

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Rainwater harvesting atau pemanenan air hujan berupa kegiatan mengumpulkan air hujan dan menyimpan air hujan melalui talang rambu dan talang tegak yang mana aliran air diteruskan ke tangki penampungan, untuk kebutuhan masa depan demi memenuhi dalam hal konsumsi manusia atau kegiatan manusia dan pendistribusian air hujan dari atap, untuk penggunaan di dalam dan di luar gedung.

2.1.1. Air Hujan

Presipitasi merupakan air yang turun dari atmosfer ke permukaan bumi berupa hujan, hujan salju, kabut, embun, dan hujan es. Dimana maka digunakan istilah hujan untuk menggantikan presipitasi tersebut. Di atmosfer uap air tersebut akan naik sehingga terjadi kondensasi menjadi kristal-kristal es dan butir-butir air yang akhirnya jatuh sebagai hujan (Triatmodjo, 2008). Curah hujan merupakan tingginya air hujan yang terkumpul kedalam tempat yang tidak meresap, datar, tidak mengalir dan tidak menguap. Curah hujan satu mm artinya yaitu luasan 1 m^2 di tempat yang datar tertampung air setinggi 1 mm atau dapat ditampung air sebanyak 1 liter. Intensitas curah hujan berupa ukuran jumlah hujan per satuan waktu selama hujan berlangsung. Dapat dikatakan intensitasnya besar berarti hujan lebat dan kondisi tersebut sangat berbahaya karena berdampak dapat menimbulkan longsor, banjir dan efek negatif terhadap tanaman.. Hujan dibagi menjadi lima tingkatan sesuai tingkat intensitasnya seperti pada tabel berikut:

Tabel 2.1. Tingkatan Hujan Berdasarkan Intensitas

Tingkatan	Intensitas (mm/menit)
Sangat Lemah	$< 0,02$
Lemah	$0,02 - 0,05$
Sedang	$0,05 - 0,25$
Deras	$0,25 - 1$
Sangat Deras	> 1

Sumber : Mori et all,1997

Proses uap air tercampur dan melarutkan gas-gas oksigen, karbondioksida, debu, nitrogen, dan senyawa lain. Maka, air hujan juga mengandung bakteri, debu, serta berbagai senyawa yang terdapat dalam udara. Jadi keadaan lingkungan mempengaruhi kualitas air. (Hamonangan, 2011).

2.1.2. Pemanenan Air Hujan (*Rainwater Harvesting*)

Rainwater harvesting adalah proses pemanenan air hujan yang ditampung melalui atap sebuah bangunan yang kemudian air hujan tersebut disimpan di dalam sebuah bak atau tangki penampungan (Maryono dan Santoso, E.N. 2006). Penghematan air hujan dan penggunaan kembali adalah hal yang penting pada saat ini. Menurut ekologis ini adalah alasan mengapa memanen air hujan penting untuk konservasi air (Worm, Janette dan Hattum, Tim Van, 2006), yaitu:

- a. Sistem pemanenan air hujan merupakan alternatif yang baik dan bermanfaat dikarenakan peningkatan kebutuhan terhadap air berakibat meningkatnya pengambilan air tanah sehingga mengurangi cadangan air tanah yang tersedia.
- b. Keberadaan air dari sumber air seperti danau, sungai, dan air bawah tanah sangat fluktuatif. Mengumpulkan dan menyimpan air hujan dapat menjadi solusi saat kualitas air permukaan, seperti air danau atau sungai, menjadi rendah selama musim hujan.
- c. Mengumpulkan dan melakukan penyimpanan air di dekat rumah akan meningkatkan akses terhadap persediaan air dan berdampak baik pada kesehatan serta memperkuat rasa kepemilikan pemakai terhadap sumber air alternatif.
- d. Kegiatan industri dapat mencemari air dan menimbulkan limbah dari kegiatan manusia misalnya masuknya mineral seperti arsenic dan garam.

Maryono dan Santoso (2006) menyebutkan bahwa teknik pemanenan air hujan atau disebut juga dengan istilah *rainwater harvesting* berupa suatu cara menampung air hujan pada saat curah hujan tinggi untuk selanjutnya digunakan disaat hujan sedang rendah. Dilihat dari ruang lingkup implementasinya, teknik ini bisa digolongkan dalam 2 (dua) penggolongan, yaitu :

- a. Teknik pemanenan air hujan dengan atap bangunan (*roof top rainwater harvesting*).
- b. Teknik pemanenan air hujan (dan aliran permukaan) dengan bangunan *reservoir*, seperti parit, embung, kolam, situ, waduk, dan sebagainya.

Teknik pemanenan air hujan dengan menggunakan atap sebagai daerah tangkapan airnya (*catchment area*) dimana air hujan yang jatuh di atas atap kemudian disalurkan melalui talang untuk selanjutnya dikumpulkan dan ditampung ke dalam tangki atau bak penampung air hujan. Al Amin et al (2008) menyebutkan bahwa konstruksi untuk bangunan pemanen air hujan dapat dibuat dengan cepat karena cukup sederhana dan mudah dalam pembuatannya.

2.2. Landasan Teori

Landasan teoritis berupa sesuatu yang tersedia pada literatur melalui tinjauan bacaan yang mendalam dan diharapkan mampu menganalisis yang relevan dengan rumusan masalah penelitian yang kita selidiki. Oleh karena demikian pemilihan teori harus bergantung pada kemudahan penerapan, kekuatan penjelas dan kesesuaian.

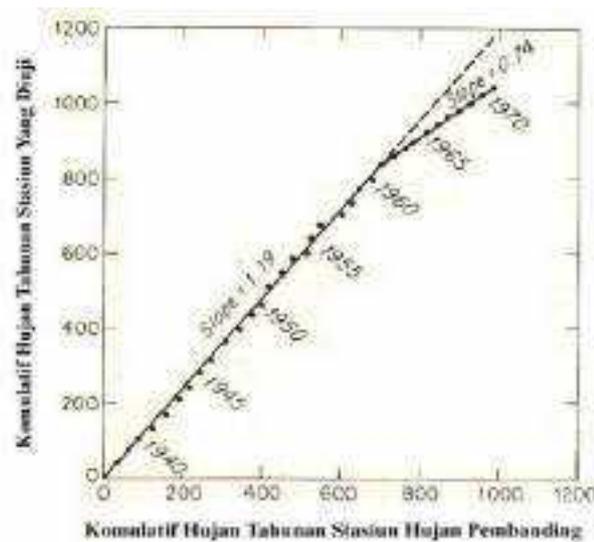
2.2.1. Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi berupa masukan penting dalam analisa selanjutnya untuk mengetahui karakteristik hidrologi daerah pengaliran yang akan digunakan sebagai dasar analisis dalam pekerjaan detail desain. Curah hujan wilayah/daerah (*areal rainfall*) dapat diperoleh dengan metode rata-rata aritmatik (aljabar). Metode aritmatik dapat digunakan untuk daerah yang topografinya datar dan distribusi hujan tersebar merata. Adapun hujan rerata pada seluruh DAS didapat dari nilai maksimumnya.

Data hujan yang digunakan dalam penelitian ini di dapat berdasarkan stasiun hujan Institut Teknologi Sumatera (PH-ITERA), Sukarame (PH-003), Negara Ratu (PH-033) dan Way Galih (PH-035). Data dari stasiun hujan ITERA yakni data dari 3 (tiga) tahun terakhir (2018-2020) harus diuji penggunaannya dengan pengujian sebagai berikut:

1) Uji Konsistensi Data

Pada tugas akhir ini uji konsistensi data yang dipakai adalah lengkung massa ganda. Dimana uji konsistensi lengkung massa ganda dilakukan untuk mengetahui adanya penyimpangan data hujan, sehingga nantinya dapat mengetahui apakah data tersebut layak dipakai dalam perhitungan analisis hidrologi atau tidak dapat.



Gambar 2.1. Uji Konsistensi Data

Sumber: Soemarto (1987)

Penggunaannya yakni dengan cara membandingkan curah hujan tahunan dari stasiun hujan yang diuji dengan akumulasi curah hujan rata-rata yang stasiun hujannya dipilih dari tempat yang berdekatan, setelah itu di plot dalam kurva sehingga dapat diketahui hasilnya. Apabila data hujan tidak konsisten terdapat penyimpangan yang garis dihasilkan dalam kurva tersebut, dan diperlukan koreksi perhitungan. Rumus untuk menghitung faktor koreksi sebagai berikut:

$$\alpha = \frac{S_1}{S_2} \quad (2.1)$$

Keterangan:

S_1 : Landai sesudah perubahan

S_2 : Landai sebelum perubahan

2) Uji Ketidakadaan Trend

Trend atau pola merupakan deret berkala yang nilainya menunjukkan gerakan yang berjangka panjang dan mempunyai kecenderungan menuju kesatu arah, yaitu arah menaik dan menurun. Apabila hasil uji ini menunjukkan adanya trend maka analisis hidrologi harus mengikuti garis trend yang dihasilkan.

a) Uji Korelasi Peringkat Metode Spearman

Pengujian ini dilihat dari korelasi antara waktu dan varian dari suatu variabel hidrologi dari suatu deret berkala. Untuk menguji apakah hasil menunjukkan adanya trend atau tidak. Rumus untuk menghitung yakni sebagai berikut sebagai berikut:

$$KP = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (dt)^2}{n^3 - n} \quad (2.2)$$

$$t = KP \left(\frac{n-2}{1-KP^2} \right)^{1/2} \quad (2.3)$$

Keterangan:

KP : Koefisien korelasi peringkat spearman

n : Jumlah data

dt : $R_t - T_t$

T_t : Peringkat dari waktu

R_t : Peringkat dari variabel hidrologi dalam deret berkala

t : Nilai distribusi t (derajat kebebasan (n-2))

untuk derajat kepercayaan tertentu (umumnya 5%)

b) Uji Mann dan Whitney

Pengujian ini dilakukan dengan melihat dua kelompok data yang tidak berpasangan berasal dari populasi yang sama atau tidak. Untuk menguji apakah hasil satu set sampel data deret berkala menunjukkan adanya trend atau tidak maka dapat dirumuskan dengan persamaan berikut:

$$U_1 = N_1 N_2 + \frac{N_1}{2} (N_1 + 1) - R_m \quad (2.4)$$

$$U_2 = N_1 N_2 - U_1 \quad (2.5)$$

$$Z = \frac{\frac{U - (N_1 N_2)}{2}}{\left[\frac{1}{12} \{N_1 N_2 (N_1 + N_2 + 1)\} \right]^{1/2}} \quad (2.6)$$

Keterangan:

- U_1, U_2 : Parameter statistik
 N_1 : Jumlah data pada kelompok I
 N_2 : Jumlah data pada kelompok II
 R_m : Jumlah dari nilai peringkat data pada kelompok I
 Z : Nilai hitung Uji Mann dan Whitney

c) Uji Tanda dari Cox dan Stuart

Dalam uji ini dapat melihat perubahan trend. Dilakukan pemberian tanda dengan membagi data menjadi tiga kelompok yang sama, setelah itu dengan membandingkan nilai dari kelompok data ke-1 dan ke-3, dan hasilnya dengan pemberian tanda (=) untuk nilai yang positif dan tanda (-) untuk nilai negatif. Rumus untuk menghitung yakni sebagai berikut sebagai berikut:

$$Z = \frac{S - \frac{n}{6} - 0,5}{\left(\frac{n}{12}\right)^{1/2}} \quad (2.7)$$

Keterangan:

- n : Jumlah data pada variabel hidrologi
 S : Jumlah tanda positif (+)

3) Uji Stationer

Suatu data dengan deret berkala disebut stationer apabila nilai dari parameter statistiknya (rata-rata dan varian) relatif tidak berubah dari setiap bagian ke bagian yang lain dalam rangkaian data runtut waktu tersebut. Maka tujuan dilakukannya uji stationer ini untuk menguji kestabilan nilai varian dan rata-rata dari suatu deret berkala. Artinya untuk mengetahui apakah sampel berasal dari populasi yang sama. Dalam menguji nilai kestabilan nilai varian dapat dilakukan dengan uji F untuk menguji nilai varian dan uji T untuk menguji nilai rata-rata suatu deret berkala.

a) Uji F (Uji Kestabilan Varian)

Saat menguji nilai kestabilan dilakukan uji F untuk mengetahui nilai varian, pengujian ini dilakukan dengan data deret berkala dibagi menjadi dua kelompok atau lebih dan diuji menggunakan uji F yang apabila $F_{hitung} < F_{cr}$ maka hipotesis nol diterima dan nilai varian dari data yang diuji adalah stationer atau stabil.

Langkah yang dilakukan dalam Uji F adalah sebagai berikut:

1. Membagi data deret berkala menjadi 2 kelompok atau lebih.
2. Menghitung nilai n dan S pada masing masing kelompok.
3. Menghitung nilai F sesuai persamaan (2.2).
4. Membandingkan nilai F hitung dengan nilai F_{cr} pada tabel distribusi, sesuai dengan derajat kebebasan $dk_1 = n_1 - 1$ dan $dk_2 = n_2 - 1$, dan nilai α (*level of significance*) yang diinginkan, $\alpha = 5\%$ atau $\alpha = 1\%$. Apabila nilai F hitung $< F_{cr}$ maka hipotesis nol diterima dan nilai varian dari data yang diuji adalah stasioner atau stabil.

Rumus untuk menghitung nilai varian sebagai berikut:

$$F = \frac{n_1 S_1 (n_2 - 1)}{n_2 S_2 (n_1 - 1)} \quad (2.8)$$

Keterangan:

n_1, n_2 : Jumlah data kelompok 1 dan 2

S_1, S_2 : Standar deviasi kelompok 1 dan 2

b) Uji T (Uji Kestabilan Rata-rata)

Untuk mengetahui nilai kestabilan rata-rata maka dilakukan Uji T, untuk rata-rata deret berkala apabila datanya dianggap sebuah populasi. Pengujian sama seperti Uji F dengan membagi data menjadi dua kelompok atau lebih, setiap pasangan dua kelompok diuji. Apabila nilai t hitung $< t_{cr}$ maka hipotesis nol diterima dan rata-rata dari data yang diuji adalah stasioner atau stabil. Langkah yang dilakukan dalam Uji T adalah sebagai berikut:

1. Membagi data deret berkala menjadi 2 kelompok atau lebih.
2. Menghitung nilai n , S , dan rata-rata pada masing masing kelompok.

3. Menghitung nilai t sesuai persamaan (2.3).
4. Membandingkan nilai t hitung dengan nilai t_{cr} pada tabel distribusi, sesuai dengan derajat kebebasan $dk = n_1 + n_2 - 2$, dan nilai α (*level of significance*) yang diinginkan, $\alpha = 5\%$ atau $\alpha = 1\%$. Apabila nilai t hitung $< t_{cr}$ maka hipotesis nol diterima dan nilai varian dari data yang diuji adalah stasioner atau stabil, bersifat homogen.

Rumus untuk menghitung nilai rata-rata sebagai berikut:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sigma \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)^{1/2}} \quad (2.9)$$

$$\sigma = \left(\frac{n_1 S_1^2 + n_2 S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right)^{1/2} \quad (2.10)$$

Keterangan:

n_1, n_2 : Jumlah data kelompok 1 dan 2

S_1, S_2 : Standar deviasi kelompok 1 dan 2

\bar{X}_1, \bar{X}_2 : Rata-rata kelompok 1 dan 2

4) Uji Persistensi

Uji persistensi adalah ketidaktergantungan dari setiap nilai dalam deret berkala dalam data hidrologi. Data tersebut dianggap data yang berasal dari sampel acak maka perlu diuji. Untuk melakukan pengujian ini harus dihitung besarnya nilai koefisien korelasi serial dengan metode Spearman. Rumus untuk menghitung nilai koefisien korelasi serial dapat dituliskan sebagai berikut:

$$KS = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^m (di)^2}{m^3 - m} \quad (2.11)$$

$$t = KS \left(\frac{m-2}{1-KS^2} \right)^{1/2} \quad (2.12)$$

Keterangan:

KS : Koefisien korelasi spearman

m : N-1

N : Jumlah data

di : Perbedaan nilai antara peringkat data ke Xi dan Xi+1

t : Nilai distribusi t (derajat kebebasan (m-2))

2.2.2. Analisis Frekuensi

Hubungan diantara kejadian ekstrim terhadap frekuensi kejadian dengan menggunakan distribusi probabilitas yang digunakan untuk menentukan analisis frekuensi (Suripin, 2003). Sedangkan kala ulang didefinisikan sebagai waktu hipotetik di mana hujan atau debit dengan suatu besaran tertentu dilampaui sekali dalam jangka waktu tersebut.

a. Parameter Statistik

Dispersi merupakan besarnya derajat atau besaran varian di sekitar nilai rata-ratanya. Untuk memperkirakan besarnya debit dengan kala ulang tertentu, terlebih dahulu data-data hujan didekatkan dengan suatu sebaran distribusi.

1) Standar Deviasi (SD)

Standar deviasi adalah ukuran yang digunakan untuk mengukur jumlah variasi atau sebaran sejumlah nilai data. Harga rata-rata dari penyimpangan, yang dinamakan keragaman (variance) adalah yang terbaik sebagai parameter dispersi. Adapun rumus untuk menentukan standart deviasi yaitu sebagai berikut (Suripin, 2003):

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum(Xi - Xr)^2}{n-1}} \quad (2.13)$$

Keterangan:

Sd : Standar Deviasi

X : Tinggi hujan rata – rata selama n tahun (mm)

Xi : Tinggi hujan di tahun ke-n (mm)

n : Jumlah tahun pencatatan data hujan

2) Koefisien Variasi (Cv)

Koefisien variasi (*coefficient of variation*) adalah nilai perbandingan antara standar deviasi dengan nilai rata-rata dari suatu sebaran. Nilai koefisien variasi dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

$$Cv = \frac{SD}{Xr} \quad (2.14)$$

Keterangan:

Cv : Koefisien varian

Xr : Nilai rata-rata varian

SD : Standar deviasi

3) Koefisien *Skewness* (Cs)

Koefisien kemencengan (*coefficient of skewness*) adalah suatu nilai yang menunjukkan derajat ketidak simetrisan (*assymetry*) dari suatu bentuk distribusi dan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut ini :

$$C_s = \frac{n \sum (X_i - X_r)^3}{(n-1)(n-2)SD^3} \quad (2.15)$$

Keterangan:

Cs = Koefisien *skewness*

Xi = Nilai varian ke-i

Xr = Nilai rata-rata varian

n = Jumlah data

SD = Standar deviasi

4) Koefisien *Kurtosis* (Ck)

Koefisien *kurtosis* berupa nilai yang menunjukkan keruncingan dari bentuk kurva distribusi, yang umumnya dibandingkan dengan distribusi normal. Koefisien *kurtosis* digunakan untuk menentukan keruncingan kurva distribusi, dan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$C_k = \frac{n^2 \sum (X_i - X_r)^4}{(n-1)(n-2)(n-3)SD^4} \quad (2.16)$$

Keterangan:

Ck : Koefisien *kurtosis*

Xi : Nilai varian ke-i

Xr : Nilai rata-rata varian

n : Jumlah data

SD : Standar deviasi

Kemudian pemilihan jenis sebaran dengan membandingkan koefisien distribusi dari metode yang akan digunakan dengan cara berikut:

Tabel 2.2. Pedoman Pemilihan Sebaran

JENIS DISTRIBUSI	SYARAT
NORMAL	Cs = 0
	Ck = 0
LOG NORMAL	Cs = 3*Cv + Cv ² = 3
	Ck = 5,383
LOG PERSON III	Cs ≠ 0
GUMBEL	Cs ≤ 1,1396
	Ck ≤ 5,4002

Sumber : CD, Soemarto, 1999

Tabel 2.3. Kala Ulang Berdasarkan Topologi dan Luas Tangkapan

Topologi Kota	Luas <i>Catchment Area</i> (Ha)			
	<10	10-100	101-500	>500
Kota Metropolitan	2 Tahun	2-5 Tahun	5-10 Tahun	10-25 Tahun
Kota Besar	2 Tahun	2-5 Tahun	2-5 Tahun	5-20 Tahun
Kota Sedang	2 Tahun	2-5 Tahun	2-5 Tahun	5-20 Tahun
Kota Kecil	2 Tahun	2 Tahun	2 Tahun	2-5 Tahun

Sumber : Permen PU No.12,2014

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa Gedung F Institut Teknologi Sumatera berada pada posisi kota besar dengan luas *catchment area* dibawah 10 Ha berarti harus memakai kala ulang 2 tahun untuk perhitungan.

b. Pemilihan Jenis Sebaran

Sebaran memiliki sifat khusus sehingga setiap data hidrologi harus diuji kesesuaiannya dengan sifat statistik masing-masing sebaran tersebut. Pemilihan sebaran yang tidak benar dapat mengundang kesalahan perkiraan yang cukup besar.

1) Metode *Gumbel*

Metode *gumbel* digunakan untuk menghitung curah hujan rencana dengan metode sebaran *gumbel* Tipe I persamaan distribusi frekuensi empiris sebagai berikut :

$$X_t = X_r + \frac{SD}{SN} (Y_t - Y_n) \quad (2.17)$$

$$Y_t = -\ln \left[-\ln \frac{T-1}{T} \right] \quad (2.18)$$

Keterangan:

X_t : Nilai hujan rencana dengan data ukur T tahun (mm)

X_r : Nilai rata – rata hujan (mm)

SD : Standar deviasi (simpangan baku)

Y_t : Nilai reduksi variasi

Y_n : Nilai rata – rata dari reduksi variasi

S_n : Standar deviasi dari reduksi variasi

2) Metode Log Normal

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

$$X_t = X_r + K_t \times SD \quad (2.19)$$

Keterangan:

X_t : Curah hujan dengan periode ulang X tahun (mm)

X_r : Curah hujan rata – rata (mm)

SD : Standar deviasi data hujan maksimum tahunan

K_t : Standar variable untuk periode ulang T tahun

3) Metode Distribusi Log *Pearson* Tipe III

Sebaran Log *Pearson* Tipe III banyak digunakan dalam analisis hidrologi, terutama dalam analisis data maksimum dan minimum (debit minimum) dengan nilai ekstrim. Berikut langkah-langkah yang diperlukan :

a) Mengubah data curah hujan sebanyak n buah $X_1, X_2, X_3, X_4 \dots X_n$ menjadi $\log (X_1), \log (X_2), \log (X_3), \log (X_4), \dots, \log (X_n)$.

b) Menghitung harga rata-ratanya dengan rumus :

$$\text{Log } X_r = \frac{\sum \log x}{n} \quad (2.20)$$

c) Menghitung harga standar deviasinya dengan rumus berikut :

$$s \log x = \sqrt{\frac{\sum (\text{Log } X_i - \text{Log } X_r)^2}{n-1}} \quad (2.21)$$

d) Menghitung koefisien *skewness* (C_s) dengan rumus :

$$\text{Log } C_s = \frac{n \sum (\text{Log } X_i - \text{Log } X_r)^3}{(n-1)(n-2)(S \log x)^3} \quad (2.22)$$

- e) Menghitung logaritma hujan rencana dengan periode ulang T tahun dengan rumus :

$$\text{Log } X_t = \text{Log } X_r + (k \times \text{SD } \text{Log } X) \quad (2.23)$$

Keterangan:

Log X_t : Logaritma curah hujan rencana (mm)

Log X_r : Logaritma curah hujan rata – rata (mm)

SD : Standar deviasi (mm)

K : Faktor frekuensi Pearson tipe III

c. Pengujian Kesesuaian Distribusi

Pada pengujian sebaran ada dua jenis uji keselarasan yaitu uji keselarasan Smirnov Kolmogorof dan uji Chi-Square. Pada tes ini biasanya yang diamati adalah nilai hasil perhitungan yang diharapkan.

1) Uji Chi-Square

Uji kecocokan Chi-Square dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan sebaran peluang yang telah dipilih dapat mewakili dari distribusi statistik sampel data yang dianalisis.

- a) Menghitung jumlah kelas (K)

$$K = 1 + 3,322 \log \quad (2.24)$$

Keterangan:

K : Jumlah kelas

N : Jumlah data

- b) Menghitung derajat kebebasan (DK)

$$DK = K \times (P + 1) \quad (2.25)$$

Keterangan:

DK : Derajat kebebasan

K : Jumlah kelas

P : Parameter hujan (P = 1)

- c) Mencari harga $X^2 Cr$ dilihat dari derajat kebebasan (DK) dan taraf signifikasi (X)
- d) Menghitung nilai yang diharapkan (EF)

$$EF = \frac{n}{k} \quad (2.26)$$

Keterangan:

EF : Nilai yang diharapkan

N : Jumlah data

K : Jumlah kelas

- e) Menghitung $X^2 Cr$

$$X^2 Cr = \frac{\sum(EF-OF)^2}{EF} \quad (2.27)$$

Keterangan:

Cr : Koefisien *skewness*

X : Taraf signifikasi

EF : Nilai yang diharapkan

OF : Nilai yang diamati

- f) Membandingkan $X^2 Cr$ hasil tabel dengan $X^2 Cr$ hasil hitungan syarat :

$X^2 Cr$ hitungan < $X^2 Cr$ tabel.

2) Uji Keselarasan Smirnov Kolmogorof

Uji Smirnov Kolmogorov diperoleh dengan menentukan data dan probabilitasnya dari data yang bersangkutan, serta hasil perhitungan empiris dalam bentuk grafis. Dari kedua hasil pengeplotan, dapat diketahui penyimpangan terbesar (Δ maksimum). Penyimpangan tersebut kemudian dibandingkan dengan penyimpangan kritis yang masih diijinkan pada proyek ini digunakan nilai kritis (*significant level*) $\alpha = 5\%$. Nilai kritis Δ untuk pengujian ini tergantung pada jumlah data dan α . Dengan membandingkan kemungkinan (*probability*) untuk setiap varian, dari distribusi empiris dan teoritisnya, akan terdapat perbedaan (Δ_{max}) tertentu.

2.2.3. Intensitas

Intensitas curah hujan adalah ketinggian curah hujan yang terjadi pada suatu kurun waktu di mana air tersebut berkonsentrasi. Untuk menghitung intensitas curah hujan, digunakan metode menurut Dr. Mononobe. Rumus ini digunakan apabila data curah hujan yang tersedia hanya curah hujan harian yakni :

$$I = \left(\frac{R_{24}}{24} \right) \times \left(\frac{24}{T} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (2.28)$$

Keterangan:

I : Intensitas curah hujan rata-rata (mm/jam)

R₂₄ : Curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm)

T : Durasi hujan (jam)

Untuk waktu konsentrasi dapat dihitung dengan rumus Kirpich yakni sebagai berikut:

$$t_c = \left(\frac{0,87 \times L^2}{1000 \times S} \right)^{0,385} \quad (2.29)$$

Keterangan:

t_c : Waktu konsentrasi (menit)

L : Panjang lintasan air dari titik terjauh sampai titik di tinjau (km)

S : Kemiringan rata-rata daerah lintasan air

2.2.4. Debit Air Baku

Menghitung debit air baku bertujuan untuk menentukan berapa debit air hujan rata-rata yang masuk kedalam sistem pemanenan air hujan (PAH). Hasil perhitungan debit ini juga akan menentukan dimensi dari talang tegak dan talang rambu sebagai pengalir air hujan menuju tangki penyimpanan nantinya.

Tabel 2.4 Pemilihan Metode Debit Hujan

Luas (ha)	Periode Ulang (tahun)	Metode Perhitungan Debit Hujan
<10	2	Rasional
10-100	2 - 5	Rasional
101-500	5 - 20	Rasional
>500	10 - 25	Hidrograf Satuan

Sumber: Suripin, 2004

Dari tabel diatas dengan luas area <10 ha dan periode ulang 2 tahun maka menggunakan debit rasional. Berikut adalah persamaan yang digunakan untuk menghitung debit air rata-rata hujan berdasarkan Permen PU No.12,2014:

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A \quad (2.30)$$

Keterangan:

Q : Debit air hujan rata-rata (m^3/s)

A : Luas area tangkap hujan (km^2)

I : Intensitas curah hujan rata-rata (mm/jam)

C : Koefisien limpasan

2.2.5. Menghitung Kebutuhan Air (*Required Water Quantity*)

Dalam menghitung kebutuhan air pada Gedung F ITERA, dilakukan dengan melakukan survei kebutuhan air. Survei tersebut terdiri dari beberapa pertanyaan tentang berapa banyak air yang digunakan dalam menunjang aktifitas di Gedung F. Responden dari survei ini adalah Dosen, Mahasiswa, dan Tenaga Pendidik dan K3L yang beraktifitas di Gedung F, untuk penggunaan air oleh K3L juga dilakukan wawancara secara langsung dengan petugas.

2.2.5.1. Menghitung Suplai Air Hujan

Menghitung suplai air hujan dilakukan dengan tujuan mengetahui volume air hujan yang dihasilkan pada Gedung F. Perhitungan untuk menghitung diambil dari *Rainwater Harvesting for Domestic Use oleh Tim Van Hattum dan Janette Worm* pada tahun 2006. Persamaan untuk menentukan volume air hujan dinyatakan sebagai berikut:

$$V = A \times C \times R \quad (2.31)$$

Keterangan:

V : Volume suplai air hujan (m^3)

A : Luas area tangkapan air hujan (m^2)

C : Koefisien limpasan (*Runoff*)

R : Curah hujan (m)

1. Koefisien Limpasan

Faktor yang mempengaruhi koefisien aliran permukaan yaitu laju infiltrasi tanah atau persentase lahan kedap air, tanaman penutup tanah, kemiringan lahan, dan intensitas hujan. Akibat dari benturan, kebocoran, penguapan, dan meluapnya air hujan yang ditangkap dari sistem pemanenan air hujan mengakibatkan kehilangan air. Hal ini dapat dinyatakan bahwa koefisien aliran permukaan *runoff coefficient* (C) dengan nilai $0 \leq C \leq 1$ (Chow 1964).

2. Luas *Catchment Area*

Untuk menghitung luas area tangkapan atap dari Gedung F Institut Teknologi Sumatera, dibagi menjadi beberapa segmen untuk mempermudah perhitungan luas atap. Luas catchment area dapat dihitung dengan mengalikan nilai panjang dan lebar yang menjadi sisi miring dari atap.

2.2.5.2. Menentukan Jumlah Sampel dari Responden (Slovin)

Jumlah sampel (n) dari responden akan dihitung dengan menggunakan persamaan slovin. Penggunaan persamaan slovin dikarenakan populasi (N) dari civitas akademika ITERA yang berkegiatan di Gedung F ITERA diketahui, untuk batas toleransi *error*nya (e) adalah 10%.

Berikut adalah rumus slovin yang digunakan untuk menentukan jumlah sampel dari responden sebagai berikut:

$$n = \frac{N}{(1+N(e^2))} \quad (2.32)$$

2.2.6. Volume Kebutuhan Air

Kebutuhan air berupa jumlah volume air yang diperlukan guna memenuhi kebutuhan air untuk kegiatan dengan mempertimbangkan jumlah air hujan dan kontribusi air tanah.. Untuk mengetahui volume air hujan yang dapat dibutuhkan oleh civitas akademika di Gedung F Institut Teknologi Sumatera, dapat menggunakan persamaan berikut:

$$\sum V = n \times V_r \quad (2.33)$$

Keterangan:

ΣV : Total kebutuhan air (m^3)

n : Jumlah populasi

V_r : Kebutuhan air rata-rata (m^3)

a. Kebutuhan Air Domestik

Kebutuhan air domestik yaitu kebutuhan air bersih yang digunakan pada tempat hunian pribadi untuk memenuhi kebutuhan rumah tangga, atau keperluan sehari-hari meliputi minum, mandi, masak, dan lain-lain. Dengan kata lain untuk mengetahui kebutuhan air pada masa yang akan datang, kita perlu mengetahui jumlah penduduk pada masa yang akan datang.

b. Kebutuhan Air Non Domestik

Kebutuhan air non domestik adalah kebutuhan air bersih guna sarana dan prasarana daerah yang ada berdasarkan rencana tata ruang. Standar ini ditentukan oleh banyaknya konsumen non domestik yang meliputi fasilitas seperti perkantoran, industri, umum, dan lainnya.

2.2.7. Dimensi Talang Rambu dan Talang Tegak

Persamaan berikut adalah yang digunakan untuk menghitung dimensi talang datar dan talang tegak yaitu sebagai berikut:

a. Dimensi Talang Rambu

Talang rambu adalah talang yang menampung air hujan dari atap. Setelah air masuk ke talang rambu maka air akan dialirkan menuju talang tegak. Berikut adalah persamaan yang digunakan untuk menghitung dimensi talang rambu berdasarkan Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman Balitbang Kementerian Pekerjaan Umum:

$$A = \frac{Q}{V} \quad (2.34)$$

$$A = \frac{1}{2} \times \pi \times r^2 \quad (2.35)$$

$$d = 2r \quad (2.36)$$

Keterangan:

Q : Debit air rata rata hujan ($m^3/detik$)

V : Kecepatan aliran air pada talang (m/s)

r : Jari-jari talang rambu (m)

A : Luas permukaan talang (m)

r : Jari-jari talang rambu (m)

d : Diameter talang rambu (m)

Setelah diketahui kecepatan aliran, maka untuk menghitung luas permukaannya agar diameter dari talang tegak dapat diketahui dengan persamaan diatas. Berdasarkan Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman Balitbang Kementerian Pekerjaan Umum, untuk faktor keamanan diameter talang tegak harus dikalikan 3,5. Minimum diameter untuk talang tegak adalah 5,1 cm.

b. Dimensi Talang Tegak

Talang tegak adalah talang yang berfungsi menampung air hujan dari talang rambu, yang kemudain dialirkan menuju tangki penyimpanan. Berikut adalah persamaan yang digunakan untuk menentukan dimensi talang tegak berdasarkan Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman Balitbang Kementerian Pekerjaan Umum:

$$V = \sqrt{2 \times g \times h} \quad (2.37)$$

$$A = \frac{Q}{V} \quad (2.38)$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\frac{1}{2}\pi}} \quad (2.39)$$

$$d = 2r \quad (2.40)$$

Keterangan:

V : Kecepatan aliran pada talang tegak (m/s)

g : Percepatan gravitasi 9,8 (m/s^2)

h : Tinggi jatuh air (m)

A : Luas atap sebagai penangkap (m^2)

Q : Debit air hujan yang melimpas dari permukaan atap (m^3/s)

r : Jari-jari hidrolis (m)

d : Diameter talang rambu (m)

2.2.8. Bak Kontrol

Bak kontrol berfungsi untuk menahan sampah atau benda yang dapat menyumbat pipa pengumpulan air limbah. Dalam perencanaan bak kontrol terdapat beberapa kriteria desain yang perlu dipenuhi, yang dapat dilihat pada tabel dibawah. Bak kontrol dilengkapi dengan penutup yang terbuat dari plat beton atau plat baja yang dapat dibuka, setiap sisinya dilengkapi dinding setinggi 10 cm lebih tinggi dari permukaan tanah dengan bahan dinding bak kontrol terbuat dari batu bata. Untuk ketentuan dimensi dari bak kontrol sesuai dengan Panduan Perencanaan Teknik Terinci Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Terpusat (SPALD-T) sebagai berikut:

Tabel 2.5. Kriteria Desain Bak Kontrol

No	Kriteria	Keterangan
1	Luas Permukaan Bak	50 x 50 cm (bagian dalam), dengan tutup plat beton yang dapat dibuka
2	Kedalaman Bak	40-60 cm, disesuaikan dengan kebutuhan kemiringan pipa persil yang masuk

Pada perencanaan bak kontrol ini dipakai dimesi 50 cm x 50 cm x 50 cm untuk pemasangan bak kontrol di Gedung F Institut Teknologi Sumatera.

2.2.9. Sumur Resapan

Sumur resapan menurut Dwi T, Sabariah M, M Baharudin R. (2008) merupakan sumur atau lubang pada permukaan tanah yang digunakan untuk menampung air hujan agar dapat meresap ke dalam tanah. Dalam perhitungan volume air yang diresapkan sumur, dapat menggunakan persamaan yang mengacu pada SNI Nomor 03-2453-2002 tentang tata cara perencanaan Teknik sumur resapan air hujan untuk lahan pekarangan. Menurut SNI 03-2459-2022 persyaratan bentuk dan ukuran dalam perencanaan sumur resapan adalah sebagai berikut:

1. Penampang sumur resapan air hujan berbentuk segi empat atau lingkaran.
2. Ukuran minimum sisi penampang atau diameter adalah 80 cm dan maksimum 120 cm.

3. Diameter pipa air hujan masuk adalah 110 mm.
4. Diameter pipa air hujan pelimpah adalah 110 mm.
5. Ukuran kedalaman sumur resapan dapat ditentukan berdasarkan tipe konstruksinya sebagai berikut.

Tabel 2.6. Ukuran Kedalaman Sumur Resapan

Kedalaman	Tipe Konstruksi
Maksimum 1,5 m	I
Maksimum 3 m	II
Maksimum muka air tanah ≥ 5 m	III dan III A

Sumber : SNI03-2459-200

Menurut SNI03-2459-200 tipe konstruksi sumur resapan air hujan berikut ini yang terdiri dari:

1. Tipe I dengan dinding tanah, untuk tanah geluh kelanauan dan dapat diterapkan pada kedalaman maksimum 3 m.
2. Tipe II dengan dinding pasangan batako atau bata merah tanpa diplester dan diantara pasangan diberi celah lubang, dan dapat diterapkan untuk semua jenis tanah dengan kedalaman maksimum 3 m.
3. Tipe III dengan dinding buis beton porous atau tidak porous, pada ujung pertemuansambungan diberi celah lubang, dan dapat diterapkan dengan kedalaman maksimum sampai dengan muka air tanah.
4. Tipe IV dengan dinding buis beton berlubang dan dapat diterapkan dengan kedalaman maksimum sampai dengan mukaair tanah.

Tabel 2.7. Klasifikasi Kemampuan Permeabilitas Tanah

Permeabilitas Tanah	Nilai (cm/jam)
Lambat	< 0.5
Agar Lambat	0.5-2.0
Sedang	2.0-6.25
Agak Cepat	6.25-12.5
Cepat	> 12.5

Sumber: Rancangan Sumur Resapan Air Hujan sebagai Upaya Pengurangan Limpasan di Kampung Babakan

Dalam menentukan volume besarnya volume resapan dapat menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Volume kapasitas sumur} = \text{Luas alas} \times \text{Kedalaman sumur} \quad (2.41)$$

$$T \text{ pengisian tangki} = \frac{\text{Volume Tangki}}{\text{Debit Hujan}} \quad (2.42)$$

$$\text{Durasi pengisian sumur} = T_{\text{hujan}} - T_{\text{pengisian tangki}} \quad (2.43)$$

$$\text{Debit pengisian sumur (Q)} = \frac{\text{Volume Limpasan}}{\text{Durasi pengisian sumur}} \quad (2.44)$$

$$\text{Durasi hujan (te)} = (0,9 \times (R)^{0,92})/60 \quad (2.45)$$

$$A_{\text{total}} = A_h \text{ (Luas alas sumur)} + A_v \text{ (Luas dinding sumur)} \quad (2.46)$$

$$V_{\text{resap}} = \frac{te}{24} \times A_{\text{total}} \times K \quad (2.47)$$

$$Q_{\text{sumur}} = (\pi \times r^2 \times k) + (2 \times \pi \times r \times k \times H) \quad (2.48)$$

$$n = \frac{Q_{\text{puncak}}}{Q_{\text{sumur}}} \quad (2.49)$$

$$V_{\text{total}} = (V_{\text{kapasitas sumur}} + V_{\text{resap}}) \times \text{Jumlah sumur} \quad (2.50)$$

$$Q_{\text{total}} = \text{Jumlah sumur resapan} \times Q_{\text{sumur}} \quad (2.51)$$

$$\text{Tereduksi (\%)} = \frac{Q_{\text{total}}}{Q_{\text{puncak}}} \quad (2.52)$$

2.2.10. Analisis Ekonomi

a. Rencana Anggaran Biaya

Perhitungan banyaknya biaya yang diperlukan untuk bahan, alat dan upah, serta biaya-biaya lain yang berhubungan dengan pelaksanaan pekerjaan proyek tersebut. Oleh karena itu, dalam perhitungannya harus dilakukan secara mendetail agar tidak teralu jauh dengan biaya yang sebenarnya. Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) dilakukan berdasarkan gambar rencana, spesifikasi pekerjaan yang telah ditentukan, upah tenaga kerja, serta harga bahan dan alat. Adapun komponen-komponen penyusun rencana anggaran biaya adalah sebagai berikut:

1) Biaya Langsung

a) Kebutuhan Material

Kebutuhan material meliputi semua komponen pokok dan komponen penunjang yang digunakan dalam membuat material yang diperlukan pada pekerjaan konstruksi.

b) Biaya Upah

Penentuan biaya tenaga kerja merupakan komponen yang paling sulit khususnya ketika melakukan analisis teknis. Hal ini disebabkan

adanya berbagai kondisi yang mempengaruhi dan menentukan terhadap tingkat produktifitas kelompok/individu.

c) Biaya Peralatan

Kebutuhan peralatan dapat berupa pembelian dan sewa alat, mobilisasi dan demobilisasi, transportasi, memasang dan membongkar, biaya bahan bakar.

2) Biaya Tak Langsung

a) Biaya Tak Terduga atau *Unexpected Costs*

Biaya yang disiapkan untuk kejadian-kejadian yang mungkin terjadi ataupun mungkin tidak terjadi. Biaya tak terduga sendiri umumnya diperkirakan antara 0,5 sampai 5% dari biaya total proyek.

b) Keuntungan (*profit*)

Keuntungan merupakan semua hasil yang didapat dari pelaksanaan sebuah proyek. Keuntungan ini tidak sama dengan gaji karena dalam keuntungan terkandung usaha, keahlian dan adanya faktor risiko.

c) Biaya *Overhead*

Biaya tambahan yang tidak terkait langsung dengan proses berjalannya proyek tetapi harus tetap dimasukkan ke dalam anggaran layaknya biaya lain agar proyek dapat berjalan dengan baik.

b. Analisis Harga Satuan (AHS)

Analisa mengenai harga suatu jenis pekerjaan/satuannya berdasarkan rincian komponen-tenaga kerja bahan, peralatan yang diperlukan, dengan menggunakan harga satuan dasarnya. Dalam menghitung dan menyusun anggaran biaya suatu proyek, harus berpedoman pada harga satuan bahan dan upah tenaga kerja di pasaran dan di lokasi pekerjaan yang akan dibuat karena harga satuan ini memiliki perbedaaan harga antara daerah satu dengan daerah yang lain. Harga satuan pekerjaan konstruksi meliputi kebutuhan bahan bangunan, upah pekerja, dan alat dengan harga bahan bangunan. (Dadan Ramdhan, 2015).