$$Pn = Po\ (1 + r)^n \qquad (2\text{-}19)$$

dengan :

Pn = jumlah penduduk pada tahun n

Po = jumlah penduduk pada tahun awal

r = angka pertumbuhan penduduk (%)

n = jangka waktu dalam tahun

b. Pertumbuhan eksponensial

Pertumbuhan secara terus-menerus (*continuos)* setiap hari dengan angka pertumbuhan konstan. Ukuran penduduk secara eksponensial ini adalah lebih tepat, mengingat bahwa dalam kenyataannya pertumbuhan penduduk juga berlangsung terus-menerus.

$$Pn = Po.e^{r.n} \qquad (2\text{-}20)$$

dengan :

Pn = jumlah penduduk pada tahun n

Po = jumlah penduduk pada tahun awal

r = angka pertumbuhan penduduk (%)

n = jangka waktu dalam tahun

e = bilangan pokok dari sisitem logaritma alam yang besarnya 2,718

2.3 Penentuan Batas Daerah Aliran Sungai (DAS)

Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah daerah yang di batasi punggung-punggung gunung dimana air hujan yang jatuh pada daerah tersebut akan ditampung oleh punggung gunung tersebut dan akan dialirkan melalui sungai-sungai kecil ke sungai utama (Asdak, 1995).

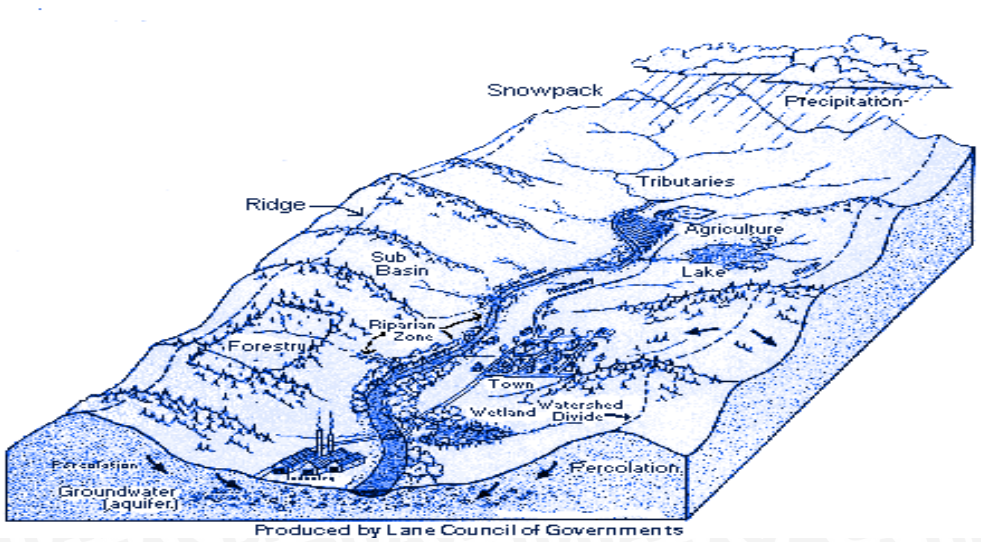
Klasifikasi DAS menurut luasnya meliputi:

a. DAS kecil, luasnya yaitu < 5.000 km^2
b. DAS sedang, luasnya yaitu 5.000-20.000 km^2
c. DAS besar, luasnya yaitu > 20.000 km^2

Garis batas antar DAS adalah punggungan bukit yang dapat membagi dan memisahkan air hujan ke masing-masing DAS. Kemudian dari batasan DAS dapat ditentukan luas daerah tangkapan hujannya. Kemiringan lahan juga sangat penting untuk dipertimbangkan dalam perencanaan sistem drainase karena kemiringan tersebut mempengaruhi laju pergerakan aliran (Anonim : 2008).

Batas DAS dirupakan oleh garis bayangan sepanjang punggung pegunungan atau lahan meninggi, yang memisahkan sistem aliran yang satu dari sistem aliran tetangganya. Atas dasar pengertian maka secara teori semua kawasan darat habis terbagi menjadi sejumlah DAS (Anonim : 2006).

Kondisi DAS tergantung dari letak geografi, berkaitan dengan kondisi hidrologi (fluktuasi debit sungai), topografi, tata guna lahan, kondisi fisik, tumbuhan, iklim, pola arus (*stream patterns*). Pada saat musim kering, aliran air berasal dari air tanah. Penentuan batas DAS dapat berdasar kepada peta topografi dan survey lapangan. Contoh gambar batas daerah aliran sungai (DAS) / *catchment area* dapat dilihat pada G**ambar 2.4** berikut ini.



Gambar 2.4 Batas Daerah Aliran Sungai (DAS) / *Catchment Area*

2.4 Definisi Drainase

Drainase merupakan salah satu fasilitas dasar yang dirancang sebagai sistem guna memenuhi kebutuhan masyarakat dan merupakan komponen penting dalam perencanaan kota (perencanaan infrastruktur khususnya). Kegunaan dengan adanya saluran drainase ini antara lain mengendalikan air hujan yang berlebihan sehingga tidak terjadi bencana banjir, mengendalikan erosi tanah, kerusakan jalan dan bangunan yang ada.

Drainase mempunyai arti mengalirkan, menguras, membuang, atau mengalihkan air (Suripin, 2004). Drainase yaitu suatu cara pembuangan kelebihan air yang tidak diinginkan pada suatu daerah, serta cara-cara penangggulangan akibat yang ditimbulkan oleh kelebihan air tersebut (Suhardjono, 1984). Secara umum, drainase didefinisikan sebagai serangkaian bangunan air yang berfungsi untuk mengurangi dan/atau membuang kelebihan air dari suatu kawasan atau lahan, sehingga lahan dapat difungsikan secara optimal. Drainase juga diartikan sebagai usaha untuk mengontrol kualitas air tanah dalam kaitannya dengan salinitas.

Dari sudut pandang yang lain, drainase adalah salah satu unsur dari prasarana umum yang dibutuhkan masyarakat kota dalam rangka menuju kehidupan kota yang aman, nyaman, bersih, dan sehat. Prasarana drainase disini berfungsi untuk mengalirkan air permukaan ke badan air (sumber air permukaan dan bawah permkaan tanah) dan atau bangunan resapan. Selain itu juga berfungsi sebagai pengendali kebutuhan air permukaan dengan tindakan untuk memperbaiki daerah becek, genangan air dan banjir.

2.5 Perencanaan Saluran Drainase

Saluran drainase perkotaan dapat dimasukan kedalam jenis saluran tahan erosi, yaitu saluran yang mampu menahan erosi dengan baik. Hal ini disebabkan saluran drainase pada umumnya dinding dan dasarnya diberi lapisan, sehingga pada perencanaan saluran drainase akan banyak menggunakan dasar-dasar dari perencanaan saluran tahan erosi.

2.5.1 Bahan-bahan lapisa saluran

Bahan-bahan lapisan dasar saluran serta dinding dapat dibuat dari :

a. Beton
b. Pasangan batu kali
c. Pasangan bata merah

Pemilihan bahan tersebut di atas terutama tergantung pada tersedianya bahan, harga bahan, dan cara konstruksi saluran dikerjakan.

2.5.2 Kecepatan minimum dam maksimum yang diijinkan

Kecepatan minimum yang diijinkan adalah kecepatan terendah yang tidak menimbulkan pengendapan dan tidak merangsang pertumbuhan air serta lumut.
Kecepatan maksimum yang diijinkan adalah kecepatan tertinggi yang tidak menimbulkan erosi atau pengikisan pada lapisan saluran drainase.
Pada umumnya kecepatan ini antara 0,2-1,5 m/detik dapat digunakan dengan aman apabila persentase lumpur yang ada di air tidak begitu besar.

2.5.3 Jagaan

Yang disebut dengan jagaan dari suatu saluran adalah jarak vertikal antara permukaan tanah sampai permukaan air pada kondisi perencanaan. Jarak tersebut harus direncanakan sedemikian rupa, sehingga dapat mencegah peluapan air akibat gelombang serta fluktuasi permukaan air. Jagaan tersebut direncanakan antara 5% sampai 25% dari dalamnya saluran.

2.5.4 Menentukan dimensi saluran berdasarkan debit yang dialirkan

Saluran drainase dapat berbentuk terbuka atau tertutup, menurut kondisi dan keadaan daerah, meskipun tertutup dan penuh air, alirannya bukan tekan, sehingga rumus aliran seragam tetap berlaku.

Rumus kecepatan rata-rata pada perhitungan dimensi penampang digunakan rumus *Manning*. Rumus ini merupakan bentuk yang sederhana tetapi memberikan hasil yang akurat, maka dari itu rumus ini sangat luas penggunaannya sebagai rumus aliran seragam dalam perhitungan saluran pembuang.

Rumus *Manning* diberikan sebagai berikut :

$$V = \frac{1}{n} . R^{2/3} . S^{1/2} \qquad (2\text{-}21)$$

dengan :

V = Kecepatan aliran (m/dt)
R = Jari-jari hidrolis saluran (m)
S = Kemiringan dasar saluran
n = Angka kekasaran *manning*

Untuk menentukan kapasitas saluran drainase digunakan rumus :

$$Q = A \,.\, V \qquad (2\text{-}22)$$

$$Q = A \,.\, \frac{1}{n} \,.\, R^{2/3} \,.\, S^{1/2}$$

dengan :

Q = Debit aliran (m^3/detik)

A = Luas penampang melintang basah saluran (m^2)

Setelah didapatkan debit rencana, yaitu debit air hujan dan air buangan, kemudian dimasukkan kedalam rumus (2-22). Yang mana harga kemiringan dasar saluran (S) ditentukan pada keadaan daerah, harga koefisien *Manning* (n) diperoleh berdasarkan bahan lapisan yang diinginkan (**Tabel 2.4**) serta harga A dan R tergantung dari lebar saluran (b) yang diinginkan dengan memperhatikan pembebasan tanah.

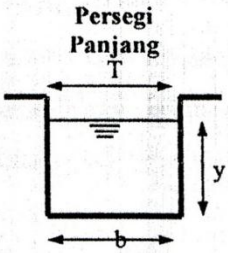
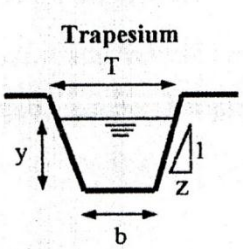
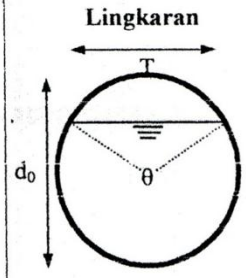
Tabel 2.4 Angka Kekasaran *Manning* (n)

Macam Saluran	n
1. Saluran tertutup terisi sebagian	
- saluran pembuang lurus dari beton	0,013 - 0,017
- pasangan bata dilapisi semen	0,012 - 0,017
- pasangan batu kali di semen	0,015 - 0,030
2. Saluran dilapisi atau dipoles	
- pasangan batu, semen, diplester	0,016 - 0,024
- beton dipoles	0,013 - 0,016
- pasangan batu kali di semen	0,014 - 0,035

Sumber : (Ven Te Chow, 1978)

Harga A dan R dalam persamaan dengan kedalaman air (y), setelah melalui perhitungan diatas maka akan didapat dimensi saluran persegi yang dikehendaki. Persamaan / rumus elemen geometri dari berbagai bentuk penampang aliran dapat dilihat pada **Tabel 2.5** berikut ini.

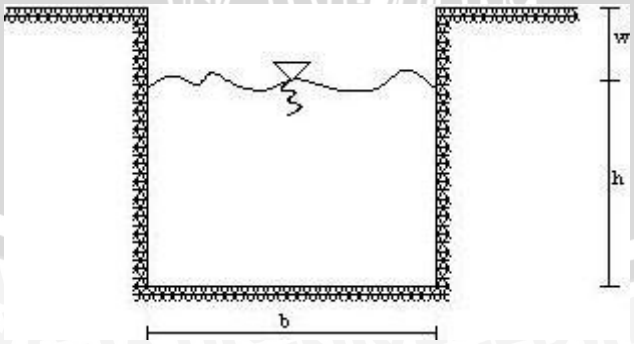
Tabel 2.5 Unsur-Unsur Geometris Penampang Saluran

Penampang	Persegi Panjang 	Trapesium 	Lingkaran 
Luas (A)	By	$(b + zy)\, y$	$\frac{1}{8}(\theta - \sin\theta)d_0^2$
Keliling Basah (P)	$B + 2y$	$b + 2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{1}{2}\theta d_0$
Jari-Jari Hidrolik (R)	$\frac{by}{b+2y}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	$\frac{1}{4}\left(1-\frac{\sin\theta}{\theta}\right)d_0$
Lebar Puncak (T)	B	$b + 2zy$	$\left(\sin\frac{1}{2}\theta\right)d_0$ atau $2\sqrt{y(d_0 - y)}$
Kedalaman Hidrolik (D)	Y	$\frac{(b+zy)y}{b+2zy}$	$\frac{1}{8}\left(\frac{\theta-\sin\theta}{\sin\frac{1}{2}\theta}\right)d_0$
Faktor Penampang (Z)	$by^{1,5}$	$\frac{[(b+zy)y]^{1,5}}{\sqrt{b+2zy}}$	$\frac{\sqrt{2}}{32}\frac{(\theta-\sin\theta)^{1,5}}{(\sin\frac{1}{2}\theta)^{0,5}}d_0^{2,5}$

Sumber : Chow, 1997:19

2.5.5 Penampang saluran

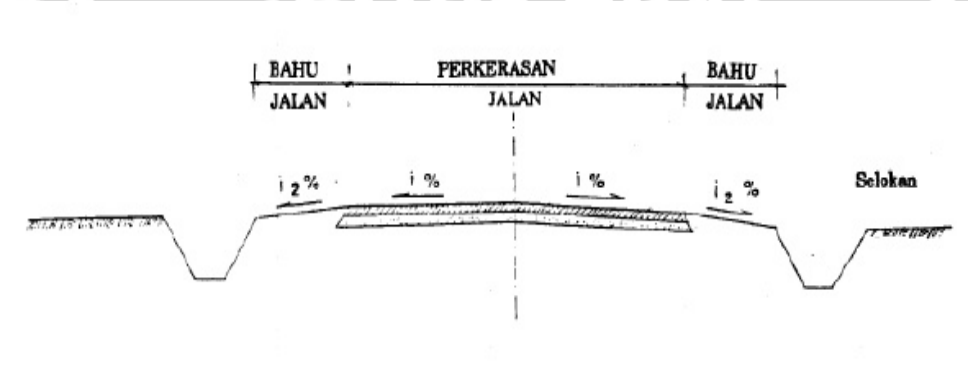
Penampang saluran pada daerah studi adalah penampang persegi, seperti pada **Gambar 2.5** berikut ini.



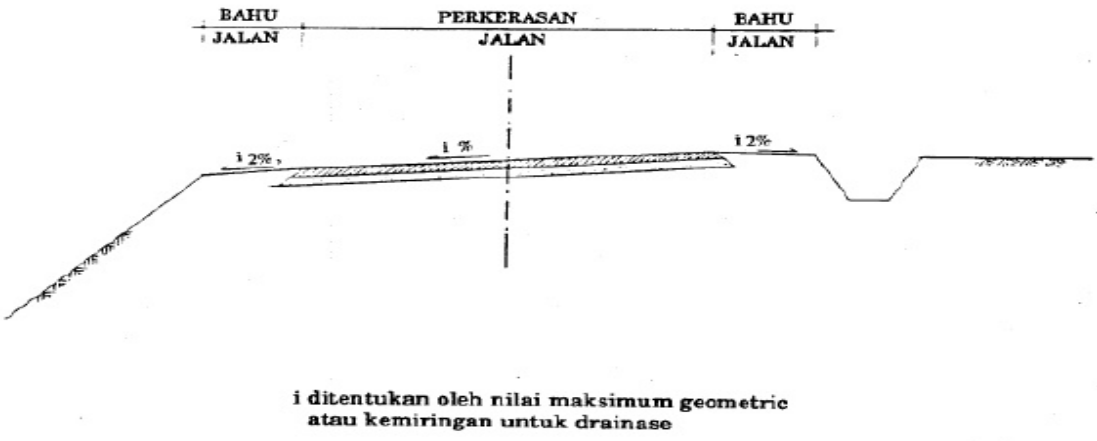
Gambar 2.5 Penampang Saluran Persegi

2.6 Drainase Jalan Raya

Sistem drainase menunjukkan sebuah bagian yang penting dalam infrastruktur kota. Sistem drainase tersebut, dibuat dari banyak unsur yang membutuhkan desain atau bentuk yang tepat, pemasangan yang tepat, dan perawatan yang tepat pula. Bagian-bagian dalam drainase ini termasuk saluran jalan, pintu masuk drainase, saluran utama, lubang got, persimpangan, dan permukaan saluran drainase. Secara umum drainase jalan raya terdiri dari kemiringan melintang badan dan bahu jalan sebagai saluran pembawa *(gutter)*, saluran penangkap *(gutter inlet)* dan saluran pembuang *(drainage channel)*.



Gambar 2.6 Kemiringan Melintang Normal pada Daerah Datar dan Lurus



Gambar 2.7 Kemiringan Melintang Normal pada Daerah Tikungan
Sumber : http://www.scribd.com/doc/28637030/Hubungan-Jalan-Raya-dan-Air

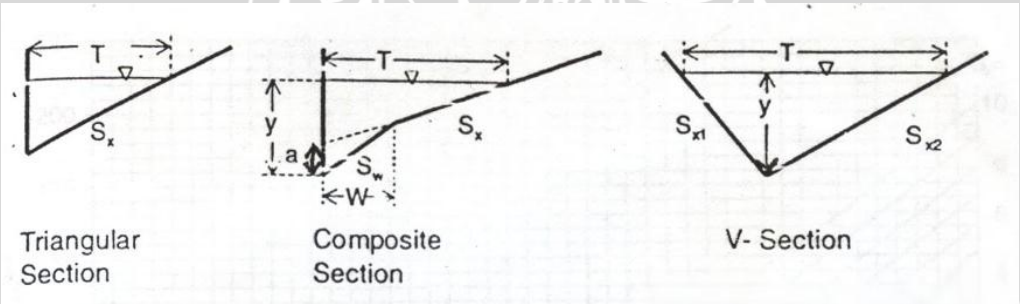
2.6.1 Saluran pembawa *(Gutter)*

Perhitungan saluran pembawa *(gutter)* dilakukan untuk menentukan kedalaman aliran air dari tepi jalan, bagian trotoar pada kondisi bentuk saluran. Penggunaan konstruksi ini sering dihitung dengan metode rasional. Meskipun dalam pengamatan, saluran pembawa tidak stabil dan tidak sebangun, tapi dalam kenyataan kita melakukan perhitungan saluran pembawa seolah-olah aliran tersebut stabil dan sebangun pada puncak penggunaannya. Pada umumnya, hasil pendekatan ini adalah hasil yang konservatif.

1. Saluran berbentuk segitiga

Rumus Manning sedikit di modifikasi untuk aliran selokan untuk menghitung pengaruh dari radius hidrolik yang sangat kecil dari arus tersebut. Untuk sebuah selokan segitiga yang ditunjukkan pada **Gambar 2.8**, rumus Manningnya ditulis sebagai berikut :

$$Q = \frac{k_n T^{8/3} S_x^{5/3} S_L^{1/2}}{2{,}64\, n} \qquad (2\text{-}23)$$



Gambar 2.8 Bagian Saluran Pembawa *(Gutter)*

$$T = \left(\frac{2{,}64\, Q_n}{k_n S_x^{5/3} S_L^{1/2}}\right)^{3/8} \qquad (2\text{-}24)$$

dengan :

Q = arus dalam selokan

K_n = perubahan konstan (1,0 $m^{1/3}/s$ dalam satuan metric dan 1,49 $ft^{1/3}/s$ dalam satuan U.S)

T = lebar atas

n = kekasaran Manning

S_x = lebar lorong

S_L = lebar lorong bawah

sangat jelas, lebar atas T juga menggambarkan arus air

$$y = S_x T \quad (2\text{-}25)$$

perlu diperhatikan bahwa persamaan (2-23) dapat ditulis dengan istilah arus dalam y sebagai :

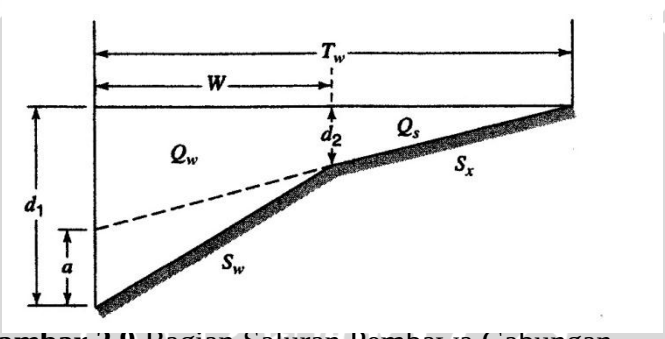
$$Q = \frac{k_n y^{8/3} S_L^{1/2}}{2{,}64\, n\, S_x} \quad (2\text{-}26)$$

perlu diperhatikan juga bahwa area arus A dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$A = \tfrac{1}{2} S_x T^2 \quad (2\text{-}27)$$

2. Bagian-bagian saluran pembawa gabungan

Untuk bagian saluran pembawa gabungan dapat dilihat pada **Gambar 2.9**



Gambar 2.9 Bagian Saluran Pembawa Gabungan

$$Q = Q_w + Q_s \quad (2\text{-}28)$$

dengan :

Q_w = digunakan pada bagian yang rendah atau cekung

Q_s = digunakan pada bagian yang tidak rendah atau cekung

Kedalaman aliran pada bagian melintang d_2 adalah :

$$d_2 = (T_w - W)\, S_x \quad (2\text{-}29)$$

dan kedalaman aliran pada curb adalah :

$$d_1 = T_w S_x + a \quad (2\text{-}30)$$

Hal tersebut dapat dilihat bahwa

$$Q = \frac{Q_s}{1 - E_0} \quad (2\text{-}31)$$

dengan

$$E_0 = \frac{1}{1 + \frac{S_w/S_x}{\left[1 + \frac{S_w/S_x}{\left(\frac{T}{W} - 1\right)}\right]^{\frac{8}{3}} - 1}} \quad (2\text{-}32)$$

dan

$$S_w = S_x + \frac{a}{W} \quad (2\text{-}33)$$

Semua variabel-variabel pengukuran ditunjukkan pada G**ambar 2.9**, sebuah grafik solusi untuk persamaan (2-31) dan (2-32) dtunjukkan pada **Gambar 2.10** (Akan 2000). Perlu diperhatikan juga bahwa dari pengukuran :

$$d_1 = a + T\,S_x \quad (2\text{-}34)$$

dan

$$A = \tfrac{1}{2}\,S_x\,T^2 + \tfrac{1}{2}\,a\,W \quad (2\text{-}35)$$

dengan :

d_1 = kedalaman arus pada pengait

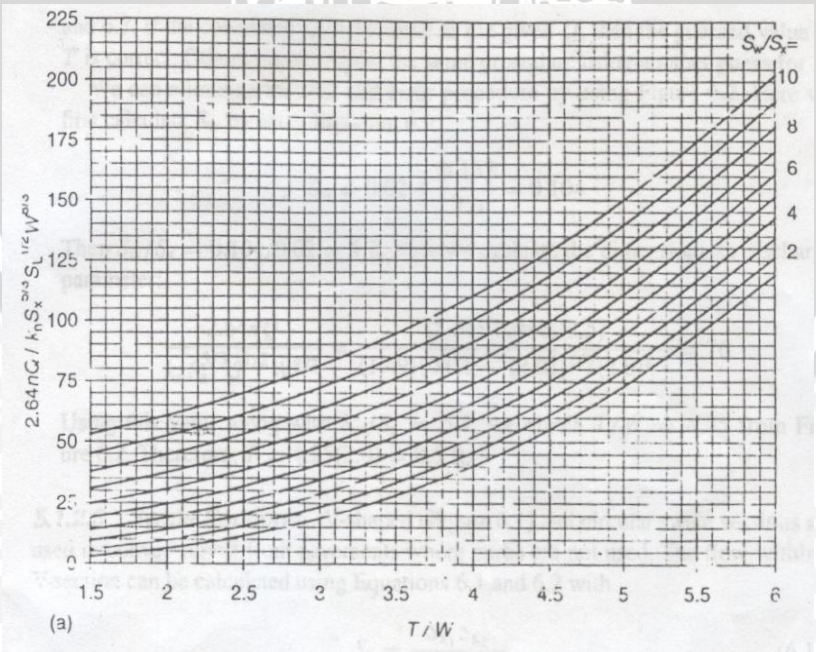
A = luas aliran

Berikut ini adalah persamaan saluran pembawa gabungan bagian yang tidak rendah (Q_s) dan bagian yang rendah (Q_w) :

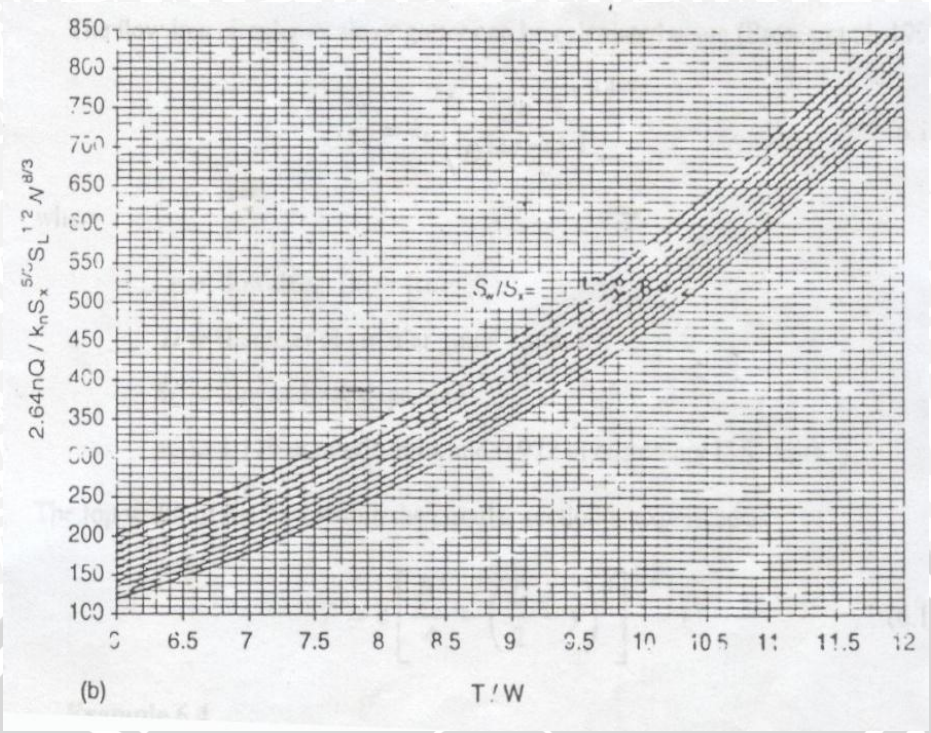
$$Q_s = \frac{0{,}56}{n}\frac{S^{1/2}}{S_x}\,d_2^{8/3} = \frac{0{,}56}{n}\frac{S^{1/2}\,[(T_w - W)S_x]^{8/3}}{S_x} \quad (2\text{-}36)$$

$$Q_w = \frac{0{,}56}{n}\frac{S^{\frac{1}{2}}}{S_x}\,d_1^{\frac{8}{3}} - \frac{0{,}56}{n}\frac{S^{\frac{1}{2}}}{S_w}\,d_2^{\frac{8}{3}} = \frac{0{,}56}{n}\frac{S^{1/2}}{S_w}\,(d_1^{8/3} - d_2^{8/3}) \quad (2\text{-}37)$$

$$= \frac{0{,}56}{n}\frac{S^{1/2}}{S_w}\,[(T_w S_w + a)^{8/3} - [(T_w - W)S_x]^{8/3}]$$



a) Perhitungan Luasan untuk T/W < 6,0 (Akan 2000) dengan Ijin ASCE



(b) Perhitungan Luasan untuk T/W > 6,0 (Akan 2000) dengan Ijin ASCE

Gambar 2.10 Perhitungan Luasan dengan Ijin ASCE

2.7 Bangunan Penunjang Drainase

Bangunan penunjang / pelengkap drainase adalah bangunan yang digunakan untuk menunjang fungsi utama dari saluran drainase. Fungsi bangunan penunjang / pelengkap saluran drainase yaitu :

1. Memperlancar surutnya genangan yang mungkin timbul diatas permukaan tanah.
2. Memperlancar arus saluran.
3. Mengamankan terhadap bahaya degradasi pada dasar saluran.
4. Mengatur saluran terhadap pasang surut khususnya di daerah pantai.

Dalam perencanaan drainase di wilayah jalan raya Oro-oro Ombo ini, bangunan pelengkap yang digunakan adalah *street inlet* dan gorong-gorong.

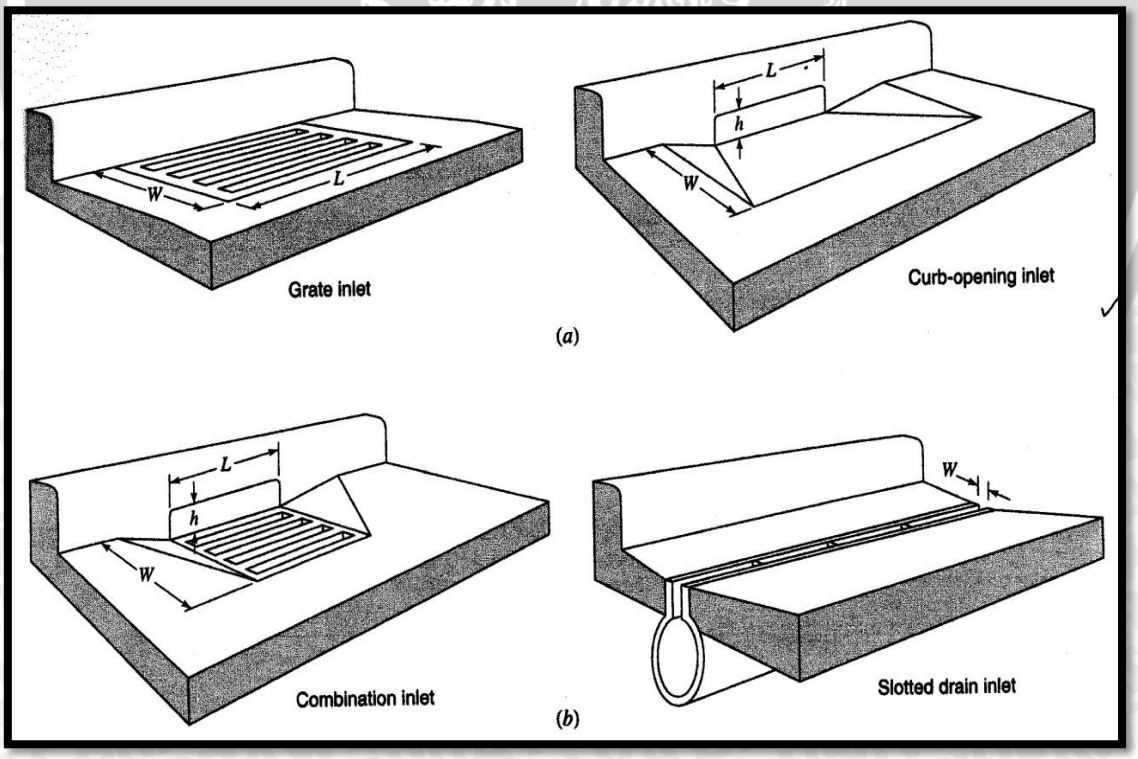
2.7.1 Perencanaan *street inlet*

Street Inlet adalah jalan masuk air (*inlet*) yang dibuat disepanjang ruas jalan, yang terletak pada sisi jalan maupun sejajar dengan badan jalan. Terdapat dua jenis *street Inlet* yaitu :

1. *Inlet* tegak, ditempatkan pada jarak-jarak tertentu di sepanjang tepi jalan atau pada pertemuan di perempatan jalan. Tinggi jagaan harus dipertahankan sehingga air dalam saluran tidak keluar lagi ke permukaan jalan.
2. *Inlet* datar, ditempatkan pada pertigaan jalan yang mana arah melintang jalan tersebut terdapat saluran. Tinggi jagaan harus dipertahankan sehingga air dalam saluran tidak keluar lagi ke permukaan jalan.

2.7.1.1 Saluran penangkap *(Inlet)*

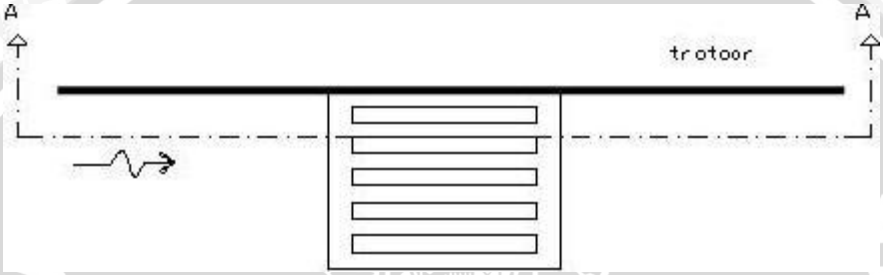
Sebagian besar aliran permukaan yang mengalir di jalan raya dengan kondisi terhalang, akan dialirkan menuju saluran pembuang melalui lubang-lubang *inlet* yang biasanya diletakkan di bahu jalan maupun median jalan. Lubang masuk digunakan untuk mengalirkan air bah dari trotoar dan mengarahkannya ke sistem aliran bawah tanah. Terdapat beberapa macam jenis inlet, seperti *grate inlet, curb opening inlet, combination inlet,* dan *slotted drain inlet*. Empat jenis inlet yang berbeda ini dapat ditunjukkan pada **Gambar 2.11** lubang masuk dapat dipasang dengan atau tanpa selokan yang cekung atau landai.



Gambar 2.11 Bentuk-bentuk S*treet Inlet* (Johnson dan Chang 1984)

a. Saluran penangkap berkisi *(Grate Inlet)*

Saluran penangkap berkisi ini diletakkan tegak lurus arah aliran, sehingga air hujan jatuh akan mengalir ke bawah. Untuk menjaga fungsi dan kenyamanan jalan, maka permukaan inlet ini diberi kisi. Mengingat tinggi genangan yang terjadi pada aliran permukaan relatif kecil sehingga kehilangan energi dapat diabaikan, maka berdasarkan percobaan yang dilakukan oleh Mostkow disarankan untuk merencanakan kisis dengan posisi sejajar arah aliran (Chow, 1997: 306). Untuk keamanan, lebar kisi minimal harus lebih dari 2,5 cm (Linsey, 1992: 62).



Gambar 2.12 Saluran Penangkap Berkisi

Pada dasarnya untuk menghitung dimensi *grate inlet* adalah sama dengan persamaan untuk *curb*, namun *grate inlet* terdapat faktor kisi.

Untuk menentukan efisiensi dari jaring-jaring lubang masuk, total arus air pada selokan dibagi menjadi 2 bagian, yaitu arus bagian depan dan arus bagian samping. Arus bagian depan adalah bagian dari total arus dalam selokan dengan lebar lubang selokan. Hal ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$Qw = Q[1 - (1 - \frac{W}{T})^{2,67}] \qquad (2\text{-}38)$$

dengan :

Q_w = arus bagian depan

W = lebar landai atau cekung selokan

T = total arus air dalam selokan

$$Q_s = Q - Q_w \qquad (2\text{-}39)$$

dengan :

Q_s = arus bagian samping sesuai dengan lebar arus bagian luar dari selokan (T –W)

Rasio R_f dari daya tampung bagian depan terhadap arus bagian depan terhadap arus bagian depan dapat ditunjukkan sebagai berikut :

$$R_f = \frac{Q_{wi}}{Q_w} = 1{,}0 - K_f(V - V_0) \qquad \text{untuk } V > V_0 \qquad (2\text{-}40)$$

dan

$R_f = 1{,}0$ untuk $V \leq V_0$

dengan :

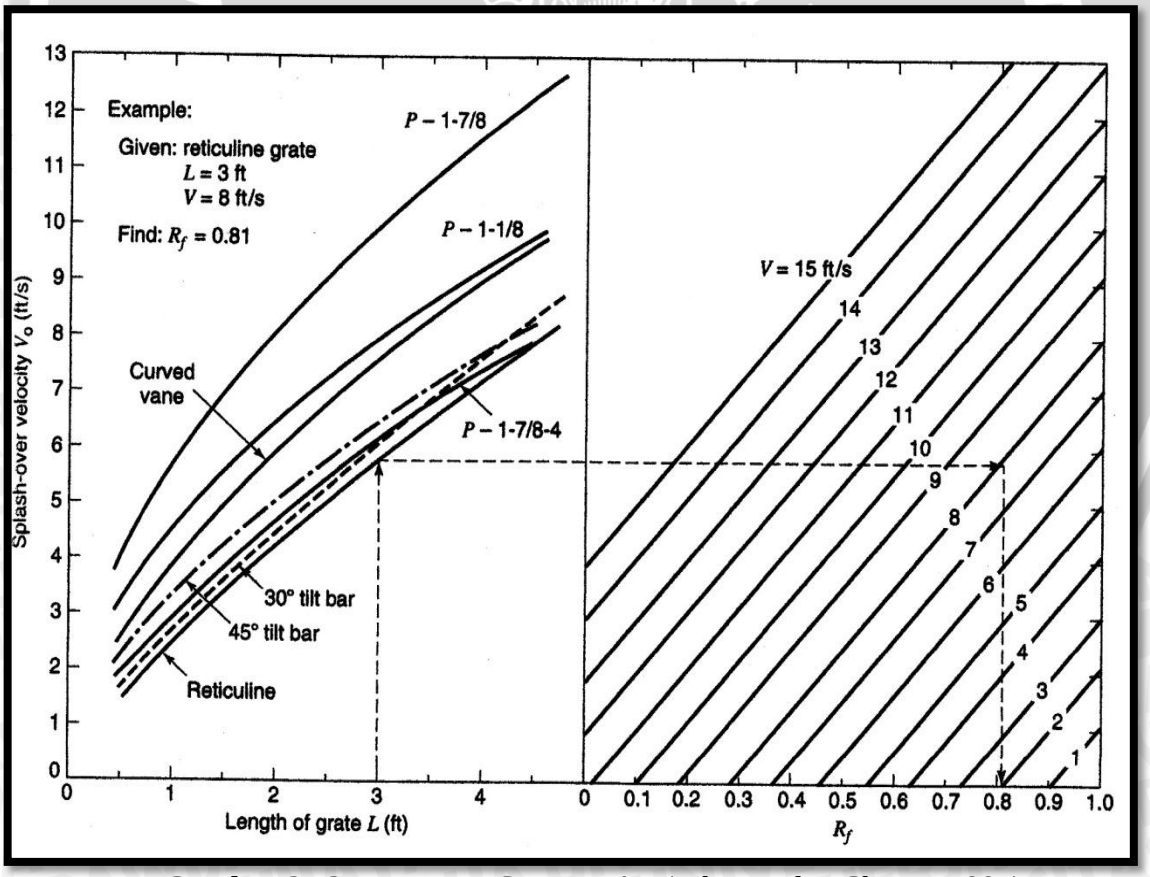
K_f = perubahan (0.295 s/m dalam bagian metric dan 0.09 s/ft dalam bagian US biasa)

Q_{wi} = daya tampung bagian depan

V = kecepatan arus dalam selokan

V_0 = kecepatan cipratan air

Kecepatan cipratan air adalah kecepatan minimal yang akan menyebabkan beberapa air keluar dari lubang masuk. Kecepatan ini tergantung pada panjang dan tipe saluran. **Gambar 2.13** menggambarkan kecepatan cipratan air untuk beberapa jaring-jaring standar yang di test oleh Federal Highway Administration.



Gambar 2.13 Kecepatan Cipratan Air (Johnson dan Chang , 1984)

Rasio R_s dari daya tampung arus samping terhadap total arus samping dapat ditunjukkan sebagai berikut :

$$R_s = \frac{Q_{si}}{Q} = \frac{1}{1 + [(K_s V^{1.8}) / (S_x L^{2.8})]} \quad (2\text{-}41)$$

dengan :

Qsi = arus air samping yang tertampung

Ks = Faktor perubahan ($0.0828 m^{0.5}/s^{1.6}$ untuk metric dan 0.15 kaki $^{0.5}/s^{1.8}$ untuk US)

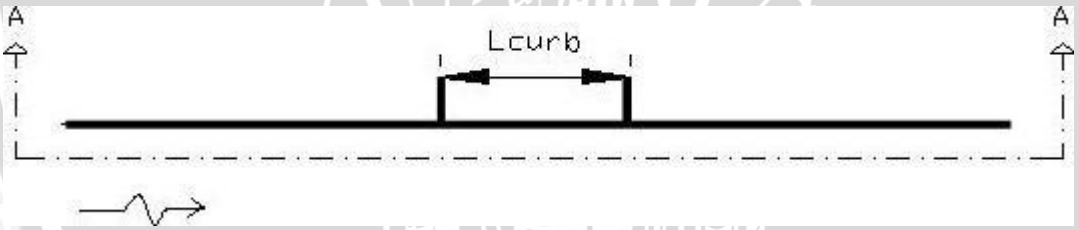
L = panjang lubang masuk

Efisiensi E dari jaring-jaring lubang masuk di evaluasi menggunakan

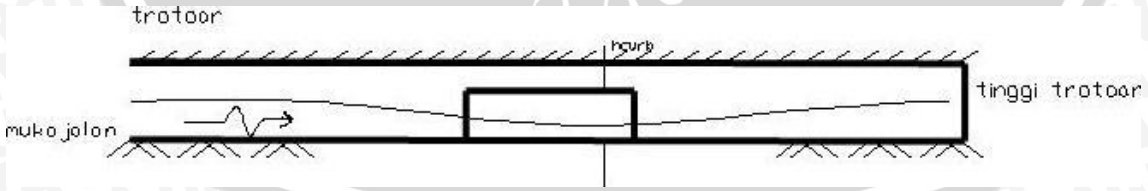
$$E = \frac{R_f Q_w}{Q} + \frac{R_s Q_s}{Q} \quad (2\text{-}42)$$

b. Saluran penangkap samping (*Curb Opening Inlet)*

Saluran penangkap samping mempunyai keuntungan - keuntungan tertentu daripada saluran penangkap berkisi. Saluran ini jarang tersumbat dan tidak mengganggu jalur lalu lintas. Namun, kedalaman arus pada tepi jalan harus cukup lebar untuk hasil yang efektif pada saluran penangkap samping. Saluran ini berada disamping jalan *(side entries)*.



Gambar 2.14 Denah Saluran Penangkap Samping *(Curb Opening Inlet)*



Gambar 2.15 Potongan A - A Saluran Penangkap Samping *(Curb Opening Inlet)*

Efisiensi pada saluran penangkap samping *(Curb Opening Inlet)* dapat dihitung sebagai berikut :

$$E = 1 - (1 - \frac{L}{L_T})^{1,8} \qquad \text{untuk } L < L_T \quad (2\text{-}43)$$

E = 1,0 ; untuk $L \geq L_T$

dengan :

L = panjang kait pembuka

L_T = panjang kait pembuka yang dibutuhkan unutk menampung arus air 100%

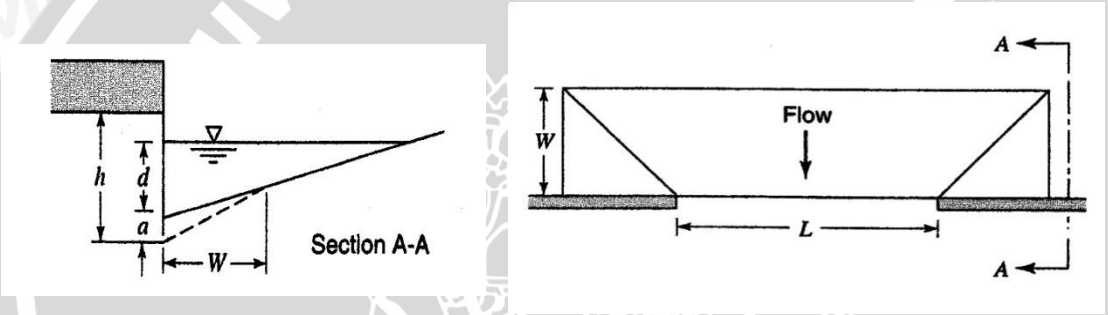
dan

$$L_T = K_c \, Q^{0,42} S_L^{0,3} \left(\frac{1}{n \, Sx}\right)^{0,6} \quad (2\text{-}44)$$

dengan :

Kc = 0,817 $s^{0,42}$ / $m^{0,26}$ = 0,6 $s^{0,42}$ / $ft^{0,26}$

Untuk kait pembuka lubang masuk selokan yang landai atau cekung, ditunjukkan oleh **Gambar 2.16**,



Gambar 2.16 Kait Pembuka Cekung (Johnson dan Chang 1984)

c. Saluran penangkap berlubang *(Slotted Inlet)*

Saluran penangkap berlubang dapat digunakan pada bagian yang tertutup atau tidak tertutup. Tipe *inlet* seperti ini sedikit mengganggu pada arus lalu lintas. Kotoran yang masuk ke dalam lubang selokan dapat menumpuk pada pipa dalam tanah. Namun, kotoran tersebut dapat dibersihkan dengan penyemprot air yang besar *(water canyon)*.

Kemampuan daya tampung air pada *slotted inlet*, sama dengan yang digunakan pada *curb opening inlet* yang menyediakan lubang dengan lebar dari 4,5 cm atau 1,75 inchi. Persamaan yang digunakan untuk menghitung efisiensi dari *slotted inlet* sama dengan persamaan yang digunakan pada *curb opening inlet*.

d. Saluran penangkap gabungan *(Combination Inlets)*

Saluran penangkap gabungan biasanya terdiri dari sebuah kait pembuka dan jeruji. Kapasitas yang tertampung pada saluran penangkap gabungan adalah sama dengan saluran penangkap berkisi itu sendiri. Jika saluran penangkap samping atau kait

pembuka dan berkisi atau jeruji diletakkan berdampingan dengan panjang yang kurang lebih sama. Jika ini permasalahannya, saluran yang tertutup diabaikan dengan perhitungan efisiensi. Seringkali saluran penangkap gabungan digunakan dengan bagian dari kait pembuka yang diletakkan di atas jeruji tersebut akan menampung sebagian arus saluran seperti halnya kotoran pada pemasangan model tersebut. Pada saluran ini, panjang kait pembuka diatas jeruji tersebut diterapkan dalam perhitungan efisiensi.

2.7.1.2 Lokasi *Inlet*

Johnson dan Chang (1984) menyarankan agar lubang masuk diletakkan atau dipasang pada semua bagian yang landai pada dasar selokan, pertengahan selokan, jalan melintang, dan samping jalan pada perempatan dimana jalur arus drainase tersebut mengalir ke trotoar jalan raya. Lokasi *inlet* biasanya ditentukan oleh kondisi geometri jalan daripada perhitungan arus air. Banyaknya aliran pada trotoar rentan terhadap genangan sehingga air tersebut seharusnya dicegah agar tidak mengalir di trotoar. Oleh karena itu arus pada selokan harus dicegah atau ditahan dimana permukaan daripada trotoar tersebut melengkung, seperti pada lorong dengan kemiringan melintang dan landai. *Inlet* juga harus ditempatkan pada dataran yang lebih tinggi dari jembatan agar dapat mencegah aliran arus menuju badan dan turunan jembatan untuk menahan arus drainase dari jembatan. Saluran tepi jalan seharusnya digunakan untuk menahan limpasan dari area drainase menuju trotoar. *Inlet* harus digunakan dimana jalur pembukanya tidak dapat diterapkan.

Desain atau bentuk dari lebar jalur pada trotoar adalah kriteria dari jarak *inlet* yang berkesinambungan. Hal ini memungkinkan untuk membuat jarak maksimum untuk *inlet* pada jalur yang berkesinambungan jika area drainase hanya terdiri dari trotoar atau hanya seperti limpasan dari arus air yang sejalur dan bentuknya adalah persegi. Dengan asumsi bahwa waktu konsentrasi dari semua lubang *(inlet)* tersebut adalah sama.

2.7.1.3 Penentuan jarak antar *Inlet*

Penentuan jarak penempatan *inlet* dapat dilakukan berdasarkan pengalaman dalam perencanaan jalan raya, sebagai misal apabila dalam suatu lajur jalan direncanakan dibuat 10 buah *inlet*, maka jarak dapat ditentukan dengan membagi panjang jalur dengan jumlah *inlet*. Metode lain yang bisa digunakan adalah dengan melihat profil aliran yang terjadi. Metode ini didasarkan pada pemilihan lokasi *inlet*

yang paling ekonomis, yaitu *inlet* diletakkan pada suatu titik ketika penambahan lebar aliran permukaan mencapai batas, biasanya sekitar 2,5 meter (Pilgrim, 1991: 300). *Inlet* akan menangkap debit yang mengalir melewatinya dan mengurangi lebar aliran, demikian seterusnya sampai debit jalan raya dapat tertangkap sempurna.

Yang perlu diperhatikan pada penentuan jarak antar inlet adalah bahwa setiap genangan maupun aliran permukaan di jalan raya akan mengganggu pengguna serta meningkatkan resiko terjadinya kecelakaan lalu lintas, sehingga dalam perencanaannya harus juga mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut :

- letak dari fasilitas umum dan jalan lainnya
- superelevasi dan perubahan pada penampang melintang jalan
- keamanan pengguna jalan
- kedalaman aliran permukaan yang diijinkan

$$D = \frac{280}{W} S \qquad d = 0.0474 \frac{(D.I)^{1/2}}{S^{0,2}} \qquad (2\text{-}45)$$

dengan :

S : kemiringan (%)
W : lebar jalan (m)
d : kedalaman air pada permukaan jalan (m)
D : jarak antar street inlet (m)
I : intensitas hujan (mm/jam)

2.7.2 Perencanaan Gorong-gorong

Bangunan silang atau gorong-gorong dibuat untuk menghubungkan saluran di kaki bukit melintang jalan di bawahnya dan berakhir di sisi bawah dari bangunan penahan tanah yang mendukung struktur jalan tersebut. Atau merupakan bangunan perlintasan yang melintasi jalan. Tinggi air harus diperhatikan sehingga aliran tidak penuh dan bisa mengalir dengan lancar.

Dalam hal ini penentuan dimensi gorong-gorong didasarkan pada kondisi pemasukan air. Perencanaan dimensi gorong-gorong adalah sebagai berikut :

- Harus cukup untuk melewatkan debit air maksimum dari daerah pengaliran secara efisien.
- Kemiringan dasar gorong-gorong dibuat lebih besar dari kemiringan dasar saluran pembuangnya.

Untuk kecepatan maksimum dalam gorong-gorong yang disyaratkan dapat dilihat pada **Tabel 2.6** :

Tabel 2.6 Harga-harga Kecepatan Maksimum dan K (*Strikler*)

Bahan Konstruksi	V_{maks} (m/detik)	K ($m^{1/3}$/detik)
Pasangan batu	2	60
Beton	3	70

Sumber : KP-03, 1986:55

Untuk menghitung aliran hidrolis di dalam gorong-gorong digunakan rumus *strikler* :

$$Va = K \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \qquad (2\text{-}46)$$

Dimana :

Va = Kecepatan aliran yang dipercepat di dalam gorong-gorong (m/detik)

K = Koefisien kekasaran *strikler* ($m^{1/3}$/detik)

R = Jari-jari hidrolis (m)

I = Kemiringan hidrolis

Untuk tinggi jagaan diambil 0,2h. Yang mana h adalah tinggi air bagian dalam saluran.

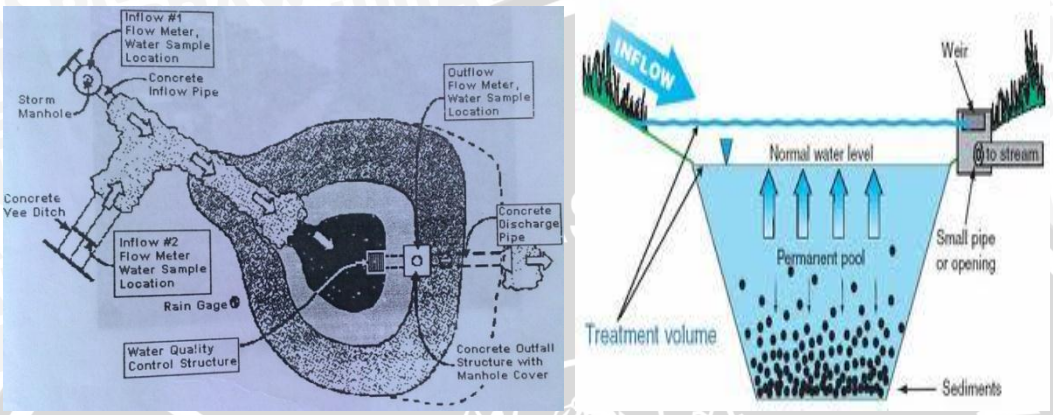
2.8 Penanggulangan Banjir Selain dengan Sistem Drainase

Dalam menanggulangi banjir atau genangan yang disebabkan oleh debit aliran yang berlebih, selain dengan perbaikan sistem drainase dapat dilakukan dengan mengurangi debit aliran permukaan. Beberapa cara mengurangi debit aliran permukaan yaitu dengan membuat kolam detensi *(detention pond / detention basin)*, kolam retensi *(retention pond / retention basin)*, sumur resapan, dan lubang resapan biopori.

2.8.1 Kolam Detensi *(Detention Pond / Detention Basin)*

Kolam detensi *(detention pond / detention basin)* adalah tempat penampungan kelebihan air hujan dalam periode waktu tertentu / temporer atau untuk menahan air hujan sementara waktu. Ketika tinggi muka air di saluran penerima memenuhi, maka air dalam kolam detensi akan dialirkan secara perlahan ke saluran penerima. Inlet kolam detensi biasanya dibuat cukup besar untuk mampu mengalirkan air dalam jumlah yang

besar, sedangkan outletnya dibuat terbatas yakni dengan bukaan kecil atau pelimpah. Pada saat air pada kolam detensi sudah habis dialirkan, maka kolam detensi dapat difungsikan untuk keperluan lain, seperti lapangan bermain, lapangan bola, dan sebagainya. Gambar denah kolam detensi dan contoh kolam detensi dapat dilihat pada **gambar 2.17** dan **gambar 2.18** berikut ini.

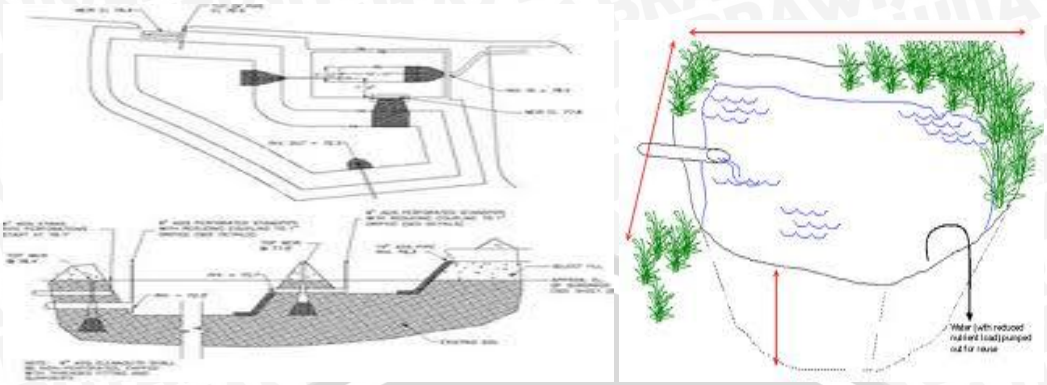


Gambar 2.17 Denah Kolam Detensi

Gambar 2.18 Kolam Detensi

2.8.2 Kolam Retensi *(Retention Pond / Retention Basin)*

Kolam retensi adalah kolam penampungan kelebihan air hujan yang disimpan dalam waktu yang tidak terbatas, bahkan selamanya / permanen. Kolam retensi dapat mengalami kehilangan air akibat evaporasi dan infiltrasi, sehingga dapat sebagai *recharge* air tanah, muka air akan berfluktuasi namun kolam akan selalu terisi air. Kolam retensi umumnya dibiarkan secara natural atau tidak dikelola secara serius hanya pembersihan sesekali. Kolam retensi ini terkadang pula disebut *boezem*. Kolam ini dapat juga dimanfaatkan untuk keperluan rekreasi, olahraga air, dan sebagainya. Gambar denah kolam retensi dan contoh kolam retensi dapat dilihat pada **gambar 2.19** dan **gambar 2.20** berikut ini.



Gambar 2.19 Denah Kolam Retensi

Gambar 2.20 Kolam Retensi

2.8.3 Sumur Resapan

Tujuan dari sumur resapan air hujan yang diterapkan di lahan perkarangan terkedapkan adalah untuk mengurangi limpasan permukaan yang sangat berlebihan / banjir sekaligus untuk penambahan potensi air tanah.

Pengertian sumur resapan air hujan adalah sarana untuk penampungan air hujan dan meresapkannya ke dalam tanah. Beberapa jenis sumur resapan yitu :

1. Sumur Resapan Individual

   Sumur resapan individual adalah sumur resapan yang dibuat secara pribadi untuk masing-masing rumah. Letak sumur harus memperhatikan keadaan lingkungan setempat, yakni jarak bangunan lain seperti septictank, sumur air minum, jalan, rumah dan jalan umum.

   Volume sumur resapan harus memperhatikan curah hujan, luas lahan rumah dan kondisi tanah. Pada lahan yang tertutupi banyak bangunan, volume sumur dibuat lebih besar dibandingkan dengan lahan yang terbuka luas. Volume yang umum untuk perumahan yang memiliki luas lahan sekitar 100 m^2 dapat membuat sumur resapan yang ukurannya 1m x 1m x 2m. Untuk lahan dengan permukaan air dalam, tinggi

sumur 2m, lebar 1m dan panjang 1m. Untuk tanah yang memiliki muka air dangkal tinggi sumur 1m, lebar 1m dan panjang 2m. Untuk jarak dapat dilihat pada **tabel 2.7** berikut.

Tabel 2.7 Jarak Minimal Sumur Resapan dengan Bangunan Lainnya

Kondisi yang ada	Jarak minimal dengan sumur resapan (m)
Bangunan	3
Batas pemilikan	1,5
Sumur air minum	10,5
Aliran air (sungai)	30
Pipa air minum	3
Jalan	1,5
Pohon besar	3

Sumber : (Suripin, 2004)

Pilihan jenis bahan sumur resapan individual yang dapat digunakan cukup banyak. Untuk dinding dapat dibuat dari batu bata atau *fiberglass*. Saluran air dapat dari pipa PVC atau pipa besi 6 inchi. Bahan peresapan dapat menggunakan tumpukan kerikil setebal 2-20 mm atau dari ijuk.

2. Sumur Resapan Kolektif

Sumur resapan kolektif adalah sumur resapan yang dibangun secara bersama-sama dalam satu kawasan tertentu. Sumur resapan ini dapat dibuat per sepuluh rumah, per blok, per satu RT atau per satu kawasan pemukiman. Model sumur resapan kolektif yang dapat diterapkan tergantung pada keadaan lingkungan dan ketersediaan lahan di kawasan tersebut. Model yang dapat diterapkan diantaranya kolam resapan, sumur dalam, dan parit berorak.

Besarnya sumur resapan yang direncanakan harus memperhatikan curah hujan, kondisi tanah, dan jumlah kawasan yang airnya mengalir ke sumur resapan. Secara umum volume sumur dapat menggunakan rasio 1 m^3 untuk 100 m^2 lahan pada curah hujan di bawah 1000 m. Dengan demikian, pada kawasan perumahan yang luasnya 1 ha paling tidak dibuat sumur resapan dengan volume 100 m^3. Beberapa alternatif sumur resapan dapat dilihat pada **tabel 2.8** berikut.

Tabel 2.8 Alternatif Sumur Resapan Kolektif Sesuai dengan Kondisi Lingkungan

Model Sumur Resapan Kolektif	Keadalaman Muka Air Tanah	Ketersediaan Lahan
Kolam resapan	Dangkal (< 5 m)	Luas
Sumur dalam	Dalam (> 5 m)	Sempit
Parit berorak	Dangkal (< 5 m)	Sempit

Sumber : (Suripin, 2004)

Persyaratan Teknis

Berdasarkan SK SNI S-14-1990-F,

1. **Bentuk dan ukuran sumur** adalah sebagai berikut :
   - 1.1 Sumur resapan air hujan berbentuk segi empat atau lingkaran.
   - 1.2 Ukuran minimum sisi penampang atau diameter adalah 0,8 meter.
   - 1.3 Ukuran maksimum sisi penampang atau diameter adalah 1,4 meter.
   - 1.4 Ukuran pipa masuk diameter 110 mm.
   - 1.5 Ukuran pipa pelimpah diameter 110 mm.
   - 1.6 Ukuran kedalaman maksimum dapat dilihat pada **tabel 2.9** berikut.

Tabel 2.9 Ukuran Kedalaman dan Tipe Konstruksi

Kedalaman	Tipe Konstruksi
Maksimum 1,5 m	I
Maksimum 3 m	II
Maksimum Muka Air Tanah	IIIa, IIIb, IIIc

Sumber : SK SNI S-14-1990-F

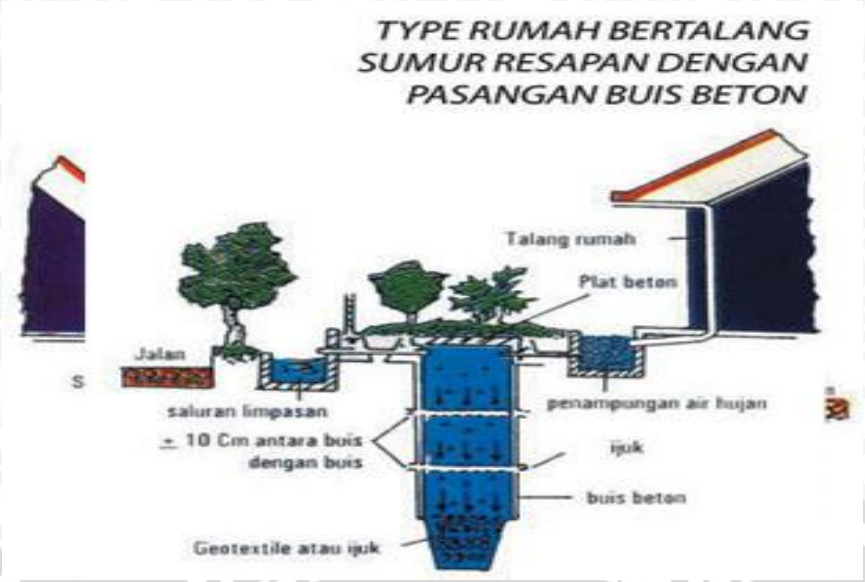
Alternatif pemakaian bahan bangunan untuk konstruksi sumur resapan dapat dilihat pada **tabel 2.10** berikut.

Tabel 2.10 Alternatif Pemakaian Bahan Bangunan untuk Konstruksi Sumur Resapan

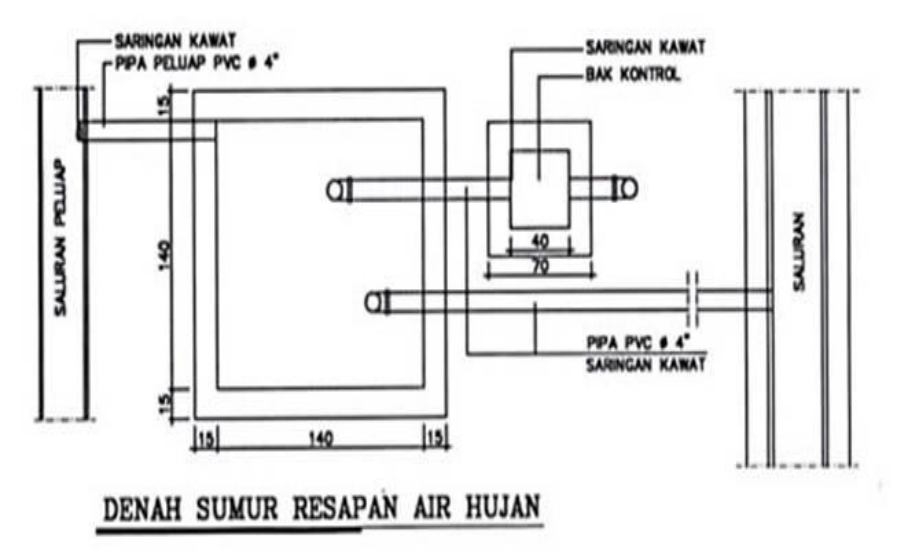
KOMPONEN/BAHAN BANGUNAN	PENUTUP SUMUR	DINDING SUMUR BAGIAN ATAS	DINDING SUMUR BAGIAN BAWAH	BAHAN PENGISI SUMUR
1. Plat Beton bertulang, tebal 10 cm, campuran 1 PC : 2 Psr : 3 Krl	*	-	-	-
2. Plat beton tidak bertulang, tebal 10 cm, Camp. 1 PC:2Psr:3Krl berbentuk cubung (tanpa beban di atas)	*	-	-	-
3. Timbunan tanah dan plastik tebal >15 cm	*	-	-	-
4. Ferocement	*	-	-	-
5. Dinding bata merah, batu cetak batako campuran spesi 1 PC:5Psr, tidak diplester tebal ½ bata	-	*	*	-
6. Pipa Beton	-	*	-	-
7. Tanpa penguat dinding	-	*	*	-
8. Ijuk	-	*	*	-
9. Pipa beton bertulang	-	-	*	-
10. Batu kali ukuran 20 cm seragam	-	-	-	*
11. Puing batu merah ukuran ¼ batu bersih dari serpihan adukan dan bahan organik	-	-	-	*

Sumber : (Anonim, 1995)

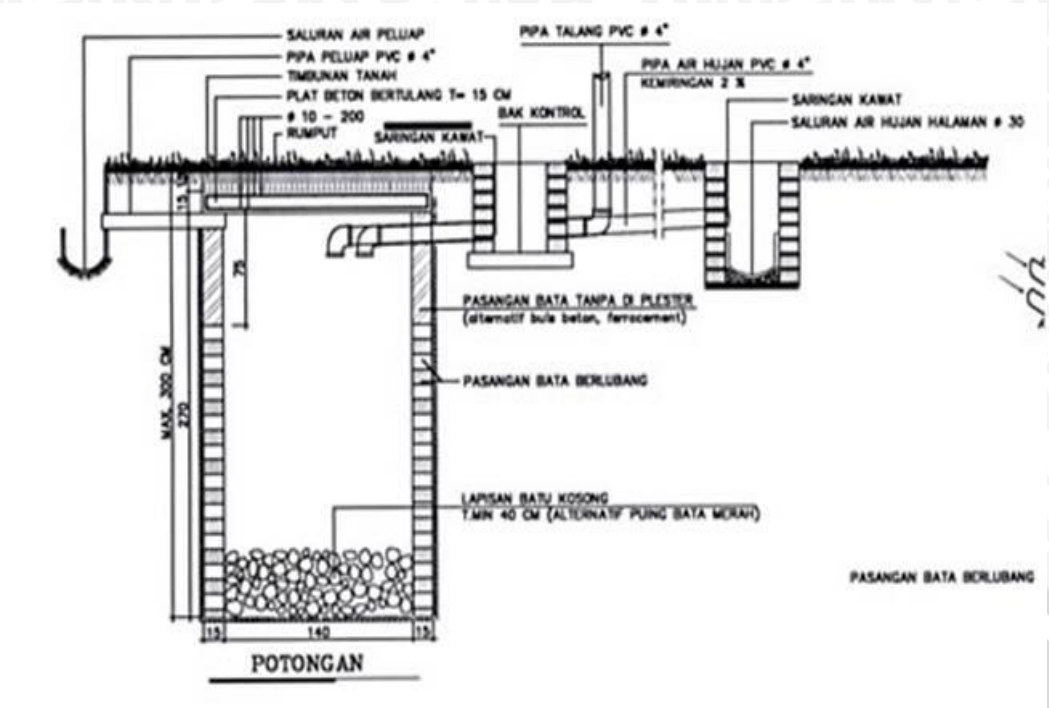
Gambar sumur resapan dengan pasangan buis beton, denah, potongan, dan isometri sumur resapan dapat dilihat pada **gambar 2.21** – **2.24** berikut ini.



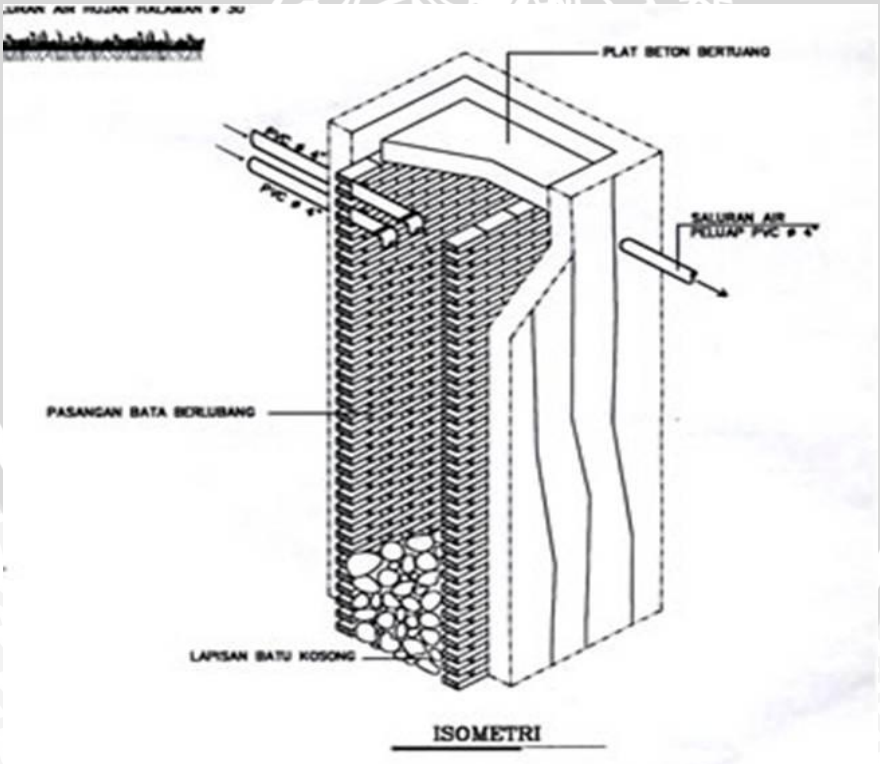
Gambar 2.21 Sumur Resapan dengan Pasangan Buis Beton



Gambar 2.22 Denah Sumur Resapan Air Hujan



Gambar 2.23 Potongan Sumur Resapan



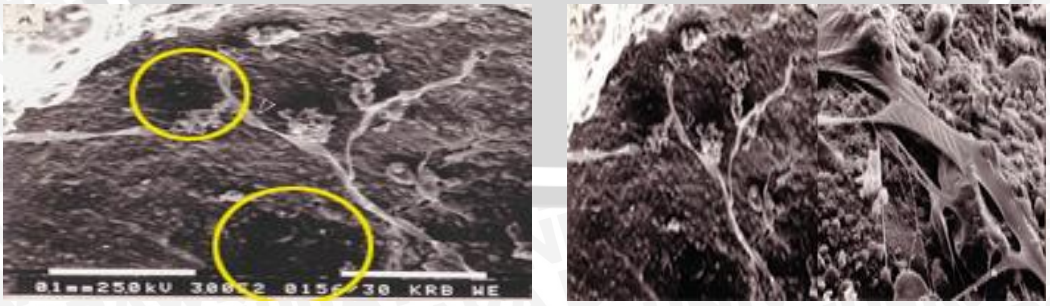
Gambar 2.24 Isometri Sumur Resapan

2.8.4 Lubang Resapan *Biopori*

Salah satu cara yang dapat ditempuh untuk mencegah mengalirnya air hujan ke selokan yang kemudian terbuang percuma ke laut lepas adalah dengan pembuatan lubang *biopori* resapan atau LBR. Arti definisi dan pengertian lubang *biopori* menurut organisasi.org adalah lubang yang dengan diameter 10 – 30 cm dengan panjang 30 – 100 cm yang ditutupi sampah organik yang berfungsi untuk menjebak air yang mengalir di sekitarnya sehingga dapat menjadi sumber cadangan air bagi air bawah tanah, tumbuhan di sekitarnya serta dapat juga membantu pelapukan sampah organik menjadi kompos yang bisa dipakai untuk pupuk tumbuh-tumbuhan.

Teknologi *biopori* dicetuskan oleh Ir. Kamir R. Brata, Msc dari Institut Pertanian Bogor (IPB) ini memanfaatkan aktifitas organisme kecil dan sejumlah mikroorganisme untuk menguraikan sampah organik di dalam lubang. Makhluk-makhluk yang hampir tidak pernah hadir dalam ruang sadar kita ini membuat lubang-lubang kecil di dinding lubang selama proses penguraian. Dalam waktu 2-4 minggu, proses penguraian menghasilkan pupuk yang berguna sebagai nutrisi tanaman dan menyehatkan tanah.

Lubang resapan *biopori* adalah lubang silindris yang dibuat vertikal ke dalam tanah dengan diameter 10 cm dan kedalaman sekitar 100 cm, atau dalam kasus tanah dengan permukaan air tanah dangkal, tidak sampai melebihi kedalaman muka air tanah. Lubang diisi dengan sampah organik untuk memicu terbentuknya *biopori*. *Biopori* adalah pori-pori berbentuk lubang (terowongan kecil) yang dibuat oleh aktivitas fauna tanah atau akar tanaman (**gambar 2.25**), pada gambar tersebut lingkaran kuning bagian atas merupakan lubang yang terbentuk oleh cacing, dan lingkaran kuning bagian bawah terbentuk akibat aktifitas akar tanaman.



(a) Lubang yang Dibuat oleh Aktifitas Fauna Tanah

(b) Lubang yang Dibuat oleh Akar Tanaman

Gambar 2.25 Lubang Resapan *Biopori*

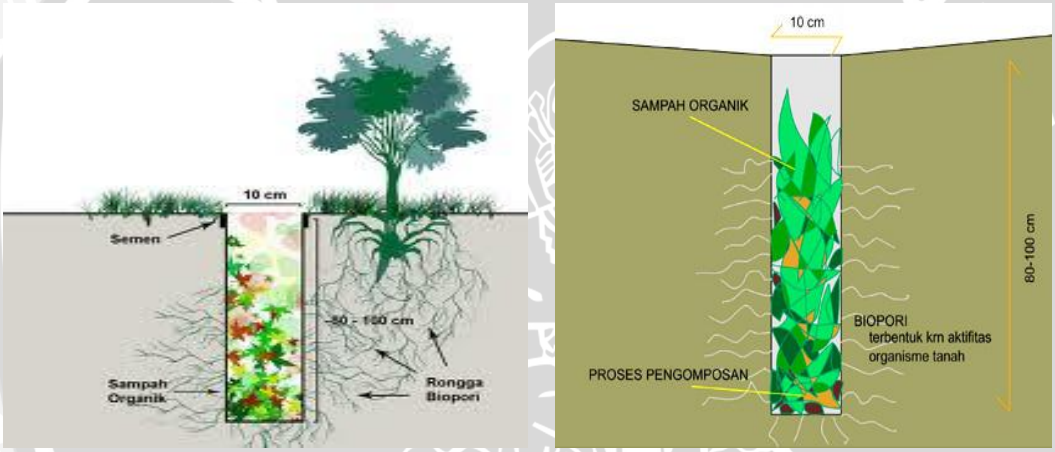
- Beberapa manfaat / peranan lubang resapan *biopori* (LRB) yaitu :
  1. Memaksimalkan air yang meresap ke dalam tanah.
  2. Menambah cadangan air tanah.
  3. Membuat kompos alami dari sampah organik daripada dibakar.
  4. Mengurangi genangan air yang menimbulkan penyakit.
  5. Mengurangi air hujan yang dibuang percuma ke laut.
  6. Mengurangi resiko banjir di musim hujan.
  7. Maksimalisasi peran dan aktivitas flora dan fauna tanah.
  8. Mencegah terjadinya erosi tanah dan bencana tanah longsor.

- Cara Pembuatan Lubang Biopori Resapan Air :
  1. Membuat lubang silindris di tanah dengan diameter 10 – 30 cm dan kedalaman 30 – 100 cm serta jarak antar lubang 50 – 100 cm.
  2. Mulut lubang dapat dikuatkan dengan semen setebal 2 cm dan lebar 2 – 3 centimeter serta diberikan pengaman agar tidak ada anak kecil atau orang yang terperosok.
  3. Lubang diisi dengan sampah organik seperti daun, sampah dapur, ranting pohon, sampah makanan dapur non kimia, dsb. Sampah dalam lubang akan menyusut sehingga perlu diisi kembali dan di akhir musim kemarau dapat dikuras sebagai pupuk kompos alami.
  4. Jumlah lubang biopori yang ada sebaiknya dihitung berdasarkan besar kecil hujan, laju resapan air dan wilayah yang tidak meresap air dengan rumus = intensitas hujan (mm/jam) x luas bidang kedap air (meter persegi) / laju resapan air perlubang (liter / jam).

- Tempat yang dapat dibuat / dipasang lubang biopori resapan air :
  1. Pada alas saluran air hujan di sekitar rumah, kantor, sekolah, dsb.
  2. Di sekeliling pohon.
  3. Pada tanah kosong antar tanaman / batas tanaman.

Gambar lubang resapan *biopori*, penampang lubang resapan *biopori*, dan kegiatan pembuatan lubang resapan *biopori* dapat dilihat pada **gambar 2.26** – **gambar 2.28** berikut.

Gambar 2.26 Lubang Resapan *Biopori*



Gambar 2.27 Penampang Lubang Resapan *Biopori*

Gambar 2.28 Kegiatan Pembuatan Lubang Resapan *Biopori*