

Bab II Perancangan Drainase dan Pemipaan

2.1 Prinsip Jaringan Plambing Air Bersih

Air bersih adalah salah satu sumber daya yang penting bagi kehidupan manusia karena air bersih dimanfaatkan untuk dikonsumsi dan dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari seperti sanitasi. Oleh karena itu, perlu diketahui kebutuhan air bersih dan cara pengaliran dari sumbernya hingga ke lokasi yang membutuhkan air bersih. Pipa digunakan sebagai media untuk mengalirkan air bersih ke semua lokasi yang membutuhkan air bersih sehingga membentuk suatu sistem yang perlu direncanakan agar mampu mengalirkan air sampai ke lokasi yang membutuhkan sesuai dengan kebutuhan.

1. Sistem Penyediaan Air Bersih

Sistem penyediaan air bersih harus mampu memberikan jumlah air bersih yang cukup dengan memperhatikan kualitas air sehingga analisis kebutuhan air sangat penting dalam perencanaan sistem penyediaan air bersih. Penyediaan air bersih menggunakan sistem aliran tertutup, yang dalam hal ini menggunakan jaringan pipa. Jaringan pipa dalam proses perencanaan konstruksi sering disebut dengan istilah plambing.

2. Tekanan Air dan Kecepatan Aliran

Tekanan air dan kecepatan aliran dari air yang mengalir pada jaringan pipa perlu direncanakan dengan baik agar mampu membawa aliran air hingga lokasi atau tempat yang membutuhkan air. Tekanan air yang tidak mencukupi akan menyebabkan masalah dalam pemakaian air seperti waktu pengisian yang lama atau bahkan kesulitan akibat kekurangan atau tidak adanya air. Tekanan air yang berlebihan juga dapat menyebabkan kerusakan pada alat plambing. Berdasarkan SNI 03-7065-2005 tentang Tata Cara Perencanaan Sistem Plambing terdapat beberapa ketentuan yang harus dipenuhi oleh sistem penyediaan air minum yaitu:

- a. Tekanan air minimum pada alat Plambing tercantum dalam Tabel 2.1

Tabel 2.1 Tekanan Minimum yang Diperlukan Alat Plambing

No	Nama alat plambing	Tekanan yang diperlukan (kg/cm ²)
1	Katup gelontor kloset	0,7
2	Katup gelontor peturasan	0,4
3	Kran yang menutup otomatis	0,7
4	Pancuran mandi, dengan pancaran air halus	0,7
5	Pancuran mandi biasa	0,35
6	Kran biasa	0,3

Sumber: SNI 8153-2015

- b. Aliran air dalam pipa memiliki kecepatan minimum 0,9 m/s dan maksimum 2 m/s
- c. Kebutuhan air per hari menjadi dasar kapasitas tangki bawah
- d. Fluktuasi pemakaian air per hari menjadi dasar perhitungan tangki atas
- e. Dasar perhitungan kapasitas pemanas air langsung yaitu kebutuhan maksimum alat plambing.
- f. Kapasitas pemanas air yang menggunakan tangki harus mampu menyediakan air pada jangka waktu penggunaan air panas dalam alat plambing yang dilayani, dan kapasitas pemanasnya ditentukan untuk menaikkan temperatur air dalam tangki tersebut dalam waktu tidak lebih dari 3 jam.
3. Penentuan Kebutuhan Air Bersih

Terdapat beberapa metode yang dapat dipakai untuk menentukan kebutuhan air bersih yaitu penaksiran berdasarkan luas lantai efektif dan jumlah penghuni, penaksiran berdasarkan jenis dan jumlah alat plat plambing, dan penaksiran berdasarkan unit beban alat plambing.

- a. Penaksiran Berdasarkan Luas Lantai Efektif dan Jumlah Penghuni

Jika tidak data jumlah penghuni tidak diketahui maka jumlah penghuni ditaksir berdasarkan luas lantai dan menentukan kepadatan hunian per luas lantai.

Tabel 2.2 Pemakaian Air Rata-rata Orang Per Hari

No	Jenis Gedung	Pemakaian air rata-rata sehari (liter)	Jangka waktu pemakaian air rata-rata sehari (jam)	Perbandingan luas lantai efektif/total (%)	Keterangan
1	Perumahan mewah	250	8 – 10	42 – 45	Setiap penghuni
2	Rumah biasa	160 – 250	8 – 10	50 – 53	Setiap penghuni Mewah 250 liter
3	Apartemen	200 – 250	8 – 10	45 – 50	Menengah 180 liter Bujangan 120 liter
4	Asrama	120 Mewah > 1000	8		Setiap penghuni
5	Rumah sakit	Menengah: 500 – 1000 Umum: 350 – 500	8	45 – 48	(setiap tempat tidur pasien) Pasien luar: 8 liter Staf/pegawai: 120 liter Keluarga pasien: 120 liter
6	Sekolah dasar	80	8 – 10	58 – 60	Guru: 100 liter
7	SLTP	50	5	58 – 60	Guru: 100 liter
8	SLTA dan lebih tinggi	80	6		Guru/dosen: 100 liter
9	Rumah toko	100 – 200	6		Penghuninya: 160 liter
10	Gedung kantor	100	8	60 – 70	Setiap pegawai
11	Toserba (toko serba ada, department store)	3	8	55 – 60	Pemakaian air hanya untuk kakus, belum termasuk untuk bagian restorannya
12	Pabrik/industry	Buruh pria: 60 Wanita: 100	7		Per orang, setiap giliran (kalau kerja lebih dari 8 jam)
13	Stasiun/terminal	3	8		Setiap penumpang (yang tiba maupun berangkat)
14	Restoran	30	15		Untuk penghuni: 160 liter; pelayan: 100 liter; 70% dari jumlah tamu perlu 15 liter/orang untuk kakus, cuci tangan dsb.
15	Restoran umum	15	5		
16	Gedung pertunjukan	30	7	53 – 55	Kalau digunakan siang dan malam, pemakaian air dihitung per penonton. Jam pemakaian air dalam tabel adalah untuk satu kali pertunjukan
17	Gedung bioskop	10	5		
18	Toko pengecer	40	3		Pedagang besar: 30 liter/tamu, 15 liter/staff atau 5 liter per hari setiap m ² luas lantai
19	Hotel penginapan	250 – 300	6		Untuk setiap tamu, untuk staf 120-150 liter; penginapan 200 liter
20	Gedung peribadatan	10	10		Didasarkan jumlah Jemaah per hari

Lanjutan **Tabel 2.2** Pemakaian Air Rata-rata Orang Per Hari

No	Jenis Gedung	Pemakaian air rata-rata sehari (liter)	Jangka waktu pemakaian air rata-rata sehari (jam)	Perbandingan luas lantai efektif/total (%)	Keterangan
21	Perpustakaan	25	2		Untuk setiap pembaca yang tinggal
22	Bar	30	6		Setiap tamu
23	Perkumpulan sosial	30	6		Setiap tamu
24	Kelab malam	120 – 350			Setiap tempat duduk
25	Gedung perkumpulan	150 – 200			Setiap tamu
26	Laboratorium	100 – 200	8		Setiap tamu

Sumber: Noerbambang, S. & Morimura, T. (2000)

Langkah perhitungan kebutuhan air berdasarkan luas lantai efektif adalah sebagai berikut:

- 1) Menentukan jenis gedung
- 2) Menghitung luas lantai keseluruhan hunian
- 3) Menghitung luas gedung efektif dengan mengalikan luas lantai keseluruhan hunian dengan perbandingan luas lantai efektif/total (%)
- 4) Menghitung jumlah penghuni dengan membagikan luas gedung efektif dengan luasan akses bagi setiap orang yaitu 5 m^3 sampai 10 m^3 per orang
- 5) Menghitung pemakaian air dengan mengalikan jumlah orang dengan pemakaian air rata-rata per hari lalu ditambahkan dengan 20% dari total kebutuhan air sebagai antisipasi kebocoran
- 6) Menghitung kebutuhan air pada jam puncak dengan mengubah kebutuhan air per hari ke per jam lalu dikalikan konstanta (C_1) yang berkisar antara 1,5-2.
- 7) Menghitung kebutuhan air pada menit puncak dengan mengubah kebutuhan air per jam ke per menit lalu dikalikan dengan konstanta (C_2) yang berkisar antara 3-4.

Jika data jumlah penghuni diketahui, proses perhitungan kebutuhan air tidak perlu mengikuti langkah 2, 3, dan 4.

b. Penaksiran Berdasarkan Jenis dan Jumlah Alat Plambing

Penaksiran berdasarkan jenis dan jumlah alat plambing digunakan jika diketahui kondisi pemakaian air dan jumlah dari setiap jenis alat plambing yang digunakan.

Tabel 2.3 Faktor Pemakaian (%) dan Jumlah Alat Plambing

Jenis alat plambing (Y%)	Jumlah alat plambing (X)											
	1	2	4	8	12	16	24	32	40	50	70	100
Kloset dengan katup gelontor	1	50 satu	50 2	40 3	30 4	27 5	23 6	19 7	17 7	15 8	12 9	10 10
Alat plambing biasa	1	100 satu	75 3	55 5	48 6	45 7	42 10	40 13	39 16	38 19	35 25	33 33

Sumber: Noerbambang, S. & Morimura, T. (2000)

Tabel 2.4 Pemakaian air tiap alat plambing, laju aliran airnya, dan ukuran pipa cabang pipa air

No	Nama alat plambing	Pemakaian air untuk penggunaan satu kali (liter)	Penggunaan per jam	Laju aliran (liter/min)	Waktu untuk pengisian (detik)	Pipa sambungan ke alat plambing (mm)	Pipa cabang air bersih ke alat plambing (mm)	
							Pipa baja	Tembaga
1	Kloset (dengan katup gelontor)	13,5 – 16,5	6 – 12	110 – 180	8,2 – 10	24	32	25
2	Kloset (dengan tangki gelontor)	13 – 15	6 – 12	15	60	13	20	13
3	Peterusan (dengan katup gelontor)	5	12 – 20	30	10	13	20	13
4	Peterusan, 2-4 orang (dengan tangki gelontor)	9 – 18 (@4,5)	12	1,8 – 3,6	300	13	20	13
5	Peterusan 5-7 orang (dengan tangki gelontor)	22,5 – 31,5 (@4,5)	12	4,5 – 6,3	300	13	20	13
6	Bak cuci tangan kecil	3	12 – 20	10	18	13	20	13
7	Bak cuci tangan biasa	10	6 – 12	15	40	13	20	13
8	Bak cuci dapur (<i>sink</i>) dengan keran 13 mm	15	6 – 12	15	60	13	20	13
9	Bak cuci dapur (<i>sink</i>) dengan keran 13 mm	25	6 – 12	25	60	20	20	20
10	Bak mandi rendam (<i>bath tub</i>)	125	3	30	250	30	20	20
11	Pancuran mandi	24 – 60	3	12	120 – 300	13 – 20	20	13 – 20
12	Bak mandi gaya jepang	Tergantung ukuran		30		20	20	20

Sumber: Noerbambang, S. & Morimura, T. (2000)

Langkah perhitungan kebutuhan air berdasarkan jenis dan jumlah alat plambing adalah sebagai berikut:

- 1) Menghitung jumlah alat plambing yang dikelompokkan berdasarkan jenis alat Plambing
 - 2) Menentukan volume pemakaian air untuk penggunaan satu kali
 - 3) Menentukan jumlah penggunaan per jam
 - 4) Menghitung laju aliran dengan mengalikan jumlah alat plambing dengan volume pemakaian satu kali dan jumlah penggunaan per jam
 - 5) Menghitung laju aliran efektif per jam dengan mengalikan laju aliran dan faktor pemakaian efektif
 - 6) Menjumlahkan laju aliran efektif tiap jenis alat plambing untuk memperoleh laju aliran yang diperlukan per jam.
- c. Penaksiran Berdasarkan Unit Beban Alat Plambing
- Penaksiran berdasarkan unit beban alat plambing digunakan jika diketahui jumlah dari setiap jenis alat plambing yang digunakan.

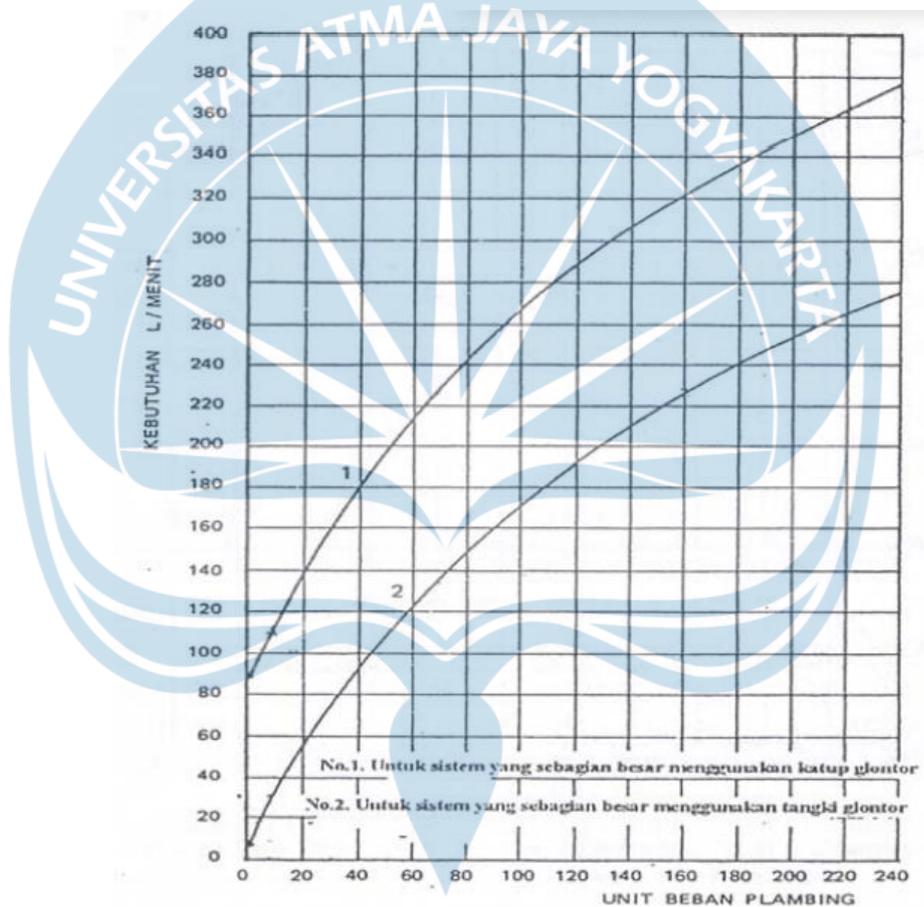
Tabel 2.5 Unit Beban Alat Plambing Sistem Penyediaan Air dan Ukuran Minimum Pipa Cabang

Perlengkapan atau peralatan	Ukuran pipa cabang minimum (inch)	Pribadi (UBAP)	Umum (UBAP)	Tempat berkumpul (UBAP)
Bak rendam atau kombinasi bak dan shower	½	4	4	-
Bak rendam dengan katup ¾ inci	¾	10	10	-
Bidet	½	1	-	-
Pencuci pakaian	½	4	4	-
Unit dental	½	-	1	-
Pencuci piring, rumah tangga	½	1,5	1,5	-
Pancuran air minum, air pendingin	½	0,5	0,5	0,75
House Bibb,	½	2,5	2,5	-
House Bibb, tiap pertambahan	½	1	1	-
Lavatory	½	1	1	1
Sprinkler halaman	-	1	1	-
Sink/bak				
• Bar	½	1	2	-
• Kran klinik	½	-	3	-
• Katup gelontor klinik dengan atau tanpa kran	1	-	8,0	-
• Dapur, rumah tangga dengan atau tanpa pencuci piring	½	1,5	1,5	-
• Laundry	½	1,5	1,5	-
• Bak pel	½	1,5	3,0	-
• Cuci muka, tiap set kran	½	-	2,0	-
Shower	½	2,0	2,0	-
Urinal, katup gelontor 3,8LPF (liter per flush)	¾	Lihat catatan ⁷⁾		-
Urinal, tangki pembilas	½	2,0	2,0	3,0

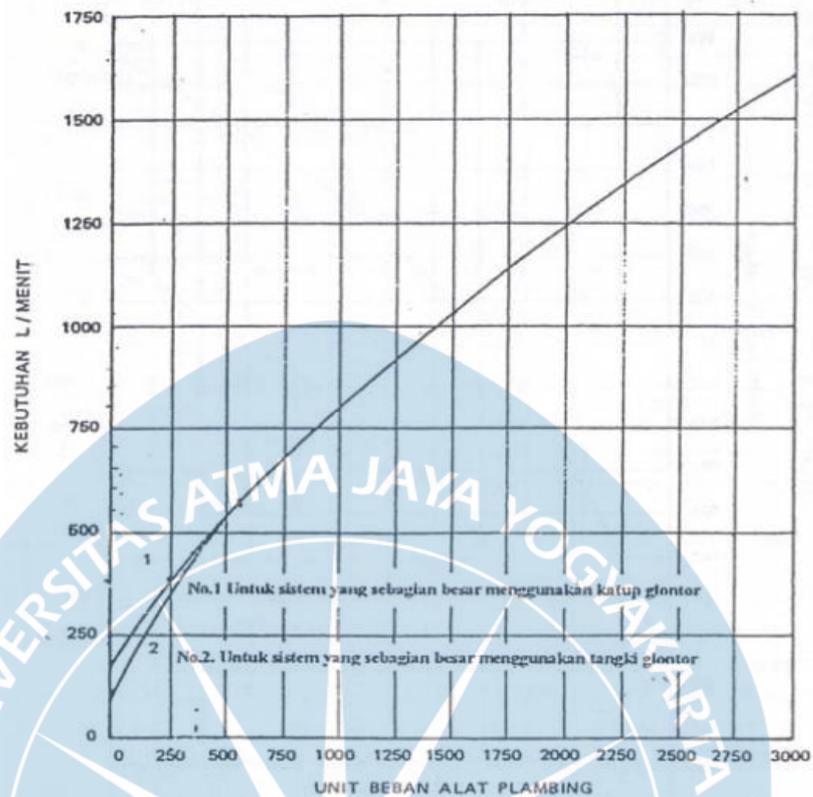
Lanjutan **Tabel 2.5** Unit Beban Alat Plumbing Sistem Penyediaan Air dan Ukuran Minimum Pipa Cabang

Perlengkapan atau peralatan	Ukuran pipa cabang minimum (inch)	Pribadi (UBAP)	Umum (UBAP)	Tempat berkumpul (UBAP)
Pancuran cuci, spray sirkular	¾	-	4,0	-
Kloset, tangki gravitasi 6LPF (liter per flush)	½	2,5	2,5	3,5
Kloset, tangki meter air 6LPF (liter per flush)	½	2,5	2,5	3,5
Kloset, katup meter air 6LPF (liter per flush)	1	Lihat catatan ⁷⁾		-
Kloset, tangki gravitasi >6LPF (liter per flush)	½	3,0	5,5	7,0
Kloset, flushometer >6LPF (liter per flush)	1	Lihat catatan ⁷⁾		-

Sumber: SNI 8153-2015



Gambar 2.1 Kurva Perkiraan Beban Kebutuhan Air untuk UBAP Hingga 240 l/menit



Gambar 2.2 Kurva Perkiraan Beban Kebutuhan Air untuk UBAP Hingga 3000 l/menit

Perhitungan diawali dengan menghitung total dari beban alat Plambing setelah itu total beban alat plamebing digunakan untuk menentukan kebutuhan air pada menit puncak dengan menggunakan Kurva Perkiraan Beban Kebutuhan Air untuk UBAP. Kurva yang digunakan pada Gambar 2.1 adalah kurva nomor 2 dikarenakan kloset yang digunakan dalam perencanaan menggunakan tangki gelontor yang memiliki kebutuhan air lebih sedikit apabila dibandingkan dengan kloset dengan katup gelontor. Kebutuhan air pada menit puncak dibagi dengan koefisien (C_2) untuk memperoleh kebutuhan air per menit.

4. Kapasitas Tangki Air Bawah dan/atau Atas

Perencanaan dimensi atau kapasitas dari tangki air bawah maupun atas didasarkan pada suplai air dari PDAM. Berdasarkan SNI 03-7065 tahun 2015 ketentuan dalam merencanakan tangki air bawah adalah sebagai berikut:

- a. Tangki air tidak termasuk dalam bagian struktural bangunan dan jika diletakan di luar bangunan harus kedap dan tahan terhadap beban yang mempengaruhinya
- b. Tangki dipasang pada lantai terbawah dan berjarak minimum dengan bak penampang air kotor atau air buangan sebesar 5 meter
- c. Lubang perawatan berdiameter minimal 60 cm, dengan tutup lubang harus berada kira-kira 10 cm lebih tinggi dari permukaan plat tutup tangki, mempunyai kemiringan yang cukup
- d. Ruang bebas di sekeliling tangki untuk pemeriksaan dan perawatan, di sebelah atas dinding, dan di bawah dasar tangki harus minimal 60 cm
- e. Pipa keluar dari tangki dipasang minimal 20 cm di atas dasar tangki
- f. Konstruksi tangki dan penempatan lubang pengisian dan pengeluaran air harus dapat mencegah timbulnya bangian air yang terlalu lama diam dalam tangki.

Tahapan perencanaan tangki bawah adalah sebagai berikut:

- a. Perhitungan besarnya kapasitas pipa dinas (Q_s)

$$Q_s = \frac{2}{3} \times Q_h$$

- b. Perhitungan volume tangki bawah

$$\text{Volume} = [Q_d - (Q_s \times T)]$$

Debit air harian yang digunakan adalah yang sudah dijumlahkan dengan antisipasi kebocoran

- c. Perhitungan dimensi tangki bawah

Panjang dan lebar tangki bawah ditentukan lalu mencari tinggi efektif tangki, setelah itu menghitung tinggi total dengan menjumlahkan tinggi efektif dengan tinggi *free board* dan tinggi minimal pemasangan pipa keluar.

$$T_{\text{efektif tangki}} = \frac{\text{Volume}}{P \times l}$$

$$T_{\text{total}} = T_{\text{efektif}} + T_{\text{free board}} + T_{\text{min pipa keluar}}$$

Pada perencanaan tangki atas, penempatan tangki harus berada pada ketinggian yang cukup sehingga mampu memberikan tekanan statik untuk alat Plambing tertinggi pada bangunan. Tahapan perencanaan tangki atas adalah sebagai berikut:

- a. Perhitungan volume tangki atas

$$V_E = [(Q_P - Q_{h-max})T_P - (Q_{pu}T_{pu})]$$

- b. Perhitungan dimensi tangki atas

Panjang dan lebar tangki atas ditentukan lalu mencari tinggi efektif tangki, setelah itu menghitung tinggi total dengan menjumlahkan tinggi efektif dengan tinggi *free board*.

$$T_{\text{efektif tangki}} = \frac{\text{Volume}}{P \times l}$$

$$T_{\text{total}} = T_{\text{efektif}} + T_{\text{free board}}$$

2.2 Standar/Acuan dalam Perancangan Plambing

Acuan yang digunakan sebagai dasar dalam perancangan Plambing yaitu SNI 03-7065-2005 tentang Tata Cara Perencanaan Sistem Plambing dan SNI 8153-2015 tentang Sistem Plambing pada Bangunan Gedung.

2.3 Pendahuluan Perancangan Plambing

Pendahuluan dalam melakukan perancangan Plambing yaitu mempelajari peraturan yang menjadi standar atau acuan dalam perencanaan baik itu peraturan yang berlaku umum maupun peraturan yang berlaku setempat. Selain mempelajari peraturan dilakukan pengamatan dan pembelajaran terhadap gambar rencana arsitektural yang berfokus pada gedung-gedung yang akan direncanakan Plambingnya. Data dan informasi yang perlu didapatkan dari pengamatan gambar rencana arsitektural adalah denah yang menunjukkan penataan dari letak alat-alat Plambing, jumlah dan jenis alat Plambing yang diperlukan pada hunian. Informasi lain yang perlu didapatkan adalah jenis atau penggunaan hunian, jumlah penghuni, jaringan air minum dan fasilitas drainase kota.

2.4 Perancangan Jaringan Pipa untuk Air Bersih

Perancangan jaringan pipa untuk air bersih diawali dengan menghitung kebutuhan air yang diperlukan, setelah dihitung tangki penampung kebutuhan air

tersebut. Tangki penampung perlu diletakan pada lokasi yang tepat sehingga tidak mengganggu dan terletak minimal 5 meter dari letak penampung air kotor. Jaringan Pipa dirancang sedemikian sehingga tidak terjadi tabrakan dengan bagian-bagian bangunan yang lain hingga mencapai letak dari alat Plambing. Penentuan diameter pipa dan daya pompa harus diperhitungkan agar mampu memberikan tekanan yang cukup untuk menghantarkan air ke seluruh alat Plambing.

1. Perhitungan Kebutuhan Air

Perhitungan kebutuhan air menggunakan metode penaksiran unit beban alat Plambing karena menghasilkan kebutuhan air yang paling besar dibandingkan dengan hasil perhitungan kebutuhan air dengan metode lain. Pada perhitungan kebutuhan air ini akan diberikan contoh perhitungan dari perhitungan kebutuhan air Modul A.

Tabel 2.6 Perhitungan UBAP Modul A

Jenis alat Plambing	Jumlah alat Plambing	Unit beban alat Plambing	Jumlah unit beban alat Plambing
Kloset	4	2,5	10
Showder	4	2	8
Kran	4	2	8
Cuci dapur	4	1,5	6
Jumlah			32

Hasil perhitungan jumlah UBAP diplot pada kurva perkiraan beban kebutuhan air untuk UBAP dan diperoleh $Q_{m \max} = 80$ l/menit.

$$\begin{aligned}
 Q_h &= \frac{Q_{m \max}}{C_1} \times \frac{60}{1000} \\
 &= \frac{80}{3} \times \frac{60}{1000} \\
 &= 1,6 \text{ m}^3/\text{jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{h \max} &= Q_h \times C_2 \\
 &= 1,6 \times 1,5 \\
 &= 2,4 \text{ m}^3/\text{jam}
 \end{aligned}$$

Modul A termasuk dalam jenis gedung rumah biasa sehingga waktu penggunaan air rata-rata per hari adalah 8 jam.

$$\begin{aligned}
 Q_d &= Q_h \times T \\
 &= 1,6 \times 8
 \end{aligned}$$

$$= 12,9 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Sebagai upaya antisipasi terhadap kebocoran maka total kebutuhan air per hari ditambah 20% dari kebutuhan air yang sudah dihitung

$$Q_d (120\%) = Q_d \times 1,2 = 15,36 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Tabel 2.7 Perhitungan UBAP Modul B

Jenis alat Plambing	Jumlah alat Plambing	Unit beban alat Plambing	Jumlah unit beban alat Plambing
Kloset	2	2,5	5
Shower	2	2	4
Kran	2	2	4
Cuci dapur	2	1,5	3
Jumlah			16

Hasil perhitungan jumlah UBAP diplot pada kurva perkiraan beban kebutuhan air untuk UBAP dan diperoleh $Q_{m \text{ max}} = 44 \text{ l}/\text{menit}$

$$Q_h = 0,88 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$Q_{h \text{ max}} = 1,32 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Modul B termasuk dalam jenis gedung rumah biasa sehingga waktu penggunaan air rata-rata per hari adalah 8 jam.

$$Q_d = 7,04 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$Q_d (120\%) = 8,448 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Tabel 2.8 Perhitungan UBAP Balai Warga dan Pos Jaga

Jenis alat Plambing	Jumlah alat Plambing	Unit beban alat Plambing	Jumlah unit beban alat Plambing
Kran	3	2	6
Jumlah			6

Hasil perhitungan jumlah UBAP diplot pada kurva perkiraan beban kebutuhan air untuk UBAP dan diperoleh $Q_{m \text{ max}} = 23 \text{ l}/\text{menit}$

$$Q_h = 0,46 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$Q_{h \text{ max}} = 0,69 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Balai warga dan pos jaga termasuk dalam jenis gedung perkumpulan sosial sehingga waktu penggunaan air rata-rata per hari adalah 6 jam.

$$Q_d = 2,76 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$Q_d (120\%) = 3,312 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Tabel 2.9 Perhitungan UBAP Mushola

Jenis alat Plambing	Jumlah alat Plambing	Unit beban alat Plambing	Jumlah unit beban alat Plambing
Kran	24	2	48
Jumlah			48

Hasil perhitungan jumlah UBAP diplot pada kurva perkiraan beban kebutuhan air untuk UBAP dan diperoleh $Q_{m \max} = 105$ l/menit

$$Q_h = 2,1 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$Q_{h \max} = 3,15 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Mushola termasuk dalam jenis gedung peribadatan sehingga waktu penggunaan air rata-rata per hari adalah 10 jam.

$$Q_d = 21 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$Q_d (120\%) = 25,2 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Perhitungan kebutuhan air dengan metode Luas Lantai Efektif dan Jumlah Penghuni dan Jenis dan Jumlah Alat Plambing juga dilakukan untuk melihat perbandingan kerbutuhan air antara tiga jenis metode ini. Metode yang digunakan adalah yang memberikan hasil kebutuhan air yang paling besar yaitu metode Unit Beban Alat Plambing.

Tabel 2.10 Perbandingan Perhitungan Kebutuhan Air

Bangunan	Penaksiran Berdasarkan Luas Lantai Efektif dan Jumlah Penghuni (l/menit)	Penaksiran Berdasarkan Jenis dan Jumlah Alat Plambing (l/menit)	Penaksiran Berdasarkan Unit Beban Alat Plambing (l/menit)
Modul A	47.25	31.05	80.00
Modul B	24.30	15.53	44.00
Balai warga	18.60	1.125	23.00
Pos jaga	0.60	1.125	23.00
Mushola	79.20	27.00	105.00

2. Jalur dan Isometri Jaringan Pipa

Jalur pipa dibuat dengan memperhatikan elemen-elemen struktur dari bangunan dan letak dari alat Plambing. Elemen-elemen struktur perlu diperhatikan agar dapat dihindari sehingga tidak terjadi tabrakan dengan jalur

pipa. Selain elemen struktur, letak alat Plambing juga perlu diperhatikan agar jalur pipa dapat diarahkan ke lokasi yang letak dari alat Plambing.

3. Perhitungan Dimensi Pipa dengan Mengacu SNI

Perhitungan dimensi pipa berdasarkan Tabel 4 pada SNI 8153-2015.

Tabel 2.11 Perhitungan UBAP Mushola

Ukuran meter air (inci)	Diameter pipa pembawa (inci)	Panjang maksimum yang dibolehkan (m)													
		12	18	24	30	46	61	76	91	122	152	183	213	244	274
UBAP untuk Rentang Tekanan 21 sampai 31,5 mka															
¾	¾	6	5	4	3	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0
¾	¾	16	16	14	12	9	6	5	5	4	4	3	2	2	1
¾	1	29	25	23	21	17	15	13	12	10	8	6	6	6	6
1	1	36	31	27	25	20	17	15	13	12	10	8	6	6	6
¾	1¼	36	33	31	28	24	23	21	19	17	16	13	12	12	11
1	1¼	54	47	42	38	32	28	25	23	19	17	14	12	12	11
1½	1¼	78	68	57	48	38	32	28	25	21	18	15	12	12	11
1	1½	85	84	79	65	56	48	43	38	32	28	26	22	21	20
1½	1½	150	124	105	91	70	57	49	45	36	31	26	23	21	20
2	1½	151	129	129	110	80	64	53	46	38	32	27	23	21	20
1	2	85	85	85	85	85	85	82	80	66	61	57	52	49	46
1½	2	220	205	190	176	155	138	127	120	104	85	70	61	57	54
2	2	370	327	292	265	217	185	164	147	124	96	70	61	57	54
2	2½	445	418	390	370	330	300	280	265	240	220	198	175	158	143
¾	¾	7	7	6	5	4	3	2	2	1	1	1	0	0	0
¾	¾	20	20	19	17	14	11	9	8	6	5	4	3	3	3
¾	1	39	39	36	33	28	23	21	19	17	14	12	10	9	8
1	1	39	39	39	36	30	25	23	20	18	15	12	10	9	8
¾	1¼	39	39	39	39	39	39	34	32	27	25	22	19	19	17
1	1¼	78	78	76	67	52	44	39	36	33	29	24	20	19	17
1½	1¼	78	78	78	78	66	52	44	39	33	29	24	20	19	17
1	1½	85	85	85	85	85	85	80	67	55	49	41	37	34	32
1½	1½	151	151	151	151	128	105	90	78	62	52	42	38	35	32
2	1½	151	151	151	151	150	117	98	84	67	55	42	38	35	32
1	2	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	83
½	2	370	370	340	318	272	240	220	198	170	150	135	123	110	102
2	2	370	370	370	370	318	280	250	205	165	142	123	110	102	94
2	2½	640	610	610	580	535	500	470	440	400	365	335	315	285	267
UBAP Rentang Tekanan di atas 42 mka															
¾	¾	7	7	7	6	5	4	3	3	2	1	1	1	1	0
¾	¾	20	20	20	20	17	13	11	10	8	7	6	6	5	4
¾	1	39	39	39	39	35	30	27	24	21	17	14	13	12	12
1	1	39	39	39	39	38	32	29	26	22	18	14	13	12	12
¾	1¼	39	39	39	39	39	39	39	39	34	28	26	25	23	22
1	1¼	78	78	78	78	74	62	53	47	39	31	26	25	23	22
1½	1¼	78	78	78	78	78	74	65	54	43	34	26	25	23	22
1	1½	85	85	85	85	85	85	85	85	81	64	51	48	46	43
1½	1½	151	151	151	151	151	151	130	113	88	73	51	51	46	43
2	1½	151	151	151	151	151	151	142	122	98	82	64	51	46	43
1	2	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85
1½	2	370	370	370	370	360	335	305	282	244	212	187	172	153	141
2	2	370	370	370	370	370	370	370	340	288	245	204	172	153	141
2	2½	654	654	654	654	654	650	610	570	510	460	430	404	380	356

Catatan:

Tersedia tekanan statik setelah kehilangan tekanan (*head loss*)

Pelayanan bangunan gedung, ukuran nominal tidak kurang dari ¾ inci (20mm)

Sumber: SNI 8153-2015

Penentuan ukuran pipa pada modul digunakan sebagai contoh perhitungan. Tahap penentuan ukuran pipa pelayan dan meter air adalah sebagai berikut:

- a. Menentukan tekanan air pada UBAP dalam satuan meter air. Pada perencanaan digunakan rentang tekanan 21 sampai sampai 31,5 mka.
- b. Menghitung jalur pipa terpanjang atau panjang maksimum yang dibolehkan untuk menentukan kolom unit beban alat Plambing yang digunakan untuk menentukan diameter pipa. Jalur pipa terpanjang pada modul A adalah 15,14 m sehingga pada tabel 2.10 digunakan panjang maksimum yang dibolehkan sebesar 18 m.
- c. Menghitung unit beban alat Plambing yang diterima oleh masing-masing pipa berdasarkan tabel 2.10. Unit beban alat Plambing dari setiap pipa yang sudah dihitung digunakan untuk menentukan diameter pipa pembawa. Contoh pipa pengeluaran tepat setelah pompa memiliki beban alat Plambing sebesar 32 karena menyalurkan air untuk empat kloset, empat kran, 4 *shower*, dan empat kran cuci dapur. Pada tabel 2.10 tidak terdapat UBAP sebesar 32 sehingga diambil 33 dengan diameter 1,25 inci atau 35 mm.

Penentuan ukuran pipa pada bangunan gedung tidak boleh kurang dari $\frac{3}{4}$ inci (20 mm) sehingga ukuran minimum diameter pipa pada yang digunakan adalah 20 mm.

4. Tangki dan Pompa

Tangki berfungsi sebagai penampung air bersih dari PDAM sebelum didistribusikan ke setiap alat Plambing. Pada perencanaan Plambing untuk permukiman warga satu segmen ini hanya menggunakan tangki bawah karena berdasarkan gambar rencana arsitektural tidak terdapat lokasi atau tempat yang dapat menjadi tempat peletakan tangki atas. Pendistribusian air bersih dari tangki bawah ke alat Plambing menggunakan pompa.

a. Perhitungan tangki

1) Modul A

$$\begin{aligned} Q_s &= \frac{2}{3} \times Q_h \\ &= \frac{2}{3} \times 1,6 \\ &= 1,067 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

$$T = 8 \text{ jam}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{tangki}} &= Q_d - Q_s T \\ &= 15,36 - 1,067 \times 8 \\ &= 6,827 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Direncanakan panjang dan lebar tangki yaitu 2,5 m dan 2 m.

$$\begin{aligned} \text{Tinggi tangki} &= \frac{V_{\text{tangki}}}{p \times l} \\ &= \frac{6,827}{2,5 \times 2} + 0,2 + 0,3 \\ &= 1,87 \text{ m} \end{aligned}$$

Digunakan tinggi tangki 1,9 m

2) Modul B

$$\begin{aligned} Q_s &= \frac{2}{3} \times Q_h \\ &= \frac{2}{3} \times 0,88 \\ &= 0,587 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

$$T = 8 \text{ jam}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{tangki}} &= Q_d - Q_s T \\ &= 8,448 - 0,587 \times 8 \\ &= 3,755 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Direncanakan panjang dan lebar tangki yaitu 2 m dan 2 m.

$$\begin{aligned} \text{Tinggi tangki} &= \frac{V_{\text{tangki}}}{p \times l} \\ &= \frac{3,755}{2 \times 2} + 0,2 + 0,3 \\ &= 1,44 \text{ m} \end{aligned}$$

Digunakan tinggi tangki 1,5 m

3) Balai Warga dan Pos Jaga

$$\begin{aligned} Q_s &= \frac{2}{3} \times Q_h \\ &= \frac{2}{3} \times 0,46 \\ &= 0,307 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

$$T = 6 \text{ jam}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{tangki}} &= Q_d - Q_s T \\ &= 3,312 - 0,307 \times 6 \end{aligned}$$

$$= 1,472 \text{ m}^3$$

Direncanakan panjang dan lebar tangki yaitu 1,5 m dan 1,5 m.

$$\begin{aligned} \text{Tinggi tangki} &= \frac{V_{\text{tangki}}}{p \times l} \\ &= \frac{1,472}{1,5 \times 1,5} + 0,2 + 0,3 \\ &= 1,15 \text{ m} \end{aligned}$$

Digunakan tinggi tangki 1,2 m

4) Mushola

$$\begin{aligned} Q_s &= \frac{2}{3} \times Q_h \\ &= \frac{2}{3} \times 2,1 \\ &= 1,4 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

$$T = 10 \text{ jam}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{tangki}} &= Q_d - Q_s T \\ &= 25,2 - 1,4 \times 10 \\ &= 11,2 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Direncanakan panjang dan lebar tangki yaitu 2,5 m dan 2 m.

$$\begin{aligned} \text{Tinggi tangki} &= \frac{V_{\text{tangki}}}{p \times l} \\ &= \frac{11,2}{2,5 \times 2} + 0,2 + 0,3 \\ &= 2,74 \text{ m} \end{aligned}$$

Digunakan tinggi tangki 2,8 m

b. Perhitungan Daya Pompa

Perhitungan daya pompa dimulai dengan menghitung kehilangan energi akibat *head loss* primer, *head loss* sekunder, kecepatan aliran, Reynolds Number, kekasaran pipa (e), kekasaran relatif (e/D), dan faktor gesekan (f). Gambar-gambar di bawah ini dapat membantu perhitungan daya pompa. Gambar 2.3 digunakan untuk menghitung *head loss* sekunder pada sistem Plambing, sedangkan Gambar 2.4 digunakan untuk menentukan faktor gesekan pada sistem Plambing agar dapat dihitung *head loss* primernya.

Type of fitting	Screwed			Flanged		
	2.5 cm	5 in.	10 cm	5 cm	10 cm	20 cm
Globe valve (fully open)	8.2	6.9	5.7	8.5	6.0	5.8
(half open)	20	17	14	21	15	14
(one-quarter open)	57	48	40	60	42	41
Angle valve (fully open)	4.7	2.0	1.0	2.4	2.0	2.0
Swing check valve (fully open)	2.9	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0
Gate valve (fully open)	0.24	0.16	0.11	0.35	0.16	0.07
Return bend	1.5	0.95	0.64	0.35	0.30	0.25
Tee (branch)	1.8	1.4	1.1	0.80	0.64	0.58
Tee (line)	0.9	0.9	0.9	0.19	0.14	0.10
Standard elbow	1.5	0.95	0.64	0.39	0.30	0.26
Long sweep elbow	0.72	0.41	0.23	0.30	0.19	0.15
45° elbow	0.32	0.30	0.29			
Square-edged entrance			0.5			
Reentrant entrance			0.8			
Well-rounded entrance			0.03			
Pipe exit			1.0			
Sudden contraction ^b	2:1		0.25			
	5:1		0.41			
	10:1		0.46			

Gambar 2.3 Koefisien Kehilangan Energi pada Aliran Turbulen

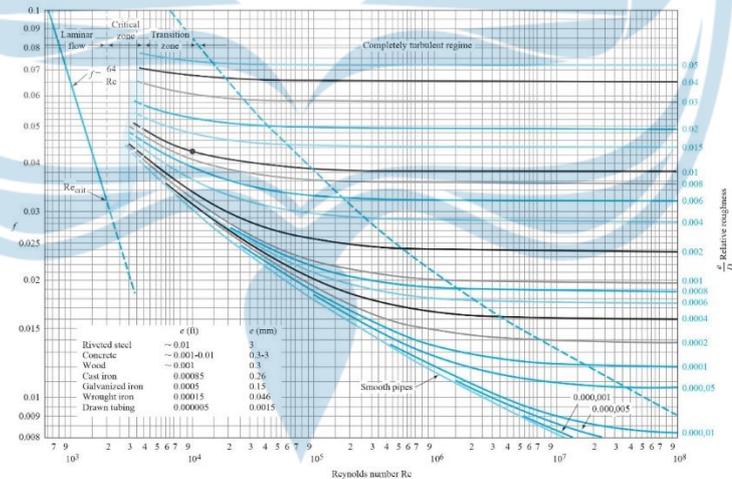


Fig. 7.13 Moody diagram. (From L. F. Moody, Trans. ASME, Vol. 66, 1944. Reproduced with permission of ASME.)
(Note: If $\epsilon/D = 0.01$ and $Re = 10^4$, the dot locates $f = 0.043$.)

Gambar 2.4 Diagram Moody

Contoh perhitungan pompa menggunakan perhitungan untuk modul A.

1) Diameter pipa 35 mm

$$Q = 80 \text{ L/m} \\ = 0,00133 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A = \frac{1}{2} \times \pi \times 0,35^2$$

$$\begin{aligned}
&= 0,000962113 \text{ m}^2 \\
v &= \frac{Q}{A} \\
&= \frac{0,00133}{0,000962113} \\
&= 1,386 \text{ m/s}
\end{aligned}$$

Kehilangan energi akibat *head loss* sekunder tergantung pada joint-joint jaringan Plambing. Pada jaringan pipa dengan ukuran 35 mm di modul A, terdapat 2 jenis sambungan pipa dengan kategori sebagai T cabang (*branch*) dan sambungan L. Ukuran pipa yang digunakan yaitu 35 mm tidak memiliki koefisien k secara langsung pada Gambar 2.3 sehingga perlu dilakukan ekstrapolasi untuk memperoleh nilai k pipa tersebut lalu diperoleh nilai 0,848 untuk k sambungan T cabang dan 0,417 untuk sambungan L. Setelah nilai tersebut diperoleh, karena hanya terdapat 2 jenis cabang dan hanya berjumlah 1 maka kehilangan energi akibat *head loss* sekunder dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
H_e &= \sum k \frac{v^2}{2g} \\
H_e &= (0,848+0,417) \frac{1,386^2}{2 \times 9,81} \\
&= 0,124 \text{ m}
\end{aligned}$$

Kehilangan energi akibat *head loss* primer diakibatkan oleh panjangnya jaringan pemipaan serta bergantung pada kekasaran pipa. Pada jaringan pipa dengan ukuran 35 mm di modul A, total panjangnya adalah sebesar 3,8 m. Temperatur air dalam jaringan Plambing diasumsikan sebesar 20°C. Viskositas air pada temperatur 20°C adalah $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ dan kekasaran pipa dengan bahan PVC (*polyvinyl chloride*) menurut Ridwan dan Rahmadani (2015) sebesar 0,05 mm.

$$v = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

Kekasaran pipa PVC (e)= 0,05 mm

$$\begin{aligned}
e/D &= \frac{0,05}{35} \\
&= 0,001429
\end{aligned}$$

$$R_e = \frac{vD}{\nu}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1,386 \times 0,035}{10^{-6}} \\
&= 48504,364 \\
f &= 0,02523 \\
H_f &= f \frac{L v^2}{D 2g} \\
&= 0,02523 \times \frac{3,8}{0,035} \times \frac{1,386^2}{2 \times 9,81} \\
&= 0,27 \text{ m} \\
H_L &= H_e + H_f \\
&= 0,27 + 0,12 \\
&= 0,39 \text{ m}
\end{aligned}$$

Pada perencanaan ini, datum berada diletakkan tepat di bagian atas tangki bawah sehingga berdasarkan sistem koordinat yang sudah dibuat, z yang digunakan untuk menghitung *head* pompa pada perhitungan ini adalah 3 meter. Perhitungan *head* pompa sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
H_p &= H_L + z \\
&= 0,39 + 3 \\
&= 3,39 \text{ m}
\end{aligned}$$

2) Diameter pipa 20 mm

Pipa dengan diameter 20 mm menyalurkan air bersih dari cabang T ke semua alat Plumbing. Beban alat Plumbing yang diterima oleh masing-masing pipa diameter 20 mm setelah melewati cabang T sama dan jaringan pipa semetris, maka debit yang digunakan dalam perhitungan adalah setengah dari debit pipa diameter 35 mm. Karena bentuk yang simetris juga maka dihitung nilai H_p salah satu sisi saja, pada saat perhitungan daya pompa total, H_p untuk pipa diameter 20 mm dikali dua.

$$\begin{aligned}
Q &= 40 \text{ l/m} \\
&= 0,000667 \text{ m}^3/\text{s} \\
A &= \frac{1}{2} \times \pi \times 0,20^2 \\
&= 0,000314159 \text{ m}^2 \\
v &= \frac{Q}{A} \\
&= \frac{0,000667}{0,000314159} = 2,122 \text{ m/s}
\end{aligned}$$

Langkah-langkah perhitungan *head loss* baik primer mau pun sekunder untuk pipa diameter 20 mm sama dengan perhitungan pada diameter 35 mm, tetapi terdapat perubahan diameter sehingga perlu dihitung *head loss* sekunder akibat perubahan diameter penampang. Pada jaringan pipa dengan ukuran 20 mm di modul A, terdapat 3 jenis sambungan pipa dengan kategori sebagai T cabang (*branch*), T lurus (*line*) dan sambungan L. Ukuran pipa yang digunakan yaitu 20 mm tidak memiliki koefisien k secara langsung pada Gambar 2.3 sehingga perlu dilakukan ekstrapolasi untuk memperoleh nilai k pipa tersebut lalu diperoleh nilai 0,896 untuk k sambungan T cabang, 0,22 untuk k sambungan T lurus, 0,444 untuk k sambungan L, dan 0,307 untuk k perubahan diameter penampang. Setelah nilai tersebut diperoleh, karena hanya terdapat 2 jenis cabang dan hanya berjumlah 1 maka kehilangan energi akibat *head loss* sekunder dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 H_e &= \sum k \frac{v^2}{2g} \\
 H_e &= (5 \times 0,896 + 3 \times 0,22 + 24 \times 0,444 + 0,307) \frac{2,122^2}{2 \times 9,81} \\
 &= 3,696 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Pada jaringan pipa dengan ukuran 20 mm di modul A, total panjangnya adalah sebesar 15,38 m. Temperatur air dalam jaringan Plambing diasumsikan sebesar 20°C. Viskositas air pada temperatur 20°C adalah 10⁻⁶ m²/s dan kekasaran pipa dengan bahan PVC (*polyvinyl chloride*) menurut Ridwan dan Rahmadani (2015) sebesar 0,05 mm.

$$v = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

Kekasaran pipa PVC (e) = 0,05 mm

$$\begin{aligned}
 e/D &= \frac{0,05}{20} \\
 &= 0,0025
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Re &= \frac{vD}{\nu} \\
 &= \frac{2,122 \times 0,02}{10^{-6}} \\
 &= 42441,318
 \end{aligned}$$

$$f = 0,02801$$

$$\begin{aligned}
H_f &= f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \\
&= 0,02801 \times \frac{15,38}{0,02} \times \frac{2,122^2}{2 \times 9,81} \\
&= 4,944 \text{ m} \\
H_L &= H_e + H_f \\
&= 3,696 + 4,944 \\
&= 8,64 \text{ m}
\end{aligned}$$

Datum berada diletakkan tepat di bagian atas tangki bawah sehingga berdasarkan sistem koordinat yang sudah dibuat, z yang digunakan untuk menghitung *head* pompa pada perhitungan ini adalah 7,2 meter. Perhitungan *head* pompa dilakukan dengan cara sebagai berikut

$$\begin{aligned}
H_p &= H_L + z \\
&= 8,64 + 7,2 \\
&= 15,84 \text{ m}
\end{aligned}$$

Efisiensi pompa (η) yang dipakai adalah 0,8. Perhitungan daya pompa untuk modul A adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned}
P &= \frac{\gamma Q H_p}{\eta} \\
&= \frac{9810 \times (0,00133 \times 3,39 + 2 \times 0,000667 \times 15,84)}{0,8} \\
&= 314,44 \text{ Watt}
\end{aligned}$$

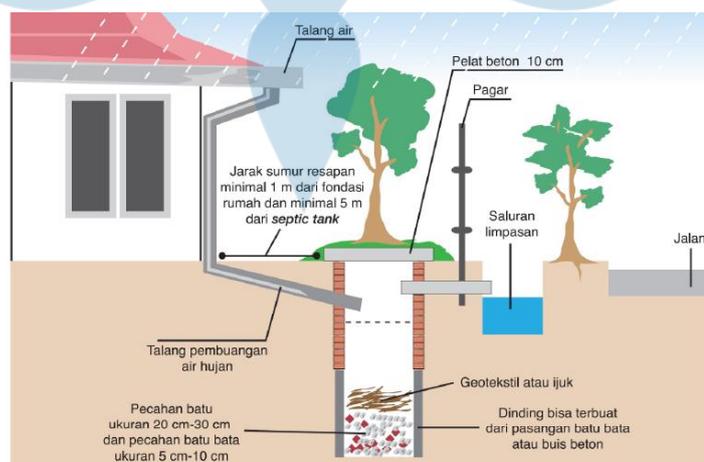
2.5 Prinsip Drainase Gedung

Drainase yang ada pada gedung difungsikan untuk membuang kelebihan dan/atau mengurangi air yang masuk ke suatu kawasan melalui bangunan air, sehingga kawasan tersebut dapat berfungsi dengan optimal (Suripin, 2004). Air yang masuk ke suatu kawasan harus dibuang supaya tidak menjadi genangan air yang dapat merugikan sekitar.

1. Sistem Air Hujan

Curah air hujan yang tinggi terkadang bisa menyebabkan bencana bagi masyarakat apabila tidak dilakukan manajemen terhadap air hujan tersebut, terlebih lagi pada lokasi proyek yang ditinjau sering terjadi banjir rob karena pasang air laut sehingga rekayasa yang dilakukan terhadap air hujan sangat

penting. Air hujan yang turun akan melalui berbagai mekanisme sebelum meresap ke tanah, namun untuk tempat yang terbuka akan langsung meresap ke tanah. Salah satu kasus dimana air hujan tidak langsung meresap menuju tanah adalah pada saat air hujan yang turun melewati atap rumah. Biasanya air hujan yang mengalir melalui atap rumah akan dialirkan menuju talang. Air yang mengalir melalui talang ini akan disalurkan menuju pipa penyalur, kemudian akan dialirkan menuju saluran drainase atau menuju ke bak penampung dan/atau sumur resapan. Pengambilan keputusan mengenai rekayasa air hujan akan dialirkan ke bak penampung dan/atau sumur resapan atau saluran drainase tergantung dari kondisi yang ada di lapangan. Apabila nilai permeabilitas tanah yang ada di lapangan besar, maka artinya tanah dapat meresapkan air dengan cepat sehingga sangat cocok digunakan bak penampung dan/atau sumur resapan untuk merekayasa air hujan yang turun, karena apabila tanah dapat meresapkan air dengan cepat maka kemungkinan yang sangat besar, air tidak akan menggenang di permukaan. Sebaliknya, apabila nilai permeabilitas tanah yang ada di lapangan kecil, artinya tanah lambat dalam meresapkan air hujan sehingga cocok apabila air langsung dialirkan menuju saluran drainase, karena permeabilitas yang kecil memungkinkan air akan menggenang di permukaan. Namun, tidak menutup kemungkinan dapat digunakan kombinasi antara sumur resapan dan drainase.



Sumber: PDAM Tirta Benteng, 2018

Gambar 2.5 Sistem Air Hujan

2. Curah Hujan Rencana

Curah hujan rencana merupakan besaran hujan terbesar selama periode tertentu yang mungkin terjadi di suatu lokasi. Curah hujan rencana akan digunakan untuk perhitungan debit rencana, dimana nantinya debit rencana yang sudah dihitung akan digunakan untuk merencanakan drainase dan sumur resapan. Data curah hujan yang akan dipakai untuk mencari curah hujan rencana merupakan data yang berasal dari beberapa stasiun yang dekat dengan lokasi terkait selama 10 tahun. Masing-masing data yang ada pada stasiun hujan setidaknya lengkap, sehingga penentuan curah hujan rencana nantinya akan lebih akurat. Namun, apabila ada beberapa data yang tidak lengkap atau hilang, data hujan dapat dicari dengan metode resiprokal.

a. Pemilihan Stasiun Hujan

Stasiun hujan yang dipilih setidaknya dekat dengan lokasi yang ditinjau dan juga memiliki kontur tanah yang tidak terlalu signifikan atau berbeda jauh. Pemilihan stasiun hujan yang dekat dengan lokasi yang ditinjau dimaksudkan supaya data hujan yang didapat lebih mewakili, sehingga perencanaan drainase maupun sumur resapan mendapatkan hasil yang lebih akurat. Sedangkan pemilihan stasiun hujan yang berdekatan setidaknya memiliki kontur yang tidak terlalu ekstrem atau signifikan dimaksudkan supaya perhitungan hujan rerata nantinya dapat menggunakan metode *polygon thiessen* (metode *polygon thiessen* akan dijelaskan pada bagian curah hujan maksimum tahunan).

b. Pengecekan Data Hujan yang Dipakai

Data hujan yang dipakai merupakan data hujan dari masing-masing stasiun selama 10 tahun. Jangka waktu 10 tahun dipakai karena dianggap mewakili perencanaan. Data hujan yang ada setidaknya lengkap sehingga hasil perencanaan nantinya akan menjadi lebih akurat. Apabila ditemui pada tanggal tertentu data hujan tersebut hilang atau tidak ada, maka dapat digunakan metode resiprokal untuk mencari data hujan yang hilang. Namun, perlu diperhatikan bahwa apabila data hujan pada tanggal yang sama di semua stasiun tidak ada, rumus resiprokal ini tidak dapat dipakai dan disarankan untuk mengganti beberapa atau salah satu stasiun hujan.

$$P_x = \sum_{n=i}^j \frac{\frac{P_n}{L_n^2}}{\frac{1}{L_n^2}}$$

c. Metode *Polygon Thiessen*

Metode *Polygon Thiessen* digunakan untuk mencari curah hujan rata-rata dari daerah DAS yang ditinjau. Selain memperhatikan tinggi hujan dan jumlah stasiun, juga memperkirakan luas wilayah yang diwakili oleh masing-masing stasiun untuk digunakan sebagai salah satu faktor dalam menghitung hujan rata-rata daerah yang bersangkutan (faktor *Thiessen*). *Polygon* dibuat dengan cara menghubungkan garis-garis berat diagonal terpendek dari para stasiun hujan yang ada. Secara lebih rinci, berikut ini adalah cara membuat *polygon Thiessen*:

- 1) Hubungkan masing-masing stasiun dengan garis lurus sehingga membentuk *polygon* segitiga.
- 2) Buat sumbu-sumbu pada *polygon* segitiga tersebut sehingga titik potong sumbu akan membentuk *polygon* baru.
- 3) *Polygon* baru inilah merupakan batas daerah pengaruh masing-masing stasiun penakar hujan.
- 4) Hitung hujan rata – rata pada daerah tinjauan dengan rumus:

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n A_n \times P_n}{\sum_{i=1}^n A_n}$$

d. Curah Hujan Maksimum Tahunan

Curah hujan maksimum tahunan dapat dihitung dengan data curah hujan tertinggi yang ada di masing-masing stasiun dan curah hujan pada stasiun lainnya (pada tanggal yang sama), data ini dicari pada masing-masing tahun yang ditinjau. Curah hujan tertinggi yang terjadi pada salah satu stasiun dan curah hujan pada stasiun lainnya (pada tanggal yang sama) digunakan untuk mencari curah hujan rerata pada tanggal yang ditinjau. Pada penelitian ini, curah hujan rerata dapat dicari dengan metode *polygon thiessen* karena stasiun hujan yang dipilih memiliki kontur yang tidak terlalu ekstrem atau signifikan. Persamaan yang digunakan untuk menghitung curah hujan rerata menggunakan metode *polygon thiessen* dapat dilihat pada Persamaan (7).

Setelah didapat curah hujan merata yang dianggap mewakili pada tanggal dimana curah hujan tertinggi pada salah satu stasiun terjadi. Langkah selanjutnya adalah mencari curah hujan merata pada tanggal dimana terjadi curah hujan tertinggi pada stasiun lainnya. Kemudian dari data curah hujan merata tersebut (pada tahun yang sama) diambil curah hujan merata yang memiliki nilai paling besar/maksimum. Nilai ini akan diambil sebagai curah hujan maksimum tahunan pada tahun ditinjau.

3. Analisis Frekuensi dan Pengujian Sebaran Data

Perancangan bangunan-bangunan air seperti waduk, bendung, dan lainnya seringkali dihadapkan dengan data-data hidrologi yang berfungsi untuk memprediksi kejadian-kejadian ekstrem seperti banjir dan kekeringan. Bangunan-bangunan air tersebut harus mampu melewati kejadian-kejadian ekstrem yang terjadi, seperti debit yang sangat besar. Oleh karena itu, perlu dicari hubungan antara kejadian ekstrem dengan frekuensi kejadian ekstrem tersebut. Besarnya kejadian ekstrem berbanding terbalik dengan frekuensi kejadiannya. Misalnya, debit kecil akan memiliki frekuensi kejadian yang lebih besar daripada debit yang besar. Analisis frekuensi digunakan untuk menentukan metode distribusi yang dapat mewakili data hujan setempat. Metode distribusi yang akan dicek untuk mewakili data hujan setempat adalah distribusi normal, log normal dan gumbel. Jika ketiga distribusi tersebut tidak sesuai, maka distribusi log pearson III dapat digunakan. Perlu dihitung parameter-parameter statistik seperti, nilai rerata (\bar{x} dan \bar{y}), standar deviasi (s), koefisien kemencengan (C_s), koefisien kurtosis (C_k), dan koefisien variasi (C_v). Parameter-parameter tersebut digunakan untuk menentukan apakah metode distribusi data yang digunakan sesuai dengan data hujan yang digunakan. Setelah itu, untuk melihat sebaran yang dimiliki dari suatu data, dilakukan pengujian sebaran data menggunakan metode Chi Kuadrat dan Smirnov-Kolmogorov. Apabila sebaran data yang diuji telah memenuhi syarat, maka data tersebut dapat digunakan untuk menghitung intensitas hujan yang dapat digunakan untuk perencanaan drainase.

a. Parameter Statistik

Parameter statistik dihitung untuk menentukan metode distribusi yang akan dipakai. Perhitungan parameter statistik membutuhkan bantuan tabel untuk mempermudah perhitungan.

1) Varian (s^2) dan Standar Deviasi (s)

Sebuah rangkaian data tentu terdiri dari berbagai macam nilai yang berbeda-beda. Tidak semua nilai yang ada dalam data sama dengan nilai reratanya. Besarnya derajat sebaran data di sekitar nilai reratanya disebut varian (s^2). Penyebaran data ini juga dapat diukur dengan standar deviasi (s).

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

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

2) Koefisien Varian (C_v)

Koefisien varian merupakan perbandingan antara standar deviasi dan nilai rerata.

$$C_v = \frac{s}{\bar{x}}$$

3) Koefisien Kemencengan (C_s)

Koefisien kemencengan merupakan parameter yang digunakan untuk melihat ketidaksimetrisan suatu data.

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

4) Koefisien Kurtosis (C_k)

Koefisien kurtosis merupakan besarnya keruncingan kurva distribusi data, dan biasanya diambil relatif terhadap kurva distribusi normal.

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

b. Metode Distribusi

1) Metode Distribusi Normal

Metode distribusi normal dapat digunakan apabila nilai koefisien kemencengan sama dengan nol ($C_s = 0$), koefisien kurtosis ($C_k = 3$), prosentase data yang berada pada daerah $(\bar{x}-s)$ dan $(\bar{x}+s)$ sebesar 68,27%, dan prosentase data yang berada pada daerah $(\bar{x}-2s)$ dan $(\bar{x}+2s)$ sebesar 95,44% (Harto, 1993 dalam Triatmodjo, 2008). Bentuk distribusi normal:

$$x = \bar{x} + z \times s$$

Tabel 2.12 Probabilitas Kumulatif Distribusi Normal Standar

z	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0	0,5	0,504	0,508	0,512	0,516	0,5199	0,5239	0,5279	0,5319	0,5359
0,1	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5675	0,5714	0,5753
0,2	0,5793	0,5832	0,5871	0,591	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141
0,3	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,648	0,6517
0,4	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,67	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879
0,5	0,6915	0,695	0,6985	0,7019	0,7054	0,7088	0,7123	0,7157	0,719	0,7224
0,6	0,7257	0,7291	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486	0,7517	0,7549
0,7	0,758	0,7611	0,7642	0,7673	0,7704	0,7734	0,7764	0,7794	0,7823	0,7852
0,8	0,7881	0,791	0,7939	0,7967	0,7995	0,8023	0,8051	0,8078	0,8106	0,8133
0,9	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,834	0,8365	0,8389
1	0,8413	0,8438	0,8461	0,8485	0,8508	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621
1,1	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729	0,8749	0,877	0,879	0,881	0,883
1,2	0,8849	0,8869	0,8888	0,8907	0,8925	0,8944	0,8962	0,898	0,8997	0,9015
1,3	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9099	0,9115	0,9131	0,9147	0,9162	0,9177
1,4	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9251	0,9265	0,9279	0,9292	0,9306	0,9319
1,5	0,9332	0,9345	0,9357	0,937	0,9382	0,9394	0,9406	0,9418	0,9429	0,9441
1,6	0,9452	0,9463	0,9474	0,9484	0,9495	0,9505	0,9515	0,9525	0,9535	0,9545
1,7	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616	0,9625	0,9633
1,8	0,9641	0,9649	0,9656	0,9664	0,9671	0,9678	0,9686	0,9693	0,9699	0,9706
1,9	0,9713	0,9719	0,9726	0,9732	0,9738	0,9744	0,975	0,9756	0,9761	0,9767
2	0,9772	0,9778	0,9783	0,9788	0,9793	0,9798	0,9803	0,9808	0,9812	0,9817
2,1	0,9821	0,9826	0,983	0,9834	0,9838	0,9842	0,9846	0,985	0,9854	0,9857
2,2	0,9861	0,9864	0,9868	0,9871	0,9875	0,9878	0,9881	0,9884	0,9887	0,989
2,3	0,9893	0,9896	0,9898	0,9901	0,9904	0,9906	0,9909	0,9911	0,9913	0,9916
2,4	0,9918	0,992	0,9922	0,9925	0,9927	0,9929	0,9931	0,9932	0,9934	0,9936
2,5	0,9938	0,994	0,9941	0,9943	0,9945	0,9946	0,9948	0,9949	0,9951	0,9952
2,6	0,9953	0,9955	0,9956	0,9957	0,9959	0,996	0,9961	0,9962	0,9963	0,9964
2,7	0,9965	0,9966	0,9967	0,9968	0,9969	0,997	0,9971	0,9972	0,9973	0,9974

Lanjutan Tabel 2.12 Probabilitas Kumulatif Distribusi Normal Standar

z	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
2,8	0,9974	0,9975	0,9976	0,9977	0,9977	0,9978	0,9979	0,9979	0,998	0,9981
2,9	0,9981	0,9982	0,9982	0,9983	0,9984	0,9984	0,9985	0,9985	0,9986	0,9986
3	0,9987	0,9987	0,9987	0,9988	0,9988	0,9989	0,9989	0,9989	0,999	0,999
3,1	0,999	0,9991	0,9991	0,9991	0,9992	0,9992	0,9992	0,9992	0,9993	0,9993
3,2	0,9993	0,9993	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9995	0,9995	0,9995
3,3	0,9995	0,9995	0,9995	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9997
3,4	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9998

Sumber: Grant, E. L. dan R. S. Leavenworth, *Statistical Quality and Control*, Table A., p.643. McGraw-Hill, New York, 1972. Used with permission. Dimuat dalam Chow dkk. (1988)

2) Metode Distribusi Log Normal

Distribusi log normal dapat digunakan apabila nilai-nilai dari suatu set data tidak mengikuti pola dari kurva distribusi normal, namun nilai logaritmanya memenuhi. Syarat yang harus dipenuhi untuk menggunakan distribusi log normal yaitu, $C_s = C_v^3 + 3C_v$ dan $C_k = C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3$ (Harto, 1993 dalam Triatmodjo, 2008). Fungsi distribusi Log Normal memiliki bentuk yang sama dengan distribusi Normal.

3) Metode Distribusi Gumbel

Metode distribusi gumbel dapat digunakan apabila memenuhi persyaratan koefisien kemencengan sama dengan 1,14 ($C_s = 1,14$) dan koefisien kurtosis sama dengan 5,4 ($C_k = 5,4$) (Harto, 1993 dalam Triatmodjo, 2008). Fungsi distribusi Gumbel memiliki bentuk:

$$x_T = u + \alpha \times y_T$$

4) Metode Distribusi Log Pearson III

Distribusi Log Pearson III dapat digunakan apabila koefisien kemencengan (C_s) dan koefisien kurtosis (C_k) memiliki nilai selain dari yang ditentukan distribusi lain (distribusi Normal, Log Normal, dan Gumbel). Fungsi distribusi Log Pearson III memiliki bentuk:

$$y_T = \bar{y} + K_T \times s_y$$

Tabel 2.13 Nilai KT untuk Distribusi Pearson III dengan Kemencengan Positif

Koefisien Kemencengan (Cs)	Kala ulang (tahun)						
	2	5	10	25	50	100	200
	<i>Exceedence probability</i>						
	0,5	0,2	0,1	0,04	0,02	0,01	0,005
3,0	-0,396	0,42	1,18	2,278	3,152	4,051	4,97
2,9	-0,390	0,44	1,195	2,277	3,134	4,013	4,909
2,8	-0,384	0,46	1,21	2,275	3,114	3,973	4,847
2,7	-0,376	0,479	1,224	2,272	3,093	3,932	4,783
2,6	-0,368	0,499	1,238	2,267	3,071	3,889	4,718
2,5	-0,360	0,518	1,25	2,262	3,048	3,845	4,652
2,4	-0,351	0,537	1,262	2,256	3,023	3,800	4,584
2,3	-0,341	0,555	1,274	2,248	2,997	3,753	4,515
2,2	-0,33	0,574	1,284	2,240	2,97	3,705	4,444
2,1	-0,319	0,592	1,294	2,230	2,942	3,656	4,372
2,0	-0,307	0,609	1,302	2,219	2,912	3,605	4,298
1,9	-0,294	0,627	1,31	2,207	2,881	3,553	4,223
1,8	-0,282	0,643	1,318	2,196	2,848	3,499	4,147
1,7	-0,268	0,660	1,324	2,179	2,815	3,444	4,069
1,6	-0,254	0,675	1,329	2,163	2,78	3,388	3,99
1,5	-0,24	0,690	1,333	2,146	2,743	3,33	3,91
1,4	-0,225	0,705	1,337	2,128	2,706	3,271	3,828
1,3	-0,21	0,719	1,339	2,108	2,666	3,211	3,745
1,2	-0,195	0,732	1,340	2,087	2,626	3,149	3,661
1,1	-0,18	0,745	1,341	2,066	2,585	3,087	3,575
1,0	-0,164	0,758	1,340	2,043	2,542	3,022	3,489
0,9	-0,148	0,769	1,339	2,018	2,498	2,957	3,401
0,8	-0,132	0,78	1,336	1,993	2,453	2,891	3,312
0,7	-0,116	0,79	1,333	1,967	2,407	2,824	3,223
0,6	-0,099	0,8	1,328	1,939	2,359	2,755	3,132
0,5	-0,083	0,808	1,323	1,91	2,311	2,686	3,041
0,4	-0,066	0,816	1,317	1,88	2,261	2,615	2,949
0,3	-0,05	0,824	1,309	1,849	2,211	2,544	2,856
0,2	-0,033	0,83	1,301	1,818	2,159	2,472	2,763
0,1	-0,017	0,836	1,292	1,785	2,107	2,400	2,67
0,0	0	0,842	1,282	1,751	2,054	2,326	2,576

Sumber: Triatmodjo 2008

Tabel 2.14 Nilai KT untuk Distribusi Pearson III dengan Kemencengan Negatif

Koefisien Kemencengan (Cs)	Kala ulang (tahun)						
	2	5	10	25	50	100	200
	<i>Exceedence probability</i>						
	0,5	0,2	0,1	0,04	0,02	0,01	0,005
-0,1	0,017	0,846	1,27	1,716	2	2,252	2,482
-0,2	0,033	0,85	1,258	1,68	1,945	2,178	2,388
-0,3	0,05	0,853	1,245	1,643	1,89	2,104	2,294
-0,4	0,066	0,855	1,231	1,606	1,834	2,029	2,201
-0,5	0,083	0,856	1,216	1,567	1,777	1,955	2,108
-0,6	0,099	0,857	1,2	1,528	1,72	1,88	2,016
-0,7	0,116	0,857	1,183	1,488	1,663	1,806	1,926
-0,8	0,132	0,856	1,166	1,448	1,606	1,733	1,837
-0,9	0,148	0,854	1,147	1,407	1,549	1,66	1,749

Lanjutan **Tabel 2.14** Nilai KT untuk Distribusi Pearson III dengan
Kemencengan Negatif

Koefisien Kemencengan (C _s)	Kala ulang (tahun)						
	2	5	10	25	50	100	200
	<i>Exceedence probability</i>						
	0,5	0,2	0,1	0,04	0,02	0,01	0,005
-1	0,164	0,852	1,128	1,366	1,492	1,588	1,664
-1,1	0,18	0,848	1,107	1,324	1,435	1,518	1,581
-1,2	0,195	0,844	1,086	1,282	1,379	1,449	1,501
-1,3	0,21	0,838	1,064	1,24	1,324	1,383	1,424
-1,4	0,225	0,832	1,041	1,198	1,27	1,318	1,351
-1,5	0,24	0,825	1,018	1,157	1,217	1,256	1,282
-1,6	0,254	0,817	0,994	1,116	1,166	1,197	1,216
-1,7	0,265	0,808	0,97	1,075	1,116	1,14	1,155
-1,8	0,282	0,799	0,945	1,035	1,069	1,087	1,097
-1,9	0,294	0,788	0,92	0,996	1,023	1,037	1,044
-2	0,307	0,777	0,895	0,959	0,98	0,99	0,995
-2,1	0,319	0,765	0,869	0,923	0,939	0,946	0,949
-2,2	0,33	0,752	0,844	0,888	0,9	0,905	0,907
-2,3	0,341	0,739	0,819	0,855	0,864	0,867	0,869
-2,4	0,351	0,725	0,795	0,823	0,83	0,832	0,833
-2,5	0,36	0,711	0,771	0,793	0,798	0,799	0,8
-2,6	0,368	0,696	0,747	0,764	0,768	0,769	0,769
-2,7	0,376	0,681	0,724	0,738	0,74	0,74	0,741
-2,8	0,384	0,666	0,702	0,712	0,714	0,714	0,714
-2,9	0,39	0,651	0,681	0,683	0,689	0,69	0,69
-3	0,396	0,636	0,666	0,666	0,666	0,667	0,664

Sumber: Triatmodjo 2008

c. Uji Sebaran Data

Terdapat dua cara untuk mengetahui kesesuaian antara jenis distribusi yang dipilih dengan data yang ada, yaitu uji Chi Kuadrat dan Smirnov-Kolmogorov (Sri Harto, 1991).

1) Uji Chi Kuadrat

Uji chi kuadrat dimaksudkan untuk menentukan apakah metode yang digunakan dapat mewakili distribusi statik sampel data yang dianalisa. Pengambilan keputusan ini menggunakan parameter X² karena itu disebut uji chi kuadrat.

$$X^2 = \sum_{t=1}^N \frac{(O_f - E_f)^2}{E_f}$$

Nilai X^2 terhitung harus lebih kecil dari X^2_{cr} yang didapatkan dari Tabel 2.14. Nilai X^2_{cr} didapatkan dengan menggunakan nilai derajat kebebasan (DK) dan derajat kepercayaan. Derajat kepercayaan yang digunakan dalam perhitungan dapat diambil sebesar 5% (Triatmodjo, 2008). Besarnya derajat kebebasan dapat dicari dengan persamaan berikut.

$$DK = K - (\alpha + 1)$$

Tabel 2.15 Nilai Chi Kuadrat Kritis

DK	Distribusi X^2											
	0,99	0,95	0,9	0,8	0,7	0,5	0,3	0,2	0,1	0,05	0,01	0,001
1	0,000	0,004	0,016	0,064	0,148	0,455	1,074	1,642	2,706	3,841	6,635	10,828
2	0,02	0,103	0,211	0,446	0,713	1,386	2,408	3,219	4,605	5,991	9,210	13,816
3	0,115	0,352	0,584	1,005	1,424	2,366	3,665	4,642	6,251	7,815	11,345	16,266
4	0,297	0,711	1,064	1,649	2,195	3,357	4,878	5,989	7,779	9,488	13,277	18,467
5	0,554	1,145	1,610	2,343	3,000	4,351	6,064	7,289	9,236	11,070	15,086	20,515
6	0,872	1,635	2,204	3,070	3,828	5,348	7,231	8,558	10,645	12,592	16,812	22,458
7	1,239	2,167	2,833	3,822	4,671	6,346	8,383	9,803	12,017	14,067	18,475	24,322
8	1,646	2,733	3,490	4,594	5,527	7,344	9,524	11,030	13,362	15,507	20,090	26,124
9	2,088	3,325	4,168	5,380	6,393	8,343	10,656	12,242	14,684	16,919	21,666	27,877
10	2,558	3,940	4,865	6,179	7,267	9,342	11,781	13,442	15,987	18,307	23,209	29,588
11	3,053	4,575	5,578	6,989	8,148	10,341	12,899	14,631	17,275	19,675	24,725	31,264
12	3,571	5,226	6,304	7,807	9,034	11,340	14,011	15,812	18,549	21,026	26,217	32,909
13	4,107	5,892	7,042	8,634	9,926	12,340	15,119	16,985	19,812	22,362	27,688	34,528
14	4,66	6,571	7,790	9,467	10,821	13,339	16,222	18,151	21,064	23,685	29,141	36,123
15	5,229	7,261	8,547	10,307	11,721	14,339	17,322	19,311	22,307	24,996	30,578	37,697
16	5,812	7,962	9,312	11,152	12,624	15,338	18,418	20,465	23,542	26,296	32,000	39,252
17	6,408	8,672	10,085	12,002	13,531	16,338	19,511	21,615	24,769	27,587	33,409	40,790
18	7,015	9,390	10,865	12,857	14,440	17,338	20,601	22,760	25,989	28,869	34,805	42,312
19	7,633	10,117	11,651	13,716	15,352	18,338	21,689	23,900	27,204	30,144	36,191	43,820
20	8,26	10,851	12,443	14,578	16,266	19,337	22,775	25,038	28,412	31,410	37,566	45,315
21	8,897	11,591	13,240	15,445	17,182	20,337	23,858	26,171	29,615	32,671	38,932	46,797
22	9,542	12,338	14,041	16,314	18,101	21,337	24,939	27,301	30,813	33,924	40,289	48,268
23	10,196	13,091	14,848	17,187	19,021	22,337	26,018	28,429	32,007	35,172	41,638	49,728
24	10,856	13,848	15,659	18,062	19,943	23,337	27,096	29,553	33,196	36,415	42,980	51,179
25	11,524	14,611	16,473	18,940	20,867	24,337	28,172	30,675	34,382	37,652	44,314	52,620
26	12,198	15,379	17,292	19,820	21,792	25,336	29,246	31,795	35,563	38,885	45,642	54,052
27	12,879	16,151	18,114	20,703	22,719	26,336	30,319	32,912	36,741	40,113	46,963	55,476
28	13,565	16,928	18,939	21,588	23,647	27,336	31,391	34,027	37,916	41,337	48,278	56,892
29	14,256	17,708	19,768	22,475	24,577	28,336	32,461	35,139	39,087	42,557	49,588	58,301
30	14,953	18,493	20,599	23,364	25,508	29,336	33,530	36,250	40,256	43,773	50,892	59,703

Sumber: Triatmodjo 2008

2) Uji Smirnov Kolmogorov

Guna menentukan besarnya penyimpangan data maka dibuat batas kepercayaan dari hasil perhitungan X_T dengan uji Smirnov Kolmogorov. Uji Smirnov Kolmogorov sering juga disebut juga uji kecocokan non parametrik, karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu. Prosedur pelaksanaan uji Smirnov Kolmogorov adalah sebagai berikut:

- a) Urutkan data (dari besar ke kecil atau sebaliknya) dan tentukan besarnya peluang dari masing-masing data tersebut.

$$X_1 = P(X_1)$$

$$X_2 = P(X_2)$$

$X_3 = P(X_3)$ dan seterusnya.

- b) Urutkan nilai masing-masing peluang teoritis dari hasil penggambaran data (persamaan distribusinya).

$$X_1 = P'(X_1)$$

$$X_2 = P'(X_2)$$

$X_3 = P'(X_3)$ dan seterusnya.

- c) Dari kedua nilai peluang tersebut, tentukan selisih terbesarnya antar peluang pengamatan dengan peluang teoritis.

$$D_{\text{maksimum}} = P(X_n) - P'(X_n)$$

Berdasarkan Tabel 2.15 (Smirnov Kolmogorov test) dapat ditentukan harga D_{kritis} .

Tabel 2.16 Nilai D_{kritis} Uji Smirnov Kolmogorov

n	α			
	0,2	0,1	0,05	0,01
5	0,45	0,51	0,56	0,67
10	0,32	0,37	0,41	0,49
15	0,27	0,3	0,34	0,4
20	0,23	0,26	0,29	0,36
25	0,21	0,24	0,27	0,32
30	0,19	0,22	0,24	0,29
35	0,18	0,2	0,23	0,27
40	0,17	0,19	0,21	0,25
45	0,18	0,18	0,2	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23
n > 50	$\frac{1,07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,07}{\sqrt{n}}$

Sumber: Triatmodjo 2008

4. Intensitas Hujan

Intensitas hujan dihitung dengan metode Mononobe, karena data hujan yang tersedia merupakan data hujan harian (Suyono dan Takeda, 1983). Berdasarkan SNI 8456-2017 tentang Sumur dan Parit Resapan Air Hujan, durasi hujan ditentukan sebesar 2 jam dan hujan dihitung curah hujan maksimum dihitung menggunakan periode kala ulang 2 tahunan. Persamaan Mononobe diberikan sebagai berikut.

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

5. Perencanaan Pipa Vertikal, Pipa Horizontal, dan Drainase Atap

Suatu bangunan harus mempunyai saluran yang mengalirkan air hujan dari atap atau halaman menuju ke saluran drainase atau sumur resapan. Saluran ini dapat berupa pipa vertikal, horizontal, dan talang. Perencanaan pipa vertikal, horizontal, dan talang berdasarkan pada SNI 8153-2015 tentang Sistem Plambing pada Bangunan Gedung. Penentuan pipa ini memerlukan parameter seperti, luas bidang, intensitas hujan, dan rencana kemiringan. Kemiringan yang digunakan pada perencanaan ini sebesar 2%, karena dianggap dapat mengalirkan air dengan baik. Berikut merupakan tabel yang digunakan untuk merencanakan pipa vertikal, horizontal, dan talang.

Tabel 2.17 Ukuran Talang Atap, Pipa Utama, dan Plambing Tegak Air Hujan

Ukuran saluran atau pipa air hujan	Debit	Luas atap maksimum yang diperbolehkan pada berbagai nilai curah hujan (m ²)											
		25,4 mm/j	50,8 mm/j	76,2 mm/j	101,6 mm/j	127 mm/j	162,4 mm/j	178 mm/j	203 mm/j	229 mm/j	254 mm/j	279 mm/j	305 mm/j
inci	L/dt												
2	1,8	268	134	89	67	53	45	38	33	30	27	24	22
3	5,52	818	409	272	204	164	137	117	102	91	82	74	68
4	11,52	1709	855	569	427	342	285	244	214	190	171	156	142
5	21,6	3214	1607	1071	804	643	536	459	402	357	321	292	268
6	33,78	5017	2508	1672	1254	1003	836	717	627	557	502	456	418
8	72,48	10776	5388	3592	2694	2155	1794	1539	1347	1197	1078	980	892

Sumber: SNI 8153-2015

Tabel 2.18 Penentuan Ukuran Plambing Air Hujan Horizontal

Ukuran saluran atau pipa air hujan	Debit	Luas bidang datar horizontal maksimum yang diperbolehkan pada berbagai nilai curah hujan (m ²)					
		25,4 mm/jam	50,8 mm/jam	76,2 mm/jam	101,6 mm/jam	127 mm/jam	162,4 mm/jam
inci	L/dt						
3	2,88	431	216	144	108	86	72
4	6,6	985	492	328	246	197	164
5	11,76	1754	877	585	438	351	292
6	18,84	2806	1403	935	701	561	468
8	40,62	6057	3029	2019	1514	1211	1012
10	72,84	10851	5425	3618	2713	2169	1812
12	117,18	17465	8733	5816	4366	3493	2912
15	209,46	31214	15607	10405	7804	6248	5202

Sumber: SNI 8153-2015

Tabel 2.19 Ukuran Talang

Diameter Talang (Kemiringan 2%)	Nilai curah hujan maksimum berbasis pada luas atap (m ²)				
	inci	50,8 mm/jam	76,2 mm/jam	101,6 mm/jam	127 mm/jam
3	63	42	32	25	21
4	134	116	67	54	45
5	232	155	116	93	77
6	357	238	178	143	119
7	513	342	256	205	171
8	739	493	370	295	247
10	1338	892	669	534	446

Sumber: SNI 8153-2015

6. Sumur Resapan

Sumur resapan merupakan prasarana yang digunakan untuk menampung dan meresapkan air hujan. Perencanaan sumur resapan mengacu pada SNI 8456-2017 tentang Sumur dan Parit Resapan Air Hujan. Persyaratan teknis yang harus diikuti apabila akan merencanakan sumur resapan yaitu, kedalaman air tanah harus lebih besar dari 2 m, periode ulang hujan/kala ulang hujan yang digunakan untuk perencanaan 2 tahun sekali, intensitas hujan yang dihitung menggunakan durasi hujan selama 2 jam, dan permeabilitas tanah lebih besar dari 2 cm/jam. Langkah perhitungan sumur resapan akan dijelaskan sebagai berikut:

a. Menghitung Debit Andil Banjir

Debit andil banjir merupakan debit banjir/air hujan yang akan masuk ke sumur resapan. Perhitungan debit andil banjir akan dijelaskan sebagai berikut:

$$Q = C \times I \times A_{\text{tadah}}$$

b. Menghitung Kedalaman yang Diperlukan untuk Sumur Resapan

Perhitungan kedalaman yang diperlukan untuk sumur resapan bergantung pada jari-jari sumur yang digunakan (r), permeabilitas tanah (K), debit andil banjir (Q), dan dinding sumur resapan yang digunakan. Perhitungan kedalaman yang diperlukan untuk sumur resapan

$$H = \frac{Q}{\omega \times \pi \times r \times k}$$

7. Drainase

Perencanaan drainase dilakukan untuk mengalirkan air hujan dari atap maupun tanah lapang menuju ke saluran kota. Oleh karena itu, dalam perencanaannya diperlukan penampang saluran yang mampu menampung debit hujan yang telah direncanakan.

a. Debit Rencana

Debit rencana dapat dihitung menggunakan metode rasional karena metode ini sering digunakan untuk perhitungan drainase (Triatmodjo, 2008). Rumus yang digunakan untuk menghitung debit rencana menggunakan metode rasional adalah sebagai berikut:

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A$$

Tabel 2.20 Koefisien Limpasan (C)

Tipe daerah aliran	C
Rerumputan	
Tanah pasir, datar, 2%	0,05 – 0,10
Tanah pasir, sedang, 2-7%	0,10 – 0,15
Tanah pasir, curam, 7%	0,15 – 0,20
Tanah gemuk, datar, 2%	0,13 – 0,17
Tanah gemuk, sedang, 2-7%	0,18 – 0,22
Tanah gemuk, curam, 7%	0,25 – 0,35
Perdagangan	
Daerah kota lama	0,75 – 0,95
Daerah pinggiran	0,50 – 0,70
Perumahan	
Daerah <i>single family</i>	0,30 – 0,50
<i>Multi unit</i> terpisah	0,40 – 0,60
<i>Multi unit</i> tertutup	0,60 – 0,75
<i>Suburban</i>	0,25 – 0,40
Daerah apartemen	0,50 – 0,70
Industri	
Daerah ringan	0,50 – 0,80
Daerah berat	0,60 – 0,90
Taman, kuburan	0,10 – 0,25
Tempat bermain	0,20 – 0,35
Halaman kereta api	0,20 – 0,40
Daerah tidak dikerjakan	0,10 – 0,30
Jalan:	
beraspal	0,70 – 0,95
beton	0,80 – 0,95
batu	0,70 – 0,85
Atap	0,75 – 0,95

b. Debit Saluran

Debit saluran merupakan debit maksimum yang dapat dialirkan melalui penampang saluran yang direncanakan. Oleh karena itu, penampang saluran harus direncanakan sedemikian rupa sehingga mampu dilalui oleh debit hujan yang telah direncanakan. Perhitungan debit saluran membutuhkan analisis hidrolika untuk menentukan penampang yang efisien. Penampang

efisien untuk persegi harus memenuhi persyaratan yaitu, lebar dari penampang harus sebesar dua kali tinggi penampang ($b = 2h$). Perhitungan luas Penampang, keliling basah penampang, dan jari-jari hidraulis akan disajikan sebagai berikut:

$$A = b \times h$$

$$P = b + 2 \times h$$

$$R = \frac{A}{P}$$

Berdasarkan penampang didapat dari perhitungan dari analisa hidrolika, dihitung debit saluran dengan rumus sebagai berikut:

$$Q_s = A \times v$$

$$v = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times I_{saluran}^{1/2}$$

Apabila debit saluran lebih besar dari debit rencana yang sudah direncanakan, maka penampang mampu dilewati debit rencana yang sudah dihitung. Namun, dengan mempertimbangkan keamanan, tinggi penampang perlu ditambah dengan tinggi jagaan dengan perhitungan sebagai berikut:

$$h_{jagaan} = \sqrt{0,5h}$$

sehingga,

$$h_{total} = h + h_{jagaan}$$

2.6 Perancangan Drainase Gedung

Perancangan drainase gedung diawali dengan menghitung curah hujan yang ada di suatu wilayah. Curah hujan dengan kala ulang tertentu dihitung dengan menggunakan analisis frekuensi nantinya akan digunakan untuk menghitung intensitas hujan. Kemudian, langkah selanjutnya adalah merencanakan dimensi pipa horizontal, vertikal, dan talang. Guna mempermudah pelaksanaan, pipa dan talang digambarkan untuk masing-masing gedung sehingga menjadi sebuah isometri. Air hujan dapat dilimpaskan menuju sumur resapan, drainase, atau kombinasi dari sumur resapan dan drainase.

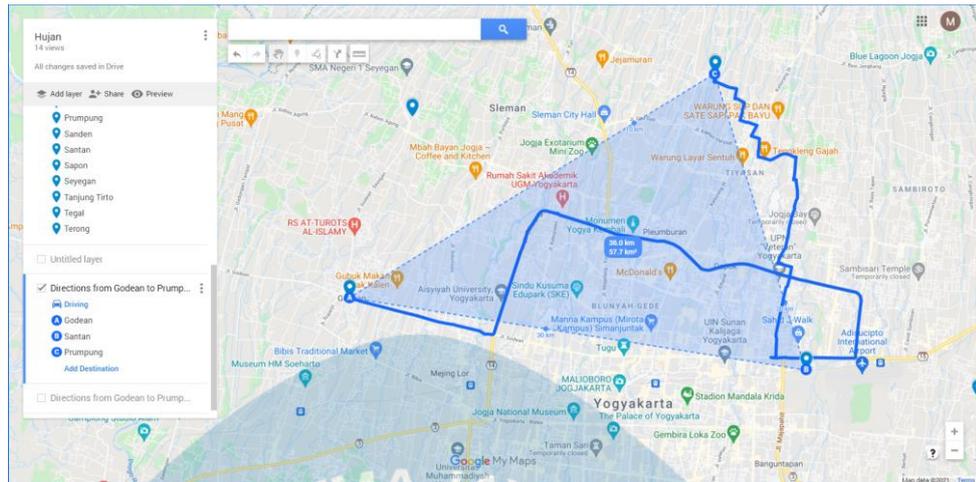
1. Perhitungan Curah Hujan pada Gedung

Perhitungan curah hujan yang akan digunakan untuk perencanaan dimulai dengan memilih stasiun hujan yang akan digunakan. Stasiun hujan berfungsi untuk mencatat hujan yang terjadi setiap hari, sehingga data hujan ini

penting untuk merencanakan hujan yang dianggap mewakili suatu lokasi. Data hujan yang dipilih merupakan data hujan yang terjadi selama 10 tahun karena dianggap mewakili. Data yang ada juga harus dianalisis menggunakan analisis frekuensi untuk memilih metode distribusi yang sesuai dan juga untuk melihat data yang ada memiliki sebaran yang sesuai persyaratan.

a. Pemilihan Stasiun Penadah Hujan

Sebelum melakukan perancangan sumur resapan dan drainase, diperlukan data hujan dari stasiun-stasiun hujan yang paling dekat dengan lokasi. Pada perancangan ini, lokasi yang ditinjau berada di Kelurahan Krpyak, Kecamatan Pekalongan Utara, Kota Pekalongan. Maka, data-data hujan seharusnya diperoleh berada di stasiun hujan yang berada di Pekalongan. Namun, karena kondisi yang tidak memungkinkan, pada perancangan ini digunakan data hujan yang ada di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Stasiun hujan yang dipilih yaitu tiga stasiun terdekat dengan kontur yang tidak terlalu ekstrem dan memiliki data hujan yang cukup lengkap. Pemilihan lokasi stasiun hujan dengan kontur yang tidak terlalu ekstrem dilakukan supaya pada perhitungan curah hujan maksimum tahunan dapat menggunakan metode *polygon thiessen*, sedangkan pemilihan stasiun hujan yang memiliki data hujan yang cukup lengkap dimaksudkan supaya nantinya curah hujan yang akan dihitung menjadi lebih valid. Berdasarkan pertimbangan tersebut maka dipilih tiga stasiun hujan yang berada di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, yaitu Stasiun Godean dengan koordinat bujur timur sebesar $-7,7672$ dan koordinat lintang selatan sebesar $110,2925$, Stasiun Santan dengan koordinat bujur timur sebesar $-7,8439$ dan koordinat lintang selatan sebesar $110,3456$, dan Stasiun Prumpung dengan koordinat bujur timur sebesar $-7,7069$ dan koordinat lintang selatan sebesar $110,3917$.



Sumber : Google Maps

Gambar 2.6 Lokasi Stasiun Hujan

b. Pengecekan Data Hujan Dari Stasiun yang Terpilih

Setelah didapat lokasi stasiun hujan yang akan digunakan untuk perancangan, langkah selanjutnya adalah pemilihan data hujan yang akan dipakai. Data hujan yang akan dipakai adalah data hujan selama 10 tahun karena dianggap dapat mewakili perancangan. Perlu diketahui bahwa data hujan yang didapat dari stasiun terpilih terkadang hilang sehingga perlu dilakukan perhitungan terhadap data hujan yang hilang tersebut. Perhitungan data hujan yang hilang dapat menggunakan metode resiprokal pada Persamaan (6). Sebagai contoh untuk menghitung data hujan yang hilang digunakan data hujan di Stasiun Prumpung pada tanggal 5 Januari 1996 sebagai berikut.

Diketahui bahwa,

$$P_{\text{Godean}} = 11 \text{ mm}$$

$$P_{\text{Santan}} = 14 \text{ mm}$$

$$L_{\text{Prumpung-Godean}} = 12,6 \text{ km}$$

$$L_{\text{Prumpung-Santan}} = 9,1 \text{ km}$$

Maka, untuk menghitung data hujan yang hilang di Stasiun Prumpung pada tanggal 5 Januari 1996,

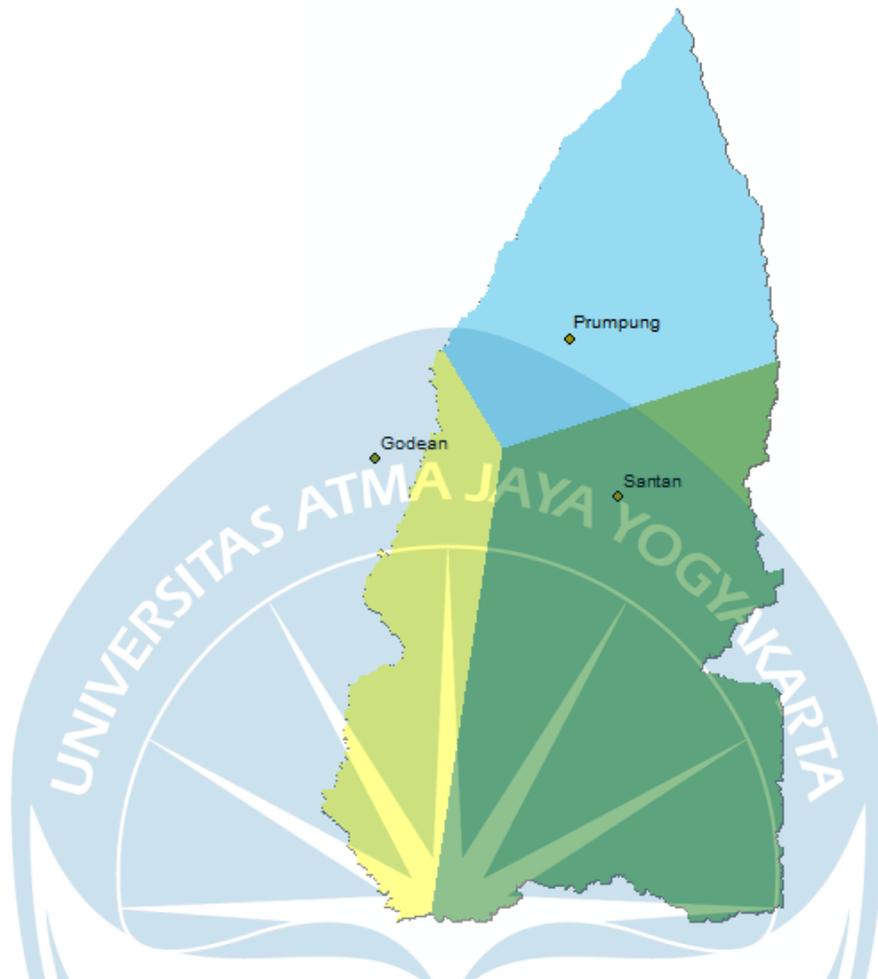
$$\begin{aligned}
P_{\text{Prumpung}} &= \frac{\frac{P_{\text{Godean}}}{L_{\text{Prumpung-Godean}}^2} + \frac{P_{\text{Santan}}}{L_{\text{Prumpung-Santan}}^2}}{\frac{1}{L_{\text{Prumpung-Godean}}^2} + \frac{1}{L_{\text{Prumpung-Santan}}^2}} \\
&= \frac{\frac{11}{12,6^2} + \frac{14}{9,1^2}}{\frac{1}{12,6^2} + \frac{1}{9,1^2}} \\
&= 12,972 \text{ mm}
\end{aligned}$$

c. Perhitungan Curah Hujan Maksimum Tahunan

Curah hujan maksimum dihitung dengan menggunakan metode *polygon Thiessen*. Namun, sebelum menghitung curah hujan maksimum perlu dicari terlebih dahulu data hujan terbesar dari masing-masing stasiun pada masing-masing tahun yang ditinjau. Setelah itu, perlu dicari luas DAS (Daerah Aliran Sungai) dengan metode Poligon Thiessen pada masing-masing staisun yang dapat dicari dengan bantuan aplikasi ArcGIS. Berikut langkah-langkah membuat Poligon Thiessen dalam *software* ArcGIS:

- 1) Mengunduh Peta *Seamless Digital Elevation Model (DEM)* yang menjadi lokasi dari stasiun hujan yang ditinjau dari lokasi dari stasiun hujan yang ditinjau dari <https://tanahair.indonesia.go.id/demnas/#/>
- 2) Peta DEM dimasukan ke *software ArcMap* lalu digabungkan dengan menggunakan *tool Mosaic to New Raster*
- 3) Menggunakan *Coordinate System WGS 1984* untuk peta yang sudah digabungkan
- 4) Membuat *layer Fill* dengan *tool Fill* pada *arctoolbox*. Masukan peta yang sudah digabungkan *Input surface raster* pada bagian *Fill*.
- 5) Membuat *layer flow direction* dengan menggunakan *tool Direction*. Masukan *layer Fill* pada *input surface raster* pada bagian *Flow Direction*, lalu centang perintah *Force All Edge Cells to Flow Outward*.
- 6) Membuat *layer accumulation* dengan menggunakan *tool Accumulation*. Masukan *layer flow direction* pada *input surface raster* pada bagian bagian *accumulation*, lalu pilih *INTENGER* pada bagian *output data type*.
- 7) Menggunakan *tool Basin* dengan memasukan *layer direction* pada *input flow direction raster*.

- 8) Membuat batas DAS dengan menggunakan *tool Raster to Polygon* dengan memasukkan *layer Basin* pada *Input raster* dan menghilangkan centang pada perintah *Simplify Polygons*.
- 9) Menentukan DAS yang akan digunakan dengan menggunakan *Select Feature*.
- 10) Membuat peta DAS dengan cara klik pada *layer DAS*, setelah itu klik *Data* lalu pilih *Export Data*.
- 11) Masukkan koordinat stasiun dengan cara pilih *Files* setelah itu pilih *Add data* lalu *Add XY data*.
- 12) Membuat Poligon *Thiessen* dengan menggunakan *tool Create Thiessen Polygons* lalu memasukkan koordinat stasiun pada *Input Feature* lalu pada *Output Fields* pilih *ALL*. Pada *Environments Setting* pilih *Processing Extent* lalu pada *Extent* pilih *layer gabungan*. Setelah dari *Processing Extent*, dilanjutkan dengan memilih *Raster Analysis* lalu pada *Mask* pilih *layer gabungan*. Setelah itu, pilih *OK* maka Poligon *Thiessen* akan diproses.
- 13) Memotong poligon *Thiessen* mengikuti bentuk DAS agar mencari luasan yang diwakili masing-masing stasiun dengan menggunakan *tool Clip*. Masukkan *layer Poligon Thiessen* pada *Input Feature Clip*, lalu masukkan *layer DAS* pada *Clip Feature*. Setelah itu, pilih *OK*.



Gambar 2.7 Daerah Aliran Sungai (DAS)

Langkah–langkah untuk mencari luas DAS masing–masing stasiun yang mewakili sebagai berikut:

- 14) Menggunakan opsi *Open Attribute Table* pada *Layers polygon thiessen* yang telah dibuat.
- 15) Pada *Open Attribute Table* lalu pada *Table Option* klik *Add Field*.
- 16) Pada *Add Field*, masukkan penamaan LUAS dan Type berupa *Double* lalu klik OK.
- 17) Pada *Field LUAS*, klik kanan pada mouse lalu pilih *Calculate Geometry*.
- 18) Pada *Property select Area*, *Coordinate System* yang digunakan adalah *WGS 1984 UTM Zone 49S*.
- 19) Lalu *select Units* berupa *kilometres square(km²)*.
- 20) Luas daerah yang diwakili oleh stasiun dihitung luasnya, sehingga diperoleh hasil seperti pada Tabel 2.20.

Tabel 2.21 Luas DAS yang Diwakili Masing-Masing Stasiun

Nama Stasiun	Luas (km ²)
Godean	148,053
Prumpung	250,688
Santan	458,945
Luas Total	858,686

Kemudian, setelah didapat data hujan maksimum dari masing-masing pada masing-masing taun dan luas DAS yang diwakili oleh masing-masing stasiun, barulah dilakukan perhitungan curah hujan maksimum tahunan seperti yang terdapat pada Tabel 2.21.

Tabel 2.22 Curah Hujan Rerata dengan Metode *Polygon Thiessen*

Luas (km ²)	Tanggal	Godean		Prumpung		Santan		Curah Hujan Rerata	
		LUAS	% Luasan	LUAS	% Luasan	LUAS	% Luasan	P _n A _n	Harian (Max/Tahun)
858,69		148,05	17,24%	250,69	29,19%	459,95	53,56%		
Tahun		P ₁	P ₁ A ₁	P ₂	P ₂ A ₂	P ₃	P ₃ A ₃		
1990	01/03/1990	79	13,621	0	0,000	72	38,566	52,187	92,231
	28/02/1990	0	0,000	76	22,188	0	0,000	22,188	
	20/01/1990	39	6,724	3	0,876	158	84,631	92,231	
1991	12/04/1991	120	20,690	0	0,000	21	11,248	31,939	148,055
	11/04/1991	0	0,000	139	40,580	0	0,000	40,580	
	11/02/1991	49	8,448	3	0,876	259	138,730	148,055	
1992	11/01/1992	113	19,483	32	9,342	105	56,242	85,067	117,429
	14/01/1992	13	2,241	141	41,164	53	28,389	71,794	
	05/02/1992	38	6,552	0	0,000	207	110,877	117,429	
1993	08/12/1993	96	16,552	10	2,919	84	44,994	64,465	64,465
	05/04/1993	45	7,759	114	33,282	0	0,000	41,040	
	03/01/1993	0	0,000	0	0,000	98	52,493	52,493	
1994	10/03/1994	84	14,483	10	2,919	61	32,674	50,076	77,590
	07/12/1994	0	0,000	111,3	32,493	0	0,000	32,493	
	12/03/1994	64	11,035	2,3	0,671	123	65,883	77,590	
1995	26/11/1995	92	15,862	31	9,050	73	39,102	64,014	94,108
	15/11/1995	28	4,828	151	44,084	0	0,000	48,911	
	21/11/1995	79	13,621	22,5	6,569	138	73,918	94,108	
1996	11/12/1996	96	16,552	73,65517	21,503	62	33,210	71,265	101,293
	21/11/1996	38	6,552	95,17647	27,786	125	66,955	101,293	

Lanjutan **Tabel 2.22** Curah Hujan Rerata dengan Metode *Polygon Thiessen*

Luas (km ²)	Tanggal	Godean		Prumpung		Santan		Curah Hujan Rerata	
		LUAS	% Luasan	LUAS	% Luasan	LUAS	% Luasan	P _n A _n	Harian (Max/Tahun)
858,69		148,05	17,24%	250,69	29,19%	459,95	53,56%		
Tahun		P ₁	P ₁ A ₁	P ₂	P ₂ A ₂	P ₃	P ₃ A ₃		
1996	21/11/1996	38	6,552	95,17647	27,786	125	66,955	101,293	
1997	16/01/1997	51	8,793	6	1,752	10	5,356	15,901	60,323
	12/02/1997	0	0,000	164	47,879	0	0,000	47,879	
	11/04/1997	0	0,000	41,5	12,116	90	48,207	60,323	
1998	21/12/1998	103	17,759	0,5	0,146	32,199	17,247	35,152	96,602
	06/02/1998	41	7,069	125	36,493	99,022	53,040	96,602	
	06/02/1998	41	7,069	125	36,493	99,022	53,040	96,602	
1999	14/03/1999	90	15,518	0	0,000	27,833	14,909	30,426	99,357
	13/12/1999	56	9,655	121,5	35,471	101,2436	54,230	99,357	
	13/12/1999	56	9,655	121,5	35,471	101,2436	54,230	99,357	

Contoh perhitungan akan diambil pada tahun 1990, dan diketahui bahwa luas DAS total sebesar 858,69 km², luas DAS Godean sebesar 148,05 km², luas DAS Prumpung sebesar 250,69 km², dan luas DAS Santan sebesar 459,95 km². Berdasarkan data luas DAS total dan luas DAS masing-masing stasiun maka luas DAS Godean berkontribusi sebesar 17,24% (0,1724) dari luas DAS total, luas DAS Prumpung berkontribusi sebesar 29,19% (0,2919) dari luas DAS total, dan luas DAS Santan berkontribusi sebesar 53,57% (0,5357) dari luas DAS total.

Kemudian, pada tahun 1990 data hujan terbesar yang tercatat di Stasiun Godean sebesar 79 mm terjadi pada tanggal 1 Maret 1990. Pada tanggal 1 Maret 1990 juga, data hujan di Stasiun Prumpung sebesar 0 mm, dan Stasiun Santan sebesar 72 mm. Data hujan terbesar yang tercatat pada tahun 1990 di Stasiun Prumpung adalah sebesar 76 mm, terjadi pada tanggal 28 Februari 1990. Pada tanggal ini juga data hujan di Stasiun Godean dan Santan sebesar 0 mm. Pada tahun 1990, data hujan terbesar di Stasiun Santan tercatat pada tanggal 20 Januari 1990 sebesar 158 mm, di hari yang sama Stasiun Godean sebesar 39 mm dan Stasiun Prumpung sebesar 3 mm. Masing-masing data hujan ini kemudian dikalikan dengan kontribusi luasan dari masing-masing stasiun dan didapat hasil pada kolom P₁A₁, P₂A₂, dan

P₃A₃ (subskrip 1 menunjukkan Stasiun Godean, subskrip 2 menunjukkan Stasiun Prumpung, dan subskrip 3 menunjukkan Stasiun Santan).

Pada tanggal 1 Maret 1990,

$$\begin{aligned} P1 &= 79 \text{ mm} \\ P1 \frac{A_1}{A_{\text{total}}} &= 79 \times 0,1724 \\ &= 13,621 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P2 &= 0 \text{ mm} \\ P2 \frac{A_2}{A_{\text{total}}} &= 0 \times 0,2919 \\ &= 0 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P3 &= 72 \text{ mm} \\ P3 \frac{A_3}{A_{\text{total}}} &= 72 \times 0,5357 \\ &= 38,566 \text{ mm} \end{aligned}$$

Pada tanggal 28 Februari 1990,

$$\begin{aligned} P1 &= 0 \text{ mm} \\ P1 \frac{A_1}{A_{\text{total}}} &= 0 \times 0,1724 \\ &= 0 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P2 &= 76 \text{ mm} \\ P2 \frac{A_2}{A_{\text{total}}} &= 76 \times 0,2919 \\ &= 22,188 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P3 &= 0 \text{ mm} \\ P3 \frac{A_3}{A_{\text{total}}} &= 0 \times 0,5357 \\ &= 0 \text{ mm} \end{aligned}$$

Pada tanggal 20 Januari 1990,

$$\begin{aligned} P_1 &= 39 \text{ mm} \\ P_1 \frac{A_1}{A_{\text{total}}} &= 39 \times 0,1724 \\ &= 6,724 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_2 &= 3 \text{ mm} \\ P_2 \frac{A_2}{A_{\text{total}}} &= 3 \times 0,2919 \\ &= 0,876 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_3 &= 158 \text{ mm} \\ P_3 \frac{A_3}{A_{\text{total}}} &= 158 \times 0,5357 \\ &= 84,631 \text{ mm} \end{aligned}$$

Setelah itu hasil perkalian ini (P_1A_1 , P_2A_2 , dan P_3A_3) dijumlah pada hari yang sama dan hasilnya dapat dilihat pada kolom curah hujan rerata 1 tahun.

Pada tanggal 1 Maret 1990,

$$\begin{aligned} \bar{P} &= P_1 \frac{A_1}{A_{\text{total}}} + P_2 \frac{A_2}{A_{\text{total}}} + P_3 \frac{A_3}{A_{\text{total}}} \\ &= 13,621 + 0 + 38,566 \\ &= 52,187 \text{ mm} \end{aligned}$$

Pada tanggal 28 Februari 1990,

$$\begin{aligned} \bar{P} &= P_1 \frac{A_1}{A_{\text{total}}} + P_2 \frac{A_2}{A_{\text{total}}} + P_3 \frac{A_3}{A_{\text{total}}} \\ &= 0 + 22,188 + 0 \\ &= 22,188 \text{ mm} \end{aligned}$$

Pada tanggal 20 Januari 1990,

$$\begin{aligned} \bar{P} &= P_1 \frac{A_1}{A_{\text{total}}} + P_2 \frac{A_2}{A_{\text{total}}} + P_3 \frac{A_3}{A_{\text{total}}} \\ &= 6,724 + 0,876 + 84,631 \\ &= 92,231 \text{ mm} \end{aligned}$$

Curah hujan maksimum tahunan yang terjadi pada tahun 1990 adalah sebesar 92,231 mm.

d. Analisis frekuensi

Analisis statistik yang ditunjukkan oleh Tabel 2.22 dan Tabel 2.23 merupakan tabel bantuan yang nantinya akan digunakan untuk menghitung parameter statistik nilai rerata (\bar{x} dan \bar{y}), standar deviasi (S), koefisien kemencengan (C_s), koefisien kurtosis (C_k), dan koefisien variasi (C_v). Parameter statistik ini nantinya digunakan sebagai penentu jenis distribusi yang akan dipakai untuk mencari curah hujan kala ulang yang dikehendaki.

Tabel 2.23 Tabel Parameter Statistik untuk Distribusi Normal dan Gumbel

No.	Tahun	x (mm)	(x- \bar{x})	(x- \bar{x}) ²	(x- \bar{x}) ³	(x- \bar{x}) ⁴
1	1990	92,231	-2,914	8,493	-24,750	72,127
2	1991	148,055	52,909	2799,402	148114,608	7836651,365
3	1992	117,429	22,284	496,566	11065,371	246578,191
4	1993	64,465	-30,680	941,262	-28877,910	885974,056
5	1994	77,590	-17,555	308,194	-5410,498	94983,818
6	1995	94,108	-1,037	1,076	-1,116	1,158
7	1996	101,293	6,148	37,793	232,340	1428,340
8	1997	60,323	-34,822	1212,579	-42224,537	1470347,056
9	1998	96,602	1,457	2,123	3,093	4,507
10	1999	99,357	4,211	17,735	74,689	314,540
Jumlah		951,452		5825,224	82951,292	10536355,158

$$\begin{aligned} \text{Nilai Rata-rata } (\bar{x}) &= \frac{\sum x}{n} \\ &= \frac{951,452}{10} \\ &= 95,145 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Standar Deviasi (S)} &= \left[\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)} \right]^{0,5} \\ &= \left[\frac{5825,224}{(10-1)} \right]^{0,5} \\ &= 25,441 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Koefisien Kemencengan } (C_s) &= \frac{n \times \sum (x_i - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)(S)^3} \\ &= \frac{10 \times 82951,292}{(10-1)(10-2)(25,441)^3} \\ &= 0,7 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Koefisien Kurtosis } (C_k) &= \frac{n^2 \times \Sigma(x_i - \bar{x})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)(S)^4} \\ &= \frac{10^2 \times 10536355,158}{(10-1)(10-2)(10-3)(25,441)^4} \\ &= 34,932 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Koefisien Variasi } (C_v) &= \frac{S}{\bar{x}} \\ &= \frac{25,441}{95,145} \\ &= 0,267 \end{aligned}$$

Tabel 2.24 Tabel Parameter Statistik untuk Distribusi Log Normal dan Log Pearson III

No.	Tahun	p (mm)	y=log p	(y- \bar{y})	(y- \bar{y}) ²	(y- \bar{y}) ³	(y- \bar{y}) ⁴
1	1990	92,231	1,965	0,000269209	7,24734×10 ⁻⁸	1,95105×10 ⁻¹¹	5,2524×10 ⁻¹⁵
2	1991	148,055	2,170	0,205814346	0,042359545	0,008718202	0,001794331
3	1992	117,429	2,070	0,105167748	0,011060255	0,001163182	0,000122329
4	1993	64,465	1,809	-0,155282187	0,024112558	-0,003744251	0,000581415
5	1994	77,590	1,890	-0,074803292	0,005595533	-0,000418564	3,131×10 ⁻⁵
6	1995	94,108	1,974	0,00901828	8,13294×10 ⁻⁵	7,33451×10 ⁻⁷	6,61447×10 ⁻⁹
7	1996	101,293	2,006	0,040971201	0,001678639	6,87759×10 ⁻⁵	2,81783×10 ⁻⁶
8	1997	60,323	1,780	-0,184123933	0,033901623	-0,0062421	0,00114932
9	1998	96,602	1,985	0,020379749	0,000415334	8,46441×10 ⁻⁶	1,72502×10 ⁻⁷
10	1999	99,357	1,997	0,03258888	0,001062035	3,46105×10 ⁻⁵	1,12792×10 ⁻⁶
Jumlah			19,646		0,120266923	-0,000410947	0,003682831

$$\begin{aligned} \text{Nilai Rata-rata } (\bar{y}) &= \frac{\Sigma y}{n} \\ &= \frac{19,646}{10} \\ &= 1,965 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Standar Deviasi } (S) &= \left[\frac{\Sigma(\log x_i - \log \bar{x})^2}{(n-1)} \right]^{0,5} \\ &= \left[\frac{0,120}{(10-1)} \right]^{0,5} \\ &= 0,116 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Koefisien Kemencengan } (C_s) &= \frac{n \times \Sigma(\log(x_i) - \log(\bar{x}))^3}{(n-1)(n-2)(S)^3} \\ &= \frac{10 \times -0,00041}{(10-1)(10-2)(0,116)^3} \\ &= -0,037 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Koefisien Kurtosis } (C_k) &= \frac{n^2 \times \Sigma(\log(x_i) - \bar{x})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)(S)^4} \\ &= \frac{10^2 \times 0,00368}{(10-1)(10-2)(10-3)(0,116)^4} \\ &= 28,645 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Koefisien Variasi } (C_v) &= \frac{S}{\bar{y}} \\ &= \frac{0,116}{1,965} \\ &= 0,059 \end{aligned}$$

Setelah dihitung nilai parameter statistik yang diperlukan seperti nilai rerata (\bar{x} dan \bar{y}), standar deviasi (S), koefisien kemencengan (C_s), koefisien kurtosis (C_k), dan koefisien variasi (C_v). Langkah selanjutnya adalah memilih metode distribusi yang akan digunakan. Metode distribusi yang dapat dipilih dan digunakan adalah metode distribusi normal, log normal, log pearson III, dan gumbel. Langkah perhitungan untuk memilih metode distribusi yang akan digunakan akan disajikan di bawah ini.

1) Penentuan Distribusi yang Akan Dipakai

a) Distribusi Normal

Pertama, dilakukan perhitungan nilai $\bar{x}+s$, $\bar{x}-s$, $\bar{x}+2s$, dan $\bar{x}-2s$ berdasarkan nilai yang sudah dihitung menggunakan data yang ada pada Tabel 2.22. Setelah itu dicari jumlah nilai yang lebih dari $\bar{x}+s$, jumlah nilai yang kurang dari $\bar{x}-s$, jumlah nilai yang lebih dari $\bar{x}+2s$, dan jumlah nilai yang kurang dari $\bar{x}-2s$. Prosentase jumlah nilai yang kurang dari $\bar{x}+s$ dan lebih $\bar{x}-s$, juga Prosentase jumlah nilai yang kurang dari $\bar{x}+2s$ dan lebih $\bar{x}-2s$ haruslah memenuhi persyaratan yang sudah dijelaskan pada metode distribusi normal. Nilai koefisien kemencengan (C_s) dan koefisien kurtosis (C_k) juga harus memenuhi syarat yang sudah dijelaskan pada metode distribusi normal.

$$\bar{x} = 95,145$$

$$s = 25,441$$

$$\begin{aligned}\bar{x}+s &= 95,145 + 25,441 \\ &= 120,586\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{x}-s &= 95,145 - 25,441 \\ &= 69,704\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{x}+2s &= 95,145 + 2 \times 25,441 \\ &= 146,027\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{x}-2s &= 95,145 - 2 \times 25,441 \\ &= 44,263\end{aligned}$$

$$\text{Jumlah nilai yang lebih dari } \bar{x}+s = 1$$

$$\text{Jumlah nilai yang kurang dari } \bar{x}-s = 2$$

$$\text{Total jumlah nilai yang lebih dari} = 2 + 1$$

$$\begin{aligned}\bar{x}+s \text{ dan kurang dari } \bar{x}-s \\ &= 3\end{aligned}$$

$$\text{Prosentase jumlah nilai yang kurang} = \frac{10-3}{10} \times 100\%$$

$$\begin{aligned}\text{dari } \bar{x}+s \text{ dan lebih dari } \bar{x}-s \\ &= 70\%\end{aligned}$$

$$\text{Jumlah nilai yang lebih dari } \bar{x}+2s = 1$$

$$\text{Jumlah nilai yang kurang dari } \bar{x}-2s = 0$$

$$\text{Total jumlah nilai yang lebih dari} = 1 + 0$$

$$\begin{aligned}\bar{x}+s \text{ dan kurang dari } \bar{x}-s \\ &= 1\end{aligned}$$

$$\text{Prosentase jumlah nilai yang kurang} = \frac{10-1}{10} \times 100\%$$

$$\begin{aligned}\text{dari } \bar{x}+2s \text{ dan lebih dari } \bar{x}-2s \\ &= 90\%\end{aligned}$$

$$C_s = 0,7$$

$$C_k = 34,932$$

Syarat agar dapat menggunakan metode distribusi normal:

Prosentase jumlah nilai yang kurang dari $\bar{x}+s$ dan lebih dari $\bar{x}-s$ = 68,27%

dari $\bar{x}+s$ dan lebih dari $\bar{x}-s$

Prosentase jumlah nilai yang kurang dari $\bar{x}+2s$ dan lebih dari $\bar{x}-2s$ = 95%

dari $\bar{x}+2s$ dan lebih dari $\bar{x}-2s$

C_s = 0

C_k = 3

Berdasarkan syarat yang diperlukan untuk menggunakan metode distribusi normal, dapat disimpulkan bahwa data yang ada tidak dapat dihitung dengan metode distribusi normal karena tidak memenuhi syarat yang ditentukan, dimana prosentase jumlah nilai yang kurang dari $\bar{x}+s$ dan lebih dari $\bar{x}-s$ tidak sama dengan 68,27% (hasil didapat sebesar 70%), prosentase jumlah nilai yang kurang dari $\bar{x}+2s$ dan lebih dari $\bar{x}-2s$ tidak sama dengan 95% (hasil didapat sebesar 90%), koefisien kemencengan (C_s) tidak sama dengan 0 (hasil didapat sebesar 0,7), dan koefisien kurtosis (C_k) tidak sama dengan 3 (hasil didapat sebesar 34,932).

b) Distribusi Log Normal

Penentuan metode distribusi log normal didasarkan pada parameter statistik yaitu koefisien kemencengan (C_s), koefisien kurtosis (C_k), dan koefisien variasi (C_v) yang didapat dari data yang ada pada Tabel 2.23.

$C_s = -0,037$

$C_k = 28,645$

$C_v = 0,059$

Distribusi log normal mensyaratkan nilai $C_s = C_v^3 + 3C_v$ dan $C_k = C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3$. Apabila tidak memenuhi syarat yang ditentukan, maka penentuan distribusi data tidak dapat menggunakan metode distribusi log normal.

$C_s = C_v^3 + 3C_v$

$C_s - C_v^3 - 3C_v = 0$

Nilai $C_s - C_v^3 - 3C_v$:

$$(-0,037) - 0,0593 - 3 \times 0,059 = -0,214$$

$$C_k = C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3$$

$$C_k - C_v^8 - 6C_v^6 - 15C_v^4 - 16C_v^2 - 3 = 0$$

Nilai $C_k - C_v^8 - 6C_v^6 - 15C_v^4 - 16C_v^2 - 3$:

$$28,645 - 0,0593^8 - 6 \times 0,0593^6 - 15 \times 0,0593^4 - 16 \times 0,0593^2 - 3 = 25,589$$

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, nilai $C_s - C_v^3 - 3C_v$ didapat sebesar -0,214 dan nilai $C_k - C_v^8 - 6C_v^6 - 15C_v^4 - 16C_v^2 - 3$ didapat sebesar 25,589. Kedua nilai tersebut tidak sama dengan nol, sehingga metode distribusi log normal tidak dapat digunakan karena tidak memenuhi persyaratan.

c) Distribusi Gumbel

Penentuan metode distribusi gumbel didasarkan pada parameter statistik yaitu koefisien kurtosis (C_k) dan koefisien variasi (C_v) yang didapat dari data yang ada pada Tabel 2.22.

$$C_k = 34,932$$

$$C_v = 0,267$$

Distribusi gumbel mensyaratkan nilai koefisien kurtosis (C_k) yang didapat harus sama dengan 5,4 dan nilai koefisien variasi (C_v) yang didapat harus sama dengan 1,14. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, nilai $C_s - C_v^3 - 3C_v$ didapat sebesar -0,214 dan nilai $C_k - C_v^8 - 6C_v^6 - 15C_v^4 - 16C_v^2 - 3$ didapat sebesar 25,589. Kedua nilai tersebut tidak sama dengan nol, sehingga metode distribusi log normal tidak dapat digunakan karena tidak memenuhi persyaratan.

d) Distribusi Log Pearson III

Distribusi log pearson III digunakan apabila data yang ada tidak memenuhi ketiga metode distribusi yang ada di atas, yaitu metode distribusi normal, log normal, dan gumbel. Maka dari itu, karena data curah hujan maksimum tahunan selama 10 tahun yang didapat tidak memenuhi ketiga metode distribusi yang ada, digunakan metode distribusi log pearson III. Namun, untuk lebih memastikan bahwa

metode distribusi log pearson II dapat digunakan, dilakukan uji sebaran data menggunakan metode Chi Kuadrat dan Smirnov Kolmogorov.

2) Penentuan Distribusi yang Akan Dipakai

a) Uji Smirnov Kolmogorov

Uji Smirnov Kolmogorov dihitung untuk melihat simpangan terbesar peluang data yang ada. Simpangan terbesar ini tidak boleh lebih besar dari simpangan kritis yang didapat dari Tabel 2.15. Perhitungan yang ada pada Tabel 2.24 didapat dengan perhitungan sebagai berikut dan diambil contoh pada tahun 1990:

Tabel 2.25 Hasil Uji Smirnov Kolmogorov

Tahun	n	Hujan (x _i) (mm)	Diurutkan dari data terbesar	P(x)	P(x<)	P'(x)	P'(x<)	D
1990	1	92,23	148,05	0,09	0,91	0,11	0,89	0,02
1991	2	148,05	99,36	0,18	0,82	0,22	0,78	0,04
1992	3	117,43	96,60	0,27	0,73	0,33	0,67	0,06
1993	4	64,47	101,29	0,36	0,64	0,44	0,56	0,08
1994	5	77,59	117,43	0,45	0,55	0,56	0,44	0,10
1995	6	94,11	94,11	0,55	0,45	0,67	0,33	0,12
1996	7	101,29	92,23	0,64	0,36	0,78	0,22	0,14
1997	8	60,32	77,59	0,73	0,27	0,89	0,11	0,16
1998	9	96,60	64,47	0,82	0,18	1,00	0,00	0,18
1999	10	99,36	60,32	0,91	0,09	1,11	-0,11	0,20

Contoh perhitungan nilai P(x) (kolom ke-5):

$$\begin{aligned}
 P(x) &= \frac{n_i}{(\sum n_i)+1} \\
 &= \frac{1}{10+1} \\
 &= 0,09
 \end{aligned}$$

Contoh perhitungan nilai P(x<) (kolom ke-6):

$$\begin{aligned}
 P(x<) &= 1 - P(x) \\
 &= 1 - 0,09 \\
 &= 0,91
 \end{aligned}$$

Contoh perhitungan nilai $P'(x)$ (kolom ke-7):

$$\begin{aligned} P'(x) &= \frac{n_i}{(\sum n_i)-1} \\ &= \frac{1}{10-1} \\ &= 0,11 \end{aligned}$$

Contoh perhitungan nilai $P'(x<)$ (kolom ke-8):

$$\begin{aligned} P'(x<) &= 1 - P'(x) \\ &= 1 - 0,11 \\ &= 0,89 \end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 2.24, didapat bahwa simpangan maksimum (D_{\max}) terjadi pada tahun 1999 sebesar 0,2. Nilai ini kemudian dibandingkan dengan simpangan kritis (D_{kritis}) yang didapat dari Tabel 2.15 dengan derajat kepercayaan 5% dan jumlah data sebanyak 10 buah, didapat nilai simpangan kritis (D_{kritis}) sebesar 0,41. Nilai simpangan maksimum (D_{\max}) yang didapat lebih kecil dari simpangan kritis yang didapat dari Tabel 2.15, sehingga sebaran data hujan yang ada memenuhi persyaratan yang disyaratkan oleh uji Smirnov Kolmogorov.

b) Uji Chi Kuadrat

Uji Chi Kuadrat dihitung untuk mengecek sebaran data yang ada terdistribusi dengan baik atau tidak, perhitungan Uji Chi Kuadrat disajikan pada Tabel 2.25.

Tabel 2.26 Parameter untuk Uji Chi Kuadrat

	X_{\max}	148,05
	X_{\min}	60,32
K	$1 + 3,322 \log(n)$	$4,32 \approx 5$
DoF (Derajat Kebebasan)	$k - R - 1$	2,00
α	0,05 = 5%	
Dari Tabel 2.14 nilai Chi kuadrat, diperoleh harga X^2 sebesar 5,991		
E_f	n / k	2,0000
D_x	$(X_{\max} - X_{\min}) / (K - 1)$	21,933
X_{awal}	$X_{\min} - (0,5 D_x)$	49,357

Berdasarkan data curah hujan maksimum tahunan yang ada dengan durasi 10 tahun, didapat nilai maksimum (X_{\max}) sebesar 148,05 dan nilai minimum (X_{\min}) sebesar 60,32. Kelas data yang akan digunakan (K) dapat dicari dengan Persamaan (30), dan perhitungan disajikan sebagai berikut:

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

$$K = 1 + 3,322 \log(10)$$

$$K = 4,32$$

$$\approx 5$$

Nilai yang digunakan untuk batas atas dan batas bawah yang ada pada masing-masing kelas ditentukan berdasarkan nilai awal (X_{awal}) dan juga besar kenaikan nilai (D_x). Besar kenaikan nilai (D_x) dapat dicari dengan perhitungan sebagai berikut:

$$D_x = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{K-1}$$

$$D_x = \frac{148,05 - 60,32}{5-1}$$

$$D_x = 21,933$$

Nilai awal (X_{awal}) untuk kelas pertama dapat dicari dengan perhitungan sebagai berikut:

$$X_{\text{awal}} = X_{\min} - 0,5 D_x$$

$$X_{\text{awal}} = 60,32 - 0,5 \times 21,933$$

$$X_{\text{awal}} = 49,357$$

Sehingga untuk kelas pertama batas bawah yang digunakan adalah sebesar 49,357 dan batas atas yang digunakan adalah sebesar 49,357 ditambah 21,933 atau sebesar 71,290. Batas atas pada kelas pertama selanjutnya akan menjadi batas bawah yang ada di kelas kedua, dan batas atas pada kelas kedua didapat dari batas atas kelas pertama atau batas bawah kelas kedua sebesar 71,290 ditambah 21,933 atau sebesar 93,222. Batas bawah dan batas atas untuk kelas selanjutnya berlaku sama dengan perhitungan sebelumnya.

Pada pengujian chi kuadrat ini, digunakan dua variabel terikat yaitu frekuensi yang terbaca pada kelas yang sama (O_f) dan juga frekuensi yang diharapkan sesuai dengan pembagian kelasnya (E_f).

Frekuensi yang diharapkan sesuai dengan pembagian kelasnya (E_f) dapat dicari dengan membagi jumlah data (n) dengan kelas data (K), dan didapat hasil sebesar 2.

Nilai chi kuadrat kritis dicari berdasarkan derajat kebebasan (Dof) dan derajat kepercayaan yang digunakan (α). Nilai derajat kebebasan dihitung dengan mengurangi nilai kelas data (K) dengan jumlah variabel terikat (R) dan nilai 1, dan didapat hasil sebesar 2. Berdasarkan Tabel 2.14 dengan derajat kepercayaan sebesar 5% dan derajat kebebasan sebesar 2, didapat nilai chi kuadrat kritis sebesar 5,991.

Tabel 2.27 Hasil Uji Chi Kuadrat

Nomor	Nilai Batasan			O_f	E_f	$(O_f - E_f)^2$	$(O_f - E_f)^2 / E_f$
1	49,357	< X <	71,290	2	2	0	0,0
2	71,290	< X <	93,222	2	2	0	0,0
3	93,222	< X <	115,155	4	2	4	2,0
4	115,155	< X <	137,088	1	2	1	0,5
5	137,088	< X <	159,021	1	2	1	0,5
χ^2							3,0

Nilai chi kuadrat (χ^2) yang didapat dari data curah hujan tahunan maksimum selama 10 tahun adalah sebesar 3. Nilai ini kurang dari nilai chi kuadrat kritis yang didapat dari Tabel 2.14 sebesar 5,991. Maka, dapat dianggap bahwa sebaran data yang ada cukup baik berdasarkan uji chi kuadrat.

e. Perhitungan Intensitas Air Hujan

Intensitas hujan dihitung dari curah hujan kala ulang dan durasi hujan. Berdasarkan data curah hujan tahunan maksimum selama 10 tahun dan proses penentuan metode distribusi sebelumnya, telah ditentukan bahwa curah hujan dihitung dengan menggunakan metode distribusi log pearson III. SNI 8456-2017 tentang Sumur dan Parit Resapan Air Hujan mensyaratkan curah hujan tahunan maksimum digunakan kala ulang 2 tahun. Perhitungan curah hujan kala ulang selama 2 tahun disajikan sebagai berikut:

$$\bar{y} = 1,964$$

$$K = 0,00691 \text{ (dari hasil interpolasi Tabel 2.13)}$$

$$s = 0,116$$

sehingga,

$$y = \bar{y} + K \times s$$

$$y = 1,964 + 0,00691 \times 0,116$$

$$y = 1,965$$

Nilai y sebesar 1,965 merupakan nilai yang masih dalam bentuk logaritma. Oleh karena itu, untuk mendapatkan besaran curah hujan maksimum nilai y harus diinvers, dengan perhitungan sebagai berikut:

$$P = R_{24} = 10^{1,965}$$

$$P = R_{24} = 92,344 \text{ mm}$$

Setelah didapat nilai curah hujan kala ulang 2 tahun sebesar 92,344 mm, langkah selanjutnya adalah menghitung intensitas hujan. Intensitas hujan dihitung dengan rumus mononobe karena curah hujan yang tersedia adalah curah hujan tahunan. Perhitungan intensitas hujan disajikan sebagai berikut:

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

$$I = \frac{92,344}{24} \left(\frac{24}{2} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$I = 20,167 \text{ mm/jam}$$

2. Penentuan Dimensi Pipa untuk Drainase Hujan dengan Mengacu SNI

Dimensi pipa ditentukan berdasarkan luas bidang yang terkena hujan, kemiringan pipa, dan intensitas hujan. Pipa yang digunakan untuk drainase hujan terbagi menjadi tiga, yaitu pipa horizontal, pipa vertikal, dan talang atap. Pada Modul A, modul B, mushola, dan balai warga luas bidang yang digunakan adalah luas salah satu bidang atap, sedangkan untuk balkon pada modul A luas bidang yang digunakan adalah luas bidang keseluruhan. Intensitas hujan yang digunakan adalah sebesar 20,4 mm/jam sesuai dengan perhitungan sebelumnya dan kemiringan yang direncanakan untuk pipa drainase air hujan adalah sebesar 2%. Pemilihan dimensi pipa dapat mengacu pada Tabel 2.16, Tabel 2.17, dan

Tabel 2.18 yang didasarkan pada SNI 8153-2015 tentang Sistem Plambing pada Bangunan Gedung, disajikan pada tabel berikut:

Tabel 2.28 Pemilihan Dimensi Pipa dan Talang

No	Bangunan	Luas	Kemiringan	Intensitas	Pipa Horizontal	Pipa Vertikal	Talang
		m ²	%	mm/jam	in	in	in
1	Modul A	37,53	2	20,167	3	2	3
2	Balkon A	7,68	2	20,167	3	2	
3	Modul B	74,36	2	20,167	3	2	4
4	Balai Warga	100,1	2	20,167	3	2	3
5	Mushola	85,77	2	20,167	3	2	3

3. Pembuatan Jalur dan Isometri Jaringan Air Hujan

Pembuatan jalur dan isometri untuk jaringan air hujan dibuat menggunakan bantuan program AutoCAD. Perlu diperhatikan bahwa dalam pembuatan isometri untuk jaringan hujan harus dibuat efisien dan efektif sehingga ekonomi. Gambar isometri jalur dan isometri pipa disajikan pada lampiran.

4. Perhitungan Dimensi Sumur Resapan

Perhitungan dimensi sumur resapan mengacu pada SNI 8456-2017 tentang Sumur dan Parit Resapan Air Hujan, dengan perhitungan sebagai berikut:

a. Perhitungan Debit Andil Banjir

Perhitungan debit andil banjir membutuhkan parameter intensitas hujan (I), koefisien limpasan (C), dan luas bidang tadah (A). Intensitas hujan yang diambil dihitung berdasarkan curah hujan kala ulang 2 tahun dengan durasi 2 jam, dan berdasarkan perhitungan didapat hasil sebesar 20,167 mm/jam atau 0,02017 m/jam. Sedangkan luas bidang tadah yang akan dihitung didapat dengan bantuan aplikasi AutoCAD. Adapun luasan yang berkontribusi untuk perhitungan sumur resapan adalah luas bidang taman, konblok (jalan), pos jaga, dan balai warga seperti terlampir pada tabel 2.28.

Tabel 2.29 Luasan yang Berkontribusi untuk Perhitungan Sumur Resapan

No.	Komponen	A (m ²)
1	Konblok (jalan)	1937,411
2	Taman	2186,417
3	Pos Jaga	15,448
4	Balai Warga	141,998
Total		4281,274

$$\begin{aligned} Q &= C \times I \times A_{\text{tadah}} \\ &= 0,95 \times 0,02017 \times 4281,274 \\ &= 82,025 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

b. Perhitungan Kedalaman Sumur Resapan yang Diperlukan

Sumur resapan direncanakan menggunakan buis beton sehingga tergolong sebagai sumur resapan dengan dinding kedap. Ukuran buis beton yang akan digunakan untuk sumur resapan yaitu, diameter sebesar 1 m (jari-jari sebesar 0,5 m) dan tinggi sebesar 1 m. Nilai koefisien permeabilitas tanah (K) digunakan sebesar 2 cm/jam atau sebesar 0,02 m/jam, karena keterbatasan akses ke lokasi proyek untuk mengambil sampel tanah yang diperlukan. Nilai ini juga diambil berdasarkan nilai minimum untuk permeabilitas tanah yang disarankan oleh SNI 8456-2017. Perhitungan kedalaman sumur resapan akan disajikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} H &= \frac{Q}{\omega \times \pi \times r \times k} \\ &= \frac{82,025}{2 \times \pi \times 0,5 \times 0,02} \\ &= 1305,467 \text{ m} \end{aligned}$$

c. Jumlah Sumur Resapan dan Buis Beton yang Dibutuhkan

Berdasarkan perhitungan kedalaman sumur resapan yang dibutuhkan, didapat hasil sebesar 1305,467 m untuk meresapkan air hujan menuju tanah. Muka air tanah yang diambil merupakan muka tanah yang berada di Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta karena keterbatasan akses ke lokasi proyek. Muka air tanah yang berada di Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta berkisar antara 9 hingga 11

meter (Nugroho dkk, 2019). Pada perencanaan ini akan direncanakan kedalaman sumur resapan sebesar 8 m.

$$H_{\text{perlu}} = 1305,467 \text{ m}$$

$$H_{\text{rencana}} = 8 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} n_{\text{sumur}} &= \frac{H_{\text{perlu}}}{H_{\text{rencana}}} \\ &= \frac{1305,467}{8} \\ &= 164 \text{ sumur} \end{aligned}$$

Apabila tinggi buis beton yang digunakan sebesar 1 m, maka diperlukan sebanyak:

$$\begin{aligned} \text{Jumlah buis beton yang diperlukan} &= 164 \times 8 \\ &= 1312 \text{ buah} \end{aligned}$$

Apabila dilihat, jumlah sumur resapan yang diperlukan untuk meresapkan air hujan dirasa terlalu banyak, yaitu sebanyak 164 sumur dengan kedalaman 8 m dan jumlah buis beton yang diperlukan sebanyak 1312 buah. Jumlah sumur resapan ini tidak ekonomis dan tidak efisien serta membutuhkan ruang yang besar. Tidak ekonomis dan tidak efisien dalam artian menambah biaya konstruksi. Maka sumur resapan tidak digunakan. Kebutuhan sumur resapan dalam jumlah banyak diakibatkan oleh kondisi permeabilitas tanah yang digunakan kurang cocok karena terlalu kecil untuk diterapkan sistem sumur resapan sehingga air hujan yang ada pada taman, konblok, pos jaga, dan balai warga akan dialirkan menuju saluran drainase.

5. Perhitungan Dimensi Saluran Drainase

Perhitungan dimensi drainase membutuhkan beberapa parameter hidrologi seperti intensitas hujan (I), koefisien limpasan (C), luas daerah tangkapan (A), kemiringan saluran (I), koefisien kekasaran (n), dan dimensi penampang drainase yang direncanakan (b dan h). Perhitungan dimensi drainase memerlukan proses *trial and error* hingga didapat penampang yang efisien untuk menampung debit yang terjadi. Pada perhitungan sumur resapan didapat jumlah sumur resapan yang dibutuhkan adalah sebesar 52 sumur dengan kedalaman sumur sebesar 5 m. Sumur resapan tersebut mengakomodasi luas daerah tangkapan dari taman, konblok, pos jaga, dan balai warga. Jumlah sumur

resapan tersebut terlalu banyak, sehingga luas daerah yang diakomodasi oleh sumur resapan akan dipindahkan menuju saluran drainase. Maka dari itu, luas daerah tangkapan yang akan digunakan dalam perhitungan drainase yaitu, atap modul A, atap modul B, konblok, taman, pos jaga, balai warga, dan mushola. Perhitungan dimensi drainase akan disajikan sebagai berikut:

a. Perhitungan Koefisien Limpasan dari Bidang Tadah dan Luas Bidang Tadah

Nilai koefisien limpasan (C) untuk material yang berbeda-beda dapat dihitung dengan menggunakan nilai koefisien limpasan dari masing-masing komponen dan juga luas masing-masing komponen yang ditinjau, sehingga didapat nilai koefisien limpasan (C) efektif yang dianggap mewakili kondisi aktual. Luasan bidang (A) yang berpengaruh dihitung dengan bantuan aplikasi AutoCAD, dan untuk perhitungan drainase digunakan luas bidang atap modul A, atap modul B, konblok, taman, pos jaga, balai warga, dan mushola. Perhitungan akan disajikan dalam Tabel 2.29 di bawah sebagai berikut:

Tabel 2.30 Perhitungan Koefisien Limpasan

No.	Komponen	C	A	A × C	C _{efektif}
1	Konblok	0,95	1937,411	1840,540	$= \frac{\sum A \times C}{\sum A}$ $= 0,679$
2	Taman	0,25	2186,417	546,604	
3	Pos Jaga	0,95	15,448	14,676	
4	Balai Warga	0,95	141,9976	134,898	
5	Mushola	0,95	196,4	186,580	
6	Modul A	0,95	910,28	864,766	
7	Modul B	0,95	257,8	244,910	
Total			5645,754	3832,974	

b. Perhitungan Debit Hujan Puncak yang Terjadi

Debit puncak yang terjadi dapat dihitung dengan menggunakan metode rasional. Penggunaan metode rasional dikarenakan metode ini cocok digunakan untuk menghitung drainase, dan juga merupakan persamaan debit untuk saluran terbuka. Data yang sudah diketahui yaitu, nilai koefisien limpasan (C) sebesar 0,679, intensitas hujan (I) sebesar 20,4 mm/jam, dan luas bidang tadah (A) sebesar 5645,754 m² atau sebesar 0,00565 km². Perhitungan debit dengan metode rasional akan disajikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Q &= 0,278 \times C \times I \times A \\
 Q &= 0,278 \times 0,679 \times 20,167 \times 0,00565 \\
 Q &= 0,0215 \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

c. Perhitungan Dimensi Penampang Drainase

Perhitungan dimensi penampang drainase diawali dengan menentukan lebar dan tinggi penampang asumsi. Pada prinsipnya, debit yang mampu ditampung oleh penampang harus lebih besar dari debit yang terjadi. Supaya didapat penampang yang efektif, ditetapkan besar tinggi (h) penampang adalah sebesar setengah kali lebar (b). Perhitungan lebih lanjut disajikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 I_{\text{saluran}} &= 0,02 \text{ (2\%)} \\
 n &= 0,013 \text{ (penampang dari beton)} \\
 b &= 0,2 \text{ m (asumsi)} \\
 h &= 0,5 \times b \\
 &= 0,5 \times 0,2 \\
 &= 0,1 \text{ m} \\
 A &= b \times h \\
 &= 0,2 \times 0,1 \\
 &= 0,02 \text{ m}^2 \\
 P &= b + 2h \\
 &= 0,2 + 2 \times 0,1 \\
 &= 0,4 \text{ m} \\
 R &= \frac{A}{P} \\
 &= \frac{0,02}{0,4} \\
 &= 0,05 \text{ m} \\
 v &= \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}} \\
 &= \frac{1}{0,013} \times 0,05^{\frac{2}{3}} \times 0,02^{\frac{1}{2}} \\
 &= 1,476 \text{ m/s} \\
 Q &= A \times v \\
 &= 0,02 \times 1,476 \\
 &= 0,0295 \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan, didapat hasil debit yang mampu diakomodasi penampang dengan lebar 0,2 m dan tinggi 0,1 m adalah sebesar 0,0295 m³/s. Debit yang mampu diakomodasi oleh penampang lebih besar dari pada debit hujan puncak yang terjadi yaitu sebesar 0,0217 m³/s, sehingga penampang dengan lebar 0,2 m dan tinggi 0,1 m dapat digunakan. Namun, untuk faktor keamanan, tinggi dari penampang perlu ditambah dengan tinggi jagaan, dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}h_{\text{jagaan}} &= (0,5 \times h)^{1/2} \\ &= (0,5 \times 0,1)^{1/2} \\ &= 0,224 \text{ m} \\ h + h_{\text{jagaan}} &= 0,1 + 0,224 \\ &= 0,324 \text{ m} \\ h_{\text{dipakai}} &= 0,35 \text{ m}\end{aligned}$$

Sehingga dimensi yang digunakan yaitu, lebar sebesar 0,2 m dan tinggi sebesar 0,35 m