

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum Drainase dan Sistem Drainase yang Berkelanjutan

Drainase secara umum dapat didefinisikan sebagai suatu tindakan teknis untuk mengurangi kelebihan air, sehingga fungsi kawasan tidak terganggu. Kelebihan air tersebut, baik yang berasal dari air hujan, rembesan maupun kelebihan air irigasi dari suatu kawasan/lahan. Bagian infrastruktur (sistem drainase) dapat didefinisikan sebagai serangkaian bangunan air yang berfungsi untuk mengurangi 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 (*interseptor drain*), saluran pengumpul (*colector drain*), saluran pembawa (*conveyor drain*), saluran induk (*main drain*) dan badan air penerima (*receiving waters*) (Suripin, 2004: 7).

Sistem drainase yang berkelanjutan adalah konsep yang mempertimbangkan faktor lingkungan dan sosial dalam membuat keputusan tentang drainase. Sistem ini disebut juga *ecodrain*. *Ecodrain* memperhitungkan kuantitas dan kualitas limpasan, dan nilai layanan dari air permukaan dalam ekosistem perkotaan. *Ecodrain* diharapkan dapat menjamin keberlanjutan karena mempunyai tujuan sebagai berikut (Kementrian PU, 2013: 387):

1. Mengendalikan laju limpasan, mengurangi dampak urbanisasi terhadap debit banjir;
2. Melindungi atau memperbaiki kualitas air;
3. Lebih memperhatikan kondisi lingkungan dan kebutuhan masyarakat setempat;
4. Menyediakan habitat bagi hewan dan tumbuhan liar bagi badan air di perkotaan;
5. Mendorong berlangsungnya imbunan air tanah.

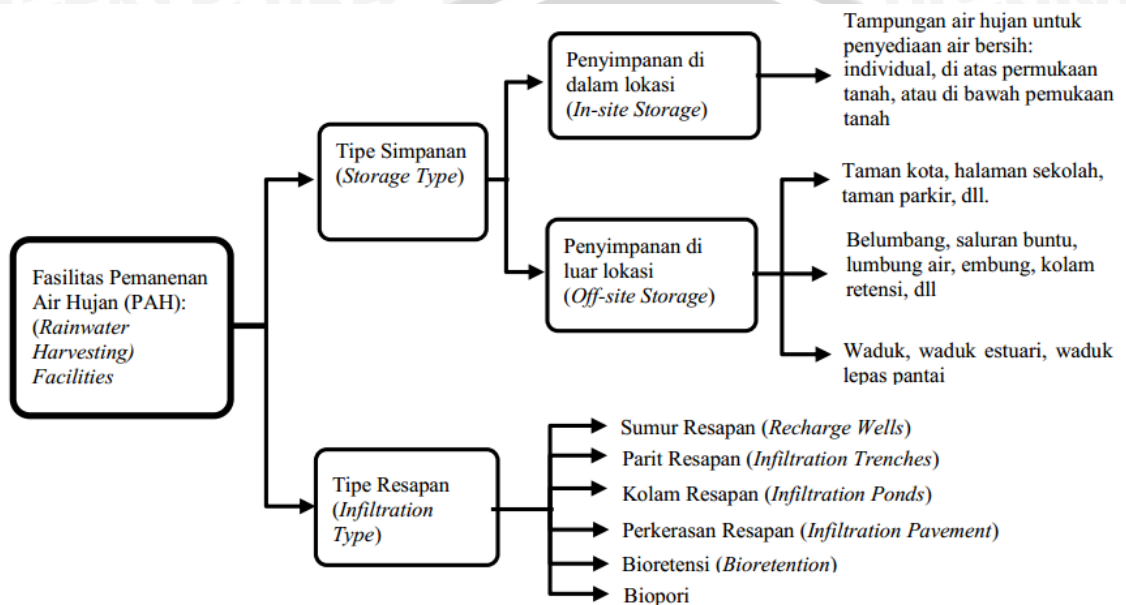
Konsep *ecodrain* memungkinkan suatu kawasan perkotaan (daerah tangkapan air = DTA) dibagi banyak bagian (sub-DTA) yang masing-masing mempunyai karakteristik dan pemanfaatan lahan yang berbeda-beda, masing-masing dengan strategi pengelolaan hujan dan limpasan yang berbeda pula. Mengelola hujan di tempatnya tidak hanya mengurangi kuantitas limpasan yang harus dikelola di suatu tempat, tetapi juga mengurangi kebutuhan sistem pembawa (saluran) untuk mengalirkan air keluar dari kawasan.

Sedangkan menurut Suripin (2004) konsep dasar sistem drainase yang berkelanjutan adalah sebagai berikut:

1. Meningkatkan daya guna air;

2. Meminimalkan kerugian;
3. Memperbaiki dan konservasi lingkungan.

Prioritas utama konsep ini adalah mengelola limpasan permukaan dengan cara mengembangkan fasilitas pemanenan air hujan. Berdasarkan fungsinya, fasilitas pemanenan air hujan dikelompokkan menjadi dua tipe, yaitu tipe penyimpanan dan tipe peresapan.



Gambar 2.1 Klasifikasi Fasilitas Pemanenan Air Hujan

Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum (2013: 390)

2.2 Analisa Curah Hujan

2.2.1 Uji Konsistensi Data Curah Hujan

Suatu rangkaian data hujan bisa mengalami ketidakkonsistenan (*inconsistent*) atau nonhomogenitas yang mengakibatkan perhitungan menjadi tidak tepat. Data semacam ini tidak bisa langsung dianalisa. Jadi sebelum data tersebut dipakai harus dilakukan pengujian terhadap konsistensinya. Uji konsistensi data dilakukan untuk mengetahui konsistensi data terhadap suatu seri data yang diperoleh.

Ketidakkonsistenan data hujan dapat disebabkan beberapa hal berikut:

- 1). Perubahan cara pengukuran
- 2). Pemindahan alat ukur
- 3). Perubahan mendadak sistem lingkungan

2.2.1.1 Uji Rescaled Adjusted Partial Sums (RAPS)

Metode ini digunakan untuk menguji ketidakpanggahan (*inconsistency*) data suatu stasiun dengan data dari stasiun itu sendiri dengan mendeteksi nilai rata-rata (*mean*), untuk lebih jelasnya dapat dilihat dalam rumus, nilai statistik Q dan R.

$$Q = \text{maks } |S_k^{**}| \text{ untuk } 0 \leq k \leq n \tag{2-1}$$

$$R = \text{maks } S_k^{**} - \text{min } S_k^{**} \tag{2-2}$$

$$S_k^* = \left(X - \bar{X} \right) \tag{2-3}$$

$$Dy^2 = \frac{S_k^2}{n} \tag{2-4}$$

$$Dy = \sqrt{Dy^2} \tag{2-5}$$

$$S_k^{**} = \frac{S_k^*}{Dy} \tag{2-6}$$

Dalam hal ini :

Q = atribut dari besarnya sebuah nilai statistik, didapat dari perhitungan dengan rumus seperti pada persamaan diatas.

R = atribut dari besarnya sebuah nilai statistik, didapat dari perhitungan dengan rumus seperti pada persamaan diatas.

S_k^* = data hujan (X) – data hujan rata-rata (\bar{X}).

Dy^2 = nilai kuadrat dari S_k^* dibagi dengan jumlah data.

Dy = hasil dari akar kuadrat nilai Dy^2 .

S_k^{**} = nilai S_k^* dibagi dengan Dy

n = jumlah data.

Langkah- langkah perhitungannya adalah sebagai berikut:

1. Data hujan diurutkan berdasarkan tahun.
2. Menghitung rata-rata data hujan.
3. Menghitung nilai s_k^* , yaitu tiap data hujan dikurangi data hujan rata-rata.
4. Menghitung nilai absolut dari s_k^* .
5. Menghitung nilai dy^2 , yaitu $(s_k^*)^2$ dibagi jumlah data.
6. Menghitung jumlah komulatif dy^2 .
7. Menghitung dy, yaitu akar dari dy^2 .
8. Menghitung nilai s_k^{**} , yaitu s_k^* dibagi dy.



9. Menghitung nilai absolut dari sk^{**} .
10. Menentukan nilai sk^{**} max.
11. Menentukan nilai sk^{**} min.
12. Menghitung nilai $q/(n^{0.5})$.
13. Menghitung nilai $r/(n^{0.5})$.

Dengan melihat data statistik diatas maka dapat dicari nilai $Q/(n^{0.5})$ dan $R/(n^{0.5})$. Hasil yang didapat dibandingkan dengan nilai $Q/(n^{0.5})$ dan $R/(n^{0.5})$ tabel. Syarat analisis diterima (masih dalam batasan konsisten) jika nilai $Q/(n^{0.5})$ dan $R/(n^{0.5})$ hitung lebih kecil dari nilai $Q/(n^{0.5})$ dan $R/(n^{0.5})$ tabel. Nilai $Q/(n^{0.5})$ dan $R/(n^{0.5})$ tabel disajikan dalam tabel 2.1.

Tabel 2.1 Nilai Q dan R

N	$\frac{Q}{\sqrt{n}}$			$\frac{R}{\sqrt{n}}$		
	90%	95%	99%	90%	95%	99%
10	1.05	1.14	1.29	1.21	1.28	1.38
20	1.10	1.22	1.42	1.34	1.43	1.60
30	1.12	1.24	1.46	1.40	1.50	1.70
40	1.13	1.26	1.50	1.42	1.53	1.74
50	1.14	1.27	1.52	1.44	1.55	1.78
100	1.17	1.29	1.55	1.50	1.62	1.86
∞	1.22	1.36	1.63	1.62	1.75	2.00

Sumber: Br, Sri Harto (1993: 60)

2.2.1.2 Metode Kurva Massa Ganda

Untuk menguji konsistensi data hujan dapat digunakan metode kurva massa ganda (*double mass curve*), yaitu menguji konsistensi hasil pengukuran pada suatu stasiun dengan membandingkan akumulasi dari hujan yang bersamaan untuk suatu kumpulan yang mengelilinginya.

Metode kurva massa ganda dapat diinterpretasikan sebagai berikut:

1. Apabila data stasiun yang diuji konsisten, maka garis yang terbentuk merupakan garis lurus dengan kemiringan (*slope*)
2. Apabila garis tersebut menunjukkan perubahan kemiringan berarti telah terjadi perubahan sifat data hidrologi (tidak konsisten)

Prosedur yang dilakukan dalam metode kurva massa ganda sebagai berikut :

1. Data hujan tahunan disusun mulai tahun terbaru, baik stasiun uji maupun stasiun pembanding
2. Menghitung komulatif hujan stasiun uji

3. Menghitung nilai rerata stasiun pembanding
4. Menghitung komulatif rerata stasiun pembanding
5. Melakukan penggambaran dalam bentuk diagram pencar (*scatter diagram*) antara nilai komulatif stasiun diuji dan rerata komulatif stasiun pembanding. Stasiun yang akan diuji pada sumbu Y dan stasiun pembanding pada sumbu X.
6. Melakukan analisa terhadap konsistensi data hujan dengan cara membuat garis lurus pada diagram pencar dan melakukan analisa menentukan apakah ada perubahan slope atau tidak pada garis lurus yang dibuat pada diagram pencar. Apabila terjadi perubahan *slope* , maka pada titik setelah mengalami perubahan perlu adanya koreksi terhadap pencatatan data hujan dengan cara mengalikan dengan koefisien (K) yang dihitung berdasarkan perbandingan *slope* setelah mengalami perubahan (S_2) dan Slope sebelum mengalami perubahan (S_1) atau $K = S_2/S_1$.

2.2.2 Analisa Curah Hujan Daerah

Frekuensi hujan adalah besarnya kemungkinan suatu besaran hujan disamai atau dilampaui. Sebaliknya, kala ulang (*return period*) adalah waktu hipotik dimana hujan dengan suatu besaran tertentu akan disamai atau dilampaui.

Data curah hujan yang diperoleh dari alat penakar hujan merupakan hujan yang terjadi hanya pada satu tempat atau titik saja (*point rainfall*). Mengingat hujan sangat bervariasi di suatu tempat, maka unuk kawasan yang luas, satu alat penakar hujan belum dapat menggambarkan hujan di wilayah tersebut (Suripin, 2004: 26).

Curah hujan yang diperlukan untuk penyusunan suatu rancangan pemanfaatan air dan rancangan pengendalian banjir adalah hujan rata-rata diseluruh daerah yang bersangkutan, bukan curah hujan pada satu titik tertentu. Curah hujan ini disebut curah hujan daerah dan dinyatakan dalam milimeter (S. Sosrodarsono dan K. Takeda, 2006: 27).

Menurut Suripin (2004) ada 3 metode umum yang digunakan untuk menghitung curah hujan rata-rata di suatu kawasan, yaitu:

a. Metode Rata-rata Aljabar

Metode rata-rata aljabar merupakan metode yang paling sederhana dalam perhitungan curah hujan daerah. Cara ini cocok untuk kawasan dengan topografi rata atau datar, alat penakar tersebar merata atau hampir merata, dan harga curah hujan tidak terlalu jauh dari harga rata-ratanya. Curah hujan daerah diperoleh dari persamaan:

$$P = \frac{P_1+P_2+ \dots +P_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n} \quad (2-7)$$

dimana, P adalah curah hujan rata-rata daerah (mm), P_1, P_2, \dots, P_n adalah curah hujan yang tercatat di pos penakar hujan 1, 2, ..., n dan n adalah banyaknya pos penakar hujan.

b. Metode Polygon Thiessen

Metode Polygon Thiessen dikenal sebagai metode rata-rata timbang (*weighted mean*). Cara ini memberikan proporsi luasan daerah pengaruh pos penakar hujan untuk mengakomodasi ketidakseragaman jarak. Daerah pengaruh dibentuk dengan menggambarkan garis-garis sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung antara dua pos penakar terdekat. Diasumsikan bahwa variasi hujan antara pos yang satu dengan pos yang lainnya adalah linear dan bahwa sembarang pos dianggap dapat mewakili kawasan terdekat.

$$P = \frac{P_1 A_1 + P_2 A_2 + \dots + P_n A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (2-8)$$

dimana, P adalah curah hujan rata-rata daerah (mm). P_1, P_2, \dots, P_n adalah curah hujan yang tercatat di pos penakar hujan 1, 2, ..., n. A_1, A_2, \dots, A_n adalah luas areal poligon 1, 2, ..., n. n adalah banyaknya pos penakar hujan.

c. Metode Isohyet

Metode ini merupakan metode yang paling akurat untuk menentukan hujan rata-rata daerah, namun diperlukan keahlian dan pengalaman, cara ini memperhitungkan secara aktual pengaruh tiap-tiap pos penakar hujan, dengan kata lain mengoreksi asumsi metode Polygon Thiessen yang menganggap bahwa tiap-tiap pos penakar mencatat kedalaman yang sama untuk daerah sekitarnya dapat dikoreksi.

Digunakan persamaan berikut untuk menghitung curah hujan rata-rata daerah dengan metode Isohyet:

$$P = \frac{A_1 \frac{P_1 + P_2}{2} + A_2 \frac{P_2 + P_3}{2} + \dots + A_{n-1} \frac{P_{n-1} + P_n}{2}}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} = \frac{\sum [A \left(\frac{P_1 + P_2}{2} \right)]}{\sum A} \quad (2-9)$$

Cara memilih metode

Pemilihan metode yang cocok dipakai pada suatu DAS dapat ditentukan dengan mempertimbangkan 3 faktor berikut:

1. Jaring-jaring pos penakar hujan

Tabel 2.2 Pemilihan Metode Analisa Curah Hujan Rata-rata Daerah Berdasarkan Jumlah Pos Penakar

Jumlah pos penakar hujan cukup	Metode Isohyet, Polygon Thiessen atau Rata-Rata Aljabar
Jumlah pos penakar hujan terbatas	Metode Polygon Thiessen atau Rata-Rata Aljabar
Jumlah pos penakar hujan tunggal	Metode Hujan Titik (Point Rainfall)

2. Luas DAS

Tabel 2.3 Pemilihan Metode Analisa Curah Hujan Rata-rata Daerah Berdasarkan Luas DAS

DAS besar ($> 5000 \text{ km}^2$)	Metode Isohyet
DAS sedang ($500 \text{ s/d } 5000 \text{ km}^2$)	Metode Polygon Thiessen
DAS kecil ($< 500 \text{ km}^2$)	Metode Rata-Rata Aljabar

3. Topografi DAS

Tabel 2.4 Pemilihan Metode Analisa Curah Hujan Rata-Rata Daerah Berdasarkan Topografi DAS

Pegunungan	Metode Rata-Rata Aljabar
Dataran	Metode Polygon Thiessen
Berbukit dan tidak beraturan	Metode Isohyet

2.2.3 Analisis Distribusi Frekuensi dan Periode Ulang (*Return Periode*)

Dalam analisis frekuensi diperlukan seri data hujan yang diperoleh dari pos penakar hujan, baik manual maupun yang otomatis. Analisis frekuensi ini didasarkan pada sifat statistik data kejadian yang telah lalu untuk memperoleh probabilitas besaran hujan di masa yang akan datang. Dengan anggapan bahwa sifat statistik data kejadian yang akan datang masih sama dengan sifat statistik kejadian hujan masa lalu.

Tujuan analisis frekuensi data hidrologi adalah berkaitan dengan besaran peristiwa-peristiwa ekstrim yang berkaitan dengan frekuensi kejadiannya melalui penerapan distribusi kemungkinan. Data hidrologi yang dianalisis diasumsikan tidak bergantung (*independent*) dan terdistribusi secara acak dan bersifat stokastik.

Dalam ilmu statistik dikenal beberapa macam distribusi frekuensi dan 4 jenis distribusi yang banyak digunakan dalam bidang hidrologi yaitu:

1. Distribusi Normal,
2. Distribusi Log Normal,
3. Distribusi Log –Person III,
4. Distribusi Gumbel (Suripin, 2004:34).

2.2.3.1 Distribusi Log-Pearson III

Person mengembangkan serangkaian fungsi probabilitas yang dapat dipakai untuk hampir semua distribusi probabilitas empiris. Distribusi probabilitas ini hampir tidak

bebabasis teori. Distribusi Log-Pearson III masih dipakai karena fleksibilitasnya (Suripin, 2004: 41).

Tahapan untuk menghitung curah hujan rancangan maksimum dengan metode Log-Person III adalah sebagai berikut:

1. Data curah hujan maksimum setiap tahun diubah ke bentuk logaritma
2. Menghitung rata-rata logaritma dengan persamaan berikut:

$$\text{Log}\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n \log X_i}{n} \quad (2-10)$$

3. Menghitung g harga simpangan baku (standar deviasi) dengan persamaan berikut:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \log \bar{X})^2}{n-1}} \quad (2-11)$$

4. Menghitung harga koefisien kepercengan (*skewness* = c_s)

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (\log X_i - \log \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)s^3} \quad (2-12)$$

5. Menghitung nilai logX dengan persamaan berikut:

$$\text{Log}X = \text{Log} \bar{X} + K * S \quad (2-13)$$

dimana,

X = curah hujan rata-rata daerah (mm)

n = panjang data

i = tahun

S = simpangan baku (standar deviasi)

C_s = koefisien kepercengan (*skewness*)

K = variabel yang tergantung pada nilai koefisien kepercengan dan kala ulang yang didapatkan dari tabel Log-Person III (tabel 2.5 dan tabel 2.6)

6. Menghitung nilai antilogX untuk mendapatkan curah hujan rancangan maksimum dengan kala ulang tertentu.

Tabel 2.5 Faktor Sifat Distribusi Log-Pearson III untuk C_s Positif

Koefisien Skewness (C_s)	Kala Ulang (Tr)										
	1.0101	1.0526	1.1111	1.2500	2	5	10	25	50	100	200
	K (%)										
	99	95	90	80	50	20	10	4	2	1	0.5
3.0	-0.667	-0.665	-0.660	-0.636	-0.396	0.420	1.180	2.278	3.152	4.051	4.970
2.9	-0.690	-0.688	-0.681	-0.656	-0.390	0.440	1.195	2.277	3.134	4.013	4.909
2.8	-0.714	-0.711	-0.702	-0.666	-0.840	0.460	1.210	2.275	3.114	3.973	4.847
2.7	-0.740	-0.736	-0.724	-0.681	-0.760	0.479	1.224	2.272	3.097	3.932	4.783
2.6	-0.769	0.762	-0.747	-0.696	-0.368	0.499	1.238	2.267	3.071	3.889	4.718
2.5	-0.799	-0.790	-0.771	-0.711	-0.360	0.518	1.250	2.262	3.048	3.845	4.652
2.4	-0.832	-0.819	-0.795	-0.725	-0.351	0.537	1.262	2.256	3.023	3.800	4.584
2.3	-0.867	-0.850	-0.819	-0.739	-0.341	0.555	1.274	2.248	2.997	3.753	4.515
2.2	-0.905	-0.882	-0.844	-0.752	-0.330	0.574	1.284	2.240	2.970	3.705	4.454
2.1	-0.946	-0.914	-0.869	-0.765	-0.319	0.592	1.294	2.230	2.942	3.656	4.372
2.0	-0.990	-0.949	-0.895	-0.777	-0.307	0.609	1.302	2.219	2.912	3.605	4.298
1.9	-1.037	-0.984	-0.920	-0.788	-0.294	0.627	1.310	2.207	2.881	3.553	4.223
1.8	-1.087	-1.020	-0.945	-0.799	-0.282	0.643	1.318	2.193	2.848	3.499	4.147
1.7	-1.140	-1.056	-0.970	-0.808	-0.268	0.660	1.324	2.179	2.815	3.444	4.069
1.6	-1.197	-1.093	-0.994	-0.817	-0.254	0.675	1.329	2.163	2.780	3.388	3.990
1.5	-1.256	-1.131	-1.018	-0.825	-0.240	0.690	1.333	2.146	2.743	3.330	3.910
1.4	-1.318	-1.163	-1.041	-0.832	-0.225	0.705	1.337	2.128	2.706	3.271	3.828
1.3	-1.388	-1.206	-1.064	-0.838	-0.210	0.719	1.339	2.108	2.666	3.211	3.745
1.2	-1.449	-1.243	-1.086	-0.844	-0.195	0.732	1.340	2.087	2.626	3.149	3.661
1.1	-1.518	-1.280	-1.107	-0.848	-0.180	0.745	1.341	2.066	2.585	3.087	3.575
1.0	-1.588	-1.317	-1.128	-0.852	-0.164	0.758	1.340	2.043	2.542	3.022	3.489
0.9	-1.660	-1.353	-1.147	-0.854	-0.148	0.769	1.339	2.018	2.498	2.957	3.401
0.8	-1.733	-1.388	-1.166	-0.856	-0.123	0.780	1.336	1.993	2.453	2.891	3.312
0.7	-1.806	-1.423	-1.183	-0.857	-0.166	0.790	1.333	1.967	2.407	2.824	3.223
0.6	-1.880	-1.458	-1.200	-0.857	-0.099	0.800	1.328	1.939	2.359	2.755	3.132
0.5	-1.955	-1.491	-1.216	-0.856	-0.083	0.808	1.323	1.910	2.311	2.686	3.041
0.4	-2.029	-1.524	-1.231	-0.855	-0.066	0.816	1.317	1.880	2.261	2.615	2.949
0.3	-2.104	-1.555	-1.245	-0.853	-0.050	0.824	1.309	1.849	2.211	2.544	2.856
0.2	-2.175	-1.586	-1.258	-0.850	-0.033	0.830	1.301	1.818	2.159	2.472	2.763
0.1	-2.252	-1.616	-1.270	-0.846	-0.017	0.836	1.292	1.785	2.107	2.400	2.670
0.0	-2.326	-1.645	-1.282	-0.842	0.000	0.842	1.282	1.715	2.054	2.326	2.576

Sumber: Limantara (2010: 66)

Tabel 2.6 Faktor Sifat Distribusi Log-Person III untuk C_s Negatif

Koefisien Skewness (C_s)	Kala Ulang (Tr)										
	1.0101	1.0526	1.1111	1.2500	2	5	10	25	50	100	200
	K (%)										
	99	95	90	80	50	20	10	4	2	1	0.5
-0.1	-2.400	-1.673	-1.292	-0.842	0.017	0.846	1.270	1.716	2.000	2.252	2.482
-0.2	-2.472	-1.700	-1.301	-0.836	0.033	0.850	1.258	1.680	1.945	2.178	2.388
-0.3	-2.544	-1.726	-1.309	-0.830	0.050	0.853	1.245	1.643	1.890	2.104	2.294
-0.4	-2.615	-1.750	-1.317	-0.824	0.066	0.855	1.231	1.606	1.834	2.029	2.207
-0.5	-2.686	-1.774	-1.323	-0.816	0.083	0.856	1.216	1.567	1.777	1.955	2.108
-0.6	-2.755	-1.797	-1.328	-0.808	0.099	0.857	1.200	1.528	1.720	1.880	2.016
-0.7	-2.824	-1.819	-1.333	-0.800	0.116	0.857	1.183	1.488	1.663	1.806	1.926
-0.8	-2.891	-1.839	-1.336	-0.790	0.132	0.856	1.166	0.448	1.606	1.733	1.837
-0.9	-2.957	-1.858	-1.339	-0.780	0.148	0.854	1.147	1.407	1.549	1.660	1.749
-1.0	-3.022	-1.877	-1.340	-0.769	0.164	0.852	1.128	1.366	1.492	1.588	1.664
-1.1	-3.087	-1.894	-1.341	-0.758	0.180	0.848	1.107	1.324	1.435	1.518	1.581
-1.2	-3.149	-1.910	-1.340	-0.745	0.195	0.844	1.086	1.282	1.379	1.449	1.501
-1.3	-3.211	-1.925	-1.339	-0.732	0.210	0.838	1.064	1.240	1.340	1.383	1.424
-1.4	-3.271	-1.380	-1.337	-0.719	0.225	0.832	1.041	1.198	1.270	1.318	1.351
-1.5	-3.330	-1.951	-1.333	-0.705	0.240	0.823	1.018	1.157	1.217	1.256	1.282
-1.6	-3.388	-1.962	-1.329	-0.690	0.254	0.817	0.994	1.116	1.166	1.197	1.216
-1.7	-3.440	-1.972	-1.324	-0.675	0.268	0.808	0.980	1.072	1.116	1.140	1.155
-1.8	-3.499	-1.981	-1.318	-0.660	0.282	0.799	0.945	1.035	1.069	1.087	1.097
-1.9	-3.553	-1.989	-1.310	-0.643	0.294	0.788	0.920	0.993	1.023	1.037	1.044
-2.0	-3.605	-1.996	-1.302	-0.627	0.307	0.777	0.895	0.959	0.980	0.990	0.995
-2.1	-3.656	-2.001	-1.294	-0.609	0.319	0.765	0.869	0.923	0.939	0.946	0.949
-2.2	-3.705	-2.006	-1.284	-0.592	0.330	0.752	0.844	0.888	0.900	0.905	0.907
-2.3	-3.753	-2.009	-1.274	-0.574	0.341	0.739	0.819	0.855	0.864	0.867	0.869
-2.4	-3.800	-2.011	-1.262	-0.555	0.351	0.750	0.795	0.823	0.830	0.832	0.833
-2.5	-3.845	-2.012	-1.250	-0.537	0.360	0.711	0.771	0.793	0.798	0.799	0.800
-2.6	-3.889	-2.013	-1.238	-0.518	0.368	0.696	0.747	0.764	0.768	0.769	0.769
-2.7	-3.932	-2.012	-1.224	-0.499	0.760	0.681	0.724	0.738	0.740	0.740	0.741
-2.8	-3.973	-2.010	-1.210	-0.479	0.840	0.666	0.702	0.712	0.714	0.714	0.714
-2.9	-4.013	-2.007	-1.195	-0.460	0.330	0.651	0.681	0.683	0.689	0.690	0.690
-3.0	-4.051	-2.003	-1.180	-0.420	0.390	0.636	0.660	0.666	0.666	0.667	0.667

Sumber: Limantara (2010: 67)

2.2.3.2 Periode Ulang (*Return Periode*)

Periode ulang (*return periode*) adalah periode (dalam tahun) dimana hujan dengan suatu besaran tertentu akan disamai atau dilampaui. Dalam hal ini tidak berarti kejadian tersebut akan berulang secara teratur setiap kala ulang tersebut.

Sebelum menghitung kala ulang, data hujan perlu diurutkan. Kala ulang dapat dihitung menggunakan metode Weibull, yaitu dengan persamaan berikut:

$$P = \frac{m}{n+1} \times 100\% \tag{2-14}$$

$$Tr = \frac{n+1}{m} \tag{2-15}$$

dimana,

P = peluang atau probabilitas (%)

Tr = kala ulang (tahun)

n = jumlah data

m = nomor urut (peringkat data yang telah diurutkan)

Tabel 2.7 Tipologi Kota, Luas Tangkapan Air, dan Periode Ulang

TIPOLOGI KOTA	Daerah Tangkapan Air (HA)			
	< 10	10-100	101-500	> 500
• KOTA METROPOLITAN	2 TH	2-5 TH	5-10 TH	10 – 25 TH
• KOTA BESAR	2 TH	2-5 TH	2-5 TH	5 - 20 TH
• KOTA SEDANG	2 TH	2-5 TH	2-5 TH	5 - 10 TH
• KOTA KECIL	2 TH	2 TH	2 TH	2 - 5 TH

Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum (2013: 177)

2.2.4 Uji Kesesuaian Distribusi (*testing of goodnes of fit*)

Data hidrologi yang dipakai untuk mengestimasi curah hujan rancangan menggunakan analisa yang belum tentu sesuai dengan distribusi yang dipilih. Untuk itu perlu dilakukan uji kesesuaian distribusi (*testing of goodnes of fit*). Ada 2 uji yang biasa dilakukan dalam hal ini, yaitu Uji Smirnov-Kolmogorov dan Uji Chi-Square (Limantara, 2009: 66).

2.2.4.1 Uji Smirnov-Kolmogorov

Uji Smirnov-Kolmogorov adalah uji distribusi terhadap penyimpangan data kearah horizontal, yaitu untuk mengetahui suatu data sesuai dengan jenis sebaran teoritis yang dipilih atau tidak. Dalam bentuk persamaan uji ini dapat ditulis sebagai berikut:

$$D = \text{Maks} | P_x(X) - S_n(X) | \tag{2-16}$$

Dimana,

D = selisih maksimum antara peluang empiris dan teoritis

$P_x(X)$ = posisi data X menurut garis sebaran teoritis

$S_n(X)$ = posisi data X menurut pengamatan dalam hal ini dipakai posisi plotting menurut Weibull

Apabila $D_{maks} < D_{cr}$ (D_{cr} = simpangan kritis yang didapat dari tabel 2.8), maka pemilihan analisa distribusi dapat diterima.

Langkah-langkah perhitungan uji Smirnov-Kolmogorov adalah sebagai berikut:

1. Urutkan data dari nilai terkecil ke nilai terbesar.
2. Menghitung nilai peluang empiris ($S_n(x)$) dengan persamaan berikut:

$$S_n(X) = \frac{m}{1+n} \quad (2-17)$$

Di mana,

$S_n(X)$ = posisi data X menurut pengamatan

m = no urut data X

n = banyak data X

3. Menghitung logaritma data ($\log X$)
4. Menghitung nilai K dengan persamaan berikut:

$$K = \frac{\text{Log } X - \text{Log } X_{\text{rata-rata}}}{S} \quad (2-18)$$

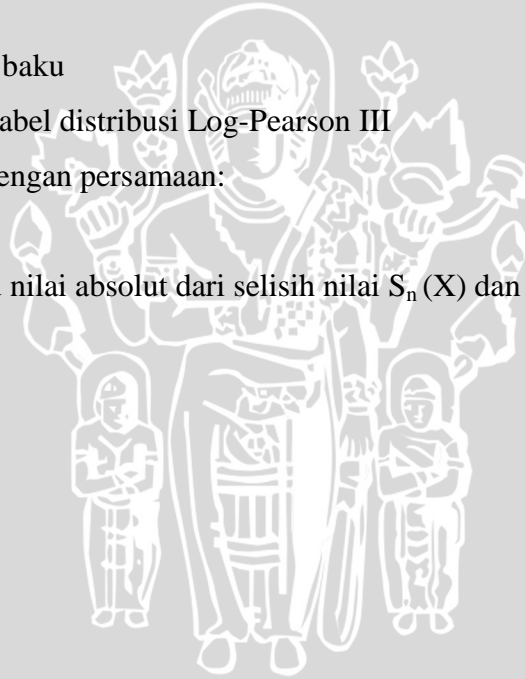
Di mana,

S = Simpangan baku

5. Mencari nilai Pr melalui tabel distribusi Log-Pearson III
6. Menghitung nilai $P_x(X)$ dengan persamaan:

$$P_x(X) = 1 - Pr \quad (2-19)$$

7. Menghitung nilai D, yaitu nilai absolut dari selisih nilai $S_n(X)$ dan $P_x(X)$.



Tabel 2.8 Tabel Nilai Kritis (D_{cr}) untuk Uji Smirnov-Kolmogorov

N	Derajat kepercayaan (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	$\frac{1.07}{N^{0.5}}$	$\frac{1.22}{N^{0.5}}$	$\frac{1.36}{N^{0.5}}$	$\frac{1.63}{N^{0.5}}$

Sumber: Suripin (2004: 59)

2.2.4.2 Uji Chi-Square

Uji Chi-Square digunakan untuk menguji simpangan secara vertikal. Persamaan yang digunakan dalam uji ini adalah sebagai berikut:

$$X^2_{hitung} = \sum_{j=1}^k \frac{(O_j - E_j)^2}{E_j} \tag{2-20}$$

Dimana,

- X^2_{hitung} = harga Chi-Square hitung
- O_j = frekuensi pengamatan kelas j
- E_j = frekuensi teoritis kelas
- k = jumlah kelas

Apabila $X^2_{hitung} < X^2_{Cr}$, maka pemilihan analisa distribusi dapat diterima. Nilai X^2_{Cr} diperoleh dari tabel distribusi Chi-Square untuk Derajat Bebas v dan α (*level of significant*). Nilai X^2_{Cr} dapat dilihat pada tabel 2.9.



Tabel 2.9 Tabel Distribusi Uji Chi-Square (nilai percentile x^2 terhadap derajat bebas)

v	χ^2												
	0.995	0.99	0.975	0.95	0.9	0.75	0.5	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	7.88	6.63	5.02	3.84	2.71	1.32	0.455	0.102	0.016	0.004	0.001	0.0002	0.0000
2	10.6	9.21	7.38	5.99	4.61	2.77	1.39	0.575	0.211	0.103	0.051	0.020	0.010
3	12.8	11.3	9.35	7.81	6.25	4.11	2.37	1.21	0.58	0.35	0.22	0.11	0.07
4	14.9	13.3	11.1	9.49	7.78	5.39	3.36	1.92	1.06	0.711	0.484	0.297	0.207
5	16.7	15.1	12.8	11.1	9.2	6.6	4.4	2.7	1.6	1.1	0.8	0.6	0.4
6	18.5	16.8	14.4	12.6	10.6	7.8	5.3	3.5	2.2	1.6	1.2	0.9	0.7
7	20.3	18.5	16.0	14.1	12.0	9.0	6.3	4.3	2.8	2.2	1.7	1.2	1.0
8	22.0	20.1	17.5	15.5	13.4	10.2	7.3	5.1	3.5	2.7	2.2	1.6	1.3
9	23.6	21.7	19.0	16.9	14.7	11.4	8.3	5.9	4.2	3.3	2.7	2.1	1.7
10	25.2	23.2	20.5	18.3	16.0	12.5	9.3	6.7	4.9	3.9	3.2	2.6	2.2
11	26.8	24.7	21.9	19.7	17.3	13.7	10.3	7.6	5.6	4.6	3.8	3.1	2.6
12	28.3	26.2	23.3	21.0	18.5	14.8	11.3	8.4	6.3	5.2	4.4	3.6	3.1
13	29.8	27.7	24.7	22.4	19.8	16.0	12.3	9.3	7.0	5.9	5.0	4.1	3.6
14	31.3	29.1	26.1	23.7	21.1	17.1	13.3	10.2	7.8	6.6	5.6	4.7	4.1
15	32.8	30.6	27.5	25.0	22.3	18.2	14.3	11.0	8.5	7.3	6.3	5.2	4.6
16	34.3	32.0	28.8	26.3	23.5	19.4	15.3	11.9	9.3	8.0	6.9	5.8	5.1
17	35.7	33.4	30.2	27.6	24.8	20.5	16.3	12.8	10.1	8.7	7.6	6.4	5.7
18	37.2	34.8	31.5	28.9	26.0	21.6	17.3	13.7	10.9	9.4	8.2	7.0	6.3
19	38.6	36.2	32.9	30.1	27.2	22.7	18.3	14.6	11.7	10.1	8.9	7.6	6.8
20	40.0	37.6	34.2	31.4	28.4	23.8	19.3	15.5	12.4	10.9	9.6	8.3	7.4
21	41.4	38.9	35.5	32.7	29.6	24.9	20.3	16.3	13.2	11.6	10.3	8.9	8.0
22	42.8	40.3	36.8	33.9	30.8	26.0	21.3	17.2	14.0	12.3	11.0	9.5	8.6
23	44.2	41.6	38.1	35.2	32.0	27.1	22.3	18.1	14.8	13.1	11.7	10.2	9.3
24	45.6	43.0	39.4	36.4	33.2	28.2	23.3	19.0	15.7	13.8	12.4	10.9	9.9
25	46.9	44.3	40.6	37.7	34.4	29.3	24.3	19.9	16.5	14.6	13.1	11.5	10.5
26	48.3	45.6	41.9	38.9	35.6	30.4	25.3	20.8	17.3	15.4	13.8	12.2	11.2
27	49.6	47.0	43.2	40.1	36.7	31.5	26.3	21.7	18.1	16.2	14.6	12.9	11.8
28	51.0	48.3	44.5	41.3	37.9	32.6	27.3	22.7	18.9	16.9	15.3	13.6	12.5
29	52.3	49.6	45.7	42.6	39.1	33.7	28.3	23.6	19.8	17.7	16.0	14.3	13.1
30	53.7	50.9	47.0	43.8	40.3	34.8	29.3	24.5	20.6	18.5	16.8	15.0	13.8
40	66.8	63.7	59.3	55.8	51.8	45.6	39.3	33.7	29.1	26.5	24.4	22.2	20.7
50	79.5	76.2	71.4	67.5	63.2	56.3	49.3	42.9	37.7	34.8	32.4	29.7	28.0
60	92.0	88.4	83.3	79.1	74.4	67.0	59.3	52.3	46.5	43.2	40.5	37.5	35.5
70	104.2	100.4	95.0	90.5	85.5	77.6	69.3	61.7	55.3	51.7	48.8	45.4	43.3
80	116.3	112.3	106.6	101.9	96.6	88.1	79.3	71.1	64.3	60.4	57.2	53.5	51.2
90	128.3	124.1	118.1	113.1	107.6	98.6	89.3	80.6	73.3	69.1	65.6	61.8	59.2
100	140.2	135.8	129.6	124.3	118.5	109.1	99.3	90.1	82.4	77.9	74.2	70.1	67.3

Sumber: Limantara (2009: 34-35)

Langkah-langkah perhitungan uji Chi-Square adalah sebagai berikut

1. Menentukan banyak kelas dengan persamaan berikut:

$$\text{Banyak kelas} = 1 + 3.322 * \text{Log}(n) \quad (2-21)$$

Di mana,

$$n = \text{banyak data}$$

2. Menghitung nilai Pr berdasarkan jumlah kelas.
3. Menghitung Qr:

$$\text{Log}X = \text{Log} \bar{X} + K * S$$

2.3 Analisa Debit Limpasan Permukaan Lahan

Debit banjir rancangan adalah debit terbesar yang mungkin terjadi di suatu daerah dengan peluang kejadian tertentu yang digunakan sebagai dasar untuk merencanakan suatu bangunan pengairan.

Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya debit banjir adalah sebagai berikut:

1. Faktor hujan

Faktor hujan mencakupi intensitas hujan, durasi hujan, dan distribusi curah hujan.

2. Karakteristik DAS

Karakteristik DAS mencakupi luas dan bentuk DAS, topografi, dan tata guna lahan.

Metode perkiraan banjir yang didasarkan pada hujan rencana dapat diklasifikasikan menjadi tiga kelas yang mewakili suatu tingkat ketepatan yang makin menurun:

a. Kelas I : Metode hidrograf, seperti pelacakan larian dan unit hidrograf yang dikalibrasikan langsung dari rekaman hidrologi dari DAS yang dipelajari.

b. Kelas II : Metode yang memerlukan transposisi parameter dari DAS yang diukur ke DAS yang tidak diukur yang didekatnya, dan metode tersebut dikalibrasikan secara perwilayahan.

Metode ini mencakupi metode sintetik unit hidrograf, prosedur pelacakan larian dengan parameter yang didasarkan pada hubungan perwilayahan, data yang dipublikasikan, atau data untuk DAS yang berdekatan yang dikalibrasikan dan metode desain hidrograf yang di bangun pada wilayah yang khusus.

c. Kelas III : Metode umum atau metode “arbiter” atau rumus yang boleh diterapkan untuk mendapatkan perkiraan awal. Termasuk dalam kelas ini adalah rumus empiris, “tipe *hand-book*” dari Metode Rasional dan *US Conservation Method*.

Di Indonesia, metode yang didasarkan curah hujan kelas I dan II tidak kerap digunakan. Kesuksesan penerapannya menghendaki adanya data curah hujan yang bagus kualitasnya, dan juga data aliran sungai. Metode tersebut adalah kompleks dan diperlukan keterampilan dan pertimbangan dalam menterjemahkannya. Metode yang berdasarkan hujan kelas III tersebut adalah yang lebih umum digunakan dan termasuk penggunaan metode Der Weduwen, Melchior dan Rasional.

2.3.1 Metode Rasional

Metode yang dipakai untuk memperkirakan laju aliran permukaan puncak yang umum dipakai adalah metode Rasional USSCS (1973). Persamaan matematik metode Rasional dinatakan sebagai berikut:

$$Q_L = 0.278CIA \quad (2-22)$$

Dimana,

- Q_L = debit limpasan (m^3/det)
- C = koefisien limpasan (*run-off*)
- I = intensitas hujan (mm/jam)
- A = luas daerah tangkapan (km^2)

2.3.2 Intensitas Hujan

Intensitas hujan adalah tinggi atau kedalaman air hujan per satuan waktu. Sifat umum hujan adalah makin singkat hujan berlangsung intensitasnya cenderung makin tinggi dan makin besar periode ulangnya makin tinggi pula intensitasnya. Hubungan antara intensitas, lama hujan dan frekuensi hujan biasanya dinyatakan dalam lengkung intensitas-durasi frekuensi (*IDF=intensity-duration-frequency Curve*). Diperlukan data curah hujan jangka pendek, misalnya 5 menit, 10 menit, 30 menit, 60 menit, dan jam-jaman untuk membentuk lengkung IDF (Suripin, 2004: 66).

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

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t_c} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (2-23)$$

Dimana,

- I = intensitas hujan (mm/jam)
- t_c = waktu konsentrasi (jam)
- R_{24} = curah hujan maksimum harian (selama 24 jam) (mm)

2.3.3 Waktu Konsentrasi

Waktu konsentrasi suatu DAS adalah waktu yang diperlukan oleh air hujan yang jatuh untuk mengalir dari titik terjauh sampai keluaran DAS (titik kontrol) setelah tanah menjadi jenuh dan depresi-depresi kecil terpenuhi. Salah satu metode untuk memperkirakan waktu konsentrasi adalah rumus yang dikembangkan oleh Kirpich (1940), yang dapat ditulis sebagai berikut (Suripin, 2004: 82):

$$t_c = \left(\frac{0.87 \times L^2}{1000 \times S} \right)^{0.385} \quad (2-24)$$

Dimana,

- t_c = waktu konsentrasi (jam)
 L = panjang saluran (km)
 S = kemiringan rerata saluran

2.3.4 Koefisien Limpasan (*Run-Off*)

Tidak selamanya air hujan mencapai saluran drainase, ada yang menguap, meresap kedalam tanah (infiltrasi) atau tertunda. Laju dari puncak limpasan (*run-off*) hujan deras terhadap intensitas curah hujan disebut Koefisien Limpasan dan dinotasikan dengan C .

Koefisien limpasan tergantung pada kondisi geografis, geologi dan permukaan tanah. Nilai dasar dari koefisien limpasan dapat dilihat pada tabel 2.10.

Tabel 2.10 Nilai Dasar Koefisien Limpasan

Gambaran Daerah	Koefisien limpasan (<i>Run-off</i>)	Sifat Permukaan Tanah	Koefisien limpasan (<i>Run-off</i>)
Perdagangan		Jalan	
Daerah kota	0,70- 0,95	aspalt	0,70-0,95
Daerah dekat kota	0,70- 0,95	beton	0,80-0,95
Perumahan		Batu bata	0,70-0,85
Rumah tinggal terpecah	0,30- 0,50	Batu kerikil	0,15-0,35
Kompleks perumahan	0,40- 0,60	Jalan raya dan trotoar	0,70-0,85
Apartemen	0,50- 0,70	Atap	0,75-0,95
Industri		Lapangan rumput, tanah	
Industri ringan	0,50- 0,80	berpasir	
Industri berat	0,60- 0,90	Kemiringan 2%	0,05-0,10
Taman, pekuburan	0,10- 0,25	Rata-rata 2-7 %	0,10-0,15
Lapangan bermain	0,10- 0,25	Curam 7%	0,15-0,20
Daerah halaman KA	0,20- 0,40	Lapangan rumput, tanah	
Daerah tidak terawat	0,10- 0,30	Keras	
		Kemiringan 2%	0,13-0,17
		Rata-rata 2-7 %	0,18-0,22
		Curam 7%	0,25-0,35

Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum (2013: 272)

Jika DAS terdiri dari berbagai macam penggunaan lahan dengan koefisien yang berbeda, maka C yang dipakai adalah koefisien limpasan yang dihitung dengan persamaan berikut:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n C_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (2-25)$$

Di mana,

C = koefisien limpasan (*run-off*)

C_i = koefisien limpasan dengan jenis penutup tanah i (mm/jam)

A_i = luas lahan dengan jenis penutup tanah i (km²)

2.4 Analisa Debit Buangan Penduduk

Dalam perencanaan saluran drainase perkotaan, penambahan jumlah penduduk perlu diperhitungkan untuk memperkirakan jumlah air buangan penduduk atau air limbah rumah tangga agar masa layanan saluran drainase dapat tercapai.

Untuk menentukan proyeksi jumlah penduduk ada beberapa metode perhitungan, dengan tujuan untuk mendapat hasil proyeksi yang mendekati pertumbuhan penduduk sebenarnya. Metode yang digunakan dalam studi ini adalah metode eksponensial. Penggunaan metode eksponensial dengan anggapan bahwa pertumbuhan penduduk terjadi secara terus-menerus setiap hari dengan angka yang konstan.

2.4.1 Perhitungan Proyeksi Penduduk dengan Metode Eksponensial

Rumus yang digunakan dalam metode eksponensial adalah sebagai berikut

$$P_n = P_0 \cdot e^{(r \cdot n)} \quad (2-26)$$

Di mana,

P_n = jumlah penduduk yang diperkirakan pada tahun n (jiwa)

P_0 = jumlah penduduk pada akhir tahun data (jiwa)

r = angka pertumbuhan penduduk (%)

n = jumlah tahun proyeksi

e = bilangan logaritma (2.71828)

2.4.2 Debit Buangan (Limbah) Penduduk

Air buangan penduduk merupakan air sisa atau bekas dari air yang dimanfaatkan untuk kepentingan sehari-hari.

Air buangan penduduk dihitung berdasarkan kebutuhan air bersihnya. Diperkirakan air yang masuk melalui saluran pengumpul air buangan adalah sebesar 50-85% dari dari kebutuhan air bersih.

Tabel 2.11 Kebutuhan Air Bersih Per Penduduk

Kota	Jumlah Penduduk (jiwa)	Kebutuhan air (lt/det/penduduk)
Kota Metropolitan	> 1000000	190
Kota Besar	500000 - 1000000	70
Kota Sedang	100000 - 500000	150
Kota Kecil	20000 - 100000	130
IKK	3000 - 20000	100
Pedesaan	< 3000	60

(Suhardjono, 2015:101).

Untuk menghitung debit drainase yang berasal dari air buangan penduduk dapat digunakan persamaan berikut.

$$Q_P = \frac{P_n \cdot q}{A} \quad (2-27)$$

Di mana,

Q_P = debit buangan penduduk atau debit air kotor (lt/det/km²)

P_n = jumlah penduduk yang diperkirakan pada tahun n (jiwa)

q = jumlah air buangan (lt/orang/det)

A = luas daerah (km²)

2.5 Analisa Debit Drainase Sawah

Debit drainase sawah dihitung dengan persamaan berikut:

$$Q_d = 1.62 \cdot D_m \cdot A^{0.92} \quad (2-28)$$

Dimana :

Q_d = debit drainase sawah (l/det)

D_m = modulus pembuang (l/det.ha)

A = luas (ha)

Modulus pembuang rencana dipilih berdasarkan curah hujan harian dengan perioda ulang 5 tahun dan rumusnya adalah sebagai berikut :

$$D_m = \frac{D_n}{n \cdot 8.64} \quad (2-29)$$

Dimana,

$D(n)$ = Limpasan air permukaan selama n hari (mm)

$$D(n) = R(n)T + n (IR - ET - P) - \Delta s \quad (2-30)$$

Dimana,

$D(n)$ = Limpasan air permukaan selama n hari (mm)

$R(n)T$ = Curah hujan selama n berturut-turut dengan hari perioda ulang T tahun (mm)

n = Jumlah hari berturut-turut

IR = Pemberian air irigasi (mm/hr)

ET = Evapotranspirasi (mm/hr)

P = Perkolasi (mm/hr)

Δs = Tampungan tambahan (mm)

2.6 Perhitungan Total Debit Layanan Drainase

Debit layanan drainase adalah debit yang berasal dari air hujan yang melimpas, air buangan penduduk (limbah domestik) dan drainase sawah. Perhitungan debit drainase digunakan untuk perencanaan dimensi saluran drainase selanjutnya.

$$Q_{\text{Drain}} = Q_L + Q_P + Q_{\text{sawah}}$$

2.7 Evaluasi dan Perencanaan Saluran Drainase

Evaluasi saluran adalah tindakan yang diperlukan untuk mengetahui seberapa besar kapasitas debit yang dapat ditampung dengan dimensi saluran yang sudah ada dengan mempertimbangkan bahan konstruksi, kemiringan saluran dan kecepatan aliran. Apabila kriteria tersebut tidak terpenuhi maka perlu dilakukan perencanaan ulang agar saluran drainase dapat menampung dan menyalurkan debit drainase. Dalam perencanaan saluran drainase, semakin ke hilir maka kapasitas saluran harus semakin besar.

2.7.1 Kapasitas Saluran

Besarnya kapasitas saluran dapat ditentukan berdasarkan bentuk dimensinya. Untuk merencanakan dimensi penampang pada saluran drainase digunakan rumus kontinuitas sebagai berikut:

$$Q = A * V \quad (2-31)$$

Dimana,

Q = kapasitas saluran (m^3/det)

A = luas penampang saluran (m^2)

V = kecepatan aliran rata-rata di saluran (m/det)

Sedangkan kecepatan aliran pada saluran dapat dihitung dengan menggunakan rumus

Manning:

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (2-32)$$

Dimana,

- V = kecepatan aliran (m/det)
 R = jari-jari hidrolis saluran (m)
 S = kemiringan dasar saluran
 n = angka kekasaran Manning,

Nilai n dapat dilihat pada Tabel 2.12.



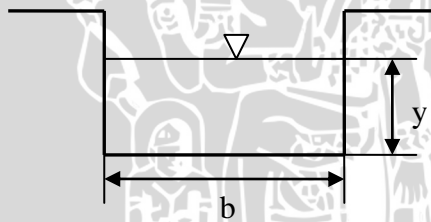
Tabel 2.12 Angka Kekasaran Manning (n)

No.	Tipe saluran dan jenis bahan	Harga n		
		Minimum	Normal	Maksimum
1.	Beton			
-	Gorong-gorong lurus dan bebas dari kotoran	0.010	0.011	0.013
-	Gorong-gorong ldengan legkungan dan sedikit kotoran/gangguan	0.011	0.013	0.014
-	Beton dipoles	0.011	0.012	0.014
-	Saluran pembuang dengan bak kontrol	0.013	0.015	0.017
2.	Tanah, lurus dan seragam			
-	Bersih baru	0.016	0.018	0.020
-	Bersih telah melapuk	0.018	0.022	0.025
-	Berkerikil	0.022	0.025	0.030
-	Berumput pendek, sedikit tanaman pengganggu	0.022	0.027	0.033
3.	Saluran alam			
-	Bersih lurus	0.025	0.030	0.033
-	Bersih berkelok-kelok	0.033	0.040	0.045
-	Banyak tanaman pengganggu	0.050	0.070	0.080
-	Dataran banjir berumput pendek-tinggi	0.025	0.030	0.035
-	Saluan di belukar	0.035	0.050	0.070

Sumber: Suripin, 2004: 145

Ada beberapa bentuk penampang saluran yang dipakai sebagai saluran drainasi, yaitu:

1. Penampang saluran segiempat



Gambar 2.2 Dimensi Saluran Bentuk Segiempat

$$A = b * y \quad (2-33)$$

$$P = b + 2y \quad (2-34)$$

$$R = \frac{by}{b + 2y} \quad (2-35)$$

Dimana,

b = lebar saluran (m)

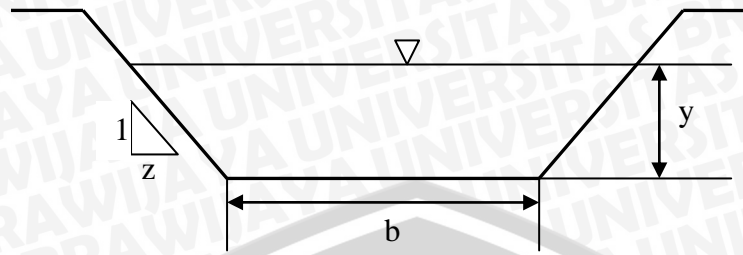
y = dalam saluran tergenang air (m)

A = luas (m²)

P = keliling basah (m)

R = jari-jari hidrolis (m)

2. Penampang saluran trapezium



Gambar 2.3 Dimensi Saluran Bentuk Trapezium

$$A = (b + zy)y \tag{2-36}$$

$$P = b + 2y\sqrt{1+z^2} \tag{2-37}$$

$$R = \frac{(b + zy)y}{b + 2y\sqrt{1+z^2}} \tag{2-38}$$

Di mana,

b = lebar saluran (m)

y = dalam saluran tergenang air (m)

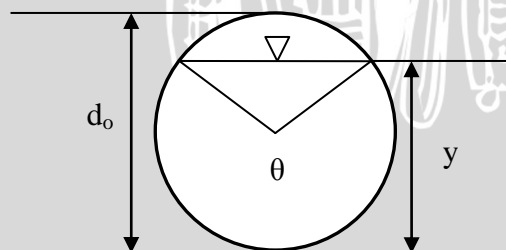
z = kemiringan saluran

A = luas (m²)

P = keliling basah (m)

R = jari-jari hidrolis (m)

3. Penampang saluran lingkaran



Gambar 2.4 Dimensi Saluran bebrbentuk lingkaran

$$A = \frac{1}{8}(\theta - \sin\theta)d_o^2 \tag{2-39}$$

$$P = \frac{1}{2}\theta d_o \tag{2-40}$$



$$R = \frac{1}{4} \left(1 + \frac{\sin \theta}{\theta} \right) d_o \quad (2-41)$$

Dimana,

d_o = tinggi saluran (m)

y = dalam saluran tergenang air (m)

A = luas (m^2)

P = keliling basah (m)

R = jari-jari hidrolis (m)

2.7.2 Kecepatan Aliran

Besarnya kecepatan aliran yang diijinkan dalam saluran tergantung pada material pembentuk saluran, kondisi fisik dan sifat-sifat hidrolisnya. Kecepatan aliran yang diijinkan dibagi menjadi dua, yaitu saluran tahan erosi dan saluran tak tahan erosi.

1. Untuk saluran yang tahan erosi, kecepatan aliran didasarkan pada kecepatan minimum yang diperbolehkan. Kecepatan minimum yang diperbolehkan adalah kecepatan terendah dimana tidak menjadikan pengendapan partikel dan masih dapat mencegah tumbuhnya tanaman air dalam saluran, biasanya berkisar antara 0.6 – 0.9 m/detik.
2. Untuk saluran tidak tahan erosi, kecepatan alirannya didasarkan pada kecepatan maksimum yang diperbolehkan. Kecepatan maksimum yang diperbolehkan adalah kecepatan rata-rata terbesar yang tidak boleh mengakibatkan penggerusan terhadap badan saluran.

Untuk saluran yang terbuat dari pasangan batu kecepatan maksimum adalah antara 2.5 – 3.5 m/detik. Sedangkan untuk saluran tanah sekitar 2 m/detik (Suhardjono, 2015:115).

2.7.3 Tinggi Jagaan (*Freeboard*)

Tinggi jagaan adalah jarak vertikal dari puncak tanggul sampai permukaan air pada kondisi perencanaan. Jarak tersebut berdasarkan pertimbangan agar dapat mencegah luapan air akibat gelombang fluktuasi air.

Tinggi jagaan umumnya antara 0.15-0.6 m. Tinggi jagaan minimum adalah 10 cm di atas permukaan air untuk debit rancangan maksimum. (Suhardjono, 2015:121)

2.8 Fasilitas Pemanenan Air Hujan (PAH)

Prioritas utama *ecodrain* adalah mengelola limpasan permukaan dengan cara mengembangkan fasilitas pemanenan air hujan. Berdasarkan fungsinya, fasilitas

pemanenan air hujan dikelompokkan menjadi dua tipe, yaitu tipe penyimpanan dan tipe peresapan (Kementrian Pekerjaan Umum, 2013: 390).

1. Fasilitas PAH tipe penyimpanan

Fasilitas pemanenan air hujan tipe tampungan sangat beragam jenisnya. Berdasarkan lokasinya dibedakan menjadi penyimpanan di dalam lokasi (*in-site storage*), dan penyimpanan di luar lokasi (*off-site storage*). Penyimpanan di dalam lokasi dapat berada di permukaan tanah maupun di bawah permukaan tanah. Fasilitas PAH di kawasan padat, di mana lahan sangat terbatas, dapat digunakan tipe tampungan individual berupa tanki air dari drum bekas, tanki fiber, atau bahan. Air hujan dari atap ditampung di tanki air, dan dapat dimanfaatkan untuk menyiram tanaman atau mencuci mobil, atau untuk kebutuhan industri.

Untuk kawasan pedesaan, di perkampungan dapat dikembangkan belumbang atau saluran buntudi pekarangan. Saluran ini berfungsi menyimpan air sekaligus pengisian air tanah. Dengan demikian ketersediaan air tanah akan selalu terjaga. Demikian juga di lahan pertanian, dapat dikembangkan lumbung-lumbung air, embung, waduk, parit dan lain-lain, yang berfungsi menangkap air hujan sebanyak-banyaknya. Tampungan-tampungan baru tersebut juga merupakan upaya untuk melakukan konservasi di hulu yang dimaksudkan untuk mempertahankan dan memelihara keberadaan, sifat dan fungsi sumberdaya air sehingga dapat lebih dijamin ketersediaan dan kualitas air untuk memenuhi berbagai kebutuhan secara berkesinambungan baik bagi generasi sekarang maupun akan datang. Selain itu, pembangunan tampungan baru juga merupakan upaya untuk melakukan pengendalian banjir yang saat ini sering terjadi di hilir terutama di beberapa wilayah perkotaan.

2. Fasilitas PAH tipe peresapan

Fasilitas PAH tipe resapan dapat dibuat secara individual, maupun kelompok. Fasilitas PAH dapat dibuat di mana saja, baik di perkotaan maupun di pedesaan. Untuk kawasan perkotaan, dimana lahan sangat terbatas, fasilitas PAH tipe resapan lebih cocok, seperti sumur resapan air hujan, biopori, bioretensi. Tipe PAH ini tidak perlu lahan khusus. Lahan untuk PAH masih dapat difungsikan untuk keperluan lain. Taman kota, median jalan, dan taman parkir juga dapat dimanfaatkan untuk peresapan maupun tampungan sementara dalam bentuk bioretensi.

Peresapan air hujan ke bawah tanah dapat melindungi kota dari gangguan polusi panas dan kekurangan air serta memperbaiki lingkungan kota. Walaupun kegunaan pengisian air tanah buatan begitu banyak, namun tidak dapat diterapkan di sembarang tempat. Beberapa persyaratan fisik yang harus dipenuhi dalam pembuatan pengisian air tanah buatan antara lain:

- 1). Tersedia kapasitas yang memadai. Lokasi dengan muka air tanah dekat dengan muka tanah tidak cocok untuk pembuatan pengisian air tanah buatan, demikian juga lokasi dengan tekanan piezometrik yang tinggi.
- 2). Tersedia air yang cukup dengan kualitas yang memadai (lebih baik dari kualitas air tanah lokal).
- 3). Tanah atau batuan pada lokasi mempunyai transmisibilitas atau permeabilitas yang cukup.

Beberapa jenis fasilitas PAH tipe resapan yang sudah banyak dikenal di masyarakat adalah sebagai berikut:

- 1). Sumur resapan
- 2). Sumur resapan kolektif
- 3). Kolam resapan
- 4). Saluran berumput (*grass channel*)
- 5). Bioretensi (*rain garden*)
- 6). Biopori
- 7). Perkerasan resapan (*infiltration pavement*)
- 8). Taman atap (*roof garden*)

2.8.1 Sumur Resapan

Sumur resapan adalah lubang yang dibuat untuk meresapkan air hujan ke dalam tanah dan atau lapisan batuan pembawa air¹⁾. Konsep dasar sumur resapan adalah memberi kesempatan dan jalan pada air hujan yang jatuh di atap atau lahan kedap air untuk meresap ke dalam tanah dengan jalan menampung air tersebut pada suatu sistem resapan. Sumur resapan ini merupakan sumur kosong dengan maksud kapasitas tampungannya 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: 229). Berdasarkan konsep tersebut, maka ukuran atau dimensi sumur yang diperlukan untuk suatu lahan atau kapling sangat tergantung dari beberapa faktor berikut:

1. Luas permukaan penutupan, yaitu lahan yang airnya akan ditampung dalam sumur resapan, meliputi luas atap, lapangan parkir dan perkerasan-perkerasan lain.
2. 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, yaitu kemampuan tanah dalam melewatkan air persatuan 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.

Sejauh ini telah dikembangkan beberapa metode untuk mendimensi sumur resapan, beberapa diantaranya adalah sebagai berikut.

a. Sunjoto (1988)

Secara teoritis, volume dan efisiensi sumur resapan dapat dihitung berdasarkan keseimbangan air yang masuk ke sumur dan air yang meresap ke dalam tanah dapat dituliskan sebagai berikut:

$$H = \frac{Q}{FK} \left(1 - e^{-\frac{FKT}{\pi R^2}}\right) \quad (2-42)$$

Dimana:

H = tinggi muka air dalam sumur (m)

F = adalah faktor geometrik (m)

Q = debit air masuk (m³/dt)

T = waktu pengaliran (detik)

K = koefisien permeabilitas tanah (m/dt)

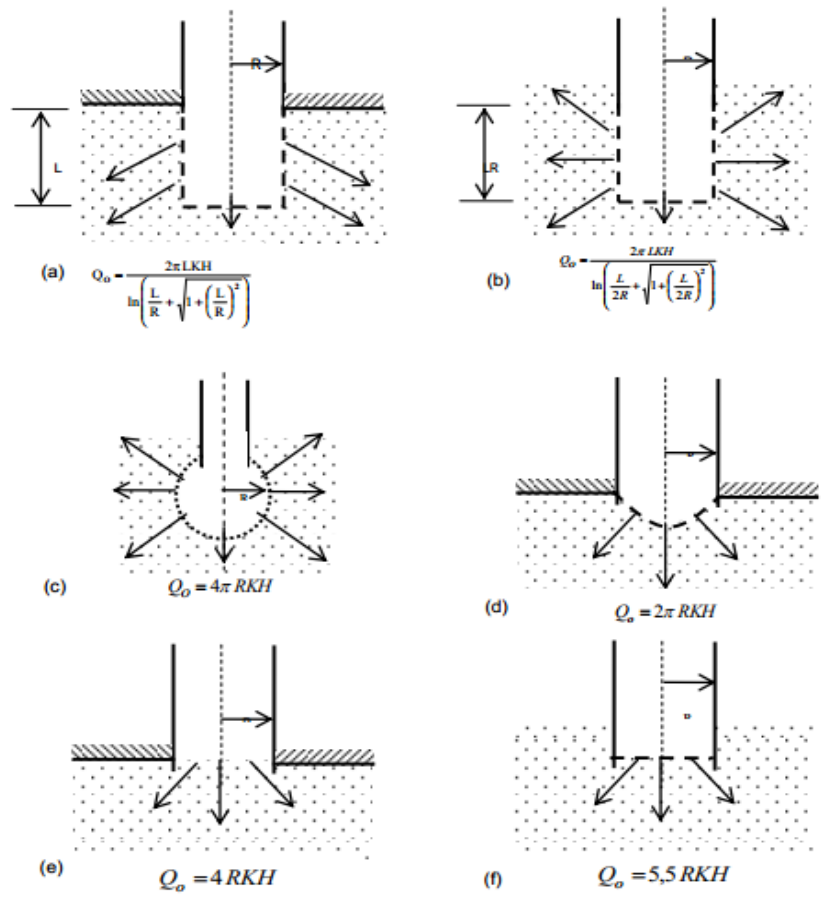
¹⁾ Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup nomor 12 tahun 2009 tentang Pemanfaatan Air Hujan

R = jari-jari sumur (m).

Faktor geometrik tergantung pada berbagai keadaan sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 2.5, dan secara umum dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$Q_0 = FKH$$

(2-43)



Gambar 2.5 Debit Resapan pada Sumur dengan Berbagai Kondisi

Sumber: Bouilliot, 1976; dalam Kementerian Pekerjaan Umum 2013

Kedalaman efektif sumur resapan dihitung dari tinggi muka air tanah bila dasar sumur berada di bawah muka air tanah tersebut, dan diukur dari dasar sumur bila muka air tanah berada di bawah dasar sumur. Sebaiknya dasar sumur berada pada lapisan tanah dengan permeabilitas tinggi.

b. Metode PU

Pusat Penelitian dan Pengembangan Pemukiman, Departemen Pekerjaan (1990) telah menyusun standar tata cara perencanaan teknis sumur resapan air hujan untuk lahan pekarangan yang dituangkan dalam SK SNI T-06-1990 F. Tidak jauh berbeda dengan apa yang dikemukakan oleh Sunjoto, metode PU menyatakan bahwa dimensi atau jumlah sumur resapan air hujan yang diperlukan pada suatu lahan pekarangan ditentukan oleh curah hujan maksimum, permeabilitas tanah dan luas bidang tanah, yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$H = \frac{D.I.A_t - D.k.A_s}{A_s + D.K.P} \quad (2-44)$$

dimana:

D = durasi hujan (jam)

I = intensitas hujan (m/jam)

A_t = luas tadah hujan (m^2), dapat berupa atap rumah atau permukaan tanah yang diperkeras

k = permeabilitas tanah (m/jam)

P = keliling penampang sumur (m)

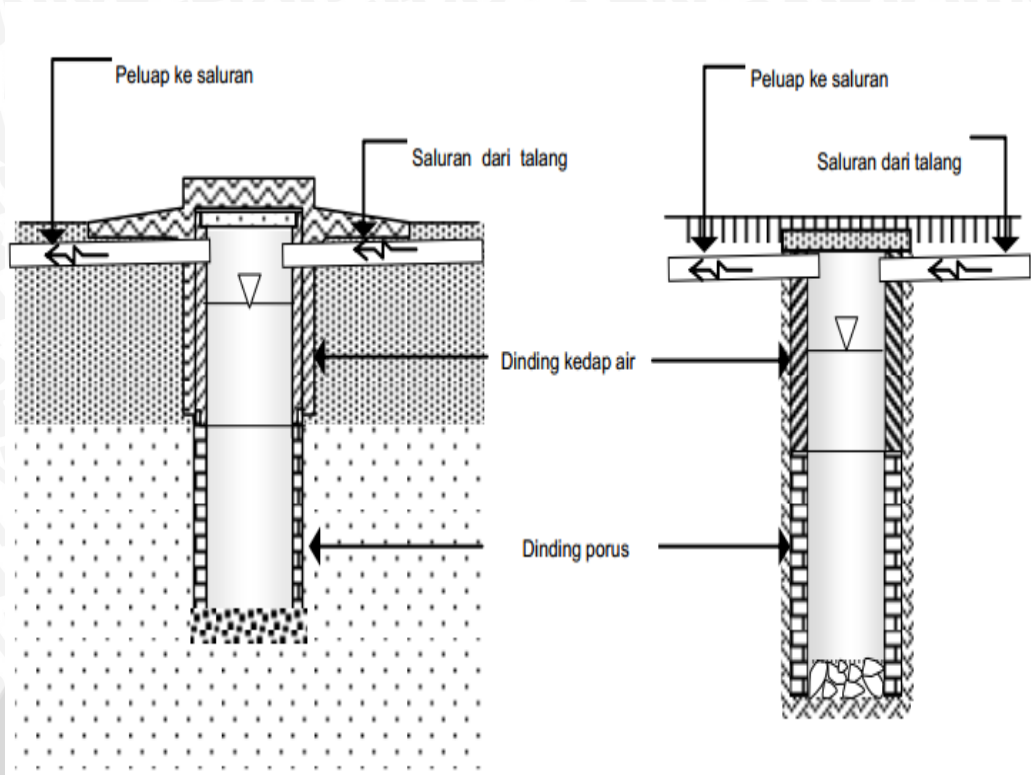
A_s = luas penampang sumur (m^2)

H = kedalaman sumur (m).

2.8.1.1 Konstruksi Sumur Resapan

Pada dasarnya sumur resapan dapat dibuat dari berbagai macam bahan yang tersedia di lokasi. Perlu diperhatikan bahwa untuk keamanan, sumur resapan perlu dilengkapi dengan dinding. Bahan-bahan yang diperlukan untuk sumur resapan meliputi:

1. Saluran pemasukan/pengeluaran dapat menggunakan pipa besi, pipa pralon, buis beton, pipa tanah liat, atau dari pasangan batu.
2. Dinding sumur dapat menggunakan anyaman bambu, drum bekas, tangki fiberglass, pasangan batu bata, atau buis beton.
3. Dasar sumur dan sela-sela antara galian tanah dan dinding tempat air meresap dapat diisi dengan ijuk atau kerikil.



Gambar 2.6 Konstruksi Sumur Resapan

Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum (2013: 398)

2.8.1.2 Persyaratan Sumur Resapan

Sumur resapan banyak mendatangkan manfaat, namun pembuatannya perlu memperhatikan syarat-syarat yang diperlukan untuk mendapatkan hasil yang optimal

a. Persyaratan umum

Persyaratan umum yang perlu dipenuhi adalah sebagai berikut:

- 1) sumur resapan air hujan dibuat pada lahan yang lurus air dan tahan longsor,
- 2) sumur resapan air hujan harus bebas kontaminasi/pencemaran limbah,
- 3) air yang masuk sumur resapan adalah air hujan,
- 4) untuk daerah sanitasi lingkungan buruk, sumur resapan air hujan hanya menampung dari atap dan disalurkan melalui talang,
- 5) mempertimbangkan aspek hidrogeologi, geologi dan hidrologi.

b. Keadaan muka air tanah

Sumur resapan dibuat pada awal daerah aliran yang dapat ditentukan dengan mengukur kedalaman dari permukaan air tanah ke permukaan tanah di sumur sekitarnya pada musim hujan.

c. Permeabilitas tanah

Permeabilitas tanah yang dapat dipergunakan untuk sumur resapan dibagi menjadi 3 kelas sebagai berikut:

- 1) Permeabilitas tanah sedang (geluh/lanau, 2.0 – 6.5 cm/jam)
- 2) Permeabilitas tanah agak cepat (pasir halus, 6.5 – 12.5 cm/jam)
- 3) Permeabilitas tanah cepat (pasir kasar, lebih besar 12.5 cm/jam).

d. Penempatan

Untuk memberikan hasil yang baik, serta tidak menimbulkan dampak negatif, penempatan sumur resapan harus memperhatikan kondisi lingkungan setempat. Penempatan sumur resapan harus memperhatikan letak *septic tank*, sumur air minum, posisi rumah, dan jalan umum. Tabel berikut memberikan batas minimum jarak sumur resapan terhadap bangunan lainnya.

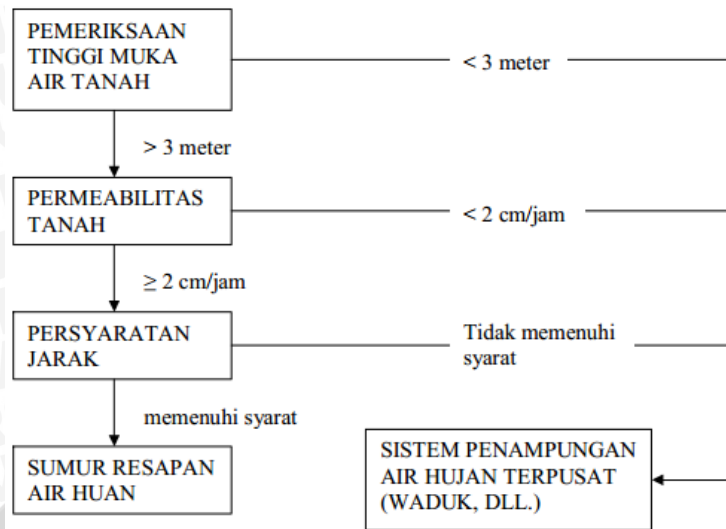
Tabel 2.13 Jarak Minimum Sumur Resapan dengan Bangunan Lainnya

No.	Bangunan/obyek yang ada	Jarak minimal dengan sumur resapan (m)
1.	Bangunan/rumah	3,0
2.	Batas pemilikan lahan/kapling	1,5
3.	Sumur untuk air minum	10,0
4.	Septik tank	10,0
5.	Aliran air (sungai)	30,0
6.	Pipa air minum	3,0
7.	Jalan umum	1,5
8.	Pohon besar	3,0

Sumber: Cotteral and Norris dalam Kementerian Pekerjaan Umum 2013

e. Langkah-langkah pembuatan sumur resapan air hujan

Langkah-langkah yang perlu diperhatikan dalam pembuatan sumur resapan air hujan digambarkan dalam bagan berikut.



Gambar 2.7 Bagan Alir Pembuatan Sumur Resapan Air Hujan

Sumber: Kementerian PU 2013: 397

f. Pemeriksaan

Sumur resapan air hujan perlu diperiksa secara periodik setiap 6 bulan sekali untuk menjamin kontinuitas operasi sumur resapan. Pemeriksaan yang dilakukan meliputi:

- 1) Aliran masuk
- 2) Bak kontrol
- 3) Kondisi sumur resapan.

