

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Muliawati dkk. (2015) melakukan penelitian mengenai Perencanaan Penerapan Sistem Drainase Berwawasan Lingkungan (Eko-Drainase) Menggunakan Sumur Resapan di Kawasan Rungkut. Metode yang digunakan dalam perencanaan adalah perhitungan analisis hidrologi, analisis hidrolika, dan penentuan banyaknya sumur resapan menggunakan metode perhitungan sumur resapan berdasarkan SNI 03:2453:2002. Hasil dari penelitian tersebut diperoleh jumlah sumur resapan yang diperlukan sebanyak 282 buah sumur resapan. Sumur resapan direncanakan tipikal untuk semua titik dan akan ditempatkan pada wilayah tangkapan air dari saluran drainase yang terjadi genangan. Satu buah sumur resapan direncanakan memiliki luas 4 m^2 dengan kapasitas resapan sebesar $0,0032 \text{ m}^3/\text{detik}$ – $0,044 \text{ m}^3/\text{detik}$.

Penelitian yang sama dilakukan juga oleh Pradiko dkk. (2017) di Kawasan Bandung Utara. Pradiko dkk, menggunakan model penerapan drainase berwawasan lingkungan dengan skala individu. Metode yang digunakan hampir sama dengan Penelitian Muliawati dkk. (2015) namun berbeda pada perhitungan sumur resapan. Pradiko dkk, menghasilkan sumur resapan A berdiameter 0,8 m dengan kedalaman 15 m yang memiliki kemampuan resap $0,0244 \text{ m}^3/\text{det}$. Kemudian sumur resapan B berdiameter 1,2 m dengan kedalaman 10 m yang memiliki kemampuan resap $0,0181 \text{ m}^3/\text{det}$. Sumur resapan tersebut dibuat untuk dapat menampung limpasan air hujan pada periode ulang 20 tahun, sehingga konsep *zero runoff* dapat diterapkan untuk Kawasan Bandung Utara.

Penelitian lain dilakukan juga oleh Ardiyana dkk. (2016) di Perumahan Sawojajar Kota Malang. Selain merencanakan sumur resapan, direncanakan juga bioretensi dan perkerasan permeabel. Jika dibandingkan dengan penelitian Pradiko dkk. (2017) perbedaan metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah adanya pemodelan limpasan hujan kala ulang 5 tahun menggunakan instrumen *Storm Water Management Model (SWMM)*. Pemodelan tersebut membandingkan kondisi

jaringan drainase sebelum dan sesudah penerapan sumur resapan, bioretensi, dan perkerasan permeabel. Hasil simulasi menunjukkan kapasitas saluran drainase eksisting tidak mampu menampung hujan kala ulang 5 tahun, mengakibatkan genangan di 25 titik. Berdasarkan penerapan *eco drain* tersebut diperoleh hasil bahwa sumur resapan mereduksi 23,41% debit limpasan, perkerasan permeabel 14,02%, sedangkan bioretensi 0,1%.

Nugraha (2014) melakukan penelitian yang sama di Sekitar Jalan Meranti – Tanjung Kampus IPB Darmaga, Bogor. Metode yang digunakan dalam perencanaan sumur resapan sama dengan yang digunakan oleh Muliawati dkk. (2015). Selain merencanakan sumur resapan, Nugraha juga merencanakan rorak dan memperhitungkan Rencana Anggaran Biaya (RAB) serta desain bangunan resapan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, Nugraha memperoleh besarnya volume andil banjir total di daerah tersebut sebesar 6.911,47 m³. Namun, dengan penerapan bangunan resapan mampu mengurangi volume andil banjir total sebesar 5.006,25 m³ atau 72,43%.

Selain menggunakan sumur resapan sebagai penerapan sistem drainase berwawasan lingkungan, Utami (2016) menggunakan perencanaan lubang resapan biopori untuk Kawasan Kecamatan Taman Sari. Metode yang digunakan dalam perencanaan adalah menghitung terlebih dahulu intensitas hujan, debit limpasan, koefisien permeabilitas, faktor geometrik, dan jumlah lubang resapan biopori. Berdasarkan penelitian diperoleh nilai koefisien permeabilitas di Kecamatan Taman Sari yaitu 10⁻⁴ dan faktor geometrik 2,35. Hasil penelitian yang diperoleh yaitu jumlah lubang resapan biopori yang diterapkan di Kecamatan Taman Sari sebanyak 10.846 buah, dengan diameter lubang 10 cm, tinggi air tiap lubang 90 cm, dan jarak antar lubang 100 cm. Hasil seluruh debit air yang meresap kedalam lubang resapan biopori yaitu 2,544 m³/s. Dengan total debit limpasan 14,953 m³/s dan total debit resapan 2,544 m³/s maka didapat total air yang masuk dalam saluran yaitu 12,402 m³/s.

Rochman dkk. (2015) melakukan penelitian yang sama di Kelurahan Sendang, Lebak, Bandung, Truko, Kecamatan Bringin, Kabupaten Semarang. Metode yang digunakan Rochman dkk dalam perencanaan lubang resapan biopori

sama dengan metode yang digunakan oleh Utami (2016). Rochman dkk juga melakukan perencanaan parit infiltrasi dan rorak. Metode yang digunakan dalam perencanaan adalah Metode Sunjoto. Hasil yang diperoleh dari penelitian tersebut adalah debit air hujan yang masuk ke saluran sebesar $16.918 \text{ m}^3/\text{s}$, selanjutnya dengan menerapkan bangunan peresapan debit yang terserap sebesar $16.817 \text{ m}^3/\text{s}$, dan sisa debit yang dibuang ke saluran sebesar $0,102 \text{ m}^3/\text{s}$. Lubang resapan biopori yang direncanakan berjumlah 29.459 lubang, parit infiltrasi direncanakan dengan panjang total 29.438,270 m, dan rorak direncanakan dengan jumlah total 8.254 buah.

Penelitian serupa dilakukan oleh Kamila dkk. (2014) berlokasi di Kelurahan Jatisari, Kecamatan Mijen, Kota Semarang. Kamila dkk dalam penelitian yang dilakukan melakukan perencanaan *eco drain* berupa lubang resapan biopori, sumur resapan, parit infiltrasi, serta rorak. Metode yang digunakan dalam perencanaan lubang resapan biopori sama dengan metode yang digunakan oleh Utami (2016) dan Rochman dkk. (2015). Perencanaan sumur resapan, parit infiltrasi, dan rorak menggunakan Metode Sunjoto. Penelitian ini memperoleh hasil bahwa debit air hujan yang masuk ke saluran sebesar $8.643 \text{ m}^3/\text{s}$, kemudian dengan menerapkan bangunan peresapan total debit yang terserap adalah $4.419 \text{ m}^3/\text{s}$, dan sisa debit yang masuk ke saluran drainase adalah $4.224 \text{ m}^3/\text{s}$.

Selain itu, penelitian mengenai parit infiltrasi dilakukan juga oleh Abdulgani (2015). Penelitian tersebut dilakukan pada tipikal rumah tipe 54/120 yang berlokasi di Jalan Tentara Pelajar, Desa Kebulen, Kecamatan Indramayu, Kabupaten Indramayu. Metode yang digunakan dalam perencanaan parit infiltrasi sama dengan metode yang digunakan oleh Rochman dkk. (2015). Berdasarkan penelitian tersebut diperoleh dimensi parit resapan berukuran panjang 2,2 meter, lebar 0,5 meter dengan kedalaman 0,8 meter. Dengan adanya parit infiltrasi berisi material tersebut dapat mengurangi debit air hujan sebesar $0,131 \text{ m}^3/\text{detik}$ sehingga efisiensi pengurangan debit sebesar 46,45 %.

Berbeda dengan Fakhruroji (2016) yang melakukan penelitian mengenai Pemetaan Tingkat Kerawanan Banjir Kota Pangkalpinang Berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG). Metode yang digunakan dalam melakukan analisis

adalah pembobotan dan skoring menggunakan *software* ArcGIS. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Fakhruroji mendapatkan hasil berupa potensi air banjir Kota Pangkalpinang terbagi menjadi empat kelas yaitu kelas kurang potensi sebesar 3042,511 Hektar (Ha) (29,392%); cukup potensi sebesar 3713,543 Ha (35,875%); kelas potensi sebesar 3587,359 Ha (34,656%), dan kelas sangat potensi sebesar 7,911 Ha (0,076%). Kemudian daerah rawan banjir Kota Pangkalpinang terbagi menjadi empat kelas yaitu daerah kurang rawan sebesar 848,410 Ha (8,204%); cukup rawan sebesar 1172,528 Ha (11,338%); rawan sebesar 4318,315 Ha (41,575%), dan sangat rawan sebesar 4002,327 Ha (38,701%).

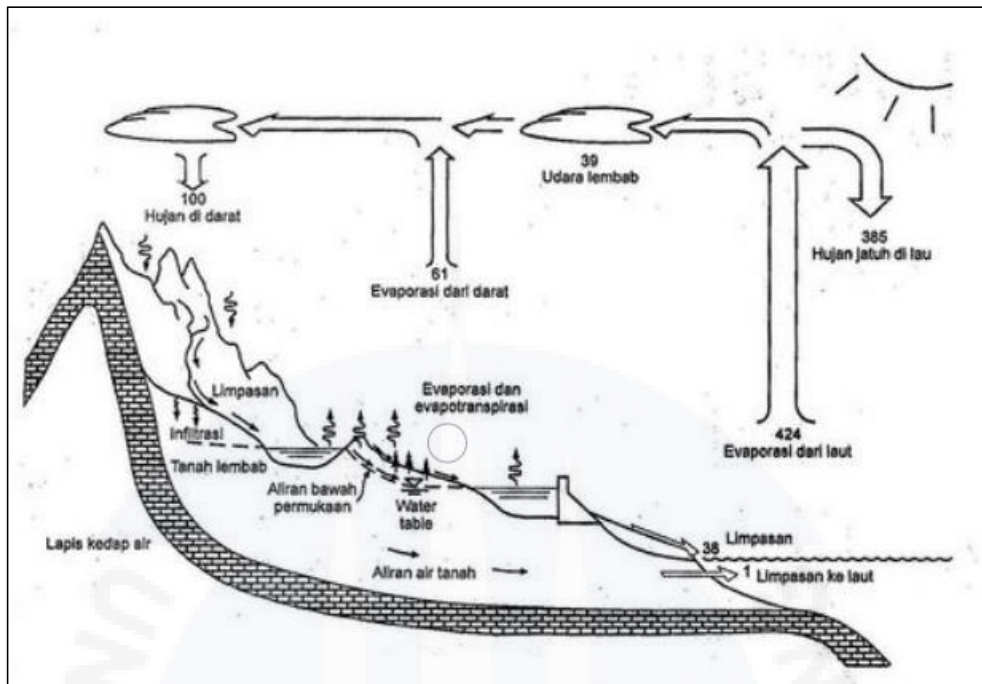
2.2 Landasan Teori

2.2.1 Siklus Hidrologi

Siklus hidrologi merupakan proses kontinu dimana air bergerak dari bumi ke atmosfer kemudian kembali ke bumi lagi. Siklus hidrologi dapat dilihat pada Gambar 2.1. Neraca air tahunan diberikan dalam nilai relatif terhadap hujan yang jatuh di daratan. Air di permukaan tanah, sungai, danau, dan laut menguap ke udara. Uap air tersebut bergerak dan naik ke atmosfer, yang kemudian mengalami kondensasi dan berubah menjadi titik-titik air yang berbentuk awan. Selanjutnya titik-titik air tersebut jatuh sebagai hujan ke permukaan laut dan daratan. Hujan yang jatuh sebagian tertahan oleh tumbuh-tumbuhan (*intersepsi*) dan selebihnya sampai ke permukaan tanah. Sebagian air hujan yang sampai ke permukaan tanah akan meresap ke dalam tanah (*infiltrasi*) dan sebagian lainnya mengalir di atas permukaan tanah (*aliran permukaan* atau *surface runoff*) mengisi cekungan tanah, danau, dan masuk ke sungai dan akhirnya mengalir ke laut. Air yang meresap ke dalam tanah sebagian mengalir di dalam tanah (*perkolasi*) mengisi air tanah yang kemudian keluar sebagai mata air atau mengalir ke sungai. Akhirnya aliran air di sungai akan sampai ke laut. Proses tersebut berlangsung terus menerus yang disebut dengan siklus hidrologi (Triatmodjo, 2010).

Dalam kaitannya dengan perencanaan drainase, komponen dalam siklus hidrologi yang terpenting adalah aliran permukaan. Oleh karena itu, komponen

iniilah yang ditangani secara baik untuk menghindari berbagai bencana, khususnya bencana banjir (Suripin, 2004).



Sumber: Triatmodjo, 2010

Gambar 2.1 Siklus hidrologi

2.2.2 Presipitasi

Presipitasi adalah istilah umum untuk menyatakan uap air yang mengondensasi dan jatuh dari atmosfer ke bumi dalam segala bentuknya dalam rangkaian siklus hidrologi. Jika air yang jatuh berbentuk cair disebut hujan (*rainfall*) dan jika berupa padat disebut salju (*snow*) (Suripin, 2004).

Hujan merupakan faktor terpenting dalam analisis hidrologi. Intensitas hujan yang tinggi pada suatu kawasan hunian yang kecil dapat mengakibatkan genangan pada jalan-jalan, tempat parkir, dan tempat-tempat lainnya karena fasilitas drainase tidak didesain untuk mengalirkan air akibat intensitas hujan yang tinggi. Hujan lebat juga dapat mengakibatkan kerusakan tanaman. Sebaliknya, tidak ada hujan untuk jangka lama dapat berakibat mengecilnya aliran sungai dan turunnya air waduk dan danau. Pendek kata, hujan dengan kejadian ekstrem, baik ekstrem tinggi maupun ekstrem rendah, dapat menimbulkan bencana bagi makhluk di bumi (Suripin, 2004).

Analisis dan desain hidrologi tidak hanya memerlukan volume atau ketinggian hujan, tetapi juga distribusi hujan terhadap tempat dan waktu. Distribusi hujan terhadap waktu disebut *hyetograph*. Dengan kata lain, *hyetograph* adalah grafik intensitas hujan atau ketinggian hujan terhadap waktu (Suripin, 2004).

Kejadian hujan dapat dipisahkan menjadi dua grup, yaitu hujan aktual dan hujan rencana. Kejadian hujan aktual adalah rangkaian data pengukuran di stasiun hujan selama periode tertentu. Hujan rencana adalah *hyetograph* hujan yang mempunyai karakteristik terpilih. Hujan rencana bukan kejadian hujan yang diukur secara aktual dan kenyataannya, hujan yang identik dengan hujan rencana tidak pernah dan tidak akan pernah terjadi. Namun demikian, kebanyakan hujan rencana mempunyai karakteristik yang secara umum sama dengan karakteristik hujan yang terjadi pada masa lalu. Dengan demikian, menggambarkan karakteristik umum kejadian hujan yang diharapkan terjadi pada masa mendatang. Karakteristik hujan yang perlu ditinjau dalam analisis dan perencanaan hidrologi meliputi intensitas, lama waktu (durasi), tinggi hujan, frekuensi, dan luas daerah geografis daerah sebaran hujan. Secara kualitatif, intensitas curah hujan disebut juga derajat curah hujan, sebagaimana diperlihatkan dalam tabel berikut (Suripin, 2004).

Tabel 2.1 Derajat curah hujan dan intensitas curah hujan

Derajat curah hujan	Intensitas curah hujan (mm/jam)	Kondisi
Hujan sangat lemah	< 1,20	Tanah agak basah atau dibasahi sedikit
Hujan lemah	1,20 – 3,00	Tanah menjadi basah semuanya, tetapi sulit membuat puddel
Hujan normal	3,00 – 18,0	Dapat dibuat puddel dan bunyi hujan kedengaran
Hujan deras	18,0 – 60,0	Air tergenang di seluruh permukaan tanah dan bunyi keras hujan terdengar berasal dari genangan
Hujan sangat deras	> 60,0	Hujan seperti ditumpahkan, sehingga saluran dan drainase meluap

Sumber: Suripin, 2004

2.2.2.1 Analisis Frekuensi

Tujuan dari analisis frekuensi data hidrologi adalah berkaitan dengan besaran peristiwa-peristiwa ekstrim yang berkaitan dengan frekuensi kejadiannya melalui penerapan distribusi kemungkinan. Frekuensi hujan adalah besarnya

kemungkinan suatu besaran hujan disamai atau dilampaui. Sebaliknya, kala ulang (*return period*) adalah waktu hipotetik dimana hujan dengan suatu besaran tertentu akan disamai atau dilampaui. Dalam hal ini tidak terkandung pengertian bahwa kejadian tersebut akan berulang secara teratur setiap kala ulang tersebut. Misalnya, hujan dengan kala ulang 10 tahunan, tidak berarti akan terjadi sekali setiap 10 tahun akan tetapi ada kemungkinan dalam jangka 1000 tahun akan terjadi 100 kali kejadian hujan 10 tahunan. Ada kemungkinan selama kurun waktu 10 tahun terjadi hujan 10 tahunan lebih dari satu kali, sebaliknya tidak terjadi sama sekali. Dalam analisis frekuensi, hasil yang diperoleh tergantung pada kualitas dan panjang data. Makin pendek data yang tersedia, makin besar penyimpangan yang terjadi (Suripin, 2004).

Data yang digunakan untuk analisis frekuensi dapat dibedakan menjadi dua tipe yaitu *partial duration series* dan *annual maximum series*. Penggunaan *partial duration series* apabila jumlah data kurang dari 10 tahun data runtut waktu. *Partial duration series* yang juga disebut dengan (*Peaks Over Threshold*, POT) adalah rangkaian data debit banjir/hujan yang besarnya diatas suatu nilai batas bawah tertentu. Dengan demikian dalam satu tahun bisa terdapat lebih dari satu data yang digunakan dalam analisis. Dari setiap tahun data dipilih 2 sampai 5 data tertinggi. Sedangkan *annual maximum series* digunakan apabila tersedia data debit atau data hujan minimal 10 tahun data runtut waktu. Tipe ini adalah dengan memilih satu data maksimum setiap tahun. Dalam satu tahun hanya ada satu data. Dengan cara ini, data terbesar kedua dalam suatu tahun yang mungkin lebih besar dari data maksimum pada tahun yang lain tidak diperhitungkan (Triatmodjo, 2010).

2.2.2.2 Distribusi Probabilitas

Dalam analisis frekuensi data hujan atau data debit guna memperoleh nilai hujan rencana atau debit rencana, dikenal beberapa distribusi probabilitas kontinu yang sering digunakan, yaitu Gumbel, Normal, Log Normal, dan Log Pearson III. Penentuan jenis distribusi probabilitas yang sesuai dengan data dilakukan dengan mencocokkan parameter data tersebut dengan syarat masing-masing jenis distribusi seperti pada Tabel 2.2 (Kamiana, 2011).

Tabel 2.2 Persyaratan parameter statistik suatu distribusi

No	Distribusi	Persyaratan
1	Gumbel	$C_s = 1,14$ $C_k = 5,4$
2	Normal	$C_s \approx 0$ $C_k \approx 3$
3	Log Normal	$C_s = C_v^3 + 3C_v$ $C_k = C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3$
4	Log Pearson III	Selain dari nilai diatas

Sumber: Kamiana, 2011

Keterangan Tabel 2.2:

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^i (x_i - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)s^3} \dots\dots\dots(2.1)$$

$$C_k = \frac{n^2 \sum_{i=1}^i (x_i - \bar{x})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)(s)^4} \dots\dots\dots(2.2)$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan rumus:

C_s = koefisien kemencengan

C_k = koefisien kurtosis

\bar{x} = rata-rata

S = standar deviasi

x_i = data hujan atau debit ke- i

n = jumlah data

Adapun perhitungan hujan rencana berdasarkan distribusi pada Tabel 2.2 adalah:

1. Distribusi Probabilitas Gumbel

$$x_T = \bar{x} + s \cdot K_s \dots\dots\dots(2.5)$$

$$K_s = \frac{Y_t - Y_n}{S_n} \dots\dots\dots (2.6)$$

2. Distribusi Probabilitas Normal

$$x_T = \bar{x} + K_T \cdot s \dots\dots\dots (2.7)$$

3. Distribusi Probabilitas Log Normal

$$\log x_T = \overline{\log x} + K_T \cdot s \log x \dots\dots\dots (2.8)$$

$$\overline{\log x} = \frac{\sum_{i=1}^n \log x_i}{n} \dots\dots\dots (2.9)$$

$$s \log x = \frac{\sum_{i=1}^n (\log x_i - \overline{\log x})^2}{n-1} \dots\dots\dots (2.10)$$

4. Distribusi Probabilitas Log Pearson Tipe III

$$\log x_T = \overline{\log x} + K_{TP} \cdot s \log x \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan rumus:

x_T = hujan rencana atau debit dengan periode ulang T

\bar{x} = nilai rata-rata dari data hujan (mm)

s = standar deviasi dari data hujan (mm)

K_s = faktor Frekuensi Gumbel

Y_t = *reduced variate* (lihat Tabel 2.3)

S_n = *reduced standard deviasi* (lihat Tabel 2.4)

Y_n = *reduced mean* (lihat Tabel 2.4)

K_T = faktor frekuensi, nilainya bergantung dari T (lihat Tabel 2.5)

$\log x_T$ = nilai logaritmik hujan rencana dengan periode ulang T

$\log x_i$ = nilai logaritmik data hujan

$\overline{\log x}$ = nilai rata-rata dari $\log x$

$s \log x$ = deviasi standar dari $\log x$

K_{TP} = variabel standar, besarnya bergantung koefisien kemencengan (C_s atau G), (lihat Lampiran 1)

Tabel 2.3 Nilai *reduced variate* (Y_t)

Periode ulang T (tahun)	Y_t
2	0,3065
5	1,4999
10	2,2504
20	2,9702
25	3,1255
50	3,9019
100	4,6001

Sumber: Kamiana, 2011

Tabel 2.4 Nilai *reduced standart deviation* (S_n) dan nilai *reduced mean* (Y_n)

n	S_n	Y_n	n	S_n	Y_n
10	0,9497	0,4952	60	1,1750	0,5521
15	1,0210	0,5128	70	1,1850	0,5548
20	1,0630	0,5236	80	1,1940	0,5567
25	1,0910	0,5390	90	1,2010	0,5586
30	1,1120	0,5362	100	1,2060	0,5600
35	1,1280	0,5403	20	1,2360	0,5672
40	1,1410	0,5436	500	1,2590	0,5724
45	1,1520	0,5463	1000	1,2690	0,5745
50	1,1610	0,5485			

Sumber: Kamiana, 2011

Tabel 2.5 Nilai variabel reduksi Gauss

No	Periode ulang, T (tahun)	K_T
1	1,001	-3,05
2	1,005	-2,58
3	1,010	-2,33
4	1,050	-1,64
5	1,110	-1,28
6	1,250	-0,84
7	1,330	-0,67
8	1,430	-0,52
9	1,670	-0,25
10	2,000	0
11	2,500	0,25
12	3,330	0,52
13	4,000	0,67
14	5,000	0,84
15	10,000	1,28
16	20,000	1,64
17	50,000	2,05
18	100,000	2,33
19	200,000	2,58
20	500,000	2,88

No	Periode ulang, T (tahun)	K_T
21	1000,000	3,09

Sumber: Kamiana, 2011

2.2.2.3 Uji Distribusi Probabilitas

Uji distribusi probabilitas dimaksudkan untuk mengetahui apakah persamaan distribusi probabilitas yang dipilih dapat mewakili distribusi statistik sampel data yang dianalisis. Terdapat dua metode pengujian distribusi probabilitas, yaitu Metode Khi-Kuadrat (χ^2) dan Metode Smirnov-Kolmogorov (Kamiana, 2011).

1. Metode Khi-Kuadrat (χ^2)

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(O_f - E_f)^2}{E_f} \dots \dots \dots (2.12)$$

Keterangan rumus:

- χ^2 = parameter Khi-Kuadrat terhitung
- E_f = frekuensi yang diharapkan sesuai dengan pembagian kelasnya
- O_f = frekuensi yang diamati pada kelas yang sama
- n_k = jumlah sub kelompok

Derajat nyata atau derajat kepercayaan (α) tertentu yang sering diambil adalah 5 %. Derajat kebebasan (D_k) dihitung dengan rumus:

$$D_k = K_D - (P + 1) \dots \dots \dots (2.13)$$

$$K_D = 1 + 3,3 \log n \dots \dots \dots (2.14)$$

Keterangan rumus:

- D_k = derajat kebebasan
- P = banyaknya parameter, untuk uji Khi-Kuadrat adalah 2
- K_D = jumlah kelas distribusi
- n = banyaknya data

Selanjutnya distribusi probabilitas yang dipakai untuk menentukan curah hujan rencana adalah distribusi probabilitas yang mempunyai simpangan

maksimum terkecil dan lebih kecil dari simpangan kritis, atau dirumuskan sebagai berikut:

$$\chi^2 < \chi_{cr}^2 \dots\dots\dots(2.15)$$

Keterangan rumus:

χ_{cr}^2 = parameter Khi-Kuadrat kritis (lihat Lampiran 1)

2. Metode Smirnov Kolmogorov

$$P(x_i) = \frac{n+1}{i} \dots\dots\dots(2.16)$$

$$\Delta P_i = P(x_i) - P'(x_i) \dots\dots\dots(2.17)$$

Keterangan rumus:

$P(x_i)$ = peluang empiris

$P'(x_i)$ = peluang teoritis

n = jumlah data

i = nomor urut data

ΔP_i = selisih antara peluang empiris dan teoritis

Selanjutnya distribusi probabilitas yang dipilih dinyatakan diterima apabila memenuhi syarat berikut:

$$\Delta P_i < \Delta P_{kritis} \dots\dots\dots(2.18)$$

Keterangan rumus:

ΔP_{kritis} = selisih antara peluang empiris dan teoritis kritis (lihat Tabel 2.6)

Tabel 2.6 Nilai ΔP_{kritis} Smirnov-Kolmogorov

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

N	α (derajat kepercayaan)			
	0,20	0,10	0,05	0,01
45	0,16	0,18	0,20	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23
N > 50	$\frac{1,07}{N^{0,5}}$	$\frac{1,22}{N^{0,5}}$	$\frac{1,36}{N^{0,5}}$	$\frac{1,63}{N^{0,5}}$

Sumber: Kamiana, 2011

2.2.3 Limpasan (*Run off*)

Dalam perencanaan drainase, bagian air hujan yang menjadi perhatian adalah aliran permukaan (*surface runoff*), sedangkan untuk pengendalian banjir tidak hanya aliran permukaan, tetapi limpasan (*runoff*). Limpasan merupakan gabungan antara aliran permukaan, aliran-aliran yang tertunda pada cekungan-cekungan, dan aliran bawah permukaan (*subsurface flow*) (Suripin, 2004).

2.2.3.1 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Limpasan

Menurut Suripin (2004) aliran pada saluran atau sungai tergantung dari beberapa faktor secara bersamaan. Dalam kaitannya dengan limpasan, faktor yang berpengaruh secara umum dapat dikelompokkan menjadi dua kelompok, yaitu faktor meteorologi dan karakteristik daerah tangkapan saluran atau Daerah Aliran Sungai (DAS).

1. Faktor meteorologi

Faktor-faktor meteorologi yang berpengaruh pada limpasan terutama adalah karakteristik hujan, yang meliputi:

1). Intensitas hujan

Pengaruh intensitas hujan terhadap limpasan permukaan sangat tergantung pada laju infiltrasi. Jika intensitas hujan melebihi laju infiltrasi, maka akan terjadi limpasan permukaan sejalan dengan peningkatan intensitas curah hujan. Namun demikian, peningkatan limpasan permukaan tidak selalu sebanding dengan peningkatan intensitas hujan karena adanya penggenangan di permukaan tanah. Intensitas hujan berpengaruh pada debit maupun volume limpasan.

2). Durasi hujan

Total limpasan dari suatu hujan berkaitan langsung dengan durasi hujan dengan intensitas tertentu. Setiap DAS mempunyai satuan durasi hujan atau

lama hujan kritis. Jika hujan yang terjadi lamanya kurang dari lama hujan kritis, maka lamanya limpasan akan sama dan tidak tergantung pada intensitas hujan.

3). Distribusi curah hujan

Laju dan volume limpasan dipengaruhi oleh distribusi dan intensitas hujan di seluruh DAS. Secara umum, laju dan volume limpasan maksimum terjadi jika seluruh DAS telah memberi kontribusi aliran. Namun demikian, hujan dengan intensitas tinggi pada sebagian DAS dapat menghasilkan limpasan yang lebih besar dibandingkan dengan hujan biasa yang meliputi seluruh DAS.

2. Karakteristik DAS

Karakteristik DAS yang berpengaruh besar pada aliran permukaan meliputi:

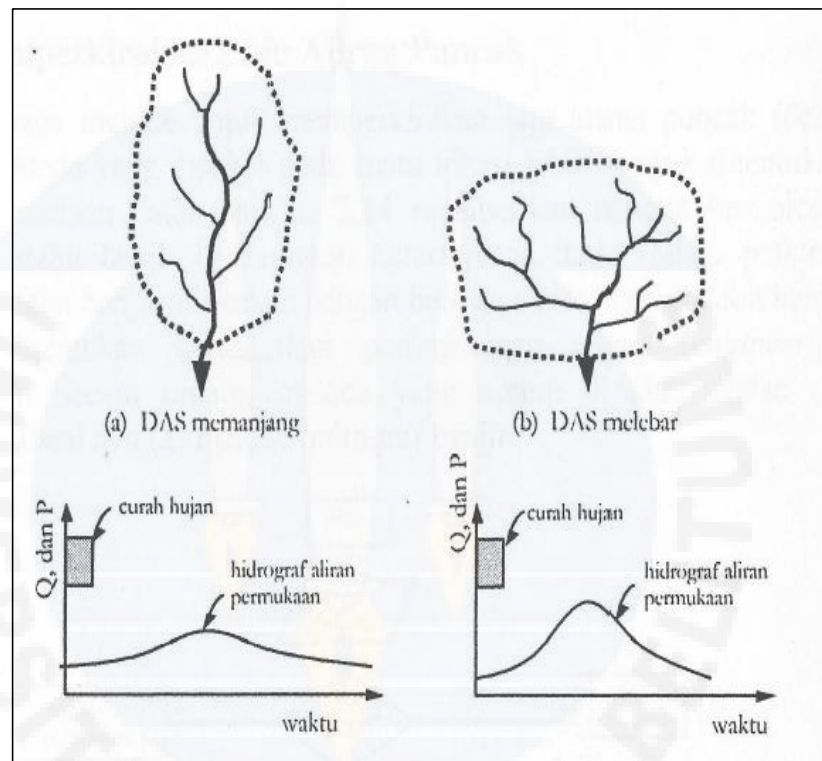
1). Luas dan bentuk DAS

Laju dan volume aliran permukaan makin bertambah besar dengan bertambahnya luas DAS. Tetapi, apabila aliran permukaan tidak dinyatakan sebagai jumlah total dari DAS, melainkan sebagai laju dan volume per satuan luas, besarnya akan berkurang dengan bertambahnya luas DAS. Ini berkaitan dengan waktu yang diperlukan air untuk mengalir dari titik terjauh sampai ke titik kontrol (waktu konsentrasi) dan juga penyebaran atau intensitas hujan.

Bentuk DAS mempunyai pengaruh pada pola aliran dalam sungai. Pengaruh bentuk DAS terhadap aliran permukaan dapat ditunjukkan dengan memperhatikan hidrograf-hidrograf yang terjadi pada dua buah DAS yang bentuknya berbeda namun mempunyai luas yang sama dan menerima intensitas hujan yang sama dapat dilihat pada Gambar 2.2.

Bentuk DAS memanjang dan sempit cenderung menghasilkan laju aliran permukaan yang lebih kecil dibandingkan dengan DAS yang berbentuk melebar atau melingkar. Hal ini terjadi karena waktu konsentrasi DAS yang memanjang lebih lama dibandingkan dengan DAS melebar, sehingga terjadinya konsentrasi air di titik kontrol lebih lambat yang berpengaruh pada laju dan volume aliran permukaan. Faktor bentuk juga dapat berpengaruh pada aliran permukaan apabila hujan yang terjadi tidak serentak di seluruh

DAS, tetapi bergerak dari ujung yang satu ke ujung lainnya, misalnya dari hilir ke hulu DAS. Pada DAS memanjang laju aliran akan lebih kecil karena aliran permukaan akibat hujan di hulu belum memberikan kontribusi pada titik kontrol ketika aliran permukaan dari hujan di hilir telah habis, atau mengecil. Sebaliknya pada DAS melebar, datangnya aliran permukaan dari semua titik di DAS tidak terpaud banyak, artinya air dari hulu sudah tiba sebelum aliran dari hilir mengecil/habis.



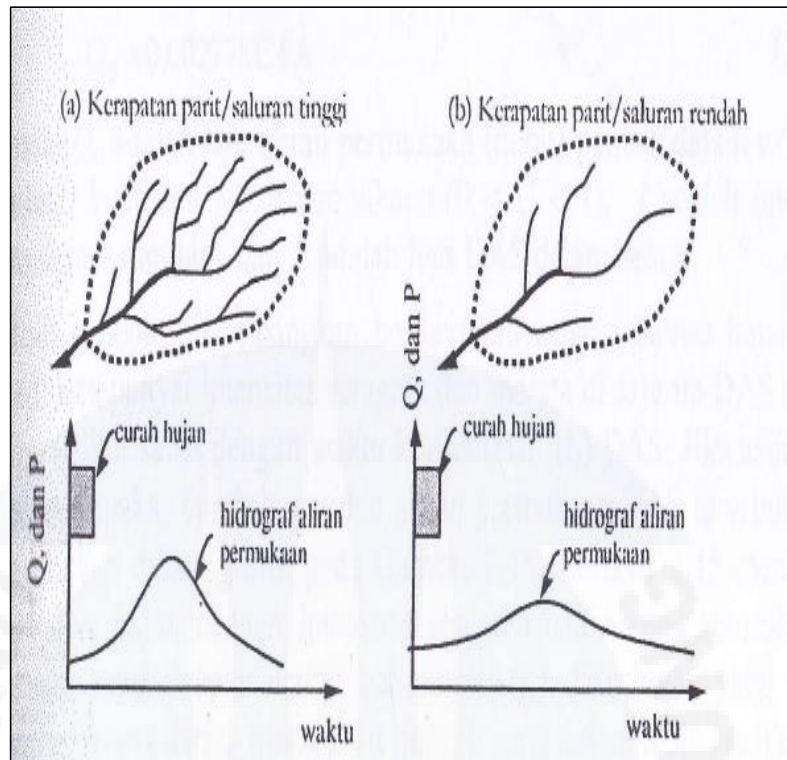
Sumber: Suripin, 2004

Gambar 2.2 Pengaruh bentuk DAS pada aliran permukaan

2). Topografi

Tampakan rupa muka bumi atau topografi seperti kemiringan lahan, keadaan dan kerapatan parit dan/atau saluran, dan bentuk-bentuk cekungan lainnya mempunyai pengaruh pada laju dan volume aliran permukaan. DAS dengan kemiringan curam disertai parit/saluran yang rapat akan menghasilkan laju dan volume aliran permukaan yang lebih tinggi dibandingkan dengan DAS yang landai dengan parit yang jarang dan adanya cekungan-cekungan. Pengaruh kerapatan parit, yaitu panjang parit per satuan

luas DAS, pada aliran permukaan adalah memperpendek waktu konsentrasi, sehingga memperbesar laju aliran permukaan (Gambar 2.3).



Sumber: Suripin, 2004

Gambar 2.3 Pengaruh kerapatan parit/saluran pada hidrograf aliran permukaan

3). Tata guna lahan

Pengaruh tata guna lahan pada aliran permukaan dinyatakan dalam koefisien aliran permukaan (C), yaitu bilangan yang menunjukkan perbandingan antara besarnya aliran permukaan dan besarnya curah hujan. Angka koefisien aliran permukaan ini merupakan salah satu indikator untuk menentukan kondisi fisik suatu DAS. Nilai C berkisar antara 0 sampai 1. Nilai $C = 0$ menunjukkan bahwa semua air hujan terintersepsi dan terinfiltrasi ke dalam tanah, sebaliknya untuk nilai $C = 1$ menunjukkan bahwa semua air hujan mengalir sebagai aliran permukaan. Pada DAS yang masih baik, harga C mendekati nol dan semakin rusak suatu DAS, maka harga C makin mendekati satu.

2.2.3.2 Laju Aliran Permukaan Puncak

Ada beberapa metode untuk memperkirakan laju aliran puncak (debit banjir). Metode yang digunakan pada suatu lokasi lebih banyak ditentukan oleh ketersediaan data. Dalam praktek, perkiraan debit banjir dilakukan dengan beberapa metode dan debit banjir rencana ditentukan berdasarkan pertimbangan teknis (*engineering judgment*) (Suripin, 2004). Beberapa metode yang dapat digunakan adalah sebagai berikut:

1. Metode Rasional

Bersadarkan Kamiana (2011) Metode Rasional merupakan rumus yang tertua dan yang terkenal di antara rumus-rumus empiris. Metode Rasional dapat digunakan untuk menghitung debit puncak sungai atau saluran namun dengan daerah pengaliran yang terbatas.

Dalam Suripin (2004), Goldman menyatakan bahwa Metode Rasional dapat digunakan untuk daerah pengaliran < 300 Ha. Dalam Triadmodjo (2008), Ponce menyatakan bahwa Metode Rasional dapat digunakan untuk daerah pengaliran < 2,5 Km². Dalam Departemen PU, SK SNI M-18-1989-F (1989), dijelaskan bahwa Metode Rasional dapat digunakan untuk ukuran daerah pengaliran < 5000 Ha.

Dalam Asdak (2002), dijelaskan jika ukuran daerah pengaliran > 300 Ha, maka ukuran daerah pengaliran perlu dibagi menjadi beberapa bagian sub daerah pengaliran kemudian Rumus Rasional diaplikasikan pada masing-masing sub daerah pengaliran.

Dalam Montarcih (2009) dijelaskan jika ukuran daerah pengaliran > 5000 Ha maka koefisien pengaliran (*C*) bisa dipecah-pecah sesuai tata guna lahan dan luas lahan yang bersangkutan. Dalam Suripin (2004) dijelaskan penggunaan Metode Rasional pada daerah pengaliran dengan beberapa sub daerah pengaliran dapat dilakukan dengan pendekatan nilai *C* gabungan atau *C* rata-rata dan intensitas hujan dihitung berdasarkan waktu konsentrasi yang terpanjang.

$$Q_R = 0,278 \cdot C \cdot I \cdot A_{DAS} \dots\dots\dots (2.19)$$

dimana:

$$Q_R = \text{laju aliran permukaan (debit) puncak (m}^3\text{/detik)}$$

C = koefisien aliran permukaan

I = intensitas hujan (mm/jam)

A_{DAS} = luas DAS (km²)

Metode Rasional USSCS (1973) di atas dikembangkan berdasarkan asumsi sebagai berikut (Kamiana, 2011):

- 1). Hujan yang terjadi mempunyai intensitas seragam dan merata di seluruh daerah pengaliran selama paling sedikit sama dengan waktu konsentrasi (t_c) daerah pengaliran.
- 2). Periode ulang debit sama dengan periode ulang hujan.
- 3). Koefisien pengaliran dari daerah pengaliran yang sama adalah tetap untuk berbagai periode ulang.

Besarnya nilai t_c dapat dihitung dengan Rumus Kirpich (1940) sebagai berikut:

$$t_c = \left(\frac{0,87 \cdot L^2}{1000 \cdot S} \right)^{0,385} \dots\dots\dots (2.20)$$

dimana:

t_c = waktu konsentrasi (jam)

L = panjang lintasan air dari titik terjauh sampai titik yang ditinjau (km)

S = kemiringan rata-rata daerah lintasan air

Apabila data hujan jangka pendek tidak tersedia, yang ada hanya data hujan harian, maka intensitas hujan dapat dihitung dengan rumus Mononobe (Suripin, 2004).

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots (2.21)$$

dimana:

I = intensitas hujan (mm/jam)

t = lamanya hujan (jam)

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

Faktor utama yang mempengaruhi C adalah laju infiltrasi tanah atau persentase lahan kedap air, kemiringan lahan, tanaman penutup tanah, dan

intensitas hujan. Permukaan kedap air, seperti perkerasan aspal dan atap bangunan, akan menghasilkan aliran hampir 100% setelah permukaan menjadi basah, seberapapun kemiringannya. Faktor lain yang mempengaruhi nilai *C* adalah air tanah, derajat kepadatan tanah, porositas tanah, dan simpanan depresi (Suripin, 2004).

Tabel 2.7 Koefisien aliran *C*

Tipe daerah aliran	<i>C</i>
Rerumputan	
Tanah pasir, datar, 2%	0,05 – 0,10
Tanah pasir, sedang, 2-7%	0,10 – 0,15
Tanah pasir, curam, 7%	0,15 – 0,20
Tanah gemuk, datar, 2%	0,13 – 0,17
Tanah gemuk, sedang, 2-7%	0,18 – 0,22
Tanah gemuk, curam, 7%	0,25 - 0,35
Perdagangan	
Daerah kota lama	0,75 – 0,95
Daerah pinggiran	0,50 – 0,70
Perumahan	
Daerah <i>single family</i>	0,30 – 0,50
<i>Multy unit</i> terpisah	0,40 – 0,60
<i>Multy unit</i> tertutup	0,60 – 0,75
Sub urban	0,25 – 0,40
Daerah apartmen	0,50 – 0,70
Taman, kuburan	0,10 – 0,25
Tempat bermain	0,20 – 0,35
Halaman kereta api	0,20 – 0,40
Daerah tidak dikerjakan	0,10 – 0,30
Jalan	
Beraspal	0,70 – 0,95
Beton	0,80 – 0,95
batu	0,70 – 0,85
Atap	0,75 – 0,95

Sumber: Triatmodjo, 2010

Tabel 2.7 tersebut menggambarkan nilai *C* untuk penggunaan lahan yang seragam, dimana kondisi ini sangat jarang dijumpai untuk lahan yang relatif luas. Jika DAS terdiri dari berbagai macam penggunaan lahan dengan koefisien aliran permukaan yang berbeda, maka *C* yang dipakai adalah koefisien DAS yang dapat dihitung dengan persamaan berikut (Suripin, 2004):

$$C_{DAS} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \dots\dots\dots (2.22)$$

dimana:

C_{DAS} = koefisien aliran permukaan DAS

A_i = luas lahan dengan jenis penutup lahan ke-i

C_i = koefisien aliran permukaan jenis penutup lahan ke-i

N = jumlah jenis penutup lahan

i = 1, 2, 3, ..., n

2. Metode Melchior

Herison dkk. (2018) menyatakan bahwa Metode Melchior digunakan untuk memperkirakan debit banjir rancangan untuk DAS yang luasnya lebih dari 100 km². Metode Melchior yang berlaku untuk daerah pengaliran di luar wilayah Jakarta secara umum dirumuskan sebagai berikut (Kamiana,2011):

$$Q_{\max} = \alpha \cdot I_M \cdot A \cdot \frac{r}{200} \dots\dots\dots (2.23)$$

Keterangan rumus:

Q_{\max} = debit maksimum (m³/dt)

α = koefisien pengaliran

β = koefisien reduksi

I_M = intensitas hujan (m³/dt/km²)

A = luas daerah pengaliran (km²)

1).Menentukan α

Melchior menetapkan koefisien pengaliran (α) sebagai angka perbandingan antara limpasan dan curah hujan total, yang besarnya tergantung dari kemiringan, vegetasi, keadaan tanah, temperatur angin penguapan, dan lama hujan. Pada umumnya koefisien pengaliran ini bernilai antara 0,42 – 0,62 (Kamiana,2011).

2).Menentukan β

Koefisien reduksi (β), ditentukan dengan rumus:

$$\beta = \beta_1 \cdot \beta_2 \dots\dots\dots (2.24)$$

Nilai β_1 , ditentukan berdasarkan rumus:

$$F_M = \frac{1970}{\beta_1 - 0,12} - 3960 + (1720 \cdot \beta_1) \dots\dots\dots(2.25)$$

Dengan:

F_M = luas elips yang mengelilingi daerah aliran sungai dengan sumbu panjang (a) tidak lebih dari 1,5 kali pendek (b). Besaran F dinyatakan dalam Km^2 , dan nilainya > luas daerah pengaliran (A).

β_2 = ditentukan berdasarkan hubungan antara F dan lama hujan (lihat Tabel 2.8).

Tabel 2.8 Persentase β_2 menurut Melchior

F (Km²)	Lama hujan, t (jam)										
	1	2	3	4	5	6	8	10	12	16	24
0	44	64	80	89	92	92	93	94	95	96	100
10	37	57	70	80	82	84	87	90	91	95	100
50	29	45	57	66	70	74	79	83	88	94	100
300	20	33	43	52	57	61	69	77	85	93	100
~	12	23	32	42	50	54	66	74	83	92	100

Sumber: Kamiana, 2011

3). Menentukan nilai I_M

Intensitas hujan (I_M) ditentukan dengan rumus:

$$I_M = \frac{10 \cdot \beta \cdot R_{24maksimum}}{36 \cdot t_{cM}} \dots\dots\dots(2.26)$$

$$t_{cM} = \frac{10 \cdot L_M}{36 \cdot V} \dots\dots\dots(2.27)$$

$$V = 1,31 \cdot (Q_M \cdot S_M^2)^{0,2} \dots\dots\dots(2.28)$$

Keterangan rumus:

R_{24} = hujan harian (mm)

t_{cM} = waktu konsentrasi (jam)

V = kecepatan rata-rata aliran (m/detik)

$Q_M = \beta_1 \cdot I_{coba} \cdot F_M$ ($m^3/detik$)

$S_M = \text{kemiringan rata-rata sungai} = \frac{H}{0,9 \cdot L_M}$

H = beda tinggi antara tinggi titik pengamatan dan titik terjauh sungai (Km)

L_M = panjang sungai utama (Km)

3. Metode Weduwen

Metode Weduwen khusus digunakan untuk menghitung debit banjir dengan luas DAS kurang dari 100 km² (Herison dkk, 2018). Metode Weduwen yang digunakan untuk menghitung debit maksimum di daerah pengaliran di Jakarta dirumuskan sebagai berikut (Kamiana,2011):

$$Q_{maksJakarta} = \alpha_W \cdot \beta_W \cdot I_W \cdot A \dots\dots\dots(2.29)$$

Keterangan rumus:

$Q_{maksJakarta}$ = debit maksimum (m³/dt)

α_W = koefisien pengaliran

β_W = koefisien reduksi

I_W = intensitas hujan (m³/dt/Km²)

A = luas daerah pengaliran (Km²)

Koefisien pengaliran (α_W) ditentukan dengan rumus:

$$\alpha_W = 1 \cdot \frac{4,1}{I_W + 7} \dots\dots\dots(2.30)$$

Koefisien reduksi (β_W) ditentukan dengan rumus:

$$\beta_W = \frac{120 + \frac{t+1}{t+9} \cdot A}{120 + A} \dots\dots\dots(2.31)$$

Lamanya hujan (t dalam satuan jam) ditentukan dengan rumus:

$$t = \frac{0,476 \cdot A^{3/8}}{(\alpha_W \cdot \beta_W \cdot I_W)^{1/8} \cdot (S_W)^{1/4}} \dots\dots\dots(2.32)$$

Dengan S_W adalah kemiringan dasar sungai rata-rata.

Nilai intensitas hujan maksimum dengan kala ulang 70 tahun ditentukan dengan rumus:

$$I_W = \frac{(2,4 \cdot t) + 300}{(6 \cdot t) + 7} \dots\dots\dots(2.33)$$

Jika luas daerah pengaliran kurang dari atau sama dengan 100 Km² dan lama hujan kurang dari sama dengan 12 jam, maka nilai I_W dihitung dengan rumus:

$$I_W = \frac{7,74}{t + 1,45} \dots\dots\dots(2.34)$$

Curah hujan dengan periode ulang i tahun (R_i) dihitung dengan rumus:

$$R_i = \frac{m_i}{m_n} \cdot R_n \dots\dots\dots(2.35)$$

Debit maksimum dengan periode ulang i tahun (Q_i) untuk daerah pengaliran di luar Jakarta dihitung dengan rumus:

$$Q_i = Q_{maksJakarta} \cdot \frac{R_i}{R_{70}} = Q_{maksJakarta} \cdot \frac{R_i}{240} \dots\dots\dots(2.36)$$

4. Metode Haspers

Metode Haspers yang digunakan untuk menghitung debit maksimum dirumuskan sebagai berikut (Kamiana,2011):

$$Q_{maks} = \alpha_H \cdot \beta_H \cdot I_H \cdot A \dots\dots\dots(2.37)$$

Keterangan rumus:

Q_{maks} = debit maksimum (m³/dt)

α_H = koefisien pengaliran

β_H = koefisien reduksi

I_H = intensitas hujan (m³/dt/Km²)

A = luas daerah pengaliran (Km²)

Koefisien pengaliran (α_H) ditentukan dengan rumus:

$$\alpha_H = \frac{1 + 0,012 \cdot A^{0,7}}{1 + 0,075 \cdot A^{0,7}} \dots\dots\dots(2.38)$$

Koefisien reduksi (β_H) ditentukan dengan rumus:

$$\frac{1}{\beta_H} = 1 + \frac{1 + 3,7 \cdot 10^{0,4 \cdot t_H}}{t_H^2 + 15} \cdot \frac{A^{3/4}}{12} \dots\dots\dots(2.39)$$

Waktu konsentrasi (t_{cH}) ditentukan dengan rumus:

$$t_{cH} = 0,1 \cdot L_H^{0,8} \cdot S_H^{-0,3} \dots\dots\dots (2.40)$$

Keterangan rumus:

L_H = panjang sungai utama (Km)

S_H = kemiringan dasar sungai rata-rata

Besarnya curah hujan (r dalam satuan mm) untuk lama hujan tertentu ($t_H = t_{cH}$ dalam satuan jam) dan hujan harian maksimum (R_{24} dalam satuan mm) dirumuskan sebagai berikut:

1). Untuk $t_H < 2$ jam

$$r = \frac{t_H \cdot R_{24}}{t_H + 1 - 0,0008 \cdot (260 - R_{24}) \cdot (2 - t_H)^2} \dots\dots\dots (2.41)$$

2). Untuk $2 \text{ jam} < t_H < 19$ jam

$$r = \frac{t_H \cdot R_{24}}{t_H + 1} \dots\dots\dots (2.42)$$

3). Untuk $19 \text{ jam} < t_H < 30$ hari

$$r = 0,707 \cdot R_{24} \cdot (t_H + 1)^{1/2} \dots\dots\dots (2.43)$$

Besarnya intensitas hujan (I_H dalam satuan $m^3/dt/Km^2$) ditentukan berdasarkan hubungan antara r (mm) dan t_H (jam) dengan rumus:

$$I_H = \frac{r}{3,6 \cdot t_H} \dots\dots\dots (2.44)$$

2.2.4 Drainase

2.2.4.1 Pengertian Drainase

Drainase yang berasal dari bahasa inggris *drainage* mempunyai arti mengalirkan, menguras, membuang, atau mengalihkan air. Dalam bidang teknik sipil, drainase secara umum dapat didefinisikan sebagai suatu tindakan teknis untuk mengurangi kelebihan air, baik yang berasal dari air hujan, rembesan, maupun kelebihan air irigasi dari suatu kawasan atau lahan, sehingga fungsi kawasan atau lahan tidak terganggu. Drainase dapat juga diartikan sebagai usaha untuk mengontrol kualitas air tanah dalam kaitannya dengan salinitas. Jadi, drainase menyangkut tidak hanya air permukaan tapi juga air tanah (Suripin, 2004).

Secara umum, sistem drainase dapat 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. Dirunut dari hulunya, bangunan sistem drainase terdiri dari saluran penerima (*interceptor drain*), saluran pengumpul (*collector drain*), saluran pembawa (*conveyor drain*), saluran induk (*main drain*), dan badan air penerima (*receiving waters*). Disepanjang sistem sering dijumpai bangunan lainnya, seperti gorong-gorong, siphon, jembatan air (*aqueduct*), pelimpah, pintu-pintu air, bangunan terjun, kolam tando, dan sistem pompa. Pada sistem yang lengkap, sebelum masuk ke badan air penerima, air diolah dahulu di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL), khususnya untuk sistem tercampur. Hanya air yang telah memenuhi baku mutu tertentu yang dimasukkan ke badan air penerima, sehingga tidak merusak lingkungan (Suripin, 2004).

2.2.4.2 Jenis Drainase

Berdasarkan Wesli (2008), jenis drainase dibedakan menjadi enam. Enam jenis drainase tersebut dikelompokkan menurut cara terbentuknya, sistem pengalirannya, tujuan atau sasaran pembuatannya, tata letaknya, fungsinya, dan konstruksinya.

1. Drainase berdasarkan cara terbentuknya

Jenis drainase ditinjau berdasarkan cara terbentuknya, dapat dikelompokkan menjadi drainase alamiah (*natural drainage*) dan drainase buatan (*artificial drainage*). Drainase alamiah (*natural drainage*) adalah drainase yang terbentuk melalui proses alamiah yang berlangsung lama. Saluran drainase terbentuk akibat gerusan air sesuai dengan kontur tanah. Umumnya drainase alamiah ini berupa sungai beserta anak-anak sungainya yang membentuk suatu jaringan alur sungai. Sedangkan drainase buatan (*artificial drainage*) adalah sistem yang dibuat dengan maksud tertentu dan merupakan hasil rekayasa berdasarkan hasil hitungan-hitungan yang dilakukan untuk upaya penyempurnaan atau melengkapi kekurangan sistem drainase alamiah. Pada sistem drainase buatan memerlukan biaya baik pada perencanaannya maupun pada pembuatannya.

2. Drainase berdasarkan sistem pengalirannya

Jenis drainase ditinjau berdasarkan sistem pengalirannya, dapat dikelompokkan menjadi drainase dengan sistem jaringan dan drainase dengan sistem resapan. Drainase dengan sistem jaringan adalah suatu sistem pengeringan atau pengaliran air pada suatu kawasan yang dilakukan dengan mengalirkan air melalui sistem tata saluran dengan bangunan-bangunan pelengkapannya. Sedangkan drainase dengan sistem resapan adalah sistem pengeringan atau pengaliran air yang dilakukan dengan meresapkan air ke dalam tanah. Cara resapan ini dapat dilakukan langsung terhadap genangan air di permukaan tanah ke dalam tanah atau melalui sumuran / saluran resapan. Sistem resapan ini sangat menguntungkan bagi usaha konservasi air.

3. Drainase berdasarkan tujuan / sasarannya

Jenis drainase berdasarkan tujuan / sasarannya dapat dikelompokkan menjadi drainase perkotaan, drainase daerah pertanian, drainase lapangan terbang, drainase jalan raya, drainase jalan kereta api, drainase pada tanggul dan dam, drainase lapangan olahraga, drainase untuk keindahan kota, drainase untuk kesehatan lingkungan, dan drainase untuk penambahan areal.

4. Drainase berdasarkan tata letaknya

Jenis drainase berdasarkan tata letaknya terbagi menjadi dua, yaitu drainase permukaan tanah (*surface drainage*) dan drainase bawah permukaan tanah (*subsurface drainage*). Drainase permukaan tanah (*surface drainage*) adalah sistem drainase yang salurannya berada di atas permukaan tanah. Pengaliran air terjadi karena adanya beda tinggi permukaan saluran (*slope*). Sedangkan drainase bawah permukaan tanah (*subsurface drainage*) adalah sistem drainase yang dialirkan di bawah tanah (ditanam) biasanya karena sisi artistik atau pada suatu areal yang tidak memungkinkan untuk mengalirkan air di atas permukaan tanah seperti pada lapangan olah raga, lapangan terbang, taman, dan lainnya.

5. Drainase berdasarkan fungsinya

Jenis drainase ditinjau berdasarkan fungsinya terbagi menjadi dua macam, yaitu drainase *single purpose* dan drainase *multy purpose*. Drainase *single purpose* adalah saluran drainase yang berfungsi mengalirkan satu jenis air buangan misalnya

air hujan atau air limbah atau lainnya. Selanjutnya drainase *multy purpose* adalah saluran drainase yang berfungsi mengalirkan lebih dari satu air buangan baik secara bercampur maupun bergantian misalnya campuran air hujan dan air limbah.

6. Drainase berdasarkan konstruksinya

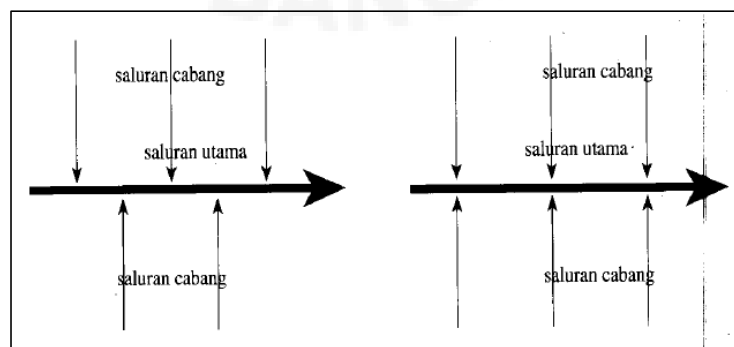
Jika dikelompokkan berdasarkan fungsinya, drainase terbagi menjadi dua jenis yaitu saluran terbuka dan saluran tertutup. Drainase saluran terbuka adalah sistem saluran yang permukaan airnya terpengaruh dengan udara luar (atmosfer). Drainase saluran terbuka biasanya mempunyai luasan yang cukup dan digunakan untuk mengalirkan air hujan atau air limbah yang tidak membahayakan kesehatan lingkungan dan tidak mengganggu keindahan. Sedangkan drainase saluran tertutup adalah sistem saluran yang permukaan airnya tidak terpengaruh dengan udara luar (atmosfer). Drainase saluran tertutup sering digunakan untuk mengalirkan air limbah atau air kotor yang mengganggu kesehatan lingkungan dan mengganggu keindahan.

2.2.4.3 Pola Jaringan Drainase

Berdasarkan Wesli (2008), pada sistem jaringan drainase terdiri dari beberapa saluran yang saling berhubungan sehingga membentuk suatu pola jaringan. Bentuk pola jaringan drainase tersebut dapat dibedakan sebagai berikut:

1. Pola siku

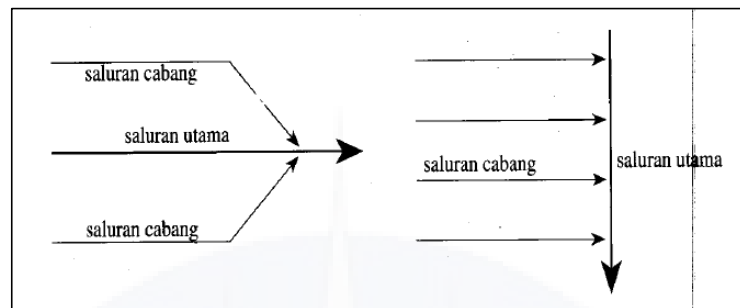
Pola siku adalah suatu pola dimana saluran cabang membentuk siku-siku pada saluran utama seperti diperlihatkan pada Gambar 2.4. Pola siku biasanya dibuat pada daerah yang mempunyai topografi sedikit lebih tinggi dari pada sungai dimana sungai merupakan saluran pembuang utama berada di tengah kota.



Gambar 2.4 Pola jaringan siku

2. Pola paralel

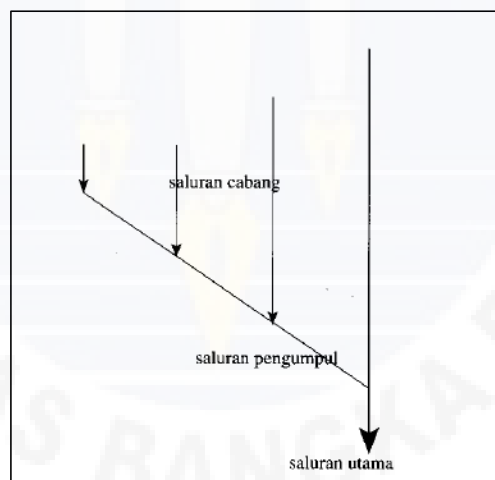
Pola paralel adalah suatu pola dimana saluran utama terletak sejajar dengan saluran cabang yang pada bagian akhir saluran cabang dibelokkan menuju saluran utama. Pada pola paralel saluran cabang cukup banyak dan pendek-pendek.



Gambar 2.5 Pola jaringan paralel

3. Pola *grid iron*

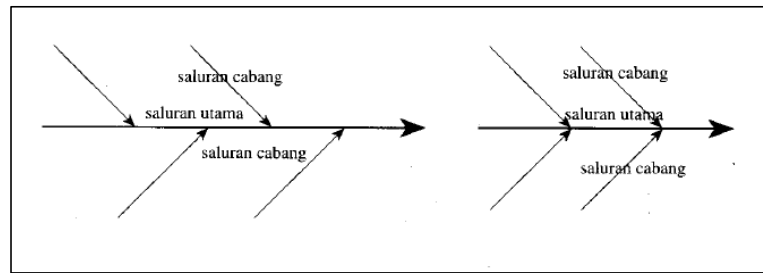
Pola *grid iron* merupakan pola jaringan drainase dimana sungai terletak di pinggiran kota. Sehingga saluran-saluran cabang dikumpulkan dulu pada saluran pengumpul kemudian dialirkan pada sungai seperti diperlihatkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Pola jaringan *grid iron*

4. Pola alamiah

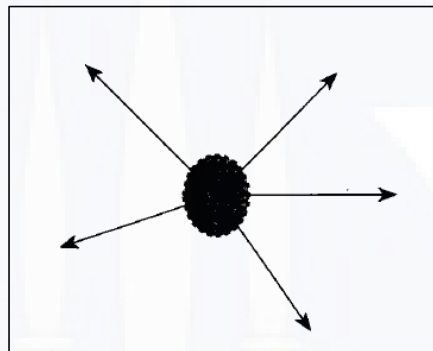
Pola alamiah adalah suatu pola jaringan drainase yang hampir sama dengan pola siku, dimana sungai sebagai saluran utama berada di tengah kota namun jaringan saluran cabang tidak selalu berbentuk siku terhadap saluran utama (sungai). Pola jaringan alamiah dapat dilihat pada Gambar 2.7 berikut.



Gambar 2.7 Pola jaringan alamiah

5. Pola radial

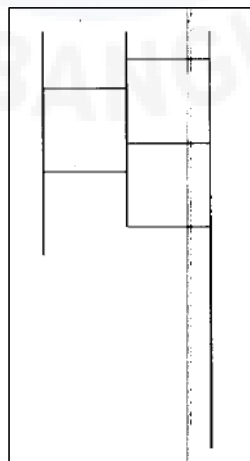
Pola radial adalah pola jaringan drainase yang mengalirkan air dari pusat sumber air memancar ke berbagai arah, pola ini sangat cocok digunakan pada daerah yang berbukit.



Gambar 2.8 Pola jaringan radial

6. Pola jaring-jaring

Pola jaring-jaring adalah pola drainase yang mempunyai saluran-saluran pembuang mengikuti arah jalan raya. Pola ini sangat cocok untuk daerah yang topografinya datar.



Gambar 2.9 Pola jaringan jaring-jaring

2.2.5 Eco Drain

Berdasarkan Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Cipta Karya dalam Tata Cara Penyusunan Rencana Induk Sistem Drainase Perkotaan yang dipublikasikan pada tahun 2012, drainase perkotaan berwawasan lingkungan (*eco drain*) adalah prasarana drainase di wilayah kota yang berfungsi mengelola / mengendalikan air permukaan (limpasan air hujan) sehingga tidak menimbulkan masalah genangan, banjir dan kekeringan bagi masyarakat serta bermanfaat bagi kelestarian lingkungan hidup.

2.2.5.1 Konsep Drainase Berwawasan Lingkungan (*Eco Drain*)

Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 12/PRT/M/2014 tentang Penyelenggaraan Sistem Drainase Perkotaan, dijelaskan mengenai konsep drainase berwawasan lingkungan (*eco drain*) sebagai berikut.

1. Drainase pengatusan

Konsep drainase yang dulu dipakai di Indonesia (paradigma lama) adalah drainase pengatusan yaitu mengataskan air kelebihan (utamanya air hujan) ke badan air terdekat. Air kelebihan secepatnya dialirkan ke saluran drainase, kemudian ke sungai dan akhirnya ke laut, sehingga tidak menimbulkan genangan atau banjir. Konsep pengatusan ini masih dipraktekkan masyarakat sampai sekarang. Pada setiap proyek drainase, dilakukan upaya untuk membuat alur-alur saluran pembuangan dari titik genangan ke arah sungai dengan kemiringan yang cukup untuk membuang sesegera mungkin air genangan tersebut. Drainase pengatusan semacam ini adalah drainase yang lahir sebelum pola pikir komprehensif berkembang, dimana masalah genangan, banjir, kekeringan, dan kerusakan lingkungan masih dipandang sebagai masalah lokal dan sektoral yang bisa diselesaikan secara lokal dan sektoral pula tanpa melihat kondisi sumber daya air dan lingkungan di hulu, tengah, dan hilir secara komprehensif.

2. Drainase ramah lingkungan (ekodrainase / *eco drain*)

Dengan perkembangan berpikir komprehensif serta didorong oleh semangat antisipasi perubahan iklim yang dewasa ini terjadi, maka diperlukan perubahan konsep drainase menuju ke drainase ramah lingkungan atau eko-

drainase atau *eco drain* (paradigma baru). Drainase ramah lingkungan didefinisikan sebagai upaya untuk mengelola air kelebihan (air hujan) dengan berbagai metode diantaranya dengan menampung melalui bak tendon air untuk langsung bisa digunakan, menampung dalam tampungan buatan atau badan air alamiah, meresapkan, dan mengalirkan ke sungai terdekat tanpa menambah beban pada sungai yang bersangkutan serta senantiasa memelihara sistem tersebut sehingga berdaya guna secara berkelanjutan.

Dengan konsep drainase ramah lingkungan tersebut, maka kelebihan air hujan tidak secepatnya dibuang ke sungai terdekat. Namun air hujan tersebut dapat disimpan di berbagai lokasi di wilayah yang bersangkutan dengan berbagai macam cara, sehingga dapat langsung dimanfaatkan atau dimanfaatkan pada musim berikutnya, dapat digunakan untuk mengisi / konservasi air tanah, dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas ekosistem dan lingkungan, dan dapat digunakan sebagai sarana untuk mengurangi genangan dan banjir yang ada. Dengan drainase ramah lingkungan, maka kemungkinan banjir / genangan di lokasi yang bersangkutan, banjir di hilir serta kekeringan di hulu dapat dikurangi. Hal ini karena sebagian besar kelebihan air hujan ditahan atau diresapkan baik bagian hulu, tengah, maupun hilir. Demikian juga longsor dibagian hulu akan berkurang karena fluktuasi lengas tanah tidak ekstrim dan perubahan iklim yang ada di daerah tengah dan hulu dan beberapa daerah hilir tidak terjadi dengan tersedianya air yang cukup, lengas tanah yang cukup maka flora dan fauna di daerah tersebut akan tumbuh lebih baik. Hal ini dapat mengurangi terjadinya perubahan iklim mikro maupun makro di wilayah yang bersangkutan.

3. Drainase ramah lingkungan dan perubahan iklim

Konsep drainase ramah lingkungan ini merupakan suatu konsep yang ke depan sangat diperlukan dan erat kaitannya dengan perubahan iklim. Perubahan iklim ditandai dengan kenaikan muka air laut, kenaikan temperatur udara, perubahan durasi dan intensitas hujan, perubahan arah angin, dan perubahan kelembaban udara. Dampak perubahan iklim bisa diantisipasi dengan pembangunan drainase yang berwawasan lingkungan. Jadi dapat disimpulkan bahwa reformasi drainase yang diperlukan adalah membalikkan pola pikir

masyarakat dan pengambilan keputusan serta akademisi, bahwa apa yang dilakukan masyarakat, pemerintah termasuk para akademisi yang mengembangkan drainase pangatusan, justru sebenarnya bersifat destruktif, yaitu meningkatkan banjir di hilir kekeringan di hulu dan tengah, dan penurunan muka air tanah serta dampak ikutan lainnya. Hal ini justru akan meningkatkan perubahan iklim global.

Oleh karena itu perlu dikampanyekan drainase ramah lingkungan, yaitu drainase yang mengelola air kelebihan (air hujan) dengan cara ditampung untuk dipakai sebagai sumber air bersih, menjaga lengas tanah dan meningkatkan kualitas ekologi, diresapkan ke dalam tanah untuk meningkatkan cadangan air tanah, dialirkan atau diataskan untuk menghindari genangan serta dipelihara agar berdaya guna secara berkelanjutan.

Konsep drainase konvensional (paradigma lama) adalah upaya membuang atau mengalirkan air kelebihan secepatnya ke sungai terdekat. Dalam konsep drainase konvensional, seluruh air hujan yang jatuh di suatu wilayah harus secepatnya dibuang ke sungai dan seterusnya ke laut. Dampak dari konsep ini adalah kekeringan terjadi dimana-mana, banjir, dan juga longsor. Dampak selanjutnya adalah kerusakan ekosistem, perubahan iklim mikro dan makro serta tanah longsor di berbagai tempat yang disebabkan oleh fluktuasi kandungan air tanah pada musim kering dan musim basah yang sangat tinggi.

Konsep drainase baru (paradigma baru) yang biasa disebut drainase ramah lingkungan atau eko-drainase atau drainase berwawasan lingkungan (*eco drain*) yang sekarang ini sedang menjadi konsep utama di dunia internasional dan merupakan implementasi pemahaman baru konsep eko-hidrolika dalam bidang drainase.

Drainase ramah lingkungan didefinisikan sebagai upaya mengelola kelebihan air dengan cara meresapkan sebanyak – banyaknya air ke dalam tanah secara alamiah atau mengalirkan air ke sungai dengan tanpa melampaui kapasitas sebelumnya.

Dalam drainase ramah lingkungan, justru air kelebihan pada musim hujan harus dikelola sedemikian rupa sehingga tidak mengalir secepatnya ke sungai.

Namun diusahakan meresap ke dalam tanah guna meningkatkan kandungan air tanah untuk cadangan pada musim kemarau. Konsep ini sifatnya mutlak di daerah beriklim tropis dengan perbedaan musim hujan dan kemarau yang ekstrim seperti di Indonesia.

Ada beberapa metode drainase ramah lingkungan yang dapat dipakai di Indonesia, diantaranya adalah metode kolam konservasi, metode sumur resapan, metode river side polder, dan metode pengembangan areal perlindungan air tanah (*ground water protection area*).

Metode kolam konservasi dilakukan dengan membuat kolam-kolam air baik di perkotaan, permukiman, pertanian atau perkebunan. Kolam konservasi ini dibuat untuk menampung air hujan terlebih dahulu, diresapkan dan sisanya dapat dialirkan ke sungai secara perlahan-lahan. Kolam konservasi dapat dibuat dengan memanfaatkan daerah dengan topografi rendah, daerah bekas galian pasir atau galian material lainnya, atau secara ekstra dibuat dengan menggali suatu areal atau bagian tertentu.

Metode sumur resapan merupakan metode praktis dengan cara membuat sumur-sumur untuk mengalirkan air hujan yang jatuh pada atap perumahan atau kawasan tertentu. Sumur resapan ini juga dapat dikembangkan pada areal olahraga dan wisata. Konstruksi dan kedalaman sumur resapan disesuaikan dengan kondisi lapisan tanah setempat. Perlu dicatat bahwa sumur resapan ini hanya dikhususkan untuk air hujan, sehingga masyarakat harus mendapatkan pemahaman mendetail untuk tidak memasukkan air limbah rumah tangga ke sumur resapan tersebut.

Metode *river side polder* adalah metode menahan aliran air dengan mengelola / menahan air kelebihan (hujan) di sepanjang bantaran sungai. Pembuatan *polder* pinggir sungai ini dilakukan dengan memperlebar bantaran sungai di berbagai tempat secara selektif di sepanjang sungai. Lokasi *polder* perlu dicari, sejauh mungkin *polder* yang dikembangkan mendekati kondisi alamiah, dalam arti bukan *polder* dengan pintu-pintu hidraulik teknis dan tanggul-tanggul lingkaran hidraulik yang mahal. Pada saat muka air naik (banjir),

sebagian air akan mengalir ke *polder* dan akan keluar jika banjir reda, sehingga banjir di bagian hilir dapat dikurangi dan konservasi air terjaga.

Metode areal perlindungan air tanah dilakukan dengan cara menetapkan kawasan lindung untuk air tanah, dimana di kawasan tersebut tidak boleh dibangun bangunan apapun. Areal tersebut dikhususkan untuk meresapkan air hujan ke dalam tanah. Di berbagai kawasan perlu sesegera mungkin dicari tempat yang cocok secara geologi dan ekologi sebagai areal untuk *recharge* dan perlindungan air tanah sekaligus sebagai bagian penting dari komponen drainase kawasan.

2.2.5.2 Pengelolaan Drainase Secara Terpadu Berwawasan Lingkungan (*Eco Drain*)

Berdasarkan Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Cipta Karya dalam Panduan Pengelolaan Drainase Secara Terpadu Berwawasan Lingkungan (*Eco Drain*) yang dipublikasikan pada tahun 2012 dalam pemanfaatan air hujan yang jatuh di atap serta halaman, terdapat arahan asumsi dasar yaitu:

1. Q_{atap} : akan di Tampung – Resapkan – Manfaatkan (konsumsi) – Alirkan air kelebihan (TRMA)
2. Q_{halaman} : akan di Resapkan – Alirkan ke saluran terdekat

Dengan menggunakan konsep pendekatan tersebut, maka dalam penerapan drainase berwawasan lingkungan digunakan acuan *Zero Runoff* dan TRMA, atau dalam Panduan *Eco Drain* dikenal sistem Tampung, Resapkan, Alirkan, dan Pelihara (TRAP), dengan lingkup pemanfaatan sebagai berikut:

1. Tampung : diterapkan pada sub-Reservoir Air Hujan (tampungan dalam tanah) atau kolam retensi (permukaan tanah);
2. Manfaat : konsumsi air hujan (analisis kebutuhan air untuk aktivitas kantor), air minum (IPAM AH), *flushing*, cadangan air pemadam kebakaran (damkar), siram tanaman, dan lain sebagainya;
3. Resapkan : sumur resapan air hujan (SRAH) dangkal, SRAH dalam, atau bentuk yang lain;
4. Alirkan : air kelebihan tampungan akan dialirkan ke saluran terdekat seminimal mungkin.

2.2.5.3 Sumur Resapan

Sumur resapan merupakan sumur atau lubang pada permukaan tanah yang dibuat untuk menampung air hujan agar dapat meresap ke dalam tanah. Penerapan sumur resapan sangat dianjurkan dalam kehidupan sehari-hari. Beberapa fungsi dari sumur resapan bagi kehidupan manusia adalah sebagai pengendali banjir, melindungi dan memperbaiki (konservasi) air tanah, serta menekan laju erosi. Sumur resapan dapat dikatakan sebagai suatu rekayasa teknik konservasi air, berupa bangunan yang dibuat sedemikian rupa sehingga menyerupai bentuk sumur galian dengan kedalaman tertentu. Manfaat yang dapat diperoleh dari pembuatan sumur resapan air diantaranya adalah (Kusnaedi, 2011):

1. Mengurangi aliran permukaan dan mencegah terjadinya genangan air sehingga memperkecil kemungkinan terjadinya banjir dan erosi.
2. Mempertahankan tinggi muka air tanah dan menambah persediaan air tanah.
3. Mengurangi atau menahan terjadinya kenaikan air laut bagi daerah yang berdekatan dengan wilayah pantai.
4. Mencegah penurunan atau amblasan lahan sebagai akibat pengambilan air tanah yang berlebihan.
5. Mengurangi konsentrasi pencemaran air tanah.

Konsep dasar sumur resapan pada hakekatnya adalah memberi kesempatan dan jalan pada air hujan yang jatuh di atap atau lahan yang kedap air untuk meresap ke dalam tanah dengan jalan menampung air tersebut pada suatu sistem resapan. Berbeda dengan cara konvensional dimana air hujan dibuang / dialirkan ke sungai diteruskan ke laut, dengan cara seperti ini dapat mengalirkan air hujan ke dalam sumur-sumur resapan yang di buat di halaman rumah. Sumur resapan ini merupakan sumur kosong dengan kapasitas tampungan yang cukup besar sebelum air meresap ke dalam tanah. Dengan adanya tampungan, maka air hujan mempunyai cukup waktu untuk meresap ke dalam tanah, sehingga pengisian tanah menjadi optimal (Suripin, 2004).

Berdasarkan konsep tersebut, maka ukuran atau dimensi sumur yang diperlukan untuk suatu lahan atau kapling sangat bergantung dari beberapa faktor, sebagai berikut (Suripin, 2004):

1. Luas permukaan penutup

Luas permukaan penutup adalah lahan yang airnya akan ditampung dalam sumur resapan, meliputi luas atap, lapangan parkir, dan perkerasan-perkerasan lain.

2. Karakteristik hujan

Karakteristik hujan meliputi intensitas hujan, lama hujan, selang waktu hujan. Secara umum dapat dikatakan bahwa makin tinggi hujan, makin lama berlangsungnya hujan memerlukan volume sumur resapan yang makin besar. Sementara selang waktu hujan yang besar dapat mengurangi volume sumur yang diperlukan.

3. Koefisien permeabilitas tanah

Koefisien permeabilitas tanah adalah kemampuan tanah dalam melewatkan air per satuan waktu. Tanah berpasir mempunyai koefisien permeabilitas lebih tinggi dibandingkan tanah berlempung.

4. Tinggi muka air tanah

Pada kondisi muka air tanah yang dalam, sumur resapan perlu dibuat secara besar-besaran karena tanah benar-benar memerlukan pengisian air melalui sumur-sumur resapan. Sebaliknya pada lahan yang muka airnya dangkal, pembuatan sumur resapan kurang efektif, terutama pada daerah pasang surut atau daerah rawa dimana air tanahnya sangat dangkal.

Kelebihan dari penerapan sumur resapan adalah sebagai berikut (Sari, 2010):

1. Pembuatan konstruksi sumur resapan tidak memerlukan biaya besar.
2. Tidak memerlukan lahan yang luas.
3. Bentuk konstruksi sumur resapan sederhana.
4. Daya tampung sumur resapan lebih besar jika dibandingkan dengan lubang resapan biopori.

Sedangkan kekurangan dari penerapan sumur resapan adalah sebagai berikut (Sari, 2010):

1. Membutuhkan keterampilan khusus untuk konstruksinya (lebih rumit dari LRB sehingga untuk pembuatannya membutuhkan tenaga kerja, yang akhirnya juga menelan biaya).
2. Harga material dalam pembuatan sumur resapan relatif mahal.

3. Membutuhkan biaya untuk tenaga kerja.

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 8456:2017, dapat diketahui bahwa persyaratan-persyaratan yang harus dipenuhi adalah sebagai berikut:

1. Persyaratan umum:

- 1). Sumur resapan air hujan ditempatkan pada lahan yang relatif datar dengan kemiringan maksimum $< 2\%$.
- 2). Air yang masuk ke dalam sumur resapan adalah limpasan air hujan.
- 3). Penempatan sumur resapan air hujan harus mempertimbangkan keamanan bangunan sekitarnya.
- 4). Sumur resapan air hujan bisa dibuat secara individual dan komunal.
- 5). Harus memperhatikan peraturan daerah setempat.
- 6). Hal-hal yang tidak memenuhi ketentuan ini harus disetujui instansi yang berwenang.

2. Persyaratan teknis:

- 1). Sumur resapan air hujan digunakan untuk kedalaman air tanah > 2 m.
- 2). Penampang sumur resapan air hujan berbentuk segi empat atau lingkaran dimungkinkan untuk bentuk lainnya dengan memperhatikan kemudahan dalam pengerjaan.
- 3). Ukuran sisi penampang sumur resapan air hujan 80 cm sampai dengan 100 cm.
- 4). Permeabilitas tanah

Struktur tanah yang dapat digunakan harus mempunyai nilai permeabilitas tanah $> 2,0$ cm/jam, dengan klasifikasi sebagai berikut:

- (1). Nilai permeabilitas tanah sedang (jenis tanah lanau, $2,0 - 3,6$ cm/jam atau $0,48 - 0,864$ m³/m²/hari).
- (2). Nilai permeabilitas tanah agak cepat (jenis tanah pasir halus, $3,6 - 36$ cm/jam atau $0,864 - 8,64$ m³/m²/hari).
- (3). Nilai permeabilitas tanah cepat (jenis tanah pasir kasar, lebih besar 36 cm/jam atau $8,64$ m³/m²/hari).
- 5). Periode ulang hujan yang digunakan untuk perencanaan 2 tahun sekali terlampaui.

- 6). Pipa *outlet* dan pipa *inlet* serta pipa pelimpah untuk mengalirkan kelebihan air atau genangan dan masuk ke sumur resapan digunakan bahan pipa PVC minimal Ø 3 inci.
- 7). Pipa ventilasi (air *outlet*), mempunyai konstruksi yang rapat maka diperlukan pipa pembuangan udara dari pipa PVC minimal Ø ½ in. Untuk mencegah terhalangnya aliran dari debit andil banjir ke dalam sumur resapan
- 8). Jarak penempatan sumur resapan air hujan terhadap bangunan, dapat dilihat pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9 Jarak minimum sumur resapan air hujan terhadap bangunan

No.	Janis bangunan	Sumur resapan air hujan (m)
1.	Pondasi bangunan/tangki septik	1
2.	Bidang resapan/sumur resapan tangki septik	5
3.	Sumur resapan air hujan/sumur air bersih	3

Sumber: SNI 8456:2017

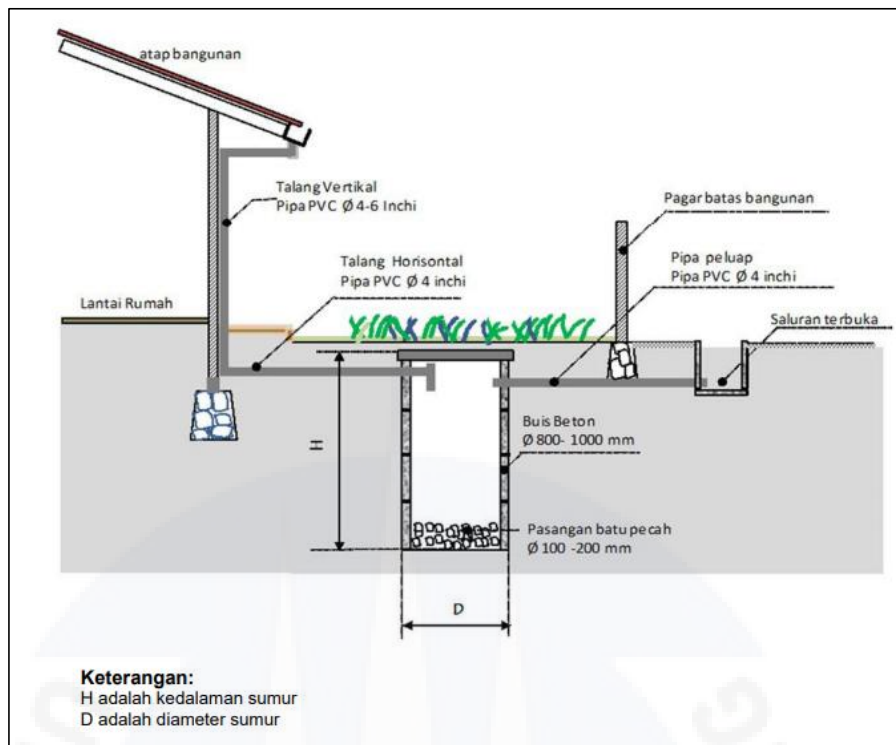
- 9). Tipe konstruksi

Tipe konstruksi sumur resapan air hujan terdiri dari:

- (1).Tipe I untuk sumur resapan ari hujan dengan dinding tanah.
- (2).Tipe II untuk sumur resapan air hujan dengan dinding pasangan batako atau bata merah tanpa diplester dan diantara pasangan diberi celah lubang.
- (3).Tipe III untuk sumur resapan dengan dinding buis beton.
- (4).Tipe IV untuk sumur resapan air hujan dengan dinding buis beton porous.

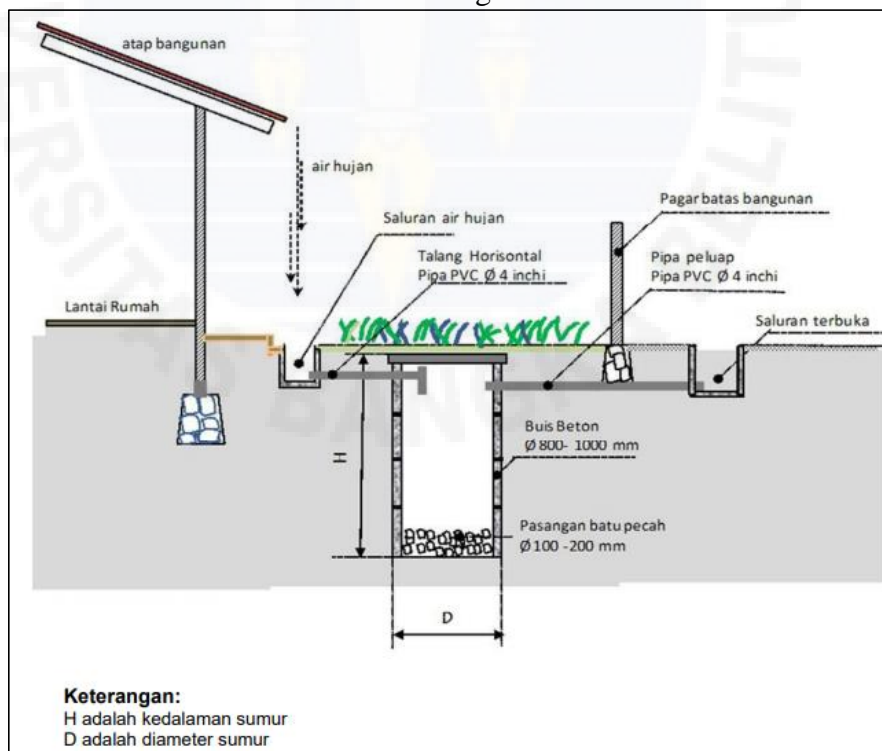
- 10).Sistem penyaluran air hujan

Air hujan yang dialirkan ke sumur resapan dapat dilihat pada Gambar 2.12 dan Gambar 2.13.



Sumber: SNI 8456:2017

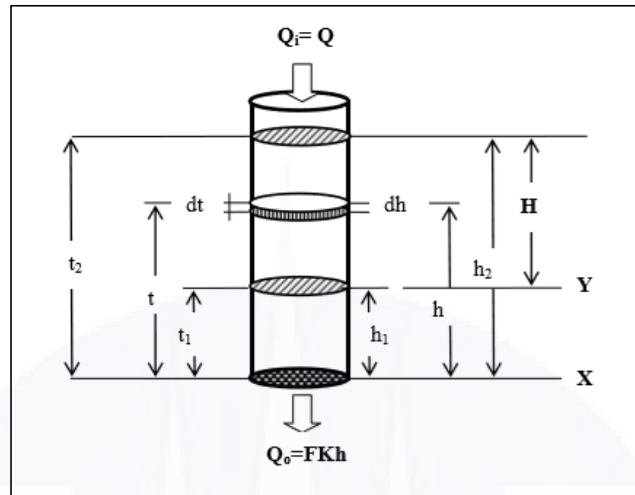
Gambar 2.10 Air hujan dari atap bangunan ke sumur resapan melalui pipa talang



Sumber: SNI 8456:2017

Gambar 2.11 Air hujan dari atap bangunan ke sumur resapan melalui saluran air hujan

Berdasarkan Sunjoto (2011), dalam merencanakan sumur resapan digunakan persamaan-persamaan berikut dan skema aliran dalam sumur dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Sumber: Sunjoto, 2008

Gambar 2.12 Skema aliran di dalam sumur

1. Dimensi sumur resapan

Untuk sumur resapan tampang lingkaran tanpa dinding samping dan ruang sumur diisi batu atau *gravel*, maka dimensinya dihitung dengan persamaan berikut:

$$H' = \frac{Q}{F \cdot K} \cdot \left\{ 1 - \exp\left(\frac{-F \cdot K \cdot T}{n \cdot \pi \cdot R^2}\right) \right\} \dots\dots\dots(2.45)$$

2. Debit air masuk (*Q*)

Debit air masuk dihitung dengan Metode Rasional

3. Faktor geometrik sumur (*f*)

Faktor geometrik (*shape factor*) adalah suatu harga yang mewakili dari bentuk ujung sumur, tampang, radius, kedekatan dinding, serta perletakkannya dalam lapisan tanah. Direncanakan resapan terletak pada tanah yang seluruhnya porus dengan seluruh dinding sumur *permeable* dan dasar berbentuk setengah bola, maka faktor geometrik dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$F = \frac{2 \cdot \pi \cdot H_{SR} + \pi^2 \cdot R \cdot \ln 2}{\ln \left\{ \frac{H_{SR} + 2 \cdot R}{3 \cdot R} + \sqrt{\left(\frac{H_{SR}}{3 \cdot R}\right)^2 + 1} \right\}} \dots\dots\dots(2.46)$$

4. Debit keluar (meresap)

$$Q_{SR} = F \cdot K \cdot H_{SR} \dots\dots\dots(2.47)$$

Dimana:

H' = tinggi muka air dalam sumur terisi material (m)

Q = debit air masuk (m³/detik)

F = faktor geometrik (m)

K = koefisien permeabilitas tanah (m/detik)

T = waktu pengaliran (detik)

R = jari-jari sumur (m)

n = porositas material pengisi

Q_{SR} = debit air keluar (meresap) (m³/detik)

H_{SR} = ketinggian lapisan porus (m)

2.2.5.4 Parit Resapan

Dalam Abdulgani (2015), County Md P.G menyatakan parit infiltrasi air hujan adalah suatu bentuk galian parit yang diisi kembali dengan batuan sehingga membentuk cekungan dibawah permukaan tanah yang mampu menampung limpasan air hujan. Limpasan tersebut tersimpan dalam parit sampai dapat terinfiltrasi kedalam tanah setelah beberapa hari. Berdasarkan SNI 8456:2017 parit resapan air hujan adalah prasarana untuk menampung dan meresapkan air hujan kedalam tanah ke arah memanjang parit/selokan.

Berdasarkan SNI 8456:2017 terdapat dua ketentuan yang harus dipenuhi dalam pembuatan parit resapan. Ketentuan tersebut adalah:

1. Umum

Persyaratan umum yang harus dipenuhi adalah sebagai berikut:

- 1). Parit resapan air hujan ditempatkan pada lahan yang relatif datar dengan kemiringan maksimum < 2%.
- 2). Air yang masuk kedalam parit resapan adalah limpasan air hujan.
- 3). Penempatan parit resapan air hujan harus mempertimbangkan keamanan bangunan sekitarnya.
- 4). Parit resapan air hujan bisa dibuat secara individual dan komunal.

- 5).Harus memperhatikan bangunan daerah setempat.
- 6).Hal-hal yang tidak memenuhi ketentuan ini harus disetujui oleh instansi yang berwenang.

2. Teknis

Persyaratan teknis yang harus dipenuhi adalah sebagai berikut:

- 1).Parit resapan air hujan digunakan untuk kedalaman air tanah < 2 m. Penampang melintang parit resapan air hujan berbentuk segi empat atau trapesium. Pada bentuk trapesium perbandingan kemiringan talud 1:2.
- 2).Permeabilitas tanah

Struktur tanah yang dapat digunakan harus mempunyai nilai permeabilitas tanah $> 2,0$ cm/jam, dengan klasifikasi sebagai berikut:

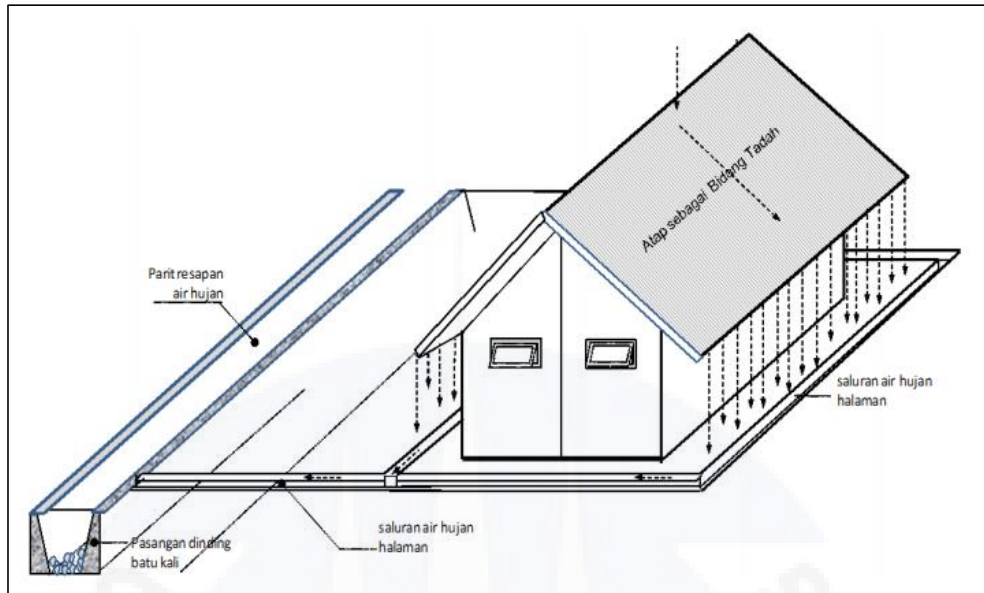
 - (1).Nilai permeabilitas tanah sedang (jenis tanah lanau, $2,0 - 3,6$ cm/jam atau $0,48 - 0,864$ m³/m²/hari).
 - (2).Nilai permeabilitas tanah agak cepat (jenis tanah pasir halus, $3,6 - 36$ cm/jam atau $0,864 - 8,64$ m³/m²/hari).
 - (3).Nilai permeabilitas tanah cepat (jenis tanah pasir kasar, lebih besar 36 cm/jam atau $8,64$ m³/m²/hari) .
- 3).Periode ulang hujan yang digunakan untuk perencanaan 2 tahun sekali terlampaui.
- 4).Untuk *inlet* ke parit resapan air hujan dapat digunakan pipa PVC minimal Ø 4 inci atau buis beton $\frac{1}{2}$ Ø 30 cm (*gravel*) atau buis beton Ø 30 cm.
- 5).Pipa ventilasi (air *outlet*), pada parit resapan mempunyai konstruksi yang rapat maka diperlukan pipa pembuang udara dari PVC Ø $\frac{1}{2}$ in. Untuk mencegah terhalangnya aliran dari debit andil banjir ke dalam parit resapan.
- 6). Jarak penempatan parit resapan air hujan terhadap bangunan dapat dilihat pada Tabel 2.10 berikut.

Tabel 2.10 Jarak minimum parit resapan air hujan terhadap bangunan

No.	Janis bangunan	Parit resapan air hujan (m)
1.	Pondasi bangunan/tangki septik	1
2.	Bidang resapan/sumur resapan tangki septik	5
3.	Sumur resapan air hujan/sumur air bersih	-

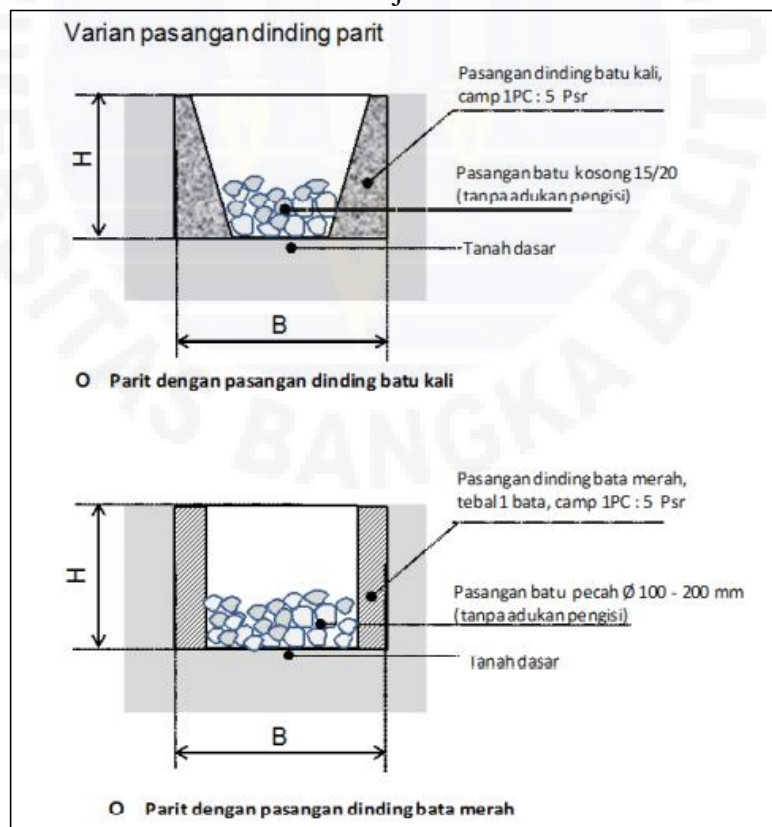
Sumber: SNI 8456:2017

7). Tipe konstruksi dan sistem penyaluran air hujan untuk parit resapan dapat dilihat pada Gambar 2.15 dan Gambar 2.16.



Sumber: SNI 8456:2017

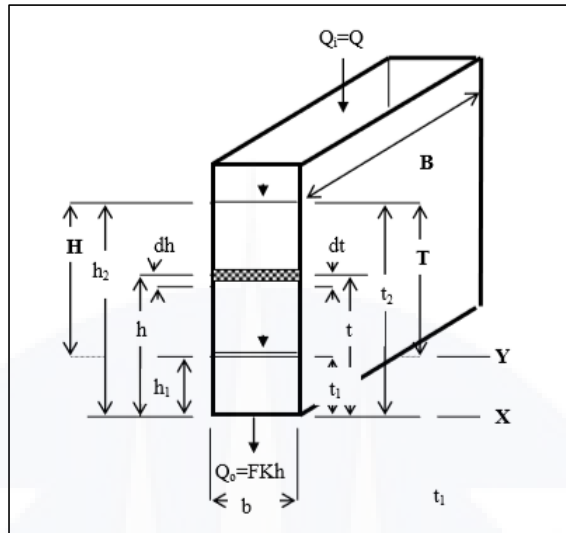
Gambar 2.13 Air hujan dari atap bangunan ke parit resapan melalui saluran air hujan



Sumber: SNI 8456:2017

Gambar 2.14 Varian pasangan dinding parit resapan

Dalam teknik perhitungannya ditetapkan tinggi air (H) dalam *trench*, lebar parit (b), dan dihitung panjang parit (B'). Persamaan yang digunakan dalam perhitungan adalah sebagai berikut (Sunjoto, 2008):



Sumber: Sunjoto, 2008

Gambar 2.15 Keseimbangan air didalam parit

1. Panjang parit (B')

Untuk parit tanpa atau dengan dinding samping dan ruang parit diisi material.

$$B' = \frac{-F_{PR} \cdot K \cdot T}{n \cdot b \cdot \left\{ \ln \left(1 - \frac{F_{PR} \cdot K \cdot H_{PR}}{Q_{PR}} \right) \right\}} \dots \dots \dots (2.48)$$

2. Faktor geometrik parit (F_{PR})

Faktor geometrik (*shape factor*) adalah suatu harga yang mewakili dari bentuk parit, tampang, radius, kededapan dinding, serta perletakkannya dalam lapisan tanah. Direncanakan resapan terletak pada tanah yang seluruhnya porus dengan dinding parit permeabel dan dasar rata. Persamaan yang digunakan dalam perhitungan adalah sebagai berikut.

$$F_{PR} = \frac{4 \cdot H_{PR} + 4 \cdot \sqrt{b \cdot B'} \cdot \ln 2}{\ln \left\{ \frac{H_{PR} + 4 \cdot \sqrt{b \cdot B'}}{6 \cdot \sqrt{b \cdot B'}} + \sqrt{\left(\frac{H_{PR}}{6 \cdot \sqrt{b \cdot B'}} \right)^2 + 1} \right\}} \dots \dots \dots (2.49)$$

Keterangan rumus:

B' = panjang parit isi material (m)

b = lebar parit (m)

- F_{PR} = faktor geometrik parit (m)
 K = koefisien permeabilitas (m/detik)
 H_{PR} = tinggi air dalam parit (m)
 Q_{PR} = debit air meresap ($m^3/detik$)
 T = waktu pengaliran (detik)
 n = porositas material

2.2.5.5 Lubang Resapan Biopori

Dalam Utami (2016), Brata dan Nelistya menyatakan bahwa lubang resapan biopori merupakan teknologi yang berpotensi meningkatkan daya dukung lingkungan. Lubang resapan biopori adalah lubang silindris yang dibuat secara vertikal ke dalam tanah dengan diameter 10 – 30 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. Sampah berfungsi menghidupkan mikroorganisme tanah, seperti cacing tanah. Cacing ini nantinya bertugas membentuk pori-pori atau terowongan dalam tanah (biopori). Air tersebut meresap melalui biopori yang menembus permukaan dinding ke dalam tanah disekitar lubang. Dengan demikian, akan menambah cadangan air tanah dalam serta menghindari terjadinya aliran air di permukaan tanah.

Sistem peresapan berbasis biopori adalah teknologi tepat guna dan ramah lingkungan yang dapat memberikan banyak manfaat, antara lain (Utami, 2016):

1. Meningkatkan laju peresapan air dan cadangan air tanah.
2. Memudahkan pemafaatan sampah organik menjadi kompos yang dapat menyuburkan tanah dan akar tanaman.
3. Meningkatkan peranan aktivitas biodiversitas tanah dan akar tanaman.
4. Menangani masalah yang ditimbulkan oleh genangan air.

Dalam Utami (2016), Brata dan Nelistya menyatakan adapun manfaat utama dari lubang resapan biopori adalah kemampuannya meningkatkan peresapan air hujan ke dalam tanah. Kemampuan lubang resapan biopori dalam meresapkan air dipengaruhi oleh diameter lubang yang dibuat. Hubungan antara diameter lubang dengan beban resapan dan penambahan luas permukaan resapan memberikan pengaruh yang besar terhadap jumlah air yang diresapkan. Semakin besar diameter

lubang biopori maka akan semakin besar juga jumlah air yang diresap oleh lubang biopori tersebut, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.11.

Tabel 2.11 Hubungan diameter lubang dengan beban resapan dan penambahan luas permukaan resapan

Diameter lubang (cm)	Mulut lubang (cm²)	Luas dinding (m²)	Pertambahan luas (kali)	Volume (liter)	Beban resapan (liter/m²)
10	79	0,3143	40	7,857	25
40	1257	1,2571	11	125,714	100
60	2829	1,8857	7	282,857	150
80	5029	2,5143	5	502,857	200
100	7857	3,1429	4	785,714	250

Sumber: Dalam Utami (2016), Brata dan Nelistya

Dalam Utami (2016), Brata dan Nelistya menyatakan Tabel 2.11 menunjukkan bahwa lubang resapan biopori berdiameter 10 cm dengan kedalaman 100 cm hanya menggunakan permukaan horizontal 79 cm² menghasilkan permukaan vertikal seluas dinding lubang 0,314 m², berarti memperluas 40 kali yang dapat meresapkan air. Volume air yang masuk tertampung maksimum 7,9 liter akan dapat meresap ke segala arah melalui dinding lubang, akan menimbulkan beban resapan maksimal 25 liter/m². Perluasan permukaan resapan akan menurun dan beban resapan akan meningkat dengan peningkatan diameter lubang. Sebagai contoh, bila diameter lubang 100 cm mendekati diameter sumur, perluasan permukaan yang diperoleh hanya 4 kali dengan beban resapan mengakibatkan penurunan laju resapan air karena terlalu lebarnya zona jenuh air di sekeliling dinding lubang, apalagi bila sebagian permukaan resapan dikedapkan sebagai penguat dinding.

Dalam Utami (2016), Brata dan Nelistya menyatakan lokasi pembuatan lubang resapan biopori harus benar-benar diperhatikan, selain memilih tempat yang memiliki potensi resapan air yang banyak, segi keamanan dan estetika lingkungan yang akan dibuat lubang resapan biopori juga penting diperhatikan. Walaupun diameternya cukup kecil bila dibandingkan sumur resapan, tetapi lokasi lubang tidak boleh dibuat sembarang tempat. Sudah semestinya biopori ditempatkan pada titik yang berpotensi terjadi genangan, karena pembuatan biopori pada lokasi yang agak tinggi maka laju resapan air tidak maksimal. Adapun lokasi yang tepat untuk

pembuatan LRB ini adalah alur air, saluran pembuangan air, sekeliling pohon, perubahan kontur taman, serta tepi taman dan samping pagar.

Lubang resapan biopori merupakan teknologi sederhana untuk meresapkan air hujan, limpasan maupun air permukaan sekaligus mempercepat pelapukan sampah organik. Agar lebih efektif dalam meresapkan air dan jika jumlah sampah organik cukup banyak, perlu dibuat lubang resapan biopori lebih dari satu. Ada dua faktor yang mempengaruhi efektifitas lubang resapan biopori, yaitu (Utami, 2016):

1. Jenis tanah

Jenis tanah dapat mempengaruhi jumlah dan aktivitas organisme dalam tanah. Setiap jenis tanah memiliki laju infiltrasi dan kapasitas infiltrasi yang berbeda. Laju infiltrasi diantaranya dipengaruhi oleh tekstur, struktur, dan porositas tanah. Tekstur tanah berhubungan dengan distribusi ukuran pori, sedangkan struktur tanah berkaitan dengan kemantapan ruang pori sehingga air lebih mudah bergerak pada tanah.

Perkembangan struktur yang paling besar terdapat pada tanah-tanah permukaan dengan tekstur halus menyebabkan kerapatan massanya lebih rendah dibandingkan tanah berpasir. Semakin padat suatu tanah, maka semakin tinggi kerapatan massanya semakin sulit meneruskan air atau ditembus oleh akar tanaman. Jika terjadi pemadatan tanah, maka air dan udara sulit disimpan dan ketersediaannya terbatas dalam tanah menyebabkan terhambatnya pernafasan akar dan penyerapan air dan memiliki unsur hara yang rendah karena memiliki aktivitas organisme yang rendah. Kerapatan tanah yang bertekstur halus biasanya antara $1,0 - 1,3 \text{ g/cm}^3$, sedangkan struktur tanah kasar memiliki kerapatan massa $1,3 - 1,8 \text{ g/cm}^3$.

2. Jenis sampah organik

Sampah organik memegang peranan penting dalam efektifitas biopori. Oleh karena itu, sampah organik perlu dimasukkan ke dalam lubang resapan biopori secara berkala sebagai sumber bahan makanan bagi organisme yang berada dalam tanah. Sampah organik dapat diperoleh dari berbagai sumber antara lain sampah dapur rumah tangga, daun-daunan, ataupun sisa pertanian yang tidak dimanfaatkan.

Proses dekomposisi bahan organik tergantung kepada jenis bahan, usia, ukuran partikel, dan kadar nitrogen yang terkandung didalamnya. Bahan yang berasal dari sisa tanaman yang mengandung banyak air dan masih muda akan lapuk dengan cepat dibandingkan akar. Tanaman gula, tepung, asam amino, dan protein yang mengandung jaringan muda dalam jumlah besar terlapuk dengan sangat cepat terutama *hemicellulose* dan *lignin*.

Prinsip utama lubang resapan biopori adalah menghindari air hujan mengalir ke daerah yang lebih rendah dan membiarkannya terserap ke dalam tanah melalui lubang serapan tersebut. Untuk meminimalkan beban lingkungan oleh adanya pengumpulan air dan sampah organik di dalam lubang, maka dimensi lubang tidak boleh terlalu besar. Tampak samping lubang resapan biopori di dalam tanah dapat dilihat pada Gambar 2.18 (Utami, 2016).

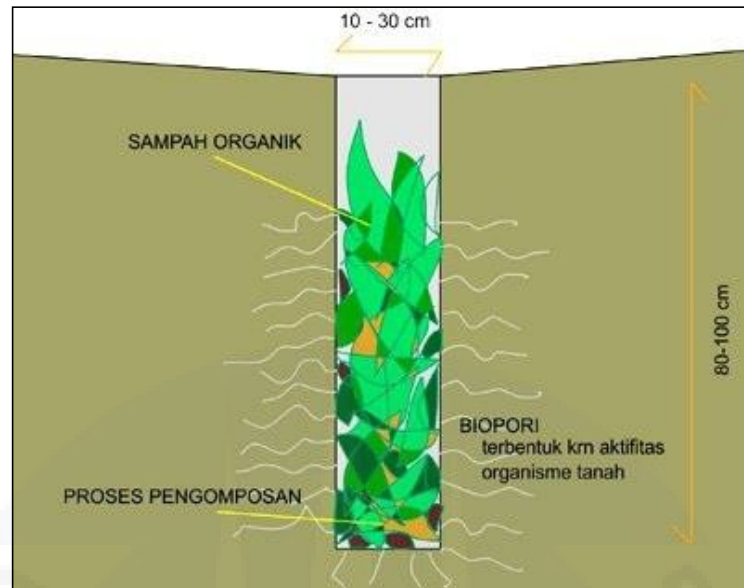
Kelebihan dari penerapan lubang resapan biopori adalah sebagai berikut (Sari, 2010):

1. Lubang resapan biopori tidak membutuhkan lahan yang luas, dapat dibuat pada lahan 100 % telah tertutup perkerasan.
2. Dapat dibuat kapan saja dan dimana saja, tidak harus direncanakan terlebih dahulu sebelum pembangunan rumah.
3. Teknologinya sangat sederhana, mudah dimengerti oleh siapapun. Pembuatannya cepat, dipermudah dengan alat bor maka satu lubang dapat diselesaikan \pm 10 menit.
4. Biaya yang diperlukan relatif murah.
5. Mudah dikerjakan sendiri, sehingga tidak perlu membayar tenaga kerja.
6. Karena berfungsi meningkatkan daya serap tanah terhadap air, maka dapat juga mengatasi masalah genangan air akibat hujan yang ada disekitar lubang resapan biopori.
7. Selain bermanfaat dalam pelestarian air juga sebagai pengolah sampah organik menjadi kompos yang menyuburkan tanah.

Kekurangan dari penerapan LRB adalah sebagai berikut (Sari, 2010):

1. Daya tampung air pada lubang resapan biopori lebih kecil jika dibandingkan dengan daya tampung air pada sumur resapan.

2. Jumlah lubang resapan biopori yang diperlukan lebih banyak agar dapat menampung air dalam jumlah besar.



Sumber: Dalam Utami (2016), Hakim

Gambar 2.16 Tampak samping lubang resapan biopori di dalam tanah

Sebelum mencari kedalaman lubang biopori, terlebih dahulu dilakukan analisis untuk menentukan besarnya nilai faktor geometrik (F_{LRB}). Faktor geometrik (*shape factor*) sumur pertama kali diperkenalkan oleh Forchheimer (1930) untuk menurunkan formula guna menghitung permeabilitas tanah yang percobaannya dengan lubang bor *bercasing* yang menggunakan variabel waktu dan variabel tinggi muka air dengan dasar bahwa debit air meresap kedalam tanah dari lubang bor. Faktor geometrik adalah besaran yang mewakili keliling serta luas tampang sumur, gradien hidraulik, keadaan perlapisan tanah serta kedudukan sumur dalam besaran radius sumuran dengan rumus sebagai berikut (Sunjoto, 2009):

$$F_{LRB} = \frac{2\pi H_{LRB} + \pi^2 R_{LRB} \ln 2}{\ln \left\{ \frac{H_{LRB} + 2R_{LRB}}{3R_{LRB}} + \sqrt{\left(\frac{H_{LRB}}{3R_{LRB}} \right)^2 + 1} \right\}} \dots\dots\dots (2.50)$$

Kemudian mencari banyaknya jumlah lubang resapan biopori dibutuhkan untuk meresapkan seluruh debit air hujan adalah:

$$Q_{LRB} = F_{LRB} \cdot K \cdot H_S \dots\dots\dots (2.51)$$

Untuk menghitung banyaknya lubang resapan biopori yang dibutuhkan adalah dengan persamaan berikut:

$$n_{LRB} = \frac{H_s}{1\text{meter}} \dots\dots\dots(2.52)$$

Dimana:

H_{LRB} = kedalaman air dalam lubang (m)

R_{LRB} = jari-jari lubang resapan biopori (m)

F_{LRB} = faktor geometrik (m)

Q_{LRB} = debit limpasan (m³/s)

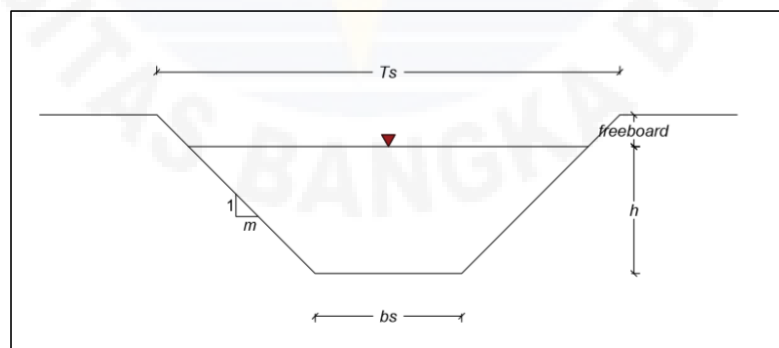
K = koefisien permeabilitas (m/s)

H_s = panjang saluran (m)

n_{LRB} = jumlah lubang resapan biopori

2.2.6 Analisis Penampang Saluran

Berdasarkan perhitungan debit rencana yang dapat ditampung pada suatu saluran akan dapat menentukan dimensi saluran yang diperlukan. Penampang saluran yang dipilih adalah berbentuk trapesium yang ekonomis (lihat gambar 2.19). Persamaan yang dipergunakan untuk analisis penampang saluran tersebut adalah sebagai berikut:



Gambar 2.17 Penampang saluran drainase berbentuk trapesium

$$Q_s = A_s \cdot V_p \dots\dots\dots(2.53)$$

Rumus kecepatan pengaliran (V_p) aliran seragam yang banyak digunakan adalah rumus empiris, yang biasanya disebut dengan Rumus *Manning*. Persamaannya adalah sebagai berikut (Hambali,2016):

$$V_p = \frac{1}{n_M} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(2.54)$$

$$R = \frac{A_s}{P_s} = \frac{h}{2} \dots\dots\dots(2.55)$$

$$P_s = 2h\sqrt{3} \dots\dots\dots(2.56)$$

$$A_s = h^2\sqrt{3} \dots\dots\dots(2.57)$$

$$b_s = \frac{2}{3} h\sqrt{3} \dots\dots\dots(2.58)$$

Keterangan:

Q_s = debit saluran (m³/detik)

V_p = kecepatan pengaliran (m/detik)

n_M = koefisien manning (dapat dilihat pada Tabel 2.13)

R = jari-jari hidrolis

S = kemiringan dari permukaan air atau dari gradien energi atau dari dasar saluran

A_s = luas tampang basah (m²)

P_s = keliling basah (m)

T_s = lebar saluran (m)

b_s = lebar dasar saluran (m)

m = kemiringan tebing saluran (dapat dilihat pada Tabel 2.14)

h = tinggi air normal di saluran (m)

Tabel 2.12 Koefisien kekasaran *manning* (n_M)

Tipe saluran	Kondisi		
	baik	cukup	buruk
Saluran buatan:			
1. Saluran tanah, lurus beraturan	0,020	0,023	0,250
2. Saluran tanah, digali biasanya	0,028	0,030	0,025
3. Saluran batuan, tidak lurus dan tidak beraturan	0,040	0,045	0,045
4. Saluran batuan, lurus beraturan	0,030	0,035	0,035
5. Saluran batuan, vegetasi pada sisinya	0,030	0,035	0,040
6. Dasar tanah, sisi batuan koral	0,030	0,030	0,040
7. Saluran berliku-liku kecepatan rendah	0,025	0,028	0,030
Saluran alam:			

Tipe saluran	Kondisi		
	baik	cukup	buruk
1. Bersih, lurus, tanpa pasir dan tanpa celah	0,028	0,030	0,033
2. Berliku, bersih, berpasir dan berlubang	0,035	0,040	0,045
3. Berliku, bersih, tidak dalam, kurang beraturan	0,045	0,050	0,065
4. Aliran lambat, banyak tanaman, dan lubang dalam	0,060	0,070	0,080
5. Tumbuh tinggi dan padat	0,100	0,125	0,150

Saluran dilapisi:

1. Batu kosong tanpa adukan semen	0,030	0,033	0,035
2. Batu kosong dengan adukan semen	0,020	0,025	0,030
3. Lapisan beton sangat halus	0,011	0,012	0,013
4. Lapisan beton biasa dengan tulangan baja	0,014	0,014	0,015
5. Lapisan beton biasa dengan tulangan kayu	0,016	0,016	0,018

Sumber: Hambali, 2016

Tabel 2.13 Kemiringan dinding saluran sesuai bahan

Bahan saluran	Kemiringan dinding (m)
Batuan / cadas	0
Tanah lumpur	0,25
Lempung keras / tanah	0,5 – 0,1
Tanah dengan pasangan batuan	1,0
Lempung	1,5
Tanah berpasir lepas	2,0
Lumpur berpasir	3,0

Sumber: Hambali, 2016