

BAB 5 HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Kebutuhan Air Bersih Gedung (*Demand*)

Perhitungan kebutuhan air bersih pada Gedung Fakultas Hukum Untirta dilakukan berdasarkan jumlah penghuni yang meliputi dosen, pegawai, dan mahasiswa. Adapun jumlah penghuni pada gedung ini terdapat 2032 jiwa, namun pada perhitungan kebutuhan air ini diasumsikan jumlah pengguna toilet yaitu 30% dari total jumlah jiwa karena tidak semua penghuni gedung menggunakan toilet dalam waktu yang bersamaan (Qomariyah et al., 2016). Dalam penelitian ini air hujan yang dipanen akan digunakan untuk kebutuhan non domestik yaitu toilet dan penyiraman taman dengan standar kebutuhan flushing toilet sebesar 20 liter/orang/hari (BSN, 2005), wastafel sebesar 10 liter/orang/hari (Aska, 2018), dan standar kebutuhan air siram untuk tanaman adalah 2 liter/m²/hari (Widarto, 1996). Perhitungan kebutuhan air dapat diperoleh dalam perhitungan berikut:

a. Jumlah penghuni pakai

Jumlah dosen	= 52 orang
Jumlah pegawai	= 80 orang
Jumlah mahasiswa	= 1900 orang
Total penghuni	= 1900 + 80 + 52
	= 2032 orang

Asumsi jumlah penghuni pakai yaitu 30% dari total penghuni.

Jumlah penghuni pakai	= 30% x 2032
	= 609,6 orang
	≈ 610 orang

Maka jumlah penghuni yang akan digunakan pada analisis ini berjumlah 610 orang.

b. Kebutuhan air toilet

1) Flushing

Kebutuhan air rata-rata = 20 L/orang/hari

Kebutuhan air per hari = jumlah jiwa x kebutuhan air rata-rata = 610 x 20 L/hari

$$= 12200 \text{ L/hari}$$

$$= 12,2 \text{ m}^3/\text{hari}$$

2) Wastafel

$$\text{Kebutuhan air rata-rata} = 10 \text{ L/orang/hari}$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan air per hari} &= \text{jumlah jiwa} \times \text{kebutuhan air rata-rata} \\ &= 610 \times 10 \text{ L/hari} \\ &= 6100 \text{ L/hari} \\ &= 6,1 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

3) Penyiraman taman

$$\text{Kebutuhan air rata-rata} = 2 \text{ L/m}^2/\text{hari}$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan air per hari} &= \text{luas taman} \times \text{kebutuhan air rata-rata} \\ &= 27 \times 2 \text{ L/hari} \\ &= 54 \text{ L/hari} \\ &= 0,054 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total kebutuhan} &= 12,2 \text{ m}^3/\text{hari} + 6,1 \text{ m}^3/\text{hari} + 0,054 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 18,354 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

Total kebutuhan air untuk kegunaan flushing dan toilet serta penyiraman taman yaitu sebesar 18,354 m³/hari. Berikut merupakan tabel rekapitulasi perhitungan kebutuhan air harian serta bulanan.

Tabel 5.1 Kebutuhan Air Harian dan Bulanan

Bulan	Jumlah	Kebutuhan Air Harian	Kebutuhan Air Bulanan
	hari	m ³ /hari	m ³
Januari	31	18.35	568.97
Februari	28	18.35	513.91
Maret	31	18.35	568.97
April	30	18.35	550.62
Mei	31	18.35	568.97
Juni	30	18.35	550.62
Juli	31	18.35	568.97
Agustus	31	18.35	568.97
September	30	18.35	550.62
Oktober	31	18.35	568.97

LanjutanTabel 5.1

Bulan	Jumlah	Kebutuhan Air Harian	Kebutuhan Air Bulanan
	hari	m ³ /hari	m ³
November	30	18.35	550.62
Desember	31	18.35	568.97
Total			6699.21

(Sumber : Analisis Penulis, 2023)

5.2 Analisis Data Curah Hujan

Data curah hujan yang digunakan adalah data 10 tahun terakhir yaitu 2013 – 2022 pada 1 stasiun yaitu STA BMKG Maritim Serang yang diambil berdasarkan jarak stasiun paling dekat diantara seluruh stasiun yang ada di Serang dengan jarak 6,2 km dari lokasi tinjauan. Berikut merupakan data curah hujan bulanan.

Tabel 5.2 Data Curah Hujan Bulanan

	JAN	FEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGU	SEP	OKT	NOV	DES	\bar{X}
2013	424	212	229	104.2	261	60	243.6	121.8	35	0	6	245.2	161.82
2014	376.1	201.1	97.6	36.1	113.1	36.3	232.4	9.6	21.8	21	155	138.9	119.92
2015	362.7	241.4	193.1	130.2	39.1	83.4	4.7	11.7	0.2	28.5	56.2	154.2	108.78
2016	126.1	271.9	217.8	88	137.2	93	134.9	86.6	158.9	158.3	138	164	147.89
2017	321	351.1	112.9	93.5	142.8	100.8	106.9	18.1	47.5	112.3	153.5	240.1	150.04
2018	141.9	178.2	222.2	153.7	69.6	196.6	3	0	29.9	87.6	116.5	167.9	113.93
2019	331.7	179.9	209.9	150.7	93.8	10	14.4	1	0	11.2	74.8	179	104.70
2020	332.5	180.3	204.3	150.7	102.5	10.2	14.4	1	0	11	75.4	180.2	105.21
2021	198.7	283.2	120.4	234	49.9	127.6	45.3	31.3	207.9	90.5	209.2	235.7	152.81
2022	109.1	121	287.5	184.5	191.6	114.6	43.1	101.1	56.6	200.4	156.7	152.4	143.22
\bar{X}	272.38	222.01	189.47	132.56	120.06	83.25	84.27	38.22	55.78	72.08	114.13	185.76	130.83

(Sumber : <https://banten.bps.go.id>)

a. Analisis frekuensi

Analisis frekuensi dilakukan untuk mendapatkan besarnya curah hujan rencana dan analisis statistik yang diperlukan dalam perhitungan debit rancangan dan besarnya intensitas hujan. Data yang digunakan untuk analisis ini yaitu data jumlah curah hujan setiap bulan pertahunnya. Metode sebaran dari analisis frekuensi yang digunakan yaitu analisis distribusi log person III. Berikut merupakan langkah-langkah analisis frekuensi pada bulan Januari dan perhitungannya.

Tabel 5.3 Perhitungan Distribusi Log *Pearson* III

No.	Tahun	Curah Hujan (mm)	Log Xi	(LogXi-LogX)	(LogXi-LogX) ²	(LogXi-LogX) ³	(LogXi-LogX) ⁴
1	2013	424	2.63	0.237	0.05634	0.013374	0.00317460
2	2014	376.1	2.58	0.185	0.03434	0.006363	0.00117911
3	2015	362.7	2.56	0.170	0.02875	0.004874	0.00082639
4	2016	126.1	2.10	-0.289	0.08368	-0.024209	0.00700310
5	2017	321.0	2.51	0.117	0.01357	0.001581	0.00018425
6	2018	141.9	2.15	-0.238	0.05665	-0.013484	0.00320938
7	2019	331.7	2.52	0.131	0.01709	0.002235	0.00029224
8	2020	332.5	2.52	0.132	0.01737	0.002289	0.00030170
9	2021	198.7	2.30	-0.092	0.00843	-0.000774	0.00007102
10	2022	109.1	2.04	-0.352	0.12403	-0.043679	0.01538243
Jumlah		2723.8	23.90	0.000	0.440256	-0.051428	0.03162422

(Sumber: Hasil Analisis, 2023)

1) Perhitungan Nilai Rata-rata (\bar{X})

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} = \frac{2723,8}{10} = 272,38$$

$$\text{Log}\bar{X} = 2,390$$

2) Perhitungan Simpangan Baku (Sd)

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum(\log X_i - \log \bar{X})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,440256}{10-1}} = 0,2211727$$

3) Perhitungan Koefisien Variasi (Cv)

$$Cv = \frac{Sd}{\log \bar{X}} = \frac{0,2211727}{2,390} = 0,09254096$$

4) Perhitungan Koefisien *Skewness* (Cs)

$$Cs = \frac{n \sum (\log X_i - \log \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)Sd^3} = \frac{10(-0,051428)^3}{(10-1)(10-2)0,2211727^3} = -0,660190408$$

5) Perhitungan Koefisien *Kurtosis* (Ck)

$$Ck = \frac{n^2 \sum (\log X_i - \log \bar{X})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)Sd^4} = \frac{10^2(0,03162422)^4}{(10-1)(10-2)(10-3)0,2211727^4} = 2,622184048$$

Setelah ini, data kembali diuji kecocokannya untuk memastikan dan menentukan metode distribusi mana yang akan digunakan untuk analisis hujan rencana.

b. Uji kecocokan data

Uji kecocokan data dilakukan untuk menentukan kecocokan distribusi frekuensi sampel data terhadap fungsi distribusi peluang yang diperkirakan dapat menggambarkan dan mewakili distribusi frekuensi tersebut, terdapat dua jenis pengujian parameter yaitu *chi* kuadrat dan *smirnov kormogorof*.

1) Metode Chi Kuadrat

Metode Chi Kuadrat adalah metode uji statistik yang digunakan untuk menguji perbedaan antara distribusi teoritis (yang diasumsikan) dan distribusi yang diamati. Metode ini didasarkan pada jumlah pengamatan yang diharapkan pada pembagian kelas, dan ditentukan terhadap jumlah data pengamatan yang terbaca di dalam kelas tersebut. Metode ini dapat dilakukan dengan membandingkan nilai Chi square (X^2) dengan nilai Chi square kritis (X^2_{cr}) dimana nilai (X^2) harus lebih kecil dari nilai (X^2_{cr}). Derajat nyata atau derajat kepercayaan (α) tertentu yang sering diambil adalah 5%. Berikut merupakan tahapan analisis uji kecocokan data dengan metode chi kuadrat.

a) Mengurutkan data dari besar ke kecil

Tabel 5.4 Pengurutan Data Hujan dari Besar ke Kecil

No	Xi (mm) Jan	Urutan
1	424	424
2	376.1	376.1
3	362.7	362.7
4	126.1	332.5
5	321	331.7
6	141.9	321
7	331.7	198.7
8	332.5	141.9
9	198.7	126.1
10	109.1	109.1

(Sumber: Hasil Analisis, 2023)

b) Menghitung jumlah kelas

$$\text{Jumlah data (n)} = 10$$

$$\begin{aligned}
\text{Kelas distribusi (K)} &= 1 + 3,3 \log n \\
&= 1 + 3,3 \log 10 \\
&= 4,3 \approx 5 \text{ kelas}
\end{aligned}$$

c) Menghitung derajat kebebasan (DK) dan X^2_{cr}

$$\text{Parameter (p)} = 2$$

$$\text{Derajat Kebebasan (DK)} = K - (p + 1) = 5 - (2 + 1) = 5 - (2 + 1) = 2$$

Nilai X^2_{cr} dengan jumlah data (n) = 10, α = 5% dan DK = 2, adalah 5,991

d) Menghitung kelas distribusi

Kelas distribusi = $1/5 \times 100\% = 20\%$, interval distribusi adalah 20%, 40%, 60%, 80%, 90%.

$$P_{(x)} = 20\%, \text{ diperoleh } T = \frac{1}{P_{(x)}} = \frac{1}{0,20} = 5 \text{ tahun}$$

$$P_{(x)} = 40\%, \text{ diperoleh } T = \frac{1}{P_{(x)}} = \frac{1}{0,40} = 2,5 \text{ tahun}$$

$$P_{(x)} = 60\%, \text{ diperoleh } T = \frac{1}{P_{(x)}} = \frac{1}{0,60} = 1,67 \text{ tahun}$$

$$P_{(x)} = 80\%, \text{ diperoleh } T = \frac{1}{P_{(x)}} = \frac{1}{0,80} = 1,25 \text{ tahun}$$

$$P_{(x)} = 90\%, \text{ diperoleh } T = \frac{1}{P_{(x)}} = \frac{1}{0,90} = 1,11 \text{ tahun}$$

Syarat P adalah jika $P > 0,5$ maka $(1 - P)$ sedangkan jika $P < 0,5$ maka nilai P tetap sama.

$$P_{20\%} = 0,2 < 0,5 = 0,2$$

$$P_{40\%} = 0,4 < 0,5 = 0,4$$

$$P_{60\%} = 0,6 > 0,5 = 0,4$$

$$P_{80\%} = 0,8 > 0,5 = 0,2$$

$$P_{90\%} = 0,9 > 0,5 = 0,1$$

e) Menghitung interval kelas distribusi Log Pearson III

$$W_{90} = \left(\ln \left(\frac{1}{p^2} \right) \right)^{0,5}$$

$$W_{90} = \left(\ln \left(\frac{1}{(-0,1)^2} \right) \right)^{0,5}$$

$$W_{90} = 2,15$$

$$z = w - \frac{2,515517 + 0,802853 w + 0,010328 w^2}{1 + 1,432788 w + 0,189269 w^2 + 0,001308 w^3}$$

$$= 2,15 - \frac{2,515517 + 0,802853 \cdot 2,15 + 0,010328 \cdot 2,15^2}{1 + 1,432788 \cdot 2,15 + 0,189269 \cdot 2,15^2 + 0,001308 \cdot 2,15^3}$$

$$= 1,28 \text{ menjadi } -1,28 \text{ karena } P > 0,5$$

$$k = \frac{Cs}{6}$$

$$= \frac{-0,660190408}{6}$$

$$= -0,11$$

$$K_T = z + (z^2 - 1)k + \frac{1}{3} (z^3 - 6z) - (z^2 - 1) k^3 + z k^4 - \frac{1}{3} k^5$$

$$= -1,28 + (1,28^2 - 1)(-0,11) + \frac{1}{3} (-1,28^3 -$$

$$6(-1,28) - (-1,28^2 - 1)(-0,22^3) +$$

$$(-0,128)(-0,11^4) - \frac{1}{3}(-0,11)^5$$

$$= -1,1498281$$

$$\text{Log } \bar{X} = 2,390 \text{ (hal. 39)}$$

$$\text{SLog} = 0,2211727 \text{ (hal. 39)}$$

$$\text{Log } X_T = \text{Log } X + (K_T \times \text{SLog})$$

$$= 2,390 + (-1,1498281 \times 0,2211727)$$

$$= 2,1356873$$

$$X = 10^{\text{Log } X_T}$$

$$= 10^{2,1356873}$$

$$= 136,67445$$

Perhitungan demikian dilakukan seterusnya setiap periode ulang tahun yang tertera pada tabel berikut.

Tabel 5.5 Nilai p, w, z, k, KT dan XT Distribusi Log Person III

No	p	Periode Ulang	p _{calc}	w	z	z _{calc}	k	KT	Log X	SLogX	LogXT	XT (mm)
1	0.9	1.11	0.1	2.15	1.28	-1.28	-0.110	-1.1498281	2.390	0.2211727	2.1356873	136.67445
2	0.8	1.25	0.2	1.79	0.84	-0.84	-0.110	-0.7153042	2.390	0.2211727	2.2317921	170.5266
3	0.6	1.67	0.4	1.35	0.25	-0.25	-0.110	-0.1394638	2.390	0.2211727	2.3591523	228.64005
4	0.4	2.50	0.4	1.35	0.25	0.25	-0.110	0.35435841	2.390	0.2211727	2.4683723	294.01691
5	0.2	5.00	0.2	1.79	0.84	0.84	-0.110	0.93191476	2.390	0.2211727	2.596112	394.55904

(Sumber: Hasil Analisis, 2023)

Pembagian interval kelas dilakukan berdasarkan nilai XT, dimana kelas pertama di ambil dari XT terbesar ke 2 seperti pada Tabel 5.5, terdapat pada periode ulang 2,5 tahun, selanjutnya tertera pada Tabel 5.6 berikut.

Tabel 5.6 Perhitungan X^2 untuk Log Person III

Kelas	Interval		Ef	Of	Ef-Of	$(E_f - O_f)^2 / E_f$
1	<	170.527	2	3	-1	0.5
2	170.53 -	228.64	2	1	1	0.5
3	228.64 -	294.017	2	0	2	2
4	294.02 -	394.559	2	5	-3	4.5
5	>	394.559	2	1	1	0.5
Jumlah			10	10		8

(Sumber: Hasil Analisis, 2023)

Dapat dilihat pada Tabel 5.6 diatas untuk nilai X^2 sebesar $8 > 5,991$ (hal 41) maka distribusi Log Person III tidak dapat diterima. Untuk dapat diterima diperlukan data curah hujan yang lebih banyak dalam analisisnya, namun analisis ini dibatasi hanya untuk curah hujan selama 10 tahun.

Dari hasil perhitungan didapat nilai hujan andalan untuk peluang 90% pada bulan Januari adalah sebesar 136,674 mm. Berikut merupakan tabel rekapitulasi hujan andalan 90% dari bulan Januari sampai Desember.

Tabel 5.7 Hujan Andalan 90% Januari sampai Desember

	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember
Curah Hujan	136.67	146.19	103.59	72.31	50.20	19.87	4.81	1.14	0.33	4.65	43.15	137.82

(Sumber : Analisis Penulis, 2023)

2) Metode Smirnov Kolmogorov

Metode ini biasanya digunakan untuk menguji simpangan/selisih terbesar antara peluang pengamatan empiris dengan peluang teoritis. Berikut merupakan tahapan analisis uji kecocokan data bulan Januari dengan metode *smirnov-kolmogorof*.

$$\text{Nilai Log } \bar{X} = 2,390 \text{ mm}$$

$$P(X_i) = \frac{m}{n+1} = \frac{1}{10+1} = 0,091$$

$$T = \frac{1}{P(X_i)}$$

$$= \frac{1}{0,091} = 11$$

$$P(X_i)_{\text{hitung}} = P(X_i) \text{ apabila } < 0,5, \text{ jika } > 0,5 \text{ maka } 1 - P(X_i)$$

$$= 0,091$$

Mencari nilai $f(t) = 2,30$ dan $C_s = -0,6601904$ melalui tabel distribusi log *pearson* III dengan cara interpolasi diperoleh nilai $P'(X) = 0,03$. Demikian seterusnya untuk urutan-urutan curah hujan selanjutnya.

$$f(t) = \frac{\text{Log}X_i - \text{Log}\bar{X}}{\text{Log}S_d} = \frac{2,63 - 2,39}{0,2211727} = 1,07$$

$$\Delta P = P'(X_i) - P(X_i) = 0,03 - 0,091 = -0,06$$

$$w = \left(\ln \left(\frac{1}{P(X_i)^2} \right) \right)^{0,5}$$

$$w = \left(\ln \left(\frac{1}{(0,091)^2} \right) \right)^{0,5}$$

$$= 2,190$$

$$z = w - \frac{2,515517 + 0,802853 w + 0,010328 w^2}{1 + 1,432788 w + 0,189269 w^2 + 0,001308 w^3}$$

$$= 2,190 - \frac{2,515517 + 0,802853 \cdot 2,190 + 0,010328 \cdot 2,190^2}{1 + 1,432788 \cdot 2,190 + 0,189269 \cdot 2,190^2 + 0,001308 \cdot 2,190^3}$$

$$= 1,335$$

$$C_s = -0,660190408 \text{ (hal 39)}$$

$$k = \frac{Cs}{6}$$

$$= \frac{-0,660190408}{6}$$

$$= -0,11$$

$$K_T = z + (z^2 - 1)k + \frac{1}{3}(z^3 - 6z) - (z^2 - 1)k^3 + zk^4 - \frac{1}{3}k^5$$

$$= 1,335 + (1,335^2 - 1)(-0,11) + \frac{1}{3}(1,335^3 - 6(1,335)) -$$

$$(1,335^2 - 1)(-0,11^3) + (1,335)(-0,11^4) - \frac{1}{3}(-0,11)^5$$

$$= 1,2275$$

$$\text{Log } \bar{X} = 2,390 \text{ (hal 39)}$$

$$S = 0,2211727 \text{ (hal 39)}$$

$$\text{Log } X_T = \text{Log } \bar{X} + (K_T \times S \text{Log})$$

$$= 2,390 + (1,2275 \times 0,2211727)$$

$$= 2,661$$

$$X_T = 10^{\text{Log } X_T}$$

$$= 10^{2,661}$$

$$= 506,570$$

$$\text{Deviasi} = X_i - X_T$$

$$= 424 - 458,66$$

$$= -11,36$$

Untuk mencari Dmax perlu dilakukannya perhitungan seperti contoh diatas pada setiap urutan urutan curah hujan selanjutnya, Dmax diambil dari angka deviasi tertinggi di setiap curah hujannya, Berikut hasil perhitungannya berada pada tabel dibawah ini :

Tabel 5.8 Perhitungan Uji Kecocokan Smirnov-Kolmogorof

m	Xi	Log X	P(X)	T	P(X) Hitung	w	z	Kt	Log Xt	Xt	Deviasi
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	424	2.6274	0.091	11	0.091	2.19	1.335	1.2275	2.661	458.66	-34.66
2	376.1	2.5753	0.182	5.5	0.182	1.846	0.908	0.9084	2.591	389.86	-13.76
3	362.7	2.5595	0.273	3.67	0.273	1.612	0.604	0.6595	2.536	343.45	19.25
4	332.5	2.5218	0.364	2.75	0.364	1.422	0.348	0.4356	2.486	306.43	26.07
5	331.7	2.5207	0.455	2.2	0.455	1.256	0.114	0.2185	2.438	274.36	57.34
6	321	2.5065	0.545	1.83	0.455	1.256	-0.114	-0.0039	2.389	244.98	76.02
7	198.7	2.2982	0.636	1.57	0.364	1.422	-0.348	-0.2445	2.336	216.73	-18.03
8	141.9	2.1520	0.727	1.375	0.273	1.612	-0.604	-0.5215	2.275	188.22	-46.32
9	126.1	2.1007	0.818	1.22	0.182	1.846	-0.908	-0.8704	2.197	157.58	-31.48
10	109.1	2.0378	0.909	1.1	0.091	2.19	-1.335	-1.3978	2.081	120.46	-11.36

(Sumber: Hasil Analisis, 2023)

Rekapitulasi nilai ΔP_{max} dan ΔP_{kritik} distribusi Log Person III. Syarat dari uji smirnov kolmogorof adalah nilai $\Delta P_{max} < \Delta P_{kritik}$, dimana $n = 10$ dan $\alpha = 5\%$, maka nilai $\Delta P_{kritik} = 0,41$. Pada Tabel 5.7 nilai D_{max} didapatkan sebesar $-11,36 < 0,41$ sesuai dengan persyaratan maka dalam uji kecocokan smirnov kolmogorof pada distribusi Log Person III dapat diterima.

Berdasarkan hasil analisis frekuensi distribusi probabilitas maupun uji kecocokan data (metode chi square dan smirnov kolmogorof) dapat disimpulkan bahwa distribusi Log Person III dapat diterima karena sesuai persyaratan pada metode analisis frekuensi smirnov kolmogof.

5.3 Analisis Evapotranspirasi

Evapotranspirasi adalah proses perpindahan air dari permukaan bumi ke atmosfer termasuk evaporasi air dari tanah maupun transpirasi dari tanaman melalui jaringan transfer panas laten persatuan area (Wirawan, Idkham, & Chairani, 2013). Analisis evapotranspirasi ini dilakukan karena merupakan salah satu komponen penting dalam mempengaruhi keseimbangan hidrologi di suatu daerah. Analisis evapotranspirasi menggunakan metode Thornwaite, dimana metode ini hanya membutuhkan data suhu udara dengan menghitung neraca air berdasarkan atas pasokan (input) dan luaran air (output) dalam masa tertentu. Berikut merupakan analisis evapotranspirasi menggunakan metode Thornwaite.

- a. Menghitung rata rata suhu setiap bulan dalam 10 tahun

Berikut data rata-rata suhu di kota Serang setiap bulan dalam 10 tahun yaitu tahun 2013 – 2022.

Tabel 5.9 Data rata-rata suhu di kota Serang dalam 10 tahun

No	Bulan	Suhu
1	Januari	27.07
2	Februari	27.02
3	Maret	27.37
4	April	27.69
5	Mei	27.81
6	Juni	27.26
7	Juli	26.99
8	Agustus	27.18
9	September	27.45
10	Oktober	23.95
11	November	27.79
12	Desember	27.26

(Sumber : <https://serangkota.bps.go.id/indicator/151/100/1/suhu-udara-maksimum-minimum-dan-rata-rata-di-kota-serang.html>, 2023)

b. Menghitung indeks panas (i)

Berikut merupakan contoh perhitungan indeks panas (i) pada bulan Januari.

$$i = \left(\frac{I}{5}\right)^{1,514}$$

$$i = \left(\frac{27,07}{5}\right)^{1,514}$$

$$= 12,9$$

I = total indeks panas setiap bulan

$$I = 154,85$$

c. Menghitung evapotranspirasi

$$\alpha = 675 \times 10^{-9} I^3 - 771 \times 10^{-7} I^2 + 0,01792 I + 0,44239$$

$$= 675 \times 10^{-9} (154,85)^3 - 771 \times 10^{-7} (154,85)^2 + 0,01792 (154,85) + 0,44239$$

$$= 3,8751$$

$$ETp = 1,6 \left(10 \frac{T}{I}\right)^\alpha$$

$$= 1,6 \left(10 \frac{27,07}{154,85}\right)^{3,8751}$$

$$= 13,9397 \text{ cm} = 139,397 \text{ mm}$$

d. Menentukan panjang hari (N)

Panjang hari merupakan waktu matahari meyinari dalam satu hari. Untuk menentukan panjang hari dibutuhkan data letak astronomis lokasi tinjauan (kota Serang), berdasarkan peta kota Serang berada pada titik -6.111557 (LU), 106.131940 (LS). Berikut merupakan tabel data panjang hari kota Serang setiap bulan.

Tabel 5.10 Panjang hari lokasi kota Serang

No.	Bulan	N (jam)
1	Januari	12.3
2	Februari	12.2
3	Maret	12.1
4	April	12.1
5	Mei	11.5
6	Juni	11.5
7	Juli	11.5
8	Agustus	11.5
9	September	12.0
10	Oktober	12.1
11	November	12.2
12	Desember	12.3

(Sumber: <https://www.timeanddate.com/sun/indonesia/serang?month=1&year=2023>)

e. Menghitung evapotraspirasi koreksi

Berikut merupakan perhitungan evapotranspirasi koreksi pada bulan Januari.

$$\begin{aligned} ET_{p_{kor}} &= \frac{\sum_{\text{hari}}}{30} \times \frac{N}{12,1} \times ET_p \\ &= \frac{31}{30} \times \frac{12,3}{12,1} \times 139,397 \\ &= 145,887 \end{aligned}$$

Perhitungan ET_p dan $ET_{p_{kor}}$ dilakukan seterusnya setiap bulan, dimana hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 5.11 Perhitungan Evapotranspirasi

No	Bulan	Suhu	i	Etp	∑hari	N	ETpkor
1	Januari	27.07	12.90	139.397	31	12.3	145.887
2	Februari	27.02	12.86	138.274	28	12.2	129.867
3	Maret	27.37	13.11	145.332	31	12.1	149.888
4	April	27.69	13.35	152.028	30	12.1	152.028
5	Mei	27.81	13.44	154.659	31	11.5	151.856
6	Juni	27.26	13.04	143.226	30	11.5	135.666
7	Juli	26.99	12.84	137.694	31	11.5	134.959
8	Agustus	27.18	12.98	141.489	31	11.5	139.474
9	September	27.45	13.17	147.074	30	12.0	145.797
10	Oktober	23.95	10.71	86.674	31	12.1	89.835
11	November	27.79	13.42	154.260	30	12.2	155.913
12	Desember	27.26	13.04	143.197	31	12.3	150.144

(Sumber: Hasil Analisis, 2023)

Hasil perhitungan evapotranspirasi koreksi (ETpkor) ini selanjutnya akan digunakan sebagai evapotranspirasi potensial (PET) pada perhitungan debit andalan menggunakan metode NRECA.

5.4 Analisis Debit Andalan

Debit andalan adalah besarnya debit yang tersedia untuk memenuhi kebutuhan air dengan resiko kegagalan yang telah diperhitungkan. Debit andalan ini dianalisis menggunakan metode NRECA. Metode NRECA adalah salah satu simulasi hujan debit yang dalam analisis nya menggunakan indeks kapasitas penyimpanan kelembaman tanah, laju pembuangan dari pembuangan air tanah, dan evapotranspirasi potensial. Model Nreca strukturnya dibagi menjadi dua tampungan, yaitu tampungan kelengasan (moisture storage) dan tampungan air tanah (*groundwater storage*). Prinsip kerja Model Nreca adalah debit aliran yang masuk berasal dari hujan yang turun di dalam daerah tangkapan air (DTA). Curah hujan yang digunakan pada analisis ini yaitu data curah hujan andalan 90% setiap bulan yang telah dihitung berdasarkan metode Log Pearson III yang tertera pada tabel 5.9 serta digunakan pula data curah hujan rata-rata tahunan dari tahun 2013 sampai 2022 untuk mencari nilai nominal, berikut merupakan data curah hujan rata-rata tahunan.

Tabel 5.12 Curah Hujan Tahunan

Curah Hujan Tahunan											
Tahun	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Rata-Rata
Jumlah Curah Hujan (mm)	1941.8	1439	1305.4	1774.7	1800.5	1367.1	1256.4	1262.5	1833.7	1718.6	1569.97

(Sumber : <https://banten.bps.go.id>)

Berikut merupakan beberapa kriteria yang digunakan dalam perhitungan debit andalan menggunakan NRECA.

- Curah hujan rata-rata tahunan (\bar{X} tahunan) = 1569,97 mm (tabel 5.14)
- $C = 0,2$ (curah hujan sepanjang tahun)
- Presentase runoff yang mengalir pada jalur subsurface (PSUB) = 0,6

Persyaratan :

PSUB = 0,5 (daerah tangkapan hujan normal)

$0,5 < PSUB \leq 0,9$ (daerah dengan akuifer permeable besar)

$0,3 \leq PSUB < 0,5$ (daerah dengan akuifer terbatas dan lapisan tanah tipis)

- Presentase air yang masuk menjadi aliran air tanah (iGWF) = 0,5

Persyaratan :

iGWF = 0,5 (daerah tangkapan hujan normal)

$0,5 < iGWF \leq 0,8$ (daerah dengan aliran menerus kecil)

$0,2 \leq iGWF < 0,5$ (daerah dengan aliran menerus yang dapat diandalkan)

Berikut merupakan perhitungan debit andalan menggunakan metode NRECA.

- Probabilitas terjadinya hujan andalan untuk urutan nomor 1 sebagai berikut :

$$P = \frac{m}{n + 1} \times 100\%$$

$$P = \frac{1}{10 + 1} \times 100\%$$

$$P = 9,091 \%$$

- Tampungan kelembaman atau *moisture storage* (W_o)

Tampungan kelembaman ini nilainya bergantung pada perubahan tampungan atau delta torage (DEM). Berikut merupakan uraian perhitungan pada bulan Januari.

$$W_o = HM \times N$$

$$N = 100 (\bar{X} \text{ tahunan} \times C)$$

$$C = 0,20 \text{ (hal. 50)}$$

$$\bar{X} \text{ tahunan} = 1569,97 \text{ mm (Tabel 5.14)}$$

Maka,

$$N = 100 + (\bar{X} \text{ tahunan} \times C)$$

$$= 100 + (1569,97 \times 0,20)$$

$$= 413,994$$

HM diambil nilai sebesar 125%, karena dimulai musim yang basah, maka nilai tampungan kelembaman adalah sebagai berikut :

$$W_o = 125\% \times 413,994 = 517,49$$

Persyaratan :

Estimasi sebesar 10% = jika dihitung dimulai dari musim yang kering

Estimasi sebesar 125% = jika dihitung dimulai dari musim yang basah

c. Rasio tampungan tanah atau *soil storage ratio* (f_o)

$$f_o = \frac{W_{on}}{N}$$

$$= \frac{517,49}{413,994}$$

$$= 1,25$$

d. Rasio curah hujan terhadap evapotranspirasi potensial (PET) (f_1)

$$f_1 = \frac{P}{PET}$$

$$= \frac{136,67}{145,887}$$

$$= 0,9369$$

e. Menentukan nilai rasio antara evapotranspirasi aktual terhadap evapotranspirasi potensial (PET) (f_2)

$$f_2 = \frac{f_o}{2} + \left(1 - \frac{f_o}{2}\right)$$

$$= \frac{1,25}{2} + \left(1 - \frac{1,25}{2}\right)$$

$$= 1$$

- f. Menentukan nilai evapotranspirasi aktual (AET)

$$\begin{aligned} \text{AET} &= f_2 \times \text{PET} \\ &= 1 \times 145,887 \\ &= 145,887 \text{ mm} \end{aligned}$$

- g. Menghitung keseimbangan air atau water balance (WB)

$$\begin{aligned} \text{WB} &= P - \text{AET} \\ &= 136,67 - 145,887 \\ &= -9,21 \text{ mm} \end{aligned}$$

- h. Menghitung rasio kelebihan tampungan kelembaban atau excess moisture storage ratio (f_3)

Jika nilai $\text{WB} < 0$, maka $f_3 = 0$

Jika nilai $\text{WB} > 0$, maka $f_3 = 1 - (0,5 \times (2 - f_0)^2)$

Karena nilai $\text{WB} = -9,21 < 0$

Maka, $f_3 = 0$

- i. Kelebihan kelembaban atau excess moisture (EM)

$$\begin{aligned} \text{EM} &= f_3 \times \text{WB} \\ &= 0 \times (-9,21) \\ &= 0 \text{ mm} \end{aligned}$$

- j. Perubahan tampungan atau delta storage (DEM)

$$\begin{aligned} \text{DEM} &= \text{WB} - \text{EM} \\ &= (-9,21) - 0 \\ &= -9,21 \text{ mm} \end{aligned}$$

- k. Pengisian air tanah atau recharge to groundwater (DGW)

$$\begin{aligned} \text{DGW} &= \text{PSUB} (\text{EM}) \\ &= 0,6 \times 0 \\ &= 0 \text{ mm} \end{aligned}$$

- l. Tampungan awal air tanah atau initial groundwater storage (GW_{n-1})

$$\begin{aligned} \text{GW}_{n-1} &= \text{GW}_n - \text{GWF} \\ &= 2 \text{ mm} \end{aligned}$$

- m. Tampungan akhir air tanah atau end groundwater storage (GW_n)

$$\text{GW}_n = \text{DGW} + \text{GW}_{n-1}$$

$$= 0 + 2$$

$$= 2$$

n. Aliran air tanah yang keluar atau groundwater discharge (GWF)

$$\text{GWF} = i\text{GWF}(\text{GWn})$$

$$= 0,5 \times 2$$

$$= 1 \text{ mm}$$

o. Limpasan permukaan langsung atau direct run-off (DRo)

$$\text{DRo} = \text{EM} - \text{DGW}$$

$$= 0 - 0$$

$$= 0 \text{ mm}$$

p. Limpasan total atau total run-off (Ro)

$$\text{Ro} = \text{DRo} + \text{GWF}$$

$$= 0 + 1$$

$$= 1 \text{ mm}$$

$$\text{DRS} = \frac{A \times \text{Ro} \times 10^{-3} \times 10^6}{\text{Hari} \times 24 \times 3600}$$

$$= \frac{1600,2 \times 1 \times 10^{-3} \times 10^6}{31 \times 24 \times 3600}$$

$$= 0,5974462 \text{ m}^3/\text{dt}$$

Berikut hasil perhitungan debit andalan menggunakan metode NRECA setiap bulan ada pada tabel dibawah ini.

Tabel 5.13 Debit Andalan menggunakan NRECA

Bulan	Hari	CH	PET	Wo	fo	f1	f2	AET	WB	f3	EM	DEM	DGW	GWn-1	GWn	GWF	Dro	Ro	DRS
		mm	mm	mm				mm	mm		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Januari	31	136.67	145.887	517.49	1.25	0.9369	1	145.887	-9.21	0.00	0.00	-9.21	0.00	2.00	2.00	1.00	0.00	1.00	0.5974462
Februari	28	146.19	129.867	508.28	1.2277	1.1257	1	129.867	16.32	0.70	11.46	4.87	6.87	1.00	7.87	3.94	4.58	8.52	5.0898442
Maret	31	103.59	149.888	513.15	1.2395	0.6911	1	149.888	-46.30	0.00	0.00	-46.30	0.00	3.94	3.94	1.97	0.00	1.97	1.1760304
April	30	72.31	152.028	466.85	1.1277	0.4756	1	152.028	-79.72	0.00	0.00	-79.72	0.00	1.97	1.97	0.98	0.00	0.98	0.5880152
Mei	31	50.20	151.856	387.13	0.9351	0.3306	1	151.856	-101.65	0.00	0.00	-101.65	0.00	0.98	0.98	0.49	0.00	0.49	0.2940076
Juni	30	19.87	135.666	285.48	0.6896	0.1464	1	135.666	-115.80	0.00	0.00	-115.80	0.00	0.49	0.49	0.25	0.00	0.25	0.1470038
Juli	31	4.81	134.959	169.68	0.4099	0.0357	1	134.959	-130.15	0.00	0.00	-130.15	0.00	0.25	0.25	0.12	0.00	0.12	0.0735019
Agustus	31	1.14	139.474	39.53	0.0955	0.0082	1	139.474	-138.33	0.00	0.00	-138.33	0.00	0.12	0.12	0.06	0.00	0.06	0.0367509
September	30	0.33	145.797	-98.80	-0.239	0.0023	1	145.797	-145.46	0.00	0.00	-145.46	0.00	0.06	0.06	0.03	0.00	0.03	0.0183755
Oktober	31	4.65	89.835	-244.27	-0.59	0.0517	1	89.835	-85.19	0.00	0.00	-85.19	0.00	0.03	0.03	0.02	0.00	0.02	0.0091877
November	30	43.15	155.913	-329.46	-0.796	0.2768	1	155.913	-112.76	0.00	0.00	-112.76	0.00	0.02	0.02	0.01	0.00	0.01	0.0045939
Desember	31	137.82	150.144	-442.22	-1.068	0.9179	1	150.144	-12.33	0.00	0.00	-12.33	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.0022969

(Sumber : Analisis Penulis, 2023)

5.5 Ketersediaan Air dan Kapasitas Rain Water Harvesting System

Volume kapasitas air yang akan ditampung dapat ditentukan berdasarkan besarnya volume ketersediaan air yang tertangkap pada atap Gedung Fakultas Hukum. Air yang tertangkap pada catchment area yakni atap gedung selanjutnya akan mengalir

menuju talang ke bawah melalui pipa dan akan berakhir di bak penampung. Berikut merupakan tabel rincian perhitungan ketersediaan air untuk memperoleh besaran volume ground reservoir.

Tabel 5.14 Perhitungan Ketersediaan Air (*Supply*)

Bulan	CH	Luas Atap	Koef. Runoff	Supply	Kumulatif
Januari	136.67	1600.2	0.8	174.965	174.965
Februari	146.19	1600.2	0.8	187.148	362.113
Maret	103.59	1600.2	0.8	132.611	494.724
April	72.31	1600.2	0.8	92.566	587.290
Mei	50.20	1600.2	0.8	64.268	651.558
Juni	19.87	1600.2	0.8	25.431	676.989
Juli	4.81	1600.2	0.8	6.163	683.152
Agustus	1.14	1600.2	0.8	1.461	684.613
September	0.33	1600.2	0.8	0.426	685.039
Oktober	4.65	1600.2	0.8	5.947	690.987
November	43.15	1600.2	0.8	55.240	746.226
Desember	137.82	1600.2	0.8	176.427	922.654

(Sumber : Analisis Penulis, 2023)

Contoh perhitungan pada bulan Januari :

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah hari} &= 31 \text{ hari} \\
 \text{Curah Hujan (M)} &= 136,67 \text{ mm} \\
 \text{Luas Atap (A)} &= 1600,2 \text{ m}^2 \\
 \text{Koefisien Runoff (C)} &= 0,8 \text{ (hal.23)} \\
 \text{Supply Air Hujan (S)} &= A \times M \times C \\
 &= (136,67/1000) \times 1600,2 \times 0,8 \\
 &= 174,965 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan kapasitas bak penampung (*rain water harvesting system*). Perhitungan kapasitas bak penampung dianalisis berdasarkan selisih maksimum antara akumulasi supply air hujan dan akumulasi demand air bersih per bulan (Darmadi, 2020). Berikut merupakan perhitungan selisih maksimum akumulasi nilai supply dan demand yaitu pada bulan Desember.

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan Air Harian} &= 18,354 \text{ m}^3 \\
 \text{Kebutuhan Air Bulanan (B)} &= \text{Kebutuhan Air Harian} \times T \\
 &= 18,354 \text{ m}^3 \times 31 \text{ hari} \\
 &= 568,974 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Selisih supply \& kebutuhan} &= S - B \\ &= 174,965 \text{ m}^3 - 568,974 \text{ m}^3 \\ &= -394,009 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Selisih Maksimum} &= \text{Selisih Supply dan Kebutuhan (Desember)} \\ &= -5776,56 \text{ m}^3 \approx -5777 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Tabel 5.15 Perhitungan Kapasitas Bak Penampung 100% kebutuhan

Bulan	Jumlah	Curah Hujan	Luas Atap	Koef Runoff	Supply Air	Supply Air	Kebutuhan	Kebutuhan	Kebutuhan Air	Selisih	Kekurangan Air	Kelebihan Air
	hari				mm	m2	Hujan	Hujan Kum	Air Harian			
					m3	m3	m3	m3	m4	m3	m3	m3
Jan	31	136.67	1600.2	0.8	174.97	174.97	18.35	568.97	568.97	-394.01	-394.01	-
Feb	28	146.19	1600.2	0.8	187.15	362.11	18.35	513.91	1082.89	-720.77	-720.77	-
Mar	31	103.59	1600.2	0.8	132.61	494.72	18.35	568.97	1651.86	-1157.14	-1157.14	-
Apr	30	72.31	1600.2	0.8	92.57	587.29	18.35	550.62	2202.48	-1615.19	-1615.19	-
May	31	50.20	1600.2	0.8	64.27	651.56	18.35	568.97	2771.45	-2119.90	-2119.90	-
Jun	30	19.87	1600.2	0.8	25.43	676.99	18.35	550.62	3322.07	-2645.09	-2645.09	-
Jul	31	4.81	1600.2	0.8	6.16	683.15	18.35	568.97	3891.05	-3207.90	-3207.90	-
Aug	31	1.14	1600.2	0.8	1.46	684.61	18.35	568.97	4460.02	-3775.41	-3775.41	-
Sep	30	0.33	1600.2	0.8	0.43	685.04	18.35	550.62	5010.64	-4325.60	-4325.60	-
Oct	31	4.65	1600.2	0.8	5.95	690.99	18.35	568.97	5579.62	-4888.63	-4888.63	-
Nov	30	43.15	1600.2	0.8	55.24	746.23	18.35	550.62	6130.24	-5384.01	-5384.01	-
Dec	31	137.82	1600.2	0.8	176.43	922.65	18.35	568.97	6699.21	-5776.56	-5776.56	-

(Sumber : Analisis Penulis, 2023)

Hasil perhitungan diatas kapasitas bak penampung berdasarkan kebutuhan air total menghasilkan kapasitas tanki sebesar 5776,556 m³. Melihat luasan lahan yang berada disekitaran gedung tidak mencukupi karena besarnya kapasitas bak penampung serta jumlah air baku supply tidak dapat menutupi kebutuhan (demand) tiap bulannya, maka analisis perhitungan dilakukan kembali untuk mengetahui kapasitas bak penampungan dan persentase kebutuhan air yang dapat ditutupi oleh sistem RWH, hasil analisis terdapat pada Tabel 5.17.

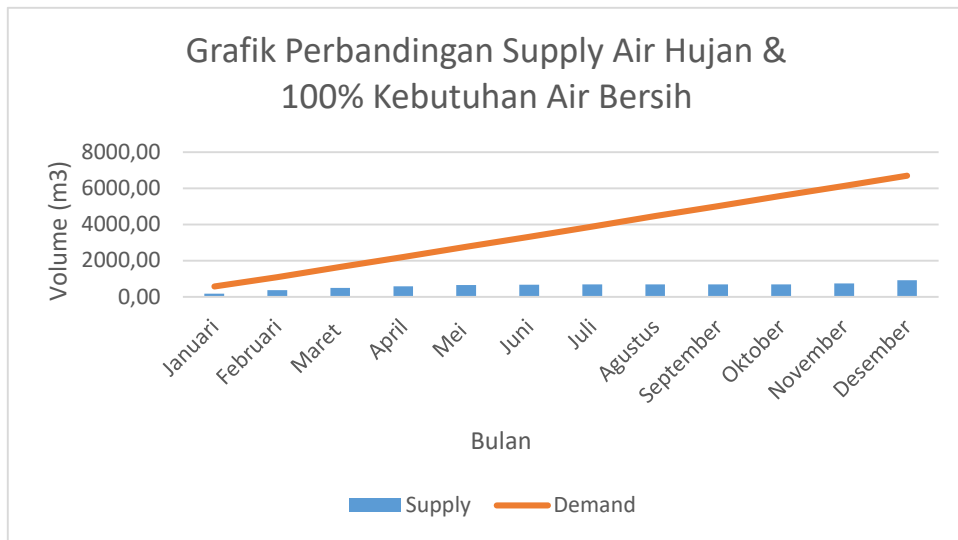
Tabel 5.16 Perhitungan Kapasitas Bak Penampung 12% kebutuhan

Bulan	Jumlah	Curah Hujan	Luas Atap	Koef Runoff	Supply Air	Supply Air	Kebutuhan	Kebutuhan Air	Kebutuhan Air	Kebutuhan Air	Selisih	Kekurangan Air	Kelebihan Air
	hari				mm	m2	Hujan	Hujan Kum	Air Harian	Bulanan 100%			
					m3	m3	m3	m3	m3	m3	m3	m3	m3
Jan	31	136.67	1600.2	0.8	174.97	174.97	18.35	568.974	68.28	68.28	106.69	-	106.69
Feb	28	146.19	1600.2	0.8	187.15	362.11	18.35	513.912	61.67	129.95	232.17	-	232.17
Mar	31	103.59	1600.2	0.8	132.61	494.72	18.35	568.974	68.28	198.22	296.50	-	296.50
Apr	30	72.31	1600.2	0.8	92.57	587.29	18.35	550.62	66.07	264.30	322.99	-	322.99
May	31	50.20	1600.2	0.8	64.27	651.56	18.35	568.974	68.28	332.57	318.98	-	318.98
Jun	30	19.87	1600.2	0.8	25.43	676.99	18.35	550.62	66.07	398.65	278.34	-	278.34
Jul	31	4.81	1600.2	0.8	6.16	683.15	18.35	568.974	68.28	466.93	216.23	-	216.23
Aug	31	1.14	1600.2	0.8	1.46	684.61	18.35	568.974	68.28	535.20	149.41	-	149.41
Sep	30	0.33	1600.2	0.8	0.43	685.04	18.35	550.62	66.07	601.28	83.76	-	83.76
Oct	31	4.65	1600.2	0.8	5.95	690.99	18.35	568.974	68.28	669.55	21.43	-	21.43
Nov	30	43.15	1600.2	0.8	55.24	746.23	18.35	550.62	66.07	735.63	10.60	-	10.60
Dec	31	137.82	1600.2	0.8	176.43	922.65	18.35	568.974	68.28	803.91	118.75	-	118.75

(Sumber : Analisis Penulis, 2023)

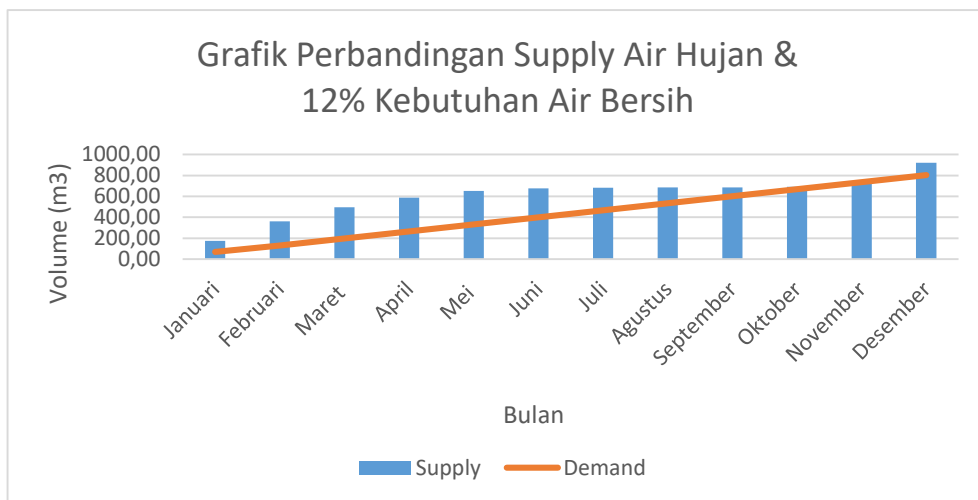
Hasil dari perhitungan yang sudah dilakukan kembali berdasarkan Annisa Inggarwani (2021) dicari persentase dari kebutuhan air yang dapat terpenuhi oleh

supply air hujan, didapat kebutuhan air baku sebesar 12% dari 100% kebutuhan yang dapat mencakup ketersediaan air pada gedung Fakultas Hukum UNTIRTA Sindangsari didapatkan kapasitas bak penampung sebesar 322,99 m³ yang didapat dari selisih terbesar antara supply dan demand kumulatif. Adapun grafik perbandingan antara suplai dengan 100% kebutuhan dan suplai 12% kebutuhan.



Gambar 5.1 Grafik Perbandingan Supply Air Hujan & 100% Kebutuhan Air
(Sumber: Analisis Penulis, 2023)

Dapat dilihat pada gambar 5.1 perbandingan grafik antara suplai dan kebutuhan air terdapat jengjang yang sangat besar diantara keduanya. Maka perhitungan dilakukan kembali dengan menggunakan kebutuhan air 12% dari kebutuhan total.



Gambar 5.2 Grafik Perbandingan Supply Air Hujan & 12% Kebutuhan Air
(Sumber: Analisis Penulis, 2023)

Grafik diatas menunjukkan grafik suplai air hujan melewati garis grafik kebutuhan air bulanan, dalam hal ini berarti suplai air hujan dapat memenuhi 12% kebutuhan air bulanan pada gedung Fakultas Hukum kampus UNTIRTA Sindangsari.

Meskipun pada penelitian kali ini penghematan air di Gedung Fakultas Hukum kampus UNTIRTA Sindangsari tidak dapat menutupi 100% kebutuhan air baku setidaknya dengan mengurangi penggunaan sebesar 12% diharapkan dapat menghemat penggunaan air tanah untuk keperluan sehari-hari.

5.6 Potensi Penghematan

Besarnya nilai penghematan dipengaruhi oleh besarnya curah hujan yang diestimasikan per bulannya. Perhitungan potensi penghematan ini dilakukan untuk mengetahui perkiraan persentase kebutuhan air yang dapat terpenuhi tiap bulannya. Semakin besar nilai curah hujan maka potensi penghematannya pun akan semakin besar. Berikut merupakan tabel hasil perhitungan potensi penghematan air bersih untuk Gedung Fakultas Hukum Untirta Sindangdari dengan pengaplikasian *rain water harvesting system*.

Tabel 5.17 Potensi Penghematan RWHS 12% Kebutuhan Air

Bulan	Curah Hujan	Luas Atap	Supply	Kebutuhan	Penghematan	Keterangan
	mm ³ /bulan	m ²	m ³	m ³	%	
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(1)
Jan	136.67	1600.2	174.965	68.28	2.563	(b) = perhitungan tabel 5.15
Feb	146.19	1600.2	187.148	61.67	3.035	
Mar	103.59	1600.2	132.611	68.28	1.942	
Apr	72.31	1600.2	92.566	66.07	1.401	(d) & (e)= perhitungan tabel 5.18
May	50.20	1600.2	64.268	68.28	0.941	
Jun	19.87	1600.2	25.431	66.07	0.385	
Jul	4.81	1600.2	6.163	68.28	0.090	(f) = (d)/(e)
Aug	1.14	1600.2	1.461	68.28	0.021	
Sep	0.33	1600.2	0.426	66.07	0.006	
Oct	4.65	1600.2	5.947	68.28	0.087	
Nov	43.15	1600.2	55.240	66.07	0.836	
Dec	137.82	1600.2	176.427	68.28	2.584	

(Sumber: Analisis Penulis, 2023)

Contoh Perhitungan pada Bulan Januari :

Bulan Januari

$$\begin{aligned}
\text{Curah hujan (M)} &= 136,67 \text{ mm} \\
\text{Luas atap (A)} &= 1600,2 \text{ m}^2 \\
\text{Koefisien runoff (C)} &= 0,8 \text{ (hal. 23)} \\
\text{Supply Air Hujan (S)} &= A \times M \times C \\
&= (136,67/1000) \times 1600,2 \times 0,8 \\
&= 174,965 \text{ m}^3 \\
\text{Kebutuhan air bulanan} &= 68,28 \text{ m}^3/\text{bulan} \\
\text{Penghematan} &= \text{supply} / \text{kebutuhan} \\
&= 174,965/68,28 \\
&= 2,563\%
\end{aligned}$$

Berikut merupakan tabel rekapitulasi penghematan 12% kebutuhan air dari bulan Januari hingga Desember.

Tabel 5.18 Rekapitulasi Penghematan RWHS 12% Kebutuhan Air Setiap Bulan

Bulan	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	\bar{X}
Penghematan (%)	2.563	3.035	1.942	1.401	0.941	0.385	0.090	0.021	0.006	0.087	0.836	2.584	1.158

(Sumber: Analisis Penulis, 2023)

Dari hasil analisis didapat nilai penghematan rata-rata dari setiap bulan yaitu sebesar 1,158%.

5.7 Dimensi *Rain Water Harvesting System Tank*

Berdasarkan perhitungan kapasitas RWH menurut Darmadi (2020) diatas, didapatkan volume sebesar 322,99 m³ (hal. 55) dapat diterapkan pada Gedung Fakultas Hukum UNTIRTA Sindangsari sesuai dengan dimensi lahan yang tersedia. Lokasi bak penampung berada di bagian samping bangunan terdapat lahan kosong berupa lapangan dan terletak dibawah tanah. Lahan yang tersedia memiliki luas sebesar 1030,87 m² maka dapat digunakan untuk penempatan bak penampung sebesar 322,99 m³. Dalam perencanaan *ground reservoir* ini digunakan bahan utama sigma tank yang berbahan dasar plastik atau polypropylene, desain sigma tank berupa modular-modular berbentuk persegi empat yang pemukaannya divariasikan terdapat lubang-lubang. Spesifikasi *Sigma Tank* yang dipakai adalah penta (satu set berjumlah 5 Sigma Tank) yaitu adalah seperti gambar dibawah ini. Dapat dilihat pada Tabel 5.19.

Tabel 5.19 Ukuran Tanki Modular Sigma Tank

Ukuran Tanki Modul Sigma Tank VT 844				Isi Tanki
Modular (Units)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Tinggi (mm)	Volume (ltr)
Single (1)	390	782	410	125
Double (2)	390	782	820	250
Triple (3)	390	782	1230	375
Quad (4)	390	782	1640	500
Penta (5)	390	782	2050	625

(Sumber : Modul Teknologi Resapan Trisigma Tank)

Dimensi perhitungan sigma tank yang direncanakan adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Volume (V)} &= 322,99 \text{ m}^3 \\ &= 322990 \text{ liter} \end{aligned}$$

$$P \times L \times T \text{ (asumsi)} = 10 \text{ m} \times 6,4598 \text{ m} \times 5 \text{ m}$$

Jenis modular tanki yang akan direncanakan yaitu tanki jenis single (1) dengan kapasitas volume tanki sebesar 125 liter.

1. Jumlah kebutuhan sigma tank

$$\begin{aligned} \text{Jumlah kebutuhan sigma tank} &= \frac{\text{volume rencana}}{\text{volume tanki}} \\ &= \frac{322990}{125} \\ &= 2583,92 \text{ buah} \approx 2584 \text{ buah} \end{aligned}$$

2. Kebutuhan luas lahan

$$\text{Luas lahan tersedia} = 1030,87 \text{ m}^2 \text{ (<https://earth.google.com/web/>)}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas 1 buah tanki ukuran single} &= \text{panjang} \times \text{lebar} \\ &= 0,782 \times 0,39 \\ &= 0,3 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

3. Total luasan sigma tank

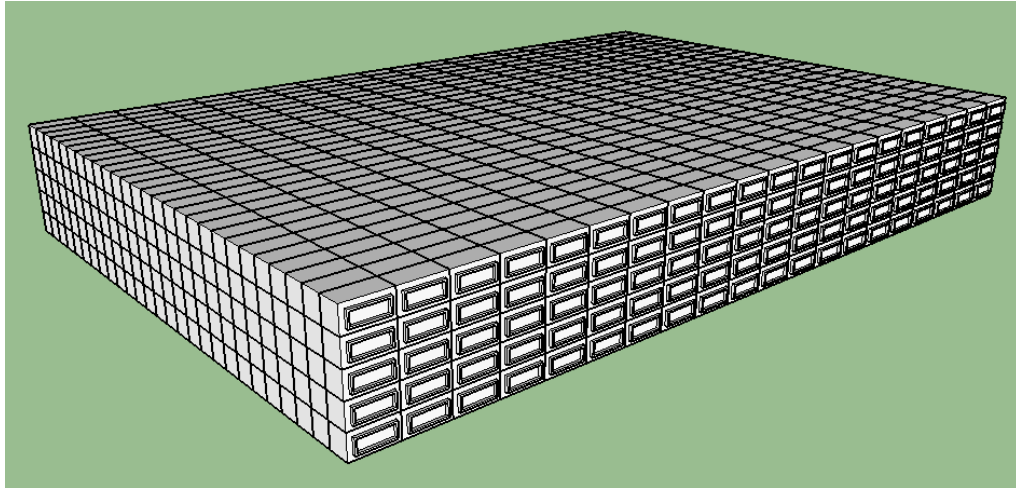
$$\begin{aligned} &= \text{jumlah kebutuhan} \times \text{volume standar sigma} \\ &\text{tank single} \\ &= 2584 \times 0,3 \text{ m}^2 \\ &= 775,2 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Perletakan sigma tank direncanakan dengan dibagi menjadi lima tumpuk, sehingga untuk setiap tumpuk nya dibutuhkan sigma tank seperti berikut.

$$\text{Total kebutuhan sigma tank} = 2584 \text{ buah}$$

Satu tumpuk sigma tank = 2584/5
= 516,8 buah \approx 520 buah

Perletakan sigma tank direncanakan sebanyak 5 tumpuk dengan ukuran 20 buah x 26 buah tiap tumpuknya dengan total dimensi yaitu 15,64 m x 10,14 m x 2,05 m dan volume total sebesar 325,109 m³. Berikut merupakan gambaran perletakan sigma tank.



Gambar 5.3 Penggambaran Sigma Tank
(Sumber: Analisis Penulis, 2023)



Gambar 5.4 Perletakan Sigma Tank pada Gedung Fakultas Hukum Untirta
(Sumber: Analisis Penulis, 2023)

5.8 Analisa Debit Banjir Rencana

Pada perhitungan ini dilakukan untuk mengurangi resiko terjadinya kerusakan akibat debit/luapan banjir dibutuhkan upaya pengendalian banjir pada perencanaan rainwater harvesting system ini. Sebelum melakukan perencanaan pengendalian banjir yang perlu dilakukan menghitung debit banjir terlebih dahulu dengan menggunakan data curah hujan harian maksimum dalam 10 tahun periode 2013-2022 dan direncanakan menggunakan kala ulang 5 tahun. Berikut merupakan data curah hujan harian 10 tahun periode 2013 – 2022.

Tabel 5.20 Data Curah Hujan Harian 10 Tahun

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Max
2013	64	34.8	101	35.6	85	14	64	46	9	0	6	130	130
2014	44	37.5	48.1	12.8	48.6	22	61	9.2	16.4	20.4	37.8	29.5	61
2015	60.8	37.1	35.2	32	26	36.1	4.2	7.5	0.2	28.5	26.5	40.9	60.8
2016	33.8	89.6	44.6	27.7	54.2	33.8	37.5	30.2	40	45.8	49.8	44.1	89.6
2017	51.1	54.8	38	24.6	46	40	41.2	15.1	19.2	37.4	39.8	78.5	78.5
2018	40.4	25.4	68.8	57.4	17	59.5	3	0	13.5	37	39.2	29.8	68.8
2019	64.9	55.6	41	26.2	44.2	3.6	6	1	0	11.2	22.6	31.6	64.9
2020	66.6	48.4	54.4	48.2	53.2	17.4	15.5	24.3	8.8	16	39	94	94
2021	34.5	59.1	25.5	77.8	8.2	61.6	38	12.2	105.8	52.6	77.4	52.5	105.8
2022	28.8	20.5	180.4	99.8	46	26.5	26.7	40.6	19.6	68.5	40	36.5	180.4

(Sumber: Analisis Penulis, 2023)

Selanjutnya dilakukan perhitungan analisis frekuensi data curah hujan menggunakan data curah hujan harian maksimal setiap tahun menggunakan Log Pearson III. Berikut merupakan tabel hasil analisis frekuensi menggunakan distribusi Log Pearson III.

Tabel 5.21 Perhitungan Distribusi Log *Pearson* III

No.	Tahun	Curah Hujan (mm)	Log Xi	(LogXi-LogX)	(LogXi-LogX) ²	(LogXi-LogX) ³	(LogXi-LogX) ⁴
1	2013	130	2.11	0.171	0.02908	0.004960	0.00084586
2	2014	61	1.79	-0.158	0.02499	-0.003950	0.00062437
3	2015	61	1.78	-0.160	0.02544	-0.004058	0.00064721
4	2016	90	1.95	0.009	0.00008	0.000001	0.00000001
5	2017	79	1.89	-0.049	0.00236	-0.000114	0.00000555
6	2018	69	1.84	-0.106	0.01120	-0.001185	0.00012537
7	2019	65	1.81	-0.131	0.01720	-0.002256	0.00029593
8	2020	94	1.97	0.030	0.00088	0.000026	0.00000078
9	2021	106	2.02	0.081	0.00657	0.000533	0.00004322
10	2022	180	2.26	0.313	0.09786	0.030615	0.00957743
Jumlah		933.8	19.43	0.00	0.22	0.025	0.012166

(Sumber: Hasil Analisis, 2023)

- a. Perhitungan Nilai Rata-rata (\bar{X})

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} = \frac{933,8}{10} = 93,38$$

$$\text{Log}\bar{X} = 1,943$$

- b. Perhitungan Simpangan Baku (Sd)

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum(\log X_i - \log \bar{X})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,22}{10-1}} = 0,1548$$

- c. Perhitungan Koefisien Variasi (Cv)

$$Cv = \frac{Sd}{\log \bar{X}} = \frac{0,1548}{1,943} = 0,079654$$

- d. Perhitungan Koefisien *Skewness* (Cs)

$$Cs = \frac{n \sum (\log X_i - \log \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)Sd^3} = \frac{10(0,025)^3}{(10-1)(10-2)0,1548^3} = 0,920016$$

- e. Perhitungan Koefisien *Kurtosis* (Ck)

$$Ck = \frac{n^2 \sum (\log X_i - \log \bar{X})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)Sd^4} = \frac{10^2(0,012166)^4}{(10-1)(10-2)(10-3)0,1548^4} = 4,203599$$

Selanjutnya dilakukan uji kecocokan data yang dilakukan untuk menentukan kecocokan distribusi frekuensi sampel data terhadap fungsi distribusi peluang yang diperkirakan dapat menggambarkan dan mewakili distribusi frekuensi tersebut, terdapat dua jenis pengujian parameter yaitu *chi* kuadrat dan *smirnov kormogorof*.

- a. Metode Chi Kuadrat

Berikut merupakan tahapan analisis uji kecocokan data analisis debit banjir dengan metode chi kuadrat.

- 1) Mengurutkan data dari besar ke kecil

Tabel 5.22 Pengurutan Data Hujan dari Besar ke Kecil

No	Xi (mm)	Urut
1	130	180
2	61	130
3	61	106
4	90	94
5	79	90
6	69	79
7	65	69
8	94	65
9	106	61
10	180	61

(Sumber: Hasil Analisis, 2023)

2) Menghitung jumlah kelas

$$\begin{aligned} \text{Jumlah data (n)} &= 10 \\ \text{Kelas distribusi (K)} &= 1 + 3,3 \log n \\ &= 1 + 3,3 \log 10 \\ &= 4,3 \approx 5 \text{ kelas} \end{aligned}$$

3) Menghitung derajat kebebasan (DK) dan X^2_{cr}

$$\begin{aligned} \text{Parameter (p)} &= 2 \\ \text{Derajat Kebebasan (DK)} &= K - (p + 1) = 5 - (2 + 1) = 5 - (2 + 1) = 2 \end{aligned}$$

Nilai X^2_{cr} dengan jumlah data (n) = 10, $\alpha = 5\%$ dan DK = 2, adalah 5,991

4) Menghitung kelas distribusi

Kelas distribusi = $1/5 \times 100\% = 20\%$, interval distribusi adalah 20%, 40%, 60%, 80%, 90%.

$$P_{(x)} = 20\%, \text{ diperoleh } T = \frac{1}{P_{(x)}} = \frac{1}{0,20} = 5 \text{ tahun}$$

$$P_{(x)} = 40\%, \text{ diperoleh } T = \frac{1}{P_{(x)}} = \frac{1}{0,40} = 2,5 \text{ tahun}$$

$$P_{(x)} = 60\%, \text{ diperoleh } T = \frac{1}{P_{(x)}} = \frac{1}{0,60} = 1,67 \text{ tahun}$$

$$P_{(x)} = 80\%, \text{ diperoleh } T = \frac{1}{P_{(x)}} = \frac{1}{0,80} = 1,25 \text{ tahun}$$

$$P_{(x)} = 90\%, \text{ diperoleh } T = \frac{1}{P_{(x)}} = \frac{1}{0,90} = 1,11 \text{ tahun}$$

Syarat P adalah jika $P > 0,5$ maka $(1 - P)$ sedangkan jika $P < 0,5$ maka nilai P tetap sama.

$$P_{20\%} = 0,2 < 0,5 = 0,2$$

$$P_{40\%} = 0,4 < 0,5 = 0,4$$

$$P_{60\%} = 0,6 > 0,5 = 0,4$$

$$P_{80\%} = 0,8 > 0,5 = 0,2$$

$$P_{90\%} = 0,9 > 0,5 = 0,1$$

5) Menghitung interval kelas distribusi Log Pearson III

$$W_{90} = \left(\ln \left(\frac{1}{p^2} \right) \right)^{0,5}$$

$$W_{90} = \left(\ln \left(\frac{1}{(-0,1)^2} \right) \right)^{0,5}$$

$$W_{90} = 2,15$$

$$z = w - \frac{2,515517 + 0,802853 w + 0,010328 w^2}{1 + 1,432788 w + 0,189269 w^2 + 0,001308 w^3}$$

$$= 2,15 - \frac{2,515517 + 0,802853 \cdot 2,15 + 0,010328 \cdot 2,15^2}{1 + 1,432788 \cdot 2,15 + 0,189269 \cdot 2,15^2 + 0,001308 \cdot 2,15^3}$$

$$= 1,28 \text{ menjadi } -1,28 \text{ karena } P > 0,5$$

$$k = \frac{Cs}{6}$$

$$= \frac{0,92002}{6}$$

$$= 0,153$$

$$K_T = z + (z^2 - 1)k + \frac{1}{3} (z^3 - 6z) - (z^2 - 1) k^3 + zk^4 - \frac{1}{3} k^5$$

$$\begin{aligned}
&= -1,28 + (1,28^2 - 1)(0,153) + \frac{1}{3} (-1,28^3 - \\
&6(-1,28)) - (-1,28^2 - 1) (-0,22^3) + \\
&(-0,128)(0,153^4) \frac{1}{3} (0,153)^5 \\
&= -1,3907
\end{aligned}$$

$$\text{Log } \bar{X} = 1,943 \text{ (hal. 61)}$$

$$\text{SLog} = 0,1548 \text{ (hal. 61)}$$

$$\text{Log } X_T = \text{Log } X + (K_T \times \text{SLog})$$

$$= 1,943 + (-1,3907 \times 0,1548)$$

$$= 1,728125$$

$$X_T = 10^{\text{Log} X_T}$$

$$= 10^{1,728125}$$

$$= 53,4718$$

Perhitungan demikian dilakukan seterusnya setiap periode ulang tahun yang tertera pada tabel berikut.

Tabel 5.23 Nilai p, w, z, k, KT dan XT Distribusi Log Person III

No	p	Periode Ulang	pcalc	w	z	zcalc	k	KT	Log X	SLogX	LogXT	XT (mm)
1	0.9	1.11	-0.1	2.15	1.28	-1.28	0.153	-1.390688	1.943	0.1548002	1.7281249	53.471812
2	0.8	1.25	-0.2	1.79	0.84	-0.84	0.153	-0.955673	1.943	0.1548002	1.7954654	62.440361
3	0.6	1.67	-0.4	1.35	0.25	-0.25	0.153	-0.387634	1.943	0.1548002	1.8833979	76.453599
4	0.4	2.50	0.4	1.35	0.25	0.25	0.153	0.0949781	1.943	0.1548002	1.9581064	90.804294
5	0.2	5.00	0.2	1.79	0.84	0.84	0.153	0.6583728	1.943	0.1548002	2.04532	110.99924

(Sumber: Hasil Analisis, 2023)

Pembagian interval kelas dilakukan berdasarkan nilai XT, dimana kelas pertama di ambil dari XT terbesar ke 2 seperti pada Tabel 5.23, terdapat pada periode ulang 2,5 tahun, selanjutnya tertera pada Tabel 5.24 berikut.

Tabel 5.24 Perhitungan X^2 untuk Log Person III

Kelas	Interval		Ef	Of	Ef-Of	$(Ef-Of)^2/Ef$
1		<	62.440361	2	2	0
2	62.44036	-	76.453599	2	2	0
3	76.4536	-	90.804294	2	2	0
4	90.80429	-	110.99924	2	2	0
5		>	110.99924	2	2	0
Jumlah				10	10	0

(Sumber: Hasil Analisis, 2023)

Dapat dilihat pada Tabel 5.25 diatas untuk nilai X^2 sebesar $0 < 5,991$ (hal 63) maka distribusi Log Person III dapat diterima. Berikut merupakan hasil analisis curah hujan.

Tabel 5.25 Curah Hujan Analisis Debit Banjir

No	Periode Ulang	XT (mm)
1	1.11	53.47
2	1.25	62.44
3	1.67	76.45
4	2.5	90.80
5	5	111.00

(Sumber: Analisis Penulis, 2023)

Setelah mendapat hasil perhitungan curah hujan untuk analisis debit banjir dengan kala ulang yang direncanakan yaitu 5 tahun sebesar 111,00 mm, selanjutnya dilakukan perhitungan analisis debit banjir seperti berikut.

- a. Menentukan panjang diagonal atap (L_0)

$$\begin{aligned}
 L_0 &= \sqrt{\text{panjang atap}^2 + \text{lebar atap}^2} \\
 &= \sqrt{63^2 + 25,4^2} = 67,93 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- b. Menentukan slope atap (S_0)

$$\begin{aligned}
 S_0 &= \frac{\text{Elev A} - \text{Elev B}}{L} \\
 &= \frac{16,96 - 16,95}{67,93} = 0,0147
 \end{aligned}$$

- c. T_c
- $$\begin{aligned}
 &= \left(\frac{0,87 \times L^2}{1000 \times S} \right)^{0,385} \\
 &= \left(\frac{0,87 \times 67,93^2}{1000 \times 0,0147} \right)^{0,385} \\
 &= 8,669 \text{ menit} = 0,1445 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{d. I} &= \frac{R_{24}}{24} \times \frac{24^m}{tc} \\
 &= \frac{111}{24} \times \left(\frac{24}{0,1445} \right)^{2/3} \\
 &= 139,746 \text{ mm/jam}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan didapat intensitas hujan sebesar 139,746 mm/jam, yang selanjutnya digunakan untuk mencari debit banjir rencana.

$$\begin{aligned}
 Q &= C \times I \times A \\
 &= 2,7 \cdot 10^{-7} \times 0,8 \times 139,746 \times 1600,2 \\
 &= 0,0483 \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan didapat nilai debit banjir rencana yaitu 0,0483 m³/s, dimana debit banjir yang melimpas merupakan debit dengan kondisi tanki dalam keadaan penuh air. Nilai debit rencana selanjutnya digunakan untuk perhitungan analisis infiltrasi.

5.9 Analisis Dimensi Pipa Saluran *Inflow* dan *outflow Sigma Tank*

Pipa yang digunakan sebagai saluran yang mendistribusikan air dari bak penampungan menuju tank untuk digunakan kebutuhan sehari-hari membutuhkan perhitungan dimensi, panjang dan penentuan jenis bahan pipa. Untuk mempermudah perhitungan dilakukan menggunakan bantuan software EPANET 2.0. Berikut tabel ukuran pipa beserta spesifikasi bahan..

Tabel 5.26 Ukuran pipa

No	Kode Pipa	D (mm)	L (m)	Elevasi Titik (m)		Bermuara pada pipa	Siku	Bahan
				Hulu	Hilir			
1	PIPA 1	150	17.95	17.95	0	TANK	1	Galvanis
2	PIPA 2	19,05	4	0	4	PIPA 3	1	PVC
3	PIPA 3	19,05	5	4	9.5	PIPA 4	1	PVC
4	PIPA 4	19,05	4	9.5	13.5	PIPA 5	1	PVC
5	PIPA 5	19,05	4	13.5	17.5	PIPA 6	1	PVC

(Sumber: Analisis Penulis, 2023)

a. Pipa

Dimensi pipa tegak dan datar dalam perencanaannya semakin besar luasan atap, dimensi pipa juga akan semakin besar karena beban air hujan yang harus di alirkan juga semakin besar. Untuk penentuan dimensinya menggunakan

bantuan software EPANET, berikut urutan permodelan aliran saluran tertutup (pipa).

1. Penentuan *Roughness Coefficients* dan *Loss Coefficient*

Pipa yang digunakan pada aliran yang berasal dari atap Gedung Fakultas Hukum Sindangsari UNTIRTA berjenis plastik dan Galvanis maka untuk penentuan koefisien roughnessnya yang mengacu pada Tabel 5.19 dibawah.

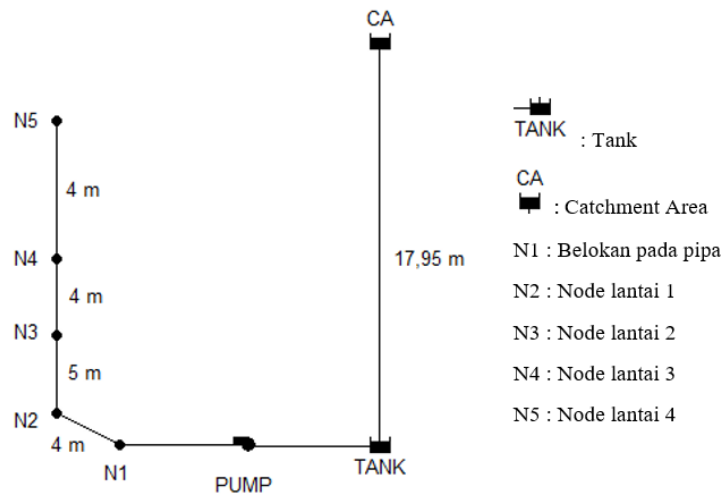
Tabel 5.27 Koefisien Kekasaran

Material	<i>Hazen Williams (unitless)</i>	<i>Darcy Weisbach (unitless)</i>	<i>Manning's (unitless)</i>
Cast Iron	130 - 140	0,85	0,012 - 0,015
Concrete or Concrete Lined	120 - 140	1,0 - 10	0,012 - 0,017
Galvanized Iron	120	0,5	0,015 - 0,017
Plastic	140 - 150	0,005	0,011 - 0,015
Steel	140 - 150	0,015	0,015 - 0,017
Vitrified Clay	110		0,013 - 0,015
Rivited steel		3,0 - 30	
Wood stave	120	0,6 - 3	
Drawn Brass or Copper Tubing		0,005	
Commercial steel or wrought iron		0,15	
A sphalted cast iron		0,4	
Extremmely smooth and straight pipes	140		
Old cast iron	100		
Very old and corroded cast iron	80		

(Sumber : Jack B. Evett et al, 1987)

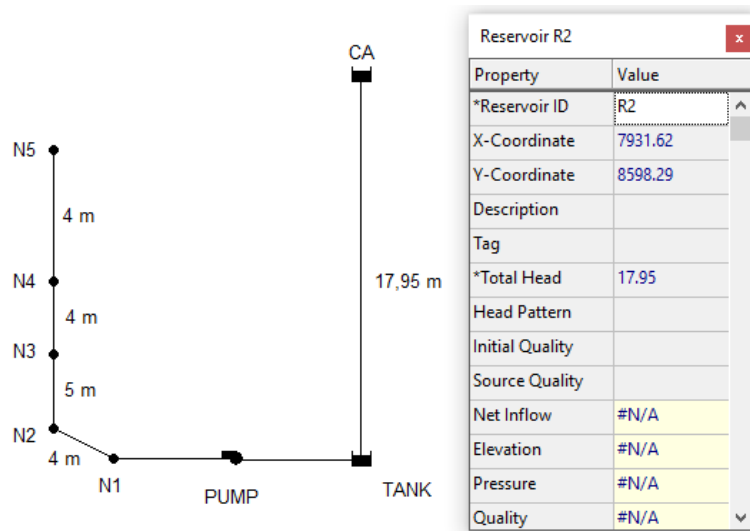
Dengan menggunakan persamaan *Darcy Weisbach* untuk jenis pipa PVC didapat nilai *Roughness Coefficient* sebesar 0,005, sedangkan untuk jenis pipa galvanis didapat nilai *Roughness Coefficient* sebesar 0,5; serta *Loss Coefficient* yang digunakan yaitu sebesar 0,9 sesuai dengan ketentuan dimana menggunakan *short-radius elbow*.

2. Membuat permodelan jaringan pipa, berikut gambar permodelan jaringan pipa dari 1 *catchment area* yang alirannya menuju *rainwater harvesting system* dan menuju node masing-masing lantai.



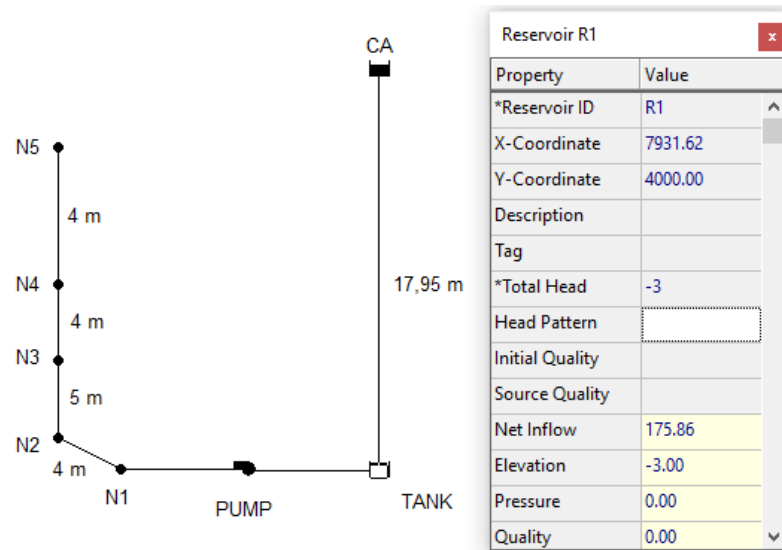
Gambar 5.5 Permodelan Jaringan Pipa

(Sumber: Analisis Penulis, 2023)



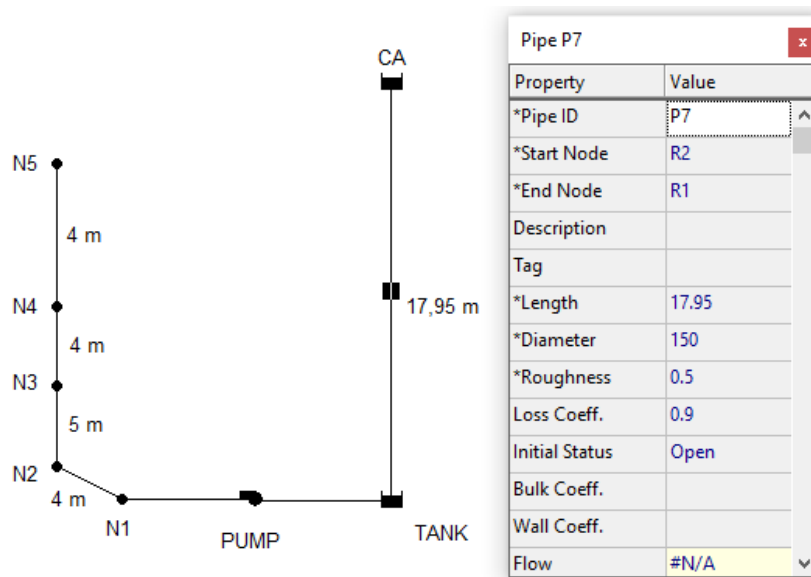
Gambar 5.6 Input *Total Head* pada *Catchment Area*

(Sumber: Analisis Penulis, 2023)



Gambar 5.7 Input *Total Head* pada Tank

(Sumber: Analisis Penulis, 2023)



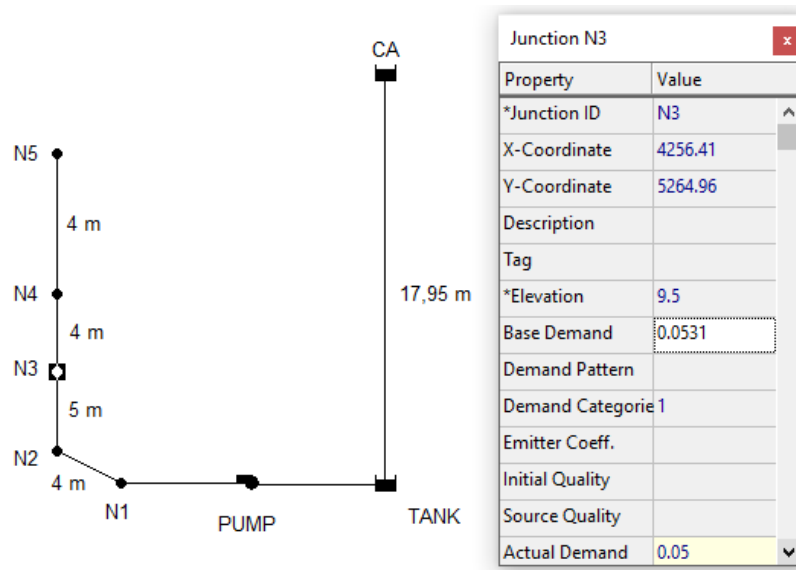
Gambar 5.8 Input *Material Pipe*

(Sumber: Analisis Penulis, 2023)

Untuk kebutuhan air node tiap lantai didapat dari jumlah kebutuhan air harian dibagi dengan jumlah lantai. Berikut merupakan perhitungan kebutuhan (*base demand*) air tiap lantai.

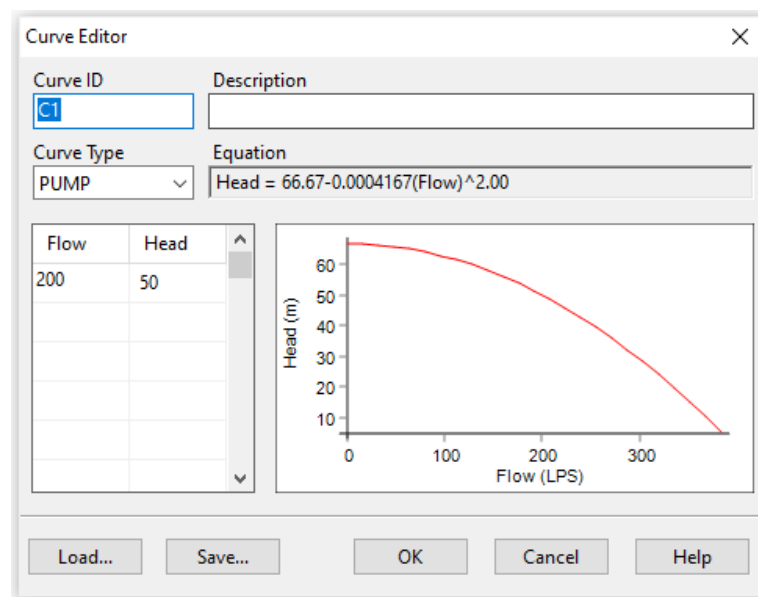
$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan harian} &= 18,35 \text{ m}^3 / \text{hari} \\ &= 0,2124 \text{ liter/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah kebutuhan tiap lantai} &= 0,2124 / 4 \\ &= 0,0531 \text{ liter/s} \end{aligned}$$



Gambar 5.9 Input Elevation dan Base Demand Junction N3

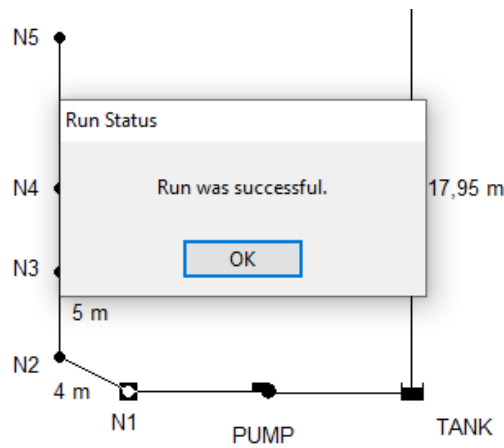
(Sumber: Analisis Penulis, 2023)



Gambar 5.10 Input Curve pada Pompa

(Sumber: Analisis Penulis, 2023)

Gambar diatas melihtakan spesifikasi material, koefisien serta lainnya sesuai kebutuhan bagian bagian dari permodelannya. Setelah melewati proses penginputan data pada seluruh komponen permodelan maka dapat dilanjut proses *run analysis*, seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 5.11 *Run Analysis*
(Sumber: Analisis Penulis, 2023)

Ada beberapa syarat yang harus diperhatikan dalam tahap analisis diantaranya yaitu

a. Kecepatan aliran pada pipa

Link ID	Flow LPS	Velocity m/s	Unit Headloss m/km	Friction Factor	Reaction Rate mg/L/d	Quality	Status
Pipe P3	0.21	0.75	49.27	0.033	0.00	0.00	Open
Pipe P4	0.16	0.56	28.84	0.035	0.00	0.00	Open
Pipe P5	0.11	0.37	14.48	0.039	0.00	0.00	Open
Pipe P6	0.05	0.19	3.98	0.043	0.00	0.00	Open
Pipe P7	176.08	9.96	1167.13	0.035	0.00	0.00	Open
Pump PUMP1	0.21	0.00	-66.67	0.000	0.00	0.00	Open

Gambar 5.12 Kecepatan Pipa
(Sumber: Analisis Penulis, 2023)

Dari hasil simulasi dengan program epanet versi 2.0 diperoleh hasil kecepatan aliran (*Velocity*) paling rendah 0,19 m/s dan paling besar 9,96 m/s.

b. Tekanan pada junction atau node

Node ID	Demand LPS	Head m	Pressure m	Quality
Junc N1	0.00	63.67	66.67	0.00
Junc N2	0.05	63.47	58.97	0.00
Junc N3	0.05	63.33	53.83	0.00
Junc N4	0.05	63.27	49.77	0.00
Junc N5	0.05	63.25	45.75	0.00
Resvr R1	175.86	-3.00	0.00	0.00
Resvr R2	-176.08	17.95	0.00	0.00

Gambar 5.13 Tekanan pada *Junction*
(Sumber: Analisis Penulis, 2023)

Tekanan pada junction memiliki syarat < 700 kPa atau $< 71,38$ m, pada gambar memperlihatkan tekanan tertinggi pada permodelan terdapat pada *junction* N1 sebesar $66,67$ m $< 71,38$ m, artinya maka tekanan yang terjadi pada setiap *junction* dapat diterima.

5.10 Infiltrasi Green-Ampt

Pembuatan sumur resapan pada penelitian ini bertujuan untuk menampung luapan debit banjir dikarenakan intensitas curah hujan sangat tinggi dapat memenuhi bahkan melebihi kapasitas *rainwater harvesting*, ketika permukaan air melebihi kapasitas maka sumur resapan ini akan menampung dan menyerap limpasan air yang berasal dari *rainwater harvesting* kedalam tanah, tentu hal ini dapat mengurangi resiko terjadinya banjir sekaligus mempertahankan dan meningkatkan tinggi permukaan air tanah. Analisis infiltrasi akan dilakukan menggunakan metode teori infiltrasi *Green-Ampt*. Teori infiltrasi *Green-Ampt* adalah teori infiltrasi yang digunakan untuk melakukan analisis volume limpasan dengan melakukan oendugaan kapasitas dan laju infiltrasi. Sebelum memperhitungkan nilai infiltrasi perlu diketahui nilai *incremental* yang didapat berdasarkan nilai intensitas yang diubah ke hujan jam jaman menggunakan teori kurva ABM. Kurva ABM (*Alternating Block Method*) adalah metode yang digunakan untuk menurunkan kurva IDF menjadi *hyetograph*. Perhitungan intensitas perlu dilakukan sebelum menghitung infiltrasi untuk durasi waktu yang direncanakan menggunakan teori intensitas mononobe, analisis direncanakan dalam jangka waktu 6 jam yang dibagi per 10 menit. Berikut merupakan contoh perhitungan kurva ABM untuk durasi waktu 10 menit.

$$\begin{aligned}
 X_{24} \text{ (curah hujan)} &= 111,00 \text{ mm (hal. 66)} \\
 \text{Durasi (t)} &= 10 \text{ menit} = 0,166667 \text{ jam} \\
 I &= \frac{R_{24}}{24} \times \frac{24^m}{t} \\
 &= \frac{111}{24} \times \left(\frac{24}{0,166667} \right)^{2/3} \\
 &= 127,063 \text{ mm/jam} \\
 \text{Incremental} &= \frac{I}{60} \times T
 \end{aligned}$$

$$= \frac{127,063}{60} \times 10$$

$$= 21,177 \text{ mm}$$

Cummulative depth = 21,177 mm

Incremental depth = 21,177 mm

Kajian distribusi hujan menggunakan metode ABM (*Alternating Block Method*) untuk membuat tampilan hyetograf berdasarkan kurva IDF. Pola pertambahan hujan (dalam blok) diurutkan berdasarkan seri waktu dengan intensitas hujan maksimum yang berada di tengah durasi hujan T_d , sedangkan blok sisanya kembali disusun berdasarkan urutan menurun bolak balik di sisi kanan dan kiri blok tengah. Berikut merupakan tabel hasil perhitungan analisis kurva ABM.

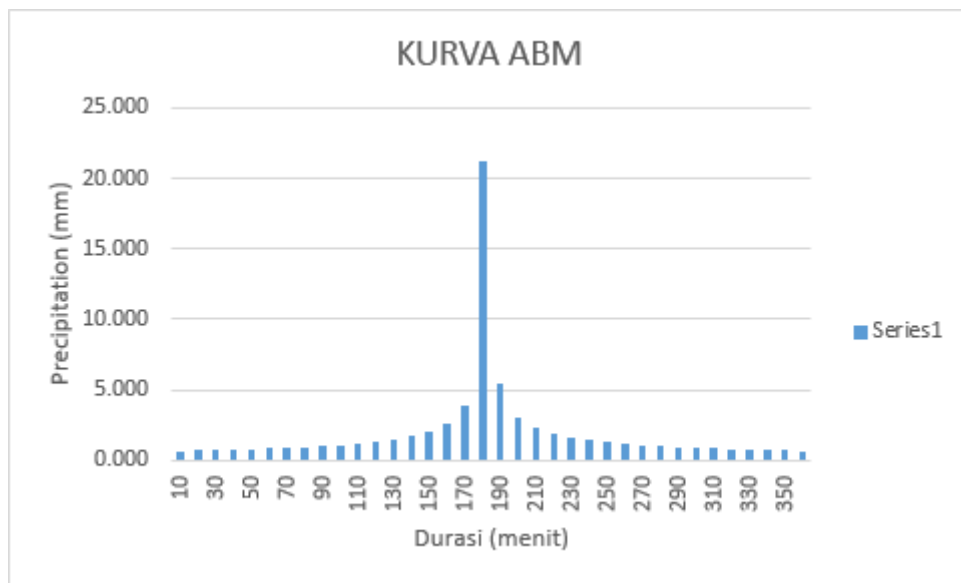
Tabel 5.28 Hasil Perhitungan Kurva ABM

T (min)	I	Cumulative Depth	Incremental	Incremental Depth	Time	Precipitation
	mm/jam	(mm)	(mm)	(mm)	min	(mm)
10	127.063	21.177	21.177	21.177	0 - 10	0.666
20	80.045	26.682	26.682	5.504	Oct-20	0.693
30	61.086	30.543	30.543	3.861	20 - 30	0.723
40	50.425	33.617	33.617	3.074	30 - 40	0.757
50	43.455	36.213	36.213	2.596	40 - 50	0.794
60	38.482	38.482	38.482	2.269	50 - 60	0.837
70	34.723	40.511	40.511	2.029	60 - 70	0.886
80	31.766	42.354	42.354	1.844	70 - 80	0.943
90	29.367	44.050	44.050	1.696	80 - 90	1.009
100	27.375	45.625	45.625	1.575	90 - 100	1.089
110	25.690	47.098	47.098	1.473	100 - 110	1.187
120	24.242	48.484	48.484	1.386	110 - 120	1.311
130	22.982	49.795	49.795	1.311	120 - 130	1.473
140	21.874	51.040	51.040	1.245	130 - 140	1.696
150	20.891	52.227	52.227	1.187	140 - 150	2.029
160	20.011	53.363	53.363	1.136	150 - 160	2.596
170	19.219	54.453	54.453	1.089	160 - 170	3.861
180	18.500	55.500	55.500	1.047	170 - 180	21.177
190	17.845	56.509	56.509	1.009	180 - 190	5.504
200	17.245	57.484	57.484	0.974	190 - 200	3.074
210	16.693	58.426	58.426	0.943	200 - 210	2.269
220	16.183	59.339	59.339	0.913	210 - 220	1.844

230	15.711	60.225	60.225	0.886	220 - 230	1.575
240	15.271	61.086	61.086	0.860	230 - 240	1.386
250	14.861	61.923	61.923	0.837	240 - 250	1.245
260	14.478	62.737	62.737	0.815	250 - 260	1.136
270	14.118	63.532	63.532	0.794	260 - 270	1.047
280	13.780	64.306	64.306	0.775	270 - 280	0.974
290	13.461	65.063	65.063	0.757	280 - 290	0.913
300	13.161	65.803	65.803	0.739	290 - 300	0.860
310	12.876	66.526	66.526	0.723	300 - 310	0.815
320	12.606	67.233	67.233	0.708	310 - 320	0.775
330	12.350	67.927	67.927	0.693	320 - 330	0.739
340	12.107	68.606	68.606	0.679	330 - 340	0.708
350	11.875	69.272	69.272	0.666	340 - 350	0.679
360	11.654	69.926	69.926	0.654	350 - 360	0.654

(sumber : Analisis Pribadi, 2023)

Berikut merupakan kurva dari hasil perhitungan kurva ABM.



Gambar 5.14 Kurva ABM
(sumber : Analisis Pribadi, 2023)

Selanjutnya dilakukan perhitungan infiltrasi menggunakan teori infiltrasi *green-ampt* seperti yang tertera pada halaman 25. Sebelum menghitung model infiltrasi *Green-ampt* terlebih dahulu harus menentukan *range* nilai dari parameter tanah yang akan dijadikan lokasi penempatan tanki. Tiap tanah memiliki nilai yang berbeda-beda tergantung jenisnya, berikut adalah nilai dari tiap parameter dengan jenis tanah lempung.

Tabel 5.29 Parameter Tanah Lempung

Jenis Tanah	Porosity (n)	Effective Porosity (θ_e)	Effective Saturation (S_e)	Suction Head	Hydraulic Conductivity K (cm/hr)
Clay (Lempung)	0,475	0,385	0,155	31,63	0,03

(sumber : Chow et al, 1988)

Kemudian untuk mencari nilai $\Delta\theta$ menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\Delta\theta &= (1 - S_e) \times \theta_e \\ &= (1 - 0,155) \times 0,385 \\ &= 0,325\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Hydraulic Conductivity (K)} &= 0,03 \text{ cm/jam} \\ &= 0,03 \frac{\text{cm}}{\text{jam}} \times \frac{10 \text{ mm}}{1 \text{ cm}} \times \frac{1 \text{ jam}}{60 \text{ menit}} \\ &= 0,03 \times \frac{10 \text{ mm}}{60 \text{ menit}} \\ &= 0,005 \text{ mm/menit}\end{aligned}$$

Setelah mencari nilai $\Delta\theta$ selanjutnya adalah mencari nilai infiltrasi kumulatif untuk selang waktu 10 menit sebagai berikut:

a. Infiltrasi kumulatif (*infiltration cumulative*)

$$\begin{aligned}F(t) &= \psi\Delta\theta \ln\left(1 + \frac{F(t)}{\psi\Delta\theta}\right) + Kt \\ &= \psi\Delta\theta \ln\left(1 + \frac{F(t)}{\psi\Delta\theta}\right) + Kt \\ &= 31,63 \times 0,325 \times \ln\left(1 + \frac{F(t)}{31,63 \times 0,325}\right) + 0,005 \times 10\end{aligned}$$

$$F(t) = 10,28 \times \ln\left(1 + \frac{F(t)}{10,28}\right) + 0,05$$

Untuk nilai $F(t)$ diasumsikan agar kedua sisi memiliki nilai yang sama, untuk asumsi $F(t)$ yang digunakan adalah perkalian antara *Hydraulic Conductivity* dengan selang waktu, dengan nilai *Hydraulic Conductivity* sebesar 0,005 dan selang waktu 10 menit maka nilai $F(t)$ diasumsikan sebesar 0,05.

$$0,05 = 10,28 \times \ln\left(1 + \frac{0,05}{10,28}\right) + 0,05$$

$$0,05 = 0,5066$$

$$\text{Selisih} = 0,05 - 0,5066 = -0,456 \text{ mm}$$

Karena nilai kedua sisi tidak sama maka dilakukan analisis *goal seek* untuk mencari nilai selisih menjadi 0 dan kedua sisi memiliki nilai yang sama yang dilakukan dengan mengubah nilai F(t) asumsi. Didapat nilai F(t) sebesar 0,5575.

b. Laju infiltrasi (*infiltration rate*)

$$\begin{aligned}
 f &= K \left[1 + \frac{\psi \cdot \Delta\theta}{F(t)} \right] \\
 &= 0,005 \left[1 + \frac{31,63 \cdot 0,325}{0,5575} \right] \\
 &= 0,58 \text{ mm/menit}
 \end{aligned}$$

Berikut merupakan tabel hasil analisis infiltrasi *green-ampt* selama durasi waktu hujan 6 jam atau 360 menit.

Tabel 5.30 Hasil Analisis Infiltrasi *Green-ampt*

Time (min)	Rainfall			Infiltration		Excess Rainfall	
	Incremental	Cumulative	Intensity	Rate	Cumulative	Cumulative	Incremental
	mm	mm	mm/menit	mm/menit	mm	mm	mm
0		0	0		0		
10	0.67	0.67	0.067	0.5832	0.5575		
20	0.69	1.36	0.068	0.1352	2.9327		
30	0.72	2.08	0.069	0.1351	2.9331		
40	0.76	2.84	0.071	0.1352	2.9327		
50	0.79	3.63	0.073	0.1351	2.9333		
60	0.84	4.47	0.075	0.1351	2.9330		
70	0.89	5.36	0.077	0.1352	2.9328		
80	0.94	6.30	0.079	0.1352	2.9326		
90	1.01	7.31	0.081	0.1351	2.9333		
100	1.09	8.40	0.084	0.1351	2.9331		
110	1.19	9.58	0.087	0.1351	2.9329		
120	1.31	10.90	0.091	0.1352	2.9328		
130	1.47	12.37	0.095	0.1352	2.9327		
140	1.70	14.06	0.100	0.1352	2.9326		
150	2.03	16.09	0.107	0.1351	2.9332		
160	2.60	18.69	0.117	0.1351	2.9331		
170	3.86	22.55	0.133	0.1351	2.9330		
180	21.18	43.73	0.243	0.1351	2.9329	40.79	21.18
190	5.50	49.23	0.259	0.1352	2.9328	46.30	5.50
200	3.07	52.31	0.262	0.1352	2.9328	49.37	3.07
210	2.27	54.57	0.260	0.1352	2.9327	51.64	2.27
220	1.84	56.42	0.256	0.1352	2.9327	53.49	1.84
230	1.57	57.99	0.252	0.1352	2.9326	55.06	1.57
240	1.39	59.38	0.247	0.1351	2.9330	56.45	1.39

250	1.25	60.62	0.242	0.1351	2.9329	57.69	1.25
260	1.14	61.76	0.238	0.1351	2.9329	58.83	1.14
270	1.05	62.81	0.233	0.1352	2.9328	59.87	1.05
280	0.97	63.78	0.228	0.1352	2.9328	60.85	0.97
290	0.91	64.70	0.223	0.1352	2.9327	61.76	0.91
300	0.86	65.56	0.219	0.1352	2.9327	62.62	0.86
310	0.81	66.37	0.214	0.1352	2.9327	63.44	0.81
320	0.77	67.15	0.210	0.1352	2.9326	64.21	0.77
330	0.74	67.88	0.206	0.1352	2.9326	64.95	0.74
340	0.71	68.59	0.202	0.1352	2.9326	65.66	0.71
350	0.68	69.27	0.198	0.1352	2.9328	66.34	0.68
360	0.65	69.93	0.194	0.1352	2.9328	66.99	0.65

(sumber : Analisis Pribadi, 2023)

Dapat dilihat pada tabel 5.30 apabila nilai intensitas lebih tinggi dari nilai *infiltration rate* maka akan terjadi genangan. Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa dengan curah hujan yang ada, akan terjadi genangan yang di mulai dari selang waktu 180 menit sampai 360 menit seperti yang diblok pada warna kuning, dengan tinggi genangan maksimal yang akan terjadi yaitu sebesar 21,18 mm dan ukuran *infiltration tank* yaitu 1,564 m x 10,14 m x 2,05 m. Apabila tanki infiltrasi ini terjadi kelebihan genangan dan melebihi kapasitas tanki atau *overcapacity*, maka air kelebihan tersebut dialirkan menuju saluran drainase.

5.11 Analisis Routing

Untuk memprediksi besarnya debit *inflow* yang masuk ke reservoir, diperlukan analisis routing. Selain itu analisis routing juga dilakukan untuk memastikan bahwa dimensi tanki infiltrasi yang direncanakan dapat merampung kelebihan air dari tanki rain water harvesting, analisis *routing* direncanakan menggunakan persamaan kontinuitas sebagai berikut.

Diketahui nilai intensitas terbesar adalah 0,262 m/min (tabel 5.31) yang diubah kedalam satuan m/jam yaitu sebesar $4,4 \times 10^{-6}$ m/s. Serta dimensi rencana tanki infiltrasi yaitu sebesar 1,564 m x 10,14 m x 2,05 m dan diameter pipa dari tanki *rwhs* menuju tanki infiltrasi berdiameter 150 mm.

$$\int \frac{d}{dt} \cdot \rho \, dv + \int \rho \, v \, dA = 0$$

$$\frac{d}{dt} (\rho \, v) + \int \rho \, v \, dA = 0$$

$$\rho \frac{dv}{dt} + v \frac{d\rho}{dt} + \int \rho \, v \, dA = 0$$

$$\rho \frac{dv}{dt} - (\rho v A)_1 - (\rho v A)_2 = 0$$

$$\frac{dv}{dt} = (v A)_1 - (v A)_2$$

$$15,86 \frac{dh}{dt} = 4,4 \times 10^{-6} \cdot \frac{1}{4} \pi \left(\frac{150}{1000} \right)^2 - (2,25 \times 10^{-6} \times 15,86)$$

$$\frac{dh}{dt} = -3,56 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

Dari hasil analissi didapat nilai perubahan tinggi terhadap waktu yaitu sebesar $-3,56 \times 10^{-5}$ m/s. Maka dapat disimpulkan bahwa dengan dimensi tanki infiltrasi yang direncanakan yaitu 1,564 m x 10,14 m x 2,05 m cukup untuk mencakup kelebihan air dari *rain water harvesting*.