

Analisis Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu Untuk Perancangan Dimensi Saluran Drainase (Studi Kasus Jl. Ketintang Surabaya)

Adinico Da Cruz¹, Sunik², Lila Khamelda³

^{1,2,3}Prodi Teknik Sipil - Universitas Katolik Widya Karya Malang, Indonesia

Alamat: Universitas Katolik Widya Karya Malang – Jl. Bondowoso No 2 Malang

*Korespondensi penulis: 201632001@widyakarya.ac.id

Abstract. The drainage channel located on Jalan Ketintang, Gayungan District, Surabaya, East Java, is influenced by geographical conditions, vulnerable to damage due to landslides and flooding. Along with the presence of quite high rainfall during the wet months (October - January), the problem of inundation in the form of flooding always arises in the area. To minimize flooding, it is necessary to repair the channel (capacity) periodically at certain periods. In the period of August - December 2022, channel repairs were carried out by installing a fabricated rectangular channel using U/DITCH 150/150. The purpose of this thesis is to determine the value of the design flood discharge (Q) and obtain the value of the channel dimensions that can accommodate the design flood discharge at a return period of 5 years and 10 years. The analysis in this thesis is in the form of obtaining rainfall data at 3 (three) rainfall stations, namely Perak 1, Perak 2 and Juanda rainfall stations, rainfall data using 2008 – 2022 (15 years) data, calculation of planned discharge using the Log Pearson Type III method, rainfall data testing using the Smirnov Kolmogorof, rainfall intensity using the Mononobe model, and calculation of designed flood discharge using the Nakayasu Synthetic Unit Hydrograph. The results of the analysis show that the design flood discharge obtained is $17.1 \text{ m}^3/\text{s}$ (10-year return period) and the dimensions of the planned channel are a square channel measuring $1,325 \text{ m} \times 1,325 \text{ m}$. This is in accordance with the capacity of the 150/150 U/Ditch channel installed along 945 meters which can minimize the occurrence of inundation/flooding/overflow of channels in the area because the channel has been repaired and the capacity is enlarged.

Keywords: inundation, flood discharge, channel dimensions, U-Ditch 150/150, Nakayasu Synthetic Unit Hydrograph

Abstrak. Saluran drainase yang berlokasi di Jalan Ketintang, Kecamatan Gayungan Surabaya Jawa Timur, dipengaruhi oleh keadaan geografis, rentan terhadap kerusakan akibat longsor dan banjir. Seiring dengan adanya curah hujan yang cukup tinggi saat bulan basah (Oktober – Januari), permasalahan genangan berupa banjir selalu timbul di daerah tersebut. Untuk meminimalkan genangan banjir, maka perlu adanya perbaikan saluran (kapasitas) secara berkala pada periode tertentu. Pada kisaran bulan Agustus – Desember 2022 dilakukan perbaikan saluran dengan pemasangan saluran persegi fabrikasi menggunakan U/DITCH 150/150. Tujuan Skripsi ini adalah untuk mengetahui nilai debit banjir rancangan (Q) dan mendapatkan nilai dimensi saluran yang dapat menampung debit banjir rancangan pada kala ulang 5 tahun dan 10 tahun. Analisis dalam Skripsi ini berupa perolehan data curah hujan pada 3 (tiga) stasiun hujan yaitu stasiun hujan Perak 1, Perak 2 dan Juanda, data curah hujan menggunakan data tahun 2008 – 2022 (15 tahun), perhitungan debit rencana menggunakan metode Log Pearson Tipe III, uji data hujan menggunakan Smirnov Kolmogorof, intensitas hujan menggunakan model Mononobe, dan perhitungan debit banjir rancangan menggunakan Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu. Hasil analisis menunjukkan bahwa debit banjir rancangan yang diperoleh adalah sebesar $17,1 \text{ m}^3/\text{det}$ (kala ulang 10 tahun) dan dimensi saluran rencana diperoleh saluran persegi ukuran $1,325 \text{ m} \times 1,325 \text{ m}$. Hal ini sesuai dengan kapasitas saluran U/Ditch 150/150 yang dipasang sepanjang 945 meter dapat meminimalisir terjadinya genangan/banjir/luapan saluran di daerah tersebut karena saluran sudah diperbaiki dan kapasitas diperbesar.

Kata kunci: genangan, debit banjir, dimensi saluran, U-Ditch 150/150, Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu

1. LATAR BELAKANG

Saluran drainase adalah salah satu bangunan pelengkap pada ruas jalan dalam memenuhi salah satu persyaratan teknis prasarana jalan. Saluran drainase jalan raya berfungsi untuk mengalirkan air yang dapat mengganggu pengguna jalan, sehingga badan jalan tetap kering. Pada umumnya saluran drainase jalan raya adalah saluran terbuka dengan menggunakan gaya gravitasi untuk mengalirkan air menuju *outlet*. Distribusi aliran dalam saluran drainase menuju

outlet ini mengikuti kontur jalan raya, sehingga air permukaan akan lebih mudah mengalir secara gravitasi. Drainase merupakan infrastruktur yang sangat penting bagi suatu wilayah. Secara umum, drainase merupakan bangunan air yang difungsikan untuk membuang air dari suatu tempat atau lahan sehingga kawasan tersebut dapat berfungsi dengan baik. Suatu sistem drainase yang baik haruslah mampu menampung dan mengalirkan air semaksimal mungkin agar tidak terjadi genangan atau banjir.

Musim basah selama periode Oktober – Januari merupakan rentang waktu dengan curah hujan yang sangat tinggi. Curah hujan yang tinggi di beberapa daerah seringkali menimbulkan permasalahan seperti genangan dan banjir/luapan saluran. Hal ini disebabkan kapasitas saluran (drainase) sudah tidak memenuhi/tidak mampu menampung debit air (hujan) yang melewati saluran tersebut. Selain itu adanya sampah maupun sedimen memperparah kondisi tersebut. Kondisi semacam itu juga terjadi di kota Surabaya, salah satunya yaitu di Jalan Ketintang. Kondisi geografis dan adanya pemukiman yang padat memberikan kontribusi limbah terhadap saluran (Aditiya, 2019) dan drainase yang ada di wilayah tersebut, selain itu saluran rentan terhadap kerusakan akibat longsor dan air hujan. Daya tampung saluran sudah tidak sesuai lagi untuk menampung debit air hujan yang cukup tinggi sehingga setiap musim hujan selalu terjadi luapan atau genangan yang juga mengakibatkan kemacetan lalu lintas.

Berbagai upaya telah dilakukan oleh pemerintah Surabaya untuk menanggulangi banjir di Surabaya Selatan khususnya wilayah Ketintang dalam kurun waktu beberapa tahun, namun sampai saat ini masih terlihat genangan air yang meluap dari saluran drainase yang sudah ada. Apabila curah hujan cukup tinggi di wilayah Ketintang bisa mengakibatkan genangan yang tingginya mencapai 19,83 cm dan lamanya genangan mencapai 76 menit dan luasnya mencapai 19,78 cm (Aditiya, 2019) dari data genangan tersebut maka perlu dilakukan kajian pada saluran drainase pada kawasan pemukiman Ketintang.

Jalan Ketintang, kecamatan Gayungan, Surabaya adalah daerah yang dilewati kali Surabaya yang merupakan bagian dari sungai Brantas. Sungai Brantas bercabang dua di DAM Mlirip Mojokerto, yang masuk Wilayah Kota Surabaya dinamakan Kali Surabaya dan yang masuk Porong dinamakan Kali Porong. Kali Surabaya melewati 5 (lima) kecamatan yaitu Karang Pilang, Gayungan, Dukuh Pakis, dan Wonokromo. Dari pintu air Jagir, Kali Surabaya bercabang menjadi Kali Mas yang bermuara di Pantai Utara Surabaya (kawasan Tanjung Perak) dan Kali Wonokromo yang bermuara di Wonorejo Rungkut. Kali Mas tersebut melewati 8 (delapan) kecamatan yaitu Wonokromo, Tegalsari, Gubeng, Genteng, Bubutan, Pabean Cantikan, Krembangan dan Semampir. Dan Kali Wonokromo melewati Wonokromo, Gubeng, Wonocolo, Tenggilis Mejoyo, Sukolilo dan Rungkut. Kali Surabaya berfungsi sebagai baku air

bersih, baku untuk industri, transportasi (tambangan), tempat pembuangan air dari saluran drainase. Data yang diambil dalam penelitian ini data curah hujan pada tahun 2008 sampai dengan tahun 2022 Debit Kali Surabaya maksimum terjadi pada bulan Maret sedangkan Kali Wonokromo dan Kali Mas terjadi pada bulan Mei. Untuk debit minimumnya terjadi pada Bulan Oktober untuk semua segmen. Adapun panjang dan debitnya disajikan pada Tabel 1. dan Tabel 2. di bawah ini.

Table 1. Dimensi sungai yang masuk di DAS Brantas

No	Nama Sungai	Panjang	Lebar	Kedalaman
1	Kali Surabaya	± 42 km	± 56 km	2 – 7 m
2	Kali Mas	± 13 km	± 30 km	1 – 3 m
3	Kali Wonokromo	± 11 km	± 80 km	4 – 6 m

Sumber: Perum Jasa Tirta (2008)

Tabel 2. Debit sungai yang masuk di DAS Brantas

No	Nama Bendung/Pintu Air (PA)	Nama Sungai	Debit (m ³ /s)		
			Rata	Max	Min
1	Pa. Gunungsari	K. Surabaya	26.70	48.41	11.31
2	Pa. Jagir	K. Surabaya	19.89	49.34	1.88
3	Pa. Wonokromo	K. Wonokromo	7.06	8.02	4.76
4	Bendung Karet Gubeng	Kali Mas	6.26	7.76	3.04

Sumber: Perum Jasa Tirta (2008)



Gambar 1. Pintu Air Gunungsari dan Wonokromo



Gambar 2. Pintu Air Gunungsari

2. KAJIAN TEORITIS

2.1 Parameter Perencanaan

2.1.1 Curah Hujan

Curah hujan merupakan jumlah air yang jatuh di permukaan tanah dasar selama periode tertentu yang diukur dengan satuan tinggi milimeter di atas permukaan horizontal. Dalam penjelasan lain curah hujan juga dapat diartikan sebagai ketinggian air hujan yang terkumpul dalam tempat yang datar, tidak menguap, tidak meresap, dan tidak mengalir. Indonesia merupakan negara yang memiliki angka curah hujan bervariasi dikarenakan daerahnya yang berada pada ketinggian yang berbeda-beda. Curah hujan 1 (satu) milimeter, artinya dalam luasan satu meter persegi pada tempat yang datar tertampung air setinggi satu milimeter tempat yang datar tertampung air setinggi satu milimeter atau tertampung air setinggi 1 liter (Triadmodjo, 2010).

Curah hujan yang diperlukan untuk mengetahui profil muka air sungai dan rancangan suatu drainase adalah curah hujan rata-rata diseluruh daerah yang bersangkutan, bukan curah hujan pada suatu titik tertentu. Curah hujan ini disebut curah hujan wilayah atau daerah dan dinyatakan dalam millimeter (mm). Menentukan curah hujan rerata harian maksimum daerah dilakukan berdasarkan pengamatan beberapa stasiun pencatat hujan. Perhitungan curah hujan rata-rata maksimum ini dapat menggunakan beberapa metode, diantaranya menggunakan metode Rata-Rata Hitung, Garis Isohyet, dan Polygon Thiessen.

A. Rata-rata Hitung

Cara ini menggunakan perhitungan rata-rata secara aljabar, tinggi curah hujan diambil dari harga rata-rata dari stasiun pengamatan di dalam daerah yang ditinjau.

Persamaan rata-rata aljabar:

$$D = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + d_n}{n} \quad (1)$$

Dengan:

D = Tinggi curah rata-rata (mm)

d = Tinggi curah hujan (mm)

n = Jumlah stasiun penakar hujan

B. Poligon Thiessen

Metode ini memperhitungkan bobot dari masing-masing stasiun yang mewakili luasan di sekitarnya. Pada suatu luasan di dalam DAS dianggap bahwa hujan adalah sama dengan yang terjadi pada stasiun yang terdekat, sehingga hujan yang tercatat pada suatu stasiun mewakili luasan tersebut. Metode ini digunakan apabila penyebaran stasiun hujan di daerah

yang ditinjau tidak merata. Hitungan curah hujan rerata dilakukan dengan memperhitungkan daerah pengaruh dari tiap stasiun (Triadmodjo, 2010). Metode yang dilakukan sebagai berikut:

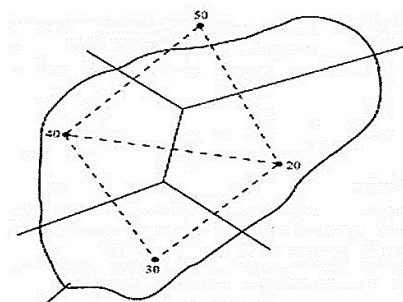
1. Stasiun pencatat hujan digambarkan pada peta DAS yang ditinjau, termasuk stasiun hujan di luar DAS yang berdekatan..
2. Stasiun-stasiun tersebut dihubungkan dengan garis lurus (garis terputus) sehingga membentuk segitiga-segitiga, yang sebaiknya mempunyai sisi dengan panjang yang kira-kira sama.
3. Dibuat garis berat pada sisi-sisi segitiga seperti ditunjukkan dengan Gambar 3.
4. Garis-garis berat tersebut membentuk poligon yang mengelilingi tiap stasiun. Tiap stasiun mewakili luasan yang dibentuk oleh poligon. Untuk stasiun yang berada di dekat batas DAS, garis batas DAS membentuk batas tertutup dari poligon.
5. Luas tiap poligon diukur dan kemudian dikalikan dengan kedalaman hujan di stasiun yang berada di dalam poligon.
6. Jumlah dari hitungan pada butir e untuk semua stasiun dibagi dengan luas daerah yang ditinjau menghasilkan hujan rerata daerah tersebut, yang dalam bentuk matematik mempunyai bentuk berikut ini.

$$\bar{P} = \frac{A_1P_1 + A_2P_2 + A_3P_3 + A_nP_n}{A_1 + A_2 + A_3} \quad (2)$$

Dengan:

$\bar{P}$ = hujan rerata kawasan

$p_1 + p_2 + p_3 + p_n$ = hujan di stasiun 1, 2, 3, ...n



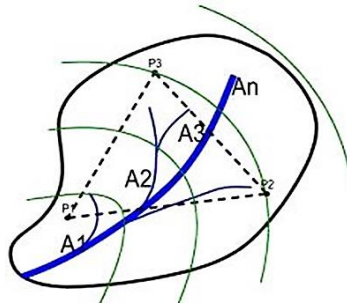
Gambar 3. Polygon Thiessen

Sumber: Triadmodjo, 2010

C. Garis Isohyet

Isohyet adalah garis yang menghubungkan titik-titik dengan kedalaman hujan yang sama. Pada metode Isohyet, dianggap bahwa hujan pada suatu daerah di antara dua garis Isohyet adalah merata dan sama dengan nilai rata-rata dari kedua garis Isohyet tersebut. Metode Isohyet merupakan cara paling teliti untuk menghitung kedalaman hujan rata-rata di suatu daerah, pada metode ini stasiun hujan harus banyak dan tersebar merata, metode Isohyet membutuhkan

pekerjaan dan perhatian yang lebih banyak dibanding dua metode lainnya (Triadmodjo, 2010). Adapun bentuk Isohyet ditampilkan dalam Gambar 4.



Gambar 4. Luasan Metode Isohyet

Sumber: Triadmodjo, 2010

Peta Isohyet digambarkan pada peta topografi dengan perbedaan (interval) 10 mm sampai 20 mm berdasarkan data curah hujan pada titik-titik pengamatan di dalam dan disekitar daerah yang dimaksud. Luas daerah antara dua garis isohiet yang berdekatan diukur dengan planimeter. Demikian pula harga rata-rata dari 20 garis-garis isohiet yang berdekatan yang termasuk bagian-bagian daerah itu dapat dihitung. Curah hujan daerah itu dapat dihitung menurut persamaan sebagai berikut:

$$P = \frac{\frac{A_1 + A_n}{2} + \frac{I_n + I_{n+1}}{2} (n-1)x^2}{A_1 + A_n} \quad (3)$$

Dengan:

P = hujan rerata kawasan

$I_1, \dots, I_n$ = garis isohyet ke 1 $n+1$

$A_1, \dots, A_n$ = luas daerah yang di batasi oleh garis isohyet ke 1, ... dan $n+1$

2.1.2 Periode Ulang

Periode ulang adalah waktu perkiraan dimana hujan dengan suatu besaran tertentu akan disamai atau dilampaui (PU SDA, 2011). Besarnya debit hujan untuk fasilitas drainase tergantung pada interval kejadian atau periode ulang yang dipakai. Dengan memilih debit dengan periode ulang yang panjang dan berarti debit hujan besar, kemungkinan terjadinya resiko kerusakan menjadi menurun, namun biaya konstruksi untuk menampung debit yang besar meningkat. Sebaliknya debit dengan periode ulang yang terlalu kecil dapat menurunkan biaya konstruksi, tetapi meningkatkan resiko kerusakan akibat banjir.

2.1.3 Curah Hujan Rencana

Hujan rencana (XT) adalah hujan dengan periode ulang tertentu (T) yang diperkirakan akan terjadi di suatu daerah pengaliran (Kamiana, 2012). Perkiraan hujan rencana dilakukan dengan analisis frekuensi terhadap data curah hujan harian rata-rata maksimum tahunan, dengan lama pengamatan sekurang-kurangnya 10 tahun terakhir dari minimal 1 (satu) stasiun

pengamatan. Setelah menentukan jenis distribusi yang sesuai makalangkah selanjutnya adalah menghitung curah hujan rencana berdasarkan jenis distribusinya.

Pada situasi tertentu, walaupun data yang diperkirakan mengikuti distribusi sudah dikonversi kedalam bentuk logaritmis, ternyata kedekatan antara data dan teori tidak cukup kuat untuk menyimpulkan pemakaian distribusi Log-Normal (Suripin, 2004). Person telah mengembangkan serangkaian fungsi probabilitas yang dapat dipakai untuk hampir semua distribusi probabilitas empiris. Tidak seperti konsep yang melatar belakangi pemakaian distribusi Log-Normal untuk banjir puncak, maka distribusi probabilitas ini hampir tidak berbasis teori. Distribusi ini masih tetap dipakai karena fleksibilitasnya (Suripin, 2004). Ada tiga parameter penting dalam Log-Person III, yaitu harga rata-rata, simpangan baku, dan koefisien kemencengan. Yang menarik, jika koefisien kemencengan sama dengan nol, distribusi kembali ke distribusi Log-Normal (Suripin, 2004). Adapun perhitungan berdasarkan jenis distribusi hujan dapat menggunakan metode Distribusi *Log Pearson* Tipe III, Gumbel, Normal, Log Normal.

A. Distribusi *Log Pearson* III

Salah satu jenis distribusi perhitungan curah hujan rencana yang sering digunakan adalah *Log Pearson* III. Dalam perhitungan hujan rencana menggunakan distribusi *Log Pearson* III dilakukan dengan menggunakan rumus berikut:

$$\text{Log } X_T = \overline{\text{Log } X} + K_T \times S \text{ Log } X \quad (4)$$

Dengan:

$\text{Log } X_T$ = nilai logaritmis hujan rencana dengan periode ulang T.

$\overline{\text{Log } X}$ = nilai rata-rata hujan dalam skala logaritma

$S \text{ Log } X$ = standar deviasi dalam skala logaritma

K_T = faktor frekuensi

Untuk menentukan nilai faktor frekuensi berdasarkan Periode Ulang dan nilai skewness (C_s) dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. *Log Pearson* Tipe III

C_s	Interval Kejadian (Periode Ulang)							
	1,0101	1,2500	2	5	10	25	50	100
	Persentase Perluang Terlampaui							
	99	80	50	20	10	4	2	1
3,0	-0,667	-0,636	-0,396	0,420	1,180	2,278	3,152	4,051
2,8	-0,714	-0,666	-0,384	0,460	1,210	2,275	3,114	3,973
2,6	-0,769	-0,696	-0,368	0,499	1,238	2,267	3,071	2,889
2,4	-0,832	-0,725	-0,351	0,537	1,262	2,256	3,023	3,800
2,2	-0,905	-0,752	-0,330	0,574	1,284	2,240	2,970	3,705
2,0	-0,990	-0,777	-0,307	0,609	1,302	2,219	2,892	3,605
1,8	-1,087	-0,799	-0,282	0,643	1,318	2,193	2,848	3,499
1,6	-1,197	-0,817	-0,254	0,675	1,329	2,163	2,780	3,388

1,4	-1,318	-0,832	-0,225	0,705	1,337	2,128	2,706	3,271
1,2	-1,449	-0,844	-0,195	0,732	1,340	2,087	2,626	3,149
1,0	-1,588	-0,852	-0,164	0,758	1,340	2,043	2,542	3,022
0,8	-1,733	-0,856	-0,132	0,780	1,336	1,993	2,453	2,891
0,6	-1,880	-0,857	-0,099	0,800	1,328	1,939	2,359	2,755
0,4	-2,029	-0,855	-0,066	0,816	1,317	1,880	2,261	2,615
0,2	-2,178	-0,850	-0,033	0,830	1,301	1,818	2,159	2,472
0,0	-2,326	-0,842	0,000	0,842	1,282	1,751	2,051	2,326
-0,2	-2,472	-0,830	0,033	0,850	1,258	1,680	1,945	2,178
-0,4	-2,615	-0,816	0,066	0,855	1,231	1,606	1,834	2,029
-0,6	-2,755	-0,800	0,099	0,857	1,200	1,528	1,720	1,880
-0,8	-2,891	-0,780	0,132	0,856	1,166	1,448	1,606	1,733
-1,0	-3,022	-0,758	0,164	0,852	1,128	1,366	1,492	1,588
-1,2	-2,149	-0,732	0,195	0,844	1,086	1,282	1,379	1,449
-1,4	-2,271	-0,705	0,225	0,832	1,041	1,198	1,270	1,318
-1,6	-2,388	-0,675	0,254	0,817	0,994	1,116	1,166	1,197
-1,8	-3,499	-0,643	0,282	0,799	0,945	1,035	1,069	1,087
-2,0	-3,605	-0,609	0,307	0,777	0,895	0,959	0,980	0,990
-2,2	-3,705	-0,574	0,330	0,752	0,844	0,888	0,900	0,905
-2,4	-3,800	-0,537	0,351	0,725	0,795	0,823	0,830	0,832
-2,6	-3,889	-0,490	0,368	0,696	0,747	0,764	0,768	0,769
-2,8	-3,973	-0,469	0,384	0,666	0,702	0,712	0,714	0,714
-3,0	-7,051	-0,420	0,396	0,636	0,660	0,666	0,666	0,667

Sumber: Suripin, 2004

B. Distribusi Gumbel

Dalam perhitungan hujan rencana menggunakan distribusi Gumbel dilakukan dengan menggunakan rumus berikut:

$$X_T = \bar{X} + S \times K \quad (5)$$

Dengan:

X_T = Hujan rencana dengan periode ulang T.

$\bar{X}$ = Nilai rata-rata hujan dari data hujan (X).

S = Standar deviasi dari data hujan (X)

$K = \frac{Y_t Y_n}{s_n}$ (faktor frekuensi Gumbel)

$Y_t = \text{Ln} - \text{Ln} \frac{T-1}{T}$ (nilai Y_t ditentukan berdasarkan tabel)

S_n = *reduced standard deviation* yang bisa ditentukan berdasarkan tabel 5.

Y_n = *reduced mean* yang bisa ditentukan berdasarkan tabel 5.

Tabel 4. Distribusi Gumbel

Periode ulang T	Y_t
2	0.3065
5	1.4999
10	2.2504
20	2.9702
25	3.1255
50	3.9019
100	4.6001

Sumber: Kamiana, 2012

Standar deviasi atau simpangan baku adalah persebaran data pada suatu sampel untuk melihat seberapa jauh atau seberapa dekat nilai data dengan rata-ratanya. Standar deviasi pertama kali ditemukan oleh Karl Pearson pada tahun 1894 (buku: *On the Dissection of Asymmetrical Frequency Curves*).

Tabel 5. Reduced Standard Deviation (Sn) dan Reduced Mean (Yn)

N	Sn	Yn	N	Sn	Yn
10	0.9497	0.4952	60	1.1750	0.5521
15	1.0210	0.5128	70	1.1850	0.5548
20	1.0630	0.5236	80	1.1940	0.5567
25	1.0910	0.5390	90	1.2010	0.5586
30	1.1120	0.5362	100	1.2060	0.5600
35	1.1280	0.5403	200	1.2360	0.5672
40	1.1410	0.5436	500	1.2590	0.5724
45	1.1520	0.5463	1000	1.2690	0.5745
50	1.1610	0.5485			

Sumber: Kamiana, 2012

C. Distribusi Normal

Dalam perhitungan hujan rencana menggunakan distribusi Normal dilakukan dengan menggunakan rumus berikut:

$$X_T = \bar{x} + S \times K_T \quad (6)$$

Dimana:

X_T = hujan rencana dengan periode ulang T

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

S = standard deviasi dari data hujan (X)

K_T = faktor frekuensi, nilai T berdasarkan tabel 6.

Tabel 6. Distribusi Normal

z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0.3989	0.3989	0.3989	0.3988	0.3986	0.3984	0.3982	0.398	0.3977	0.3973
0.1	0.397	0.3965	0.3961	0.3956	0.3951	0.3945	0.3939	0.3932	0.3925	0.3918
0.2	0.391	0.3902	0.3894	0.3885	0.3876	0.3867	0.3857	0.3847	0.3836	0.3825
0.3	0.3814	0.3802	0.379	0.3778	0.3765	0.3752	0.3739	0.3725	0.3712	0.3697
0.4	0.3683	0.3668	0.3653	0.3637	0.3621	0.3605	0.3589	0.3572	0.3555	0.3538
0.5	0.3521	0.3503	0.3485	0.3467	0.3448	0.3429	0.341	0.3391	0.3372	0.3352
0.6	0.3332	0.3312	0.3292	0.3271	0.3251	0.323	0.3209	0.3187	0.3166	0.3144
0.7	0.3123	0.3101	0.3079	0.3056	0.3034	0.3011	0.2989	0.2966	0.2943	0.292
0.8	0.2897	0.2874	0.285	0.2827	0.2803	0.278	0.2756	0.2732	0.2709	0.2685
0.9	0.2661	0.2637	0.2613	0.2589	0.2565	0.2541	0.2516	0.2492	0.2468	0.2444
1	0.242	0.2396	0.2371	0.2347	0.2323	0.2299	0.2275	0.2251	0.2227	0.2203
1.1	0.2179	0.2155	0.2131	0.2107	0.2083	0.2059	0.2036	0.2012	0.1989	0.1965
1.2	0.1942	0.1919	0.1895	0.1872	0.1849	0.1826	0.1804	0.1781	0.1758	0.1736
1.3	0.1714	0.1691	0.1669	0.1647	0.1626	0.1604	0.1582	0.1561	0.1539	0.1518
1.4	0.1497	0.1476	0.1456	0.1435	0.1415	0.1394	0.1374	0.1354	0.1334	0.1315
1.5	0.1295	0.1276	0.1257	0.1238	0.1219	0.12	0.1182	0.1163	0.1145	0.1127

D. Distribusi Log Normal

Dalam perhitungan hujan rencana menggunakan distribusi Log Normal dilakukan dengan menggunakan rumus yang sama dengan persamaan (4)

2.1.4 Uji Validitas Frekuensi Curah Hujan

Untuk dapat memperoleh hujan rancangan, diperlukan jenis distribusi yang sesuai dengan sifat statistik data sehingga diperlukan pengujian yakni pengujian dengan Chi-Kuadrat dan Smirnov Kolmogorov. Diperlukan kertas probabilitas untuk melakukan pengujian Smirnov Kolmogorov. Skala ordinat dan absis dari kertas probabilitas dibuat sedemikian rupa sehingga data yang digambarkan diharapkan tampak mendekati garis lurus. Berdasarkan data yang sudah digambarkan kemudian dibuat garis teoritis yang mendekati titik-titik data. Ada tiga macam kertas probabilitas yaitu kertas probabilitas normal, log normal (bisa juga digunakan untuk distribusi *Log Pearson III*) dan Gumbel. Dalam kertas probabilitas tersebut, absis menunjukkan probabilitas sedangkan ordinatnya menunjukkan nilai besaran hujan

A. Uji Chi-Kuadrat

Uji Chi-kuadrat dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi yang telah dipilih dapat mewakili distribusi statistik sampel data yang di analisis. Pengambilan keputusan uji ini menggunakan parameter χ^2 .

Setelah dilakukan pengujian ChiKuadrat, semua distribusi dapat diterima. Namun, yang paling baik untuk menganalisis seri data hujan adalah Distribusi Probabilitas Log Normal karena selain memiliki nilai χ^2 .

B. Uji Smirnov Kolmogorov

Metode Smirnov-Kolmogorov merupakan prosedur yang pada dasarnya mencakup perbandingan antara probabilitas kumulatif lapangan dan distribusi kumulatif fungsi yang ditinjau. Sampel yang berukuran N, diatur dengan urutan yang meningkat. Dari data yang diatur akan membentuk suatu fungsi frekuensi kumulatif tangga. Prosedur pengujian Smirnov-Kolmogorov adalah sebagai berikut:

- a. Urutkan data (dari besar ke kecil atau sebaliknya) dan tentukan besarnya peluang dari masing-masing data tersebut:
$$\begin{array}{lll} X_1 & \geq & P(X_1) \\ X_2 & \geq & P(X_2) \\ X_N & \geq & P(X_N) \end{array}$$
- b. Tentukan nilai masing-masing peluang teoritis dari hasil penggambaran data.
$$\begin{array}{lll} X_1 & \geq & P'(X_1) \\ X_2 & \geq & P'(X_2) \\ X_N & \geq & P'(X_N) \end{array}$$
- c. Dari kedua nilai peluang tersebut tentukan selisih terbesar antara peluang
- d. Berdasarkan Tabel Nilai Kritis (Smirnov Kolmogorov Test) tentukan nilai D_o .

2.1.5 Intensitas Hujan Jam-Jaman

(Suroso, 2006) menyatakan bahwa intensitas curah hujan adalah ketinggian curah hujan yang terjadi pada suatu kurun waktu di mana air tersebut terkonsentrasi, dengan satuan mm/jam. Intensitas hujan adalah tinggi atau kedalaman air hujan persatuan waktu. Sifat umum hujan adalah makin singkat hujan berlangsung intensitasnya cenderung makin tinggi dan makin besar periode ulangnya makin tinggi pula intensitasnya. Intensitas hujan diperoleh dengan cara melakukan analisis data hujan baik secara statistic maupun secara empiris. Biasanya intensitas hujan dihubungkan dengan durasi hujan jangka pendek misalnya 5 menit, 30 menit, 60 menit dan jam jaman. Data curah hujan jangka pendek ini hanya dapat diperoleh dengan menggunakan alat pencatat hujan otomatis. Apa bila data hujan jangka pendek tidak tersedia, yang ada hanya data hujan harian, maka intensitas hujan dapat dihitung dengan rumus Mononobe.

$$I = \left(\frac{R_{24}}{24} \right) \left(\frac{24}{t} \right)^{2/3} \quad (7)$$

dengan:

I = Intensitas hujan (mm/jam)

t = lamanya hujan (jam)

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

Jika data yang tersedia adalah data hujan jangka pendek dapat dihitung dengan menggunakan rumus Talbot:

$$I = \frac{a}{tc+b} \quad (8)$$

Dengan:

I = intensitas hujan (mm/jam)

t = lamanya hujan (jam)

a dan b = konstanta yang tergantung pada lamanya hujan yang terjadi di DAS.

(Kirpich, 1940) dalam (Suripin, 2004) mengembangkan rumus dalam memperkirakan waktu konsentrasi, dimana dalam hal ini durasi hujan diasumsikan sama dengan waktu konsentrasi. Rumus waktu konsentrasi tersebut dapat ditulis sebagai berikut:

$$tc = \left(\frac{0,87.L^2}{1000.S_0} \right)^{0,385} \quad (9)$$

dengan:

Tc = waktu konsentrasi (jam)

L = panjang saluran utama dari hulu sampai penguras (km)

So = kemiringan rata-rata saluran

2.1.6 Curah Hujan Efektif Jam-Jaman

Hujan efektif adalah nilai hujan yang telah dikurangi oleh *abstraction* (kehilangan). Hujan efektif ini adalah curah hujan total yang menghasilkan limpasan langsung (*direct run-off*). Limpasan langsung ini terdiri dari limpasan permukaan (*surface run-off*) dan aliran antara atau *interflow* (air yang masuk ke dalam lapisan tipis dibawah permukaan tanah dengan permeabilitas rendah, yang keluar lagi di tempat yang rendah dan berubah menjadi limpasan permukaan). Ada beberapa metode yang umum digunakan, di antaranya perhitungan infiltrasi Horton, metode pengaliran hujan total dengan koefisien pengaliran (C), dan SCS *method for abstraction*.

Metode SCS berusaha mengkaitkan karakteristik DAS seperti tanah, vegetasi, dan tata guna lahan dengan bilangan kurva air larian CN (*run off curve number*) yang menunjukkan potensi air larian untuk curah hujan tertentu. Metode CN didasarkan atas hubungan infiltrasi pada setiap jenis tanah dengan jumlah curah hujan yang jatuh pada setiap kali hujan. Total curah yang jatuh pada setiap hujan (P) di atas tanah dengan potensi maksimal tanah untuk menahan (*retention*) air (S) tertentu, akan terbagi menjadi tiga komponen; Air larian (Q), Infiltrasi (F) dan Abstraksi awal (*Initial Abstraction: Ia*) (Chow, 1988)

2.1.7 Hidrograf Satuan Sintetik

Soemarto (1999) berpendapat bahwa Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu dikembangkan berdasarkan beberapa sungai di Jepang. HSS Nakayasu merupakan suatu cara untuk mendapatkan hidrograf banjir rancangan suatu DAS. Hidrograf satuan sintetik Nakayasu dikembangkan berdasarkan beberapa sungai di Jepang (Soemarto, 1999). Penggunaan metode ini memerlukan beberapa karakteristik parameter daerah alirannya, seperti:

1. Tenggang waktu dari permukaan hujan sampai puncak hidrograf. Tenggang waktu dari titik berat hujan sampai titik berat hidrograf .
2. Tenggang waktu hidrograf (*time base of hydrograph*)
3. Luas daerah aliran sungai
4. Panjang alur sungai utama terpanjang (*length of the longest channel*) Bentuk persamaan HSS persamaan Nakayasu adalah:

$$Q_p = \frac{CA.R_o}{3,6(0,3T_p+T_{0,3})} \quad (10)$$

Dengan:

Q_p = debit puncak banjir (m^3/dt)

R_o = hujan satuan (mm)

T_p = tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir (jam)

$T_{0,3}$ = waktu yang diperlukan oleh penurunan debit, dari puncak sampai 30% dari debit puncak (jam)

CA = luas daerah pengaliran sampai *outlet* (km²)

Untuk menentukan T_p dan $T_{0,3}$ digunakan pendekatan rumus sebagai berikut:

$$T_p = t_g + 0,8 t_r \quad (11)$$

$$T_{0,3} = a \cdot g \quad (12)$$

$$t_r = 0,5 t_g \text{ sampai } t_g \quad (13)$$

[t_g] adalah *time lag* yaitu waktu antara hujan sampai debit puncak banjir (jam). [t_g] dihitung dengan ketentuan sebagai berikut:

- Sungai dengan panjang alur $L > 15$ km : $t_g = 0,4 + 0,058 L$
- Sungai dengan panjang alur $L < 15$ km : $t_g = 0,21 L^{0,7}$

Perhitungan $T_{0,3}$ menggunakan ketentuan:

$\alpha = 2$ pada daerah pengaliran biasa

$\alpha = 1,5$ pada bagian naik hidrograf lambat, dan turun cepat

$\alpha = 3$ pada bagian naik hidrograf cepat, dan turun lambat

$$\alpha = \frac{0,47(A \cdot L^{0,25})}{t_g}$$

Bentuk hidrograf satuan diberikan oleh persamaan berikut:

- Pada waktu naik: $0 < t < T_p$

$$Q_a = (t/T_p)^{2,4} \quad (14)$$

dengan Q_a adalah limpasan sebelum mencapai debit puncak (m³/dt)

- Pada kurva turun (*decreasing limb*)

- Selain nilai: $0 \leq t \leq (T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3})$

$$Q_{d1} = Q_p \cdot 0,3^{\frac{t-t_p}{T_{0,3}}} \quad (15)$$

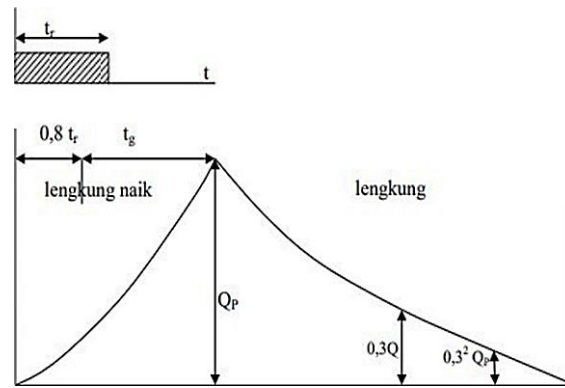
- Selain nilai $t > (T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3})$

$$Q_{d2} = Q_p \cdot 0,3^{\frac{t-T_p+0,5T_{0,3}}{1,5T_{0,3}}} \quad (16)$$

- Selain nilai $t > (T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3})$

$$Q_{d3} = Q_p \cdot 0,3^{\frac{t-T_p+0,5T_{0,3}}{3T_{0,3}}} \quad (17)$$

Dari hasil perhitungan hidrograf diperoleh debit puncak, yang kemudian digunakan untuk mencari kedalaman air yang menyebabkan aliran debris.



Gambar 5. Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu (Sumber: (Triadmodjo, 2010))

Debit Q pada suatu penampang saluran untuk sebaran aliran dinyatakan dengan:

$$Q = V \cdot A \quad (18)$$

Dengan:

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (19)$$

Dengan:

n = koefisien kekasaran manning,

R = jari-jari hidraulik (m),

S = kemiringan saluran,

A = luas penampang saluran

Pada analisis menggunakan metode HSS Nakayasu diperlukan parameter α (alfa) dan nilainya ditentukan. Parameter α (alfa) merupakan karakteristik dari suatu DAS. Kriteria parameter α (alfa) pada HSS nakayasu adalah:

$\alpha = 2 \Rightarrow$ Pada daerah pengaliran biasa

$\alpha = 1,5 \Rightarrow$ Pada bagian naik hidrograf lambat, dan turun cepat

$\alpha = 3 \Rightarrow$ Pada bagian naik hidrograf cepat, turun lambat

Cara mendapatkan nilai α (alfa) yang sesuai dengai karakteristik DAS maka perlu dilakukan kalibrasi dengan kondisi dan data dari lokasi studi (data debit). Dilakukan dengan coba-coba nilai α hingga total volume hidrograf satuan metode Nakayasu sama dengan total volume hidrograf satuan pengamatan dan memiliki selisih nilai Q_p terkecil. Ketepatan nilai parameter α (alfa) diharapkan dapat membantu dalam analisis banjir rancangan, sehingga dalam perencanaan desain bangunan air dapat efektif dan efisien.

2.2 Dimensi Saluran

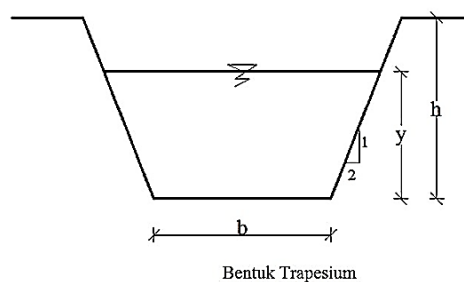
Debit aliran saluran yang sama dengan debit akibat hujan, harus dialirkan pada saluran bentuk, bentuk trapezium bentik persegi panjang, dan bentuk lingkaran untuk drainase muka tanah (surface drainage). 3 (tiga) macam bentuk saluran adalah sebagai berikut: Metode Isohyet

merupakan cara paling teliti untuk menghitung kedalaman hujan rata-rata di suatu daerah, pada metode ini stasiun hujan harus banyak dan tersebar merata, metode Isohyet membutuhkan pekerjaan dan perhatian yang lebih banyak dibanding dua metode lainnya (Bambang, 2008).

Curah hujan dapat dihitung dengan persamaan berikut ini:

1. Bentuk Trapesium

Pada umumnya saluran air drainase memiliki bentuk trapesium yang terbuat dari tanah. Namun, tidak menutup kemungkinan dapat dibuat dari pasangan batu dan beton. Bentuk trapesium tersebut berfungsi untuk menampung dan menyalurkan limpasan air hujan yang memiliki debit yang besar.



Gambar 6. Saluran Berbentuk Trapesium

2. Bentuk Lingkaran

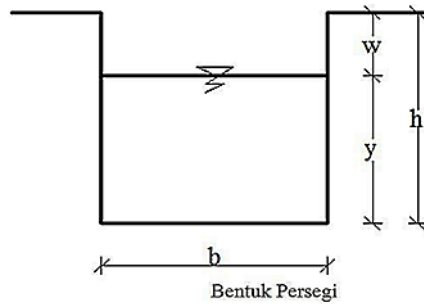
Gorong-gorong adalah suatu konstruksi bangunan yang berbentuk terowongan yang ada pada saluran drainase tertutup. Bangunan ini berfungsi sebagai jalur aliran air melewati bawah jalan, jalan kereta api, maupun timbunan lainnya menuju ke pembuangan air utama.



Gambar 7. Saluran berbentuk lingkaran

3. Bentuk Persegi

Saat ini pembuatan saluran air sistem Drainase sering menggunakan beton berbentuk persegi. Saluran berbentuk persegi ini biasa terbuat dari pasangan batu dan beton. Menampung dan menyalurkan limpasan air hujan dengan debit yang besar menjadi fungsi utama dari saluran air bentuk persegi ini.



Gambar 8. Saluran berbentuk persegi

2.3 Saluran Fabrikasi (*U-Ditch*)

Saluran (beton pracetak atau) berbentuk penampang U dikenal dengan nama umum *U-ditch*. Terbuat dari bahan utama beton *readymix* dan diperkuat dengan tulangan tarik, dengan proses produksi wetcast (menggunakan bahan beton konvensional), umumnya diproduksi di pabrik. Produk *U-Ditch* adalah pilihan dari beberapa metoda pekerjaan saluran, misalnya saluran terbuat dari pasangan batu kali, pasangan batu bata, atau bahkan *protection* dari beton *lining* atau *sheet pile*. Penggunaan produk *U-ditch* difungsikan sebagai saluran terbuka, dan dapat difungsikan pada lokasi yang terbatas (sempit) ataupun maupun lokasi yang luas, ditempatkan di lokasi fasum atau tanah kosong atau tidak di lokasi utilitas misalnya samping bangunan, samping pagar, pada bahu jalan.

Pada pekerjaan konstruksi jalan, selain item pekerjaan perkerasan, terdapat juga item pekerjaan saluran drainase. Saluran drainase berfungsi untuk membuang dan mengalirkan air dari badan jalan agar tidak menggenang dan merusak struktur perkerasan jalan. Umumnya saluran drainase berupa pasangan batu. Semakin berkembangnya waktu dan teknologi, konstruksi saluran drainase menjadi lebih mudah dan cepat dengan menggunakan beton pracetak, salah satunya *U-Ditch*. *U-Ditch* merupakan produk beton pracetak yang dibuat menyerupai huruf U dilengkapi dengan tulangan atau *wiremesh* dan dicor menggunakan beton mutu tinggi. Dimensi dari *U-Ditch* dapat disesuaikan dengan kebutuhan di lapangan dan debit air yang harus dialirkan. *U-Ditch* dapat dipasang baik dengan maupun tanpa tutup. Jenis tutup *U-Ditch* dibedakan menjadi *heavy duty* (biasanya digunakan pada area yang kerap dilewati kendaraan berat) dan *light duty* (dipasang pada sisi jalan, trotoar, atau untuk pejalan kaki).

Secara umum penggunaan *U-Ditch* untuk saluran drainase memiliki kelebihan sebagai berikut:

1. Mutu terjamin karena proses fabrikasi dilakukan di pabrik beton pracetak
2. Penggunaan beton dengan mutu tinggi sehingga bentuk dan ketebalannya lebih ringkas dan sederhana

3. Proses pemasangan dapat dilakukan lebih cepat sehingga tidak terlalu lama mengganggu arus lalu lintas selama masa konstruksi
4. *Finishing* yang halus dan rata sehingga menambah estetika dan langsung dapat dimanfaatkan.

2.4 Saluran Drainase

Drainase merupakan salah satu fasilitas dasar yang dirancang sebagai sistem guna memenuhi kebutuhan masyarakat dan merupakan komponen penting dalam perencanaan kota (perencanaan infrastruktur khususnya). Menurut Suripin dalam bukunya yang berjudul Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan, drainase mempunyai arti mengalirkan, menguras, membuang, atau mengalihkan air. Secara umum, drainase didefinisikan sebagai serangkaian bangunan air yang berfungsi untuk mengurangi dan atau membuang kelebihan air dari suatu kawasan atau lahan, sehingga lahan dapat difungsikan secara optimal. Drainase juga diartikan sebagai usaha untuk mengontrol kualitas air tanah dalam kaitannya dengan sanitasi. Jadi, drainase menyangkut tidak hanya air permukaan tapi juga air tanah.

Drainase yaitu suatu cara pembuangan kelebihan air yang tidak diinginkan pada suatu daerah, serta cara-cara penanggulangan akibat yang ditimbulkan oleh kelebihan air tersebut. Dari sudut pandang yang lain, drainase adalah salah satu unsur dari prasarana umum yang dibutuhkan masyarakat kota dalam rangka menuju kehidupan kota yang aman, nyaman, bersih, dan sehat. Prasarana drainase disini berfungsi untuk mengalirkan air permukaan ke badan air (sumber air permukaan dan bawah permukaan tanah) dan atau bangunan 6 resapan. Selain itu juga berfungsi sebagai pengendali kebutuhan air permukaan dengan tindakan untuk memperbaiki daerah becek, genangan air dan banjir Kegunaan dengan adanya saluran drainase ini antara lain (Suripin, 20013):

1. Mengeringkan genangan air sehingga tidak ada akumulasi air tanah.
2. Menurunkan permukaan air tanah pada tingkat yang ideal.
3. Mengendalikan erosi tanah, kerusakan jalan dan bangunan yang ada.
4. Mengendalikan air hujan yang berlebihan sehingga tidak terjadi bencana banjir.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif yang menggunakan data sekunder (data curah hujan tahun 2008 – 2022) dan menganalisis debit, kapasitas, dimensi saluran dan aplikasi penggunaan *U-Ditch* 150/150 sebagai alternatif pasangan saluran untuk mengatasi genangan di Jalan Ketintang, Surabaya.

3.2 Objek Penelitian

Obyek penelitian yaitu jaringan drainase di sekitar wilayah Jalan Ketintang sisi sebelah Barat, Surabaya. Jalan Ketintang ini terletak di kecamatan Gayungan, dan sungai yang melewati wilayah ini adalah Kali Surabaya (panjang sungai = 42 km). Yang diteliti adalah pasangan *U-Ditch* fabrikasi ukuran 150 x 150.



Gambar 9. Jaringan drainase Jl. Ketintang sisi Barat
Sumber: Google Earth

3.3 Pengumpulan Data

Pengumpulan data adalah cara yang digunakan oleh peneliti untuk mengumpulkan data. Data tersebut diperoleh melalui;

1. Peninjauan lapangan (survei) ini bertujuan untuk memperoleh gambaran dan data yang berhubungan dengan kondisi fisik obyek penelitian berupa kondisi fisik saluran drainase. Yang termasuk data yang diperoleh saat survey adalah lokasi genangan, batas genangan, kondisi pemukiman yang padat penduduk, kondisi topografi Jalan Ketintang sisi Barat, kondisi saluran sepanjang 945 meter (terdapat kondisi yang rusak pada saluran tersebut akibat usia guna).
2. Data sekunder, yaitu data curah hujan tahun 2012 – 2022, diperoleh dari stasiun hujan di wilayah Perak I, Perak II dan Juanda. Adapun kisaran data curah hujan pada tahun tersebut minimum = 117,2 mm dan maksimum = 248,2 mm.

3.4 Pengolahan Data

Pengolahan data dalam penelitian ini menggunakan program bantu sederhana yaitu excel. Adapun yang diolah adalah:

1. Curah Hujan
2. Curah Hujan Rencana
3. Periode Ulang
4. Uji Validitas Frekuensi Curah Hujan
5. Intensitas Hujan Jam-Jaman
6. Curah Hujan Efektif Jam-Jaman
7. Debit Banjir Hidrograf Satuan Sintetik

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. HASIL

4.1.1 Curah Hujan

Data curah hujan yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data hujan jam-jaman pada stasiun hujan Perak I, Perak II, dan Juanda, Surabaya. Data hujan tersebut didapat dari hasil pengamatan pada masing-masing pos hujan, sehingga menghasilkan data curah hujan titik (point rainfall). Pengamatan data hujan dilakukan setiap hari setiap bulan (30 harian). Data hujan mulai bulan Januari – Desember selama 30 hari dicatat dan dihitung reratanya. Digunakan data mulai tahun 2008 – 2022 (15 tahun). Adapun Tabel 7., Tabel 8. dan Tabel 9. menampilkan data curah hujan maksimum yang tercatat.

Tabel 7. Curah Hujan Maksimum Stasiun Hujan Perak I

No	DATA CURAH HUJAN TAHUNAN MAKSIMUM													
	PERAK 1	JANUARI	FEBUARI	MARET	APRIL	MEI	JUNI	JULI	AGUSTUS	SEPTEMBER	OKTOBER	NOVEMBER	DESEMBER	RERATA
1	2008	199	180	247	68	33	17	0	7	0	73	166	376	114
2	2009	376	371	216	122	58	50	0	0	0	0	128	22	112
3	2010	298	434	322	94	147	58	66	30	156	252	94	312	189
4	2011	123	174	461	275	70	28	0	0	0	23	200	356	143
5	2012	499	274	315	60.3	70.6	3.1	0	0	0	57.3	49	215	129
6	2013	649	197	197	141	179	235	91	0	0	6	80	371	179
7	2014	302	266	251	253	51	68	6	0	0	8	70	337	134
8	2015	503	330	291	169	96.1	0.2	0	0	0	0	167.9	134.8	141
9	2016	288.8	427	154.3	181.8	289.3	76.1	76.7	55.5	82.5	170.4	190.1	384.1	198
10	2017	240.25	325.75	180.05	112.9	146.7	50.8	38.35	50.35	41.25	85.2	168.95	299.3	145
11	2018	191.7	224.5	205.8	44	4.1	25.5	0	45.2	0	0	147.8	214.5	92
12	2019	398.3	316.5	183.5	290.2	18.2	0	1.7	0	0	0	16.8	730.3	163
13	2020	182.7	485.2	384.8	467.5	96.2	29.6	14.7	23.1	0	68.2	103.9	532.9	199
14	2021	349.4	599.3	392.8	82.5	75.3	64.2	1.5	2.3	60.3	10.8	233.4	481.1	196
15	2022	264.7	426.9	360.3	98.6	104.9	98.2	12.4	1.3	0.6	288	423.3	190.1	189

Sumber: Kota Surabaya dalam angka (2008 – 2022)

Tabel 8. Curah Hujan Maksimum Stasiun Hujan Perak II

No	DATA CURAH HUJAN TAHUNAN MAKSIMUM													
	PERAK 2	JANUARI	FEBUARI	MARET	APRIL	MEI	JUNI	JULI	AGUSTUS	SEPTEMBER	OKTOBER	NOVEMBER	DESEMBER	RERATA
1	2008	158.6	194.2	276.8	84.6	35	24	1.4	0	0	80.8	121.4	343.8	110
2	2009	334.7	458.5	160.8	98.4	87.4	96	0	3.2	0	0	78.2	152.6	122
3	2010	303.2	402.8	216.2	320.5	129.7	53.2	39.7	48.5	88.4	238.8	73	286.2	183
4	2011	174.5	172.5	375	252.3	78.9	21.3	1.6	0	0	28	181.5	510.2	150
5	2012	312.1	212.5	311.4	43.7	75	43	0	0	0	49.8	82.9	317.9	121
6	2013	477.7	276.6	322.4	189.4	159.4	240.4	103	0	0	4.6	90.3	229.8	174
7	2014	272.1	335.6	186	245.9	54.8	47.7	4	4.8	0	0.4	69	284.7	125
8	2015	436.6	293.5	243.8	133	109.7	0.7	0	0	0	0	130.2	184.8	128
9	2016	284.1	409.3	163.1	129.6	358.8	136.8	90.1	38.2	102	161.5	117.9	358.8	196
10	2017	366.3	248.5	244	102.1	157.9	91.5	22.4	0	11.3	26.6	326.6	291.1	157
11	2018	243.2	245.8	279.6	62.8	3.7	14.9	0	28.5	0	1.2	146.3	146.3	98
12	2019	381	339	227.3	288.2	5.6	0	0	0	0	0	25.1	381	137

13	2020	209.1	475.8	348.5	327.2	91.1	31.5	21.7	14	0	121.9	133.4	275.1	171
14	2021	323.9	469.6	278.6	45.3	125.6	78.5	99.99	1.9	88.5	15.8	147.5	484.7	180
15	2022	373.5	486.4	301.1	131.4	82.7	206.3	17	36.9	107	132.8	367.3	214.6	205

Sumber: Kota Surabaya dalam angka (2008 – 2022)

Tabel 9. Curah Hujan Maksimum Stasiun Hujan Juanda

No	DATA CURAH HUJAN TAHUNAN MAKSIMUM													
	JUANDA	JANUARI	FEBUARI	MARET	APRIL	MEI	JUNI	JULI	AGUSTUS	SEPTEMBER	OKTOBER	NOVEMBER	DESEMBER	RERATA
1	2008	255.6	209.1	249.5	136.4	22.1	3.7	0	0	0	48.9	205.3	372.3	125
2	2009	404.9	652.5	120.8	140.8	360.1	109.6	0.6	0	0	0	26.7	711	211
3	2010	581.7	487.6	313.5	140.8	373.8	91.9	135.8	16	129	269.2	140.8	214.9	241
4	2011	230.5	212.8	398.5	140.8	156.8	31.3	30.7	0	0	9.7	260.9	317.1	149
5	2012	446	179	211	141	114	67.7	0	0	0	2.1	58	171	116
6	2013	365	287	461	141	196	240	109	0.6	0.2	3.6	108	359	189
7	2014	259	247	455	273	105	202	48	0	0	0	72	320	165
8	2015	465	437	480	259	182	0	2	18	0	0	53	130	169
9	2016	167	590	252	235	393	174	258	101	121	502	53	132	248
10	2017	240.5	559.5	342.5	252.5	196.5	125.5	264	50.65	60.5	251	120.5	259.5	227
11	2018	314	529	433	270	0	77	0	0.3	0	0	188	387	183
12	2019	487.8	451.1	330.2	332.6	53.9	0	0.8	0	0	0	26.4	154.1	153
13	2020	319.7	527.2	234.2	392.9	398.9	44	2.3	24.3	0	54.1	15	657.1	222
14	2021	551.8	433.2	261.9	119.6	10.2	154.8	17.1	1.5	47	15	365.6	436.4	201
15	2022	150	400	300	100	200	150	100	100	150	150	150	150	175

Sumber: Kota Surabaya dalam angka (2008 – 2022)

Dari data hujan yang diperoleh pada stasiun hujan Perak 1, Perak 2 dan Juanda diperlukan analisis rerata hujan dari ketiga stasiun tersebut. Adapun perhitungan menggunakan metode Rata-Rata Hitung ditampilkan dalam Tabel 10.

Tabel 10. Rerata Hujan Dari 3 Stasiun Hujan Dengan Metode Rata-Rata Hitung

TAHUN	PERAK 1	PERAK 2	JUANDA	Rata-rata Hitung
2008	114	110	125	116.38
2009	112	122	211	148.33
2010	189	183	241	204.39
2011	143	150	149	147.08
2012	129	121	116	121.71
2013	179	174	189	180.83
2014	134	125	165	141.61
2015	141	128	169	145.84
2016	198	196	248	214.02
2017	145	157	227	176.43
2018	92	98	183	124.27
2019	163	137	153	151.10
2020	199	171	222	197.44
2021	196	180	201	192.41
2022	189	205	175	189.62

4.1.2 Periode Ulang

Periode ulang yang digunakan yaitu 5 dan 10 tahun

4.1.3 Curah Hujan Rencana

Data curah hujan yang diperoleh dari 3 (tiga) stasiun hujan digunakan untuk menghitung curah hujan rencana (Q , $m^3/detik$) berdasarkan kala ulang tertentu (umumnya dalam perencanaan drainase digunakan kala ulang 5 dan 10 tahun, karena dalam kurun waktu tersebut umumnya ada pemeliharaan dengan perbaikan atau pembongkaran saluran). Untuk mengubah data curah hujan menjadi curah hujan rencana digunakan metode *Log Pearson Tipe III*. Perhitungan curah hujan rencana selengkapnya tercantum dalam Tabel 11.

Tabel 11. Perhitungan Curah hujan rencana menggunakan Metode Log Person Tipe III

No	R max	Peluang	Log x	Log x - log x rerata	(Log x -log x rerata) ³		
	(mm)	(%)					
1	116	0.063	2.066	-0.140	-0.003		
2	148	0.125	2.171	-0.034	0.000		
3	204	0.188	2.310	0.105	0.001		
4	147	0.250	2.168	-0.038	0.000		
5	122	0.313	2.085	-0.120	-0.002		
6	181	0.375	2.257	0.052	0.000		
7	142	0.438	2.151	-0.054	0.000		
8	146	0.500	2.164	-0.042	0.000		
9	214	0.563	2.330	0.125	0.002		
10	176	0.625	2.247	0.041	0.000		
11	124	0.688	2.094	-0.111	-0.001		
12	151	0.750	2.179	-0.026	0.000		
13	197	0.813	2.295	0.090	0.001		
14	192	0.875	2.284	0.079	0.000		
15	190	0.938	2.278	0.072	0.000		
Jumlah			33.081		-0.001233		
Rerata			2.205				
standar deviasi			0.086527193				
Tr	R rerata	Stdev	Cs	Peluang	K	R rencana	
Tahun	(log)	(log)		(%)	(tabel)	log	(mm)
5	2.205	0.0865272	-0.16	20	0.85	2.27894	190.081
10	2.205	0.0865272	-0.16	10	1.258	2.31424	206.178

4.1.4 Uji Validitas Frekuensi Curah Hujan

Uji Smirnov Kolmogorov digunakan untuk mengetahui validitas data curah hujan memungkinkan atau tidak untuk analisis selanjutnya (perhitungan sebaran hujan 24 jam metode Mononobe). Apabila D maksimum yang diperoleh dari hasil uji $< D$ kritis, maka data memenuhi. Apabila tidak memenuhi maka yang harus dilakukan adalah mencari data hujan yang tidak valid dan dihilangkan dari uji tersebut, kemudian dianalisis ulang. Perhitungan selengkapnya ditampilkan dalam Tabel 12. dan Tabel 13.

Tabel 12. Perhitungan Uji Smirnov Kolmogorov Awal

SMIRNOV KOLMOGOROV								
No	R max (mm)	Peluang (%)	Log x	Log x - log x rerata	(Log x -log x rerata) ³	K	Px(x)	[P-Px(x)]
1	116	0.063	2.0659	-0.140	-0.003	-1.660	0.03796275	0.025
2	148	0.125	2.1712	-0.034	0.000	-0.406	0.30098945	-0.176
3	204	0.188	2.3105	0.105	0.001	1.250	0.87176252	-0.684
4	147	0.250	2.1676	-0.038	0.000	-0.450	0.28597633	-0.036
5	122	0.313	2.0853	-0.120	-0.002	-1.428	0.06135847	0.251
6	181	0.375	2.2573	0.052	0.000	-1.021	0.69218994	-0.317
7	142	0.438	2.1511	-0.054	0.000	-0.960	0.22334559	0.214
8	146	0.500	2.1639	-0.042	0.000	-0.317	0.27130348	0.229
9	214	0.563	2.3305	0.125	0.002	-0.158	0.91505198	-0.353
10	176	0.625	2.2466	0.041	0.000	-0.142	0.64601132	-0.021
11	124	0.688	2.0944	-0.111	-0.001	0.325	0.07553336	0.612
12	151	0.750	2.1793	-0.026	0.000	0.419	0.33509083	0.415
13	197	0.813	2.2954	0.090	0.001	1.100	0.83044025	0.018
14	192	0.875	2.2842	0.079	0.000	1.130	0.79466660	0.080
15	190	0.938	2.2779	0.072	0.000	1.401	0.77251460	0.165
Jumlah			24.366		0.000	Dmaksimum		0.612
Rerata			2.215		0.000			
Standar deviasi			0.0840699		0.000982658			

Tabel 13. Nilai Kritis Smirnov Kolmogorov Awal

NO	α	D kritis	D max	Keterangan	
1	1%	0.304	0.612	Dmax > Dkritis	Tidak Memenuhi
2	5%	0.3376	0.612	Dmax > Dkritis	Tidak Memenuhi

Berdasarkan Tabel 13. didapatkan bahwa D Max > D kritis, maka dilakukan perhitungan ulang dengan cara eliminasi data curah hujan yang nilainya besar dan berada diluar kurva normal.

Tabel 14. Perhitungan uji Smirnov Kolmogorov Akhir

SMIRNOV KOLMOGOROV								
No	R max (mm)	Peluang (%)	Log x	Log x - log x rerata	(Log x -log x rerata) ³	K	Px(x)	[P-Px(x)]
1	116	0.063	2.0659	-0.140	-0.003	-1.820	0.04542723	0.017
2	148	0.125	2.1712	-0.034	0.000	-0.446	0.37589377	-0.251
3	147	0.250	2.1676	-0.038	0.000	-0.494	0.35788121	-0.108
4	122	0.313	2.0853	-0.120	-0.002	-1.567	0.07533878	0.237
5	181	0.375	2.2573	0.052	0.000	-1.021	0.79000926	-0.415
6	142	0.438	2.1511	-0.054	0.000	-0.960	0.28134595	0.156
7	146	0.500	2.1639	-0.042	0.000	-0.317	0.34014900	0.160
8	176	0.625	2.2466	0.041	0.000	-0.142	0.74749108	-0.122
9	151	0.750	2.1793	-0.026	0.000	0.419	0.41630203	0.334
10	197	0.813	2.2954	0.090	0.001	1.100	0.90392333	0.091
11	192	0.875	2.2842	0.079	0.000	1.130	0.87659941	-0.002
12	190	0.938	2.2779	0.072	0.000	1.401	0.85887310	0.079
Jumlah			26.346		0.000	Dmaksimum		0.334
Rerata			2.195		0.000			
Standar deviasi			0.0766484		0.000704323			

Tabel 15. Nilai Kritis Smirnov Kolmogorov Akhir

NO	α	D kritis	D max	Keterangan	
1	1%	0.338	0.334	$D_{max} < D_{kritis}$	Memenuhi
2	5%	0.37543	0.334	$D_{max} < D_{kritis}$	Memenuhi

4.1.5 Intensitas Hujan Jam-jaman

Sebaran hujan yang digunakan dengan metode Mononobe adalah sebaran hujan dalam waktu 1 hari (24 jam). Waktu genangan digunakan 6 jam hujan dalam periode waktu 24 jam. Rumus nilai RT pada sebaran hujan (R24) Mononobe adalah sebagai berikut:

$$RT = (1/t) \times (t/T)^{2/3} \quad (20)$$

Dengan:

RT = intensitas rata-rata hujan dalam t jam (mm/hari)

R24 = curah hujan efektif dalam 1 hari

T = waktu mulai hujan

t = waktu konsentrasi hujan

Sebaran hujan jam-jaman model Mononobe ditampilkan dalam Tabel 16. sedangkan persentase hujan ditampilkan dalam Tabel 17.

Tabel 16. Sebaran Hujan Jam-Jaman Model Mononobe

Sebaran hujan jam-jaman model Mononobe			
T	t	RT	
1	6	0.550	R24
2	6	0.347	R24
3	6	0.265	R24
4	6	0.218	R24
5	6	0.188	R24
6	6	0.167	R24

Untuk mendapatkan nilai (rt) persentase intensitas hujan

$$RT = (t \times rt) - [(t-1) \times (RT)] \quad (21)$$

Dengan:

Rt = konsentrasi uintensitas rata-rata hujan dalam T jam (mm/hari)

RT = intensitas rata-rata hujan dalam T jam (mm/hari)

t = waktu konsentrasi hujan

Tabel 17. Persentase Intensitas Hujan

Persentase Intensitas Hujan			
t'	RT	Rt	Prosentase (%)
1	0.550	0.550	55.03
2	0.346681	0.143	14.30
3	0.264567	0.100	10.03

4	0.218395	0.080	7.99
5	0.188207	0.067	6.75
6	0.166667	0.059	5.90

4.1.6 Curah Hujan Efektif Jam-jaman

Curah hujan efektif jam-jaman adalah perhitungan curah hujan yang terjadi selama periode genangan, yaitu 6 jam, dimulai pada jam ke n , $n+1$ dan seterusnya (jam ke 1, jam ke 2 dan seterusnya). Perhitungan ini menggunakan curah hujan rencana yang diperoleh dari hasil *Log Pearson* tipe III, koefisien pengaliran C dengan memperhatikan apakah kondisi topografi berupa pemukiman padat, perkotaan, pedesaan dan lain sebagainya. Perhitungan sebaran efektif jam-jaman ditampilkan dalam Tabel 18. dan Tabel 19.

Tabel 18. Sebaran Hujan Efektif Jam-Jaman Kala Ulang 5 Tahun

No	Jam ke	R5 mm	Koefisien pengaliran	R efektif mm	Persentase	R efektif jam-jaman
1	1	190.081	0.45	85.5366	55%	47.073
2	2	190.081	0.45	85.53664	14.30%	12.235
3	3	190.081	0.45	85.53664	10.03%	8.583
4	4	190.081	0.45	85.53664	7.99%	6.833
5	5	190.081	0.45	85.53664	6.75%	5.770
6	6	190.081	0.45	85.53664	5.90%	5.044

Tabel 19. Curah Hujan Efektif Jam-Jaman Kala Ulang 10 Tahun

No	Jam ke	R10 mm	Koefisien pengaliran	R efektif mm	Persentase	R efektif jam-jaman
1	1	206.178	0.45	92.7802	55.0%	51.059
2	2	206.178	0.45	92.7802	14.30%	13.271
3	3	206.178	0.45	92.7802	10.03%	9.309
4	4	206.178	0.45	92.7802	7.99%	7.411
5	5	206.178	0.45	92.7802	6.75%	6.259
6	6	206.178	0.45	92.7802	5.90%	5.471

4.1.7 Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu

Setelah perhitungan curah hujan efektif jam-jaman berdasarkan kala ulang diperoleh, maka hasil tersebut digunakan untuk menghitung debit banjir rancangan. Debit banjir rancangan dalam penelitian ini menggunakan diperoleh dari hasil analisis hidrograf satuan sintetik Nakayasu dengan memperhatikan variabel panjang sungai (L), luas DAS (A), hujan satuan (R_0), koefisien pengaliran (k) dan parameter daerah (α). Hidrograf ini umum digunakan karena variabel untuk menghitung tidak terlalu banyak dan memudahkan, khususnya bila sungai atau DAS yang ada, datanya minim/sedikit.

Jalan Ketintang berada di kecamatan Gayungan, Surabaya, yang dilewati oleh kali

Surabaya dan pintu air yang terdekat adalah pintu air Gunungsari (rolak) dengan base flow = 8,28 m³/det. Panjang sungai = 42 km dan luas DAS = 1,09 km². Hidrograf Nakayasu ini tersusun atas lengkung naik, lengkung turun tahap 1, tahap 2 dan tahap 3 dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Lengkung naik (Qdo)} = Q_p \cdot (t/T_p)^{2.4}$$

$$\text{Lengkung turun tahap 1 (Qd1)} = Q_p \cdot 0.3^{(((t-T_p)/T_{0.3}))}$$

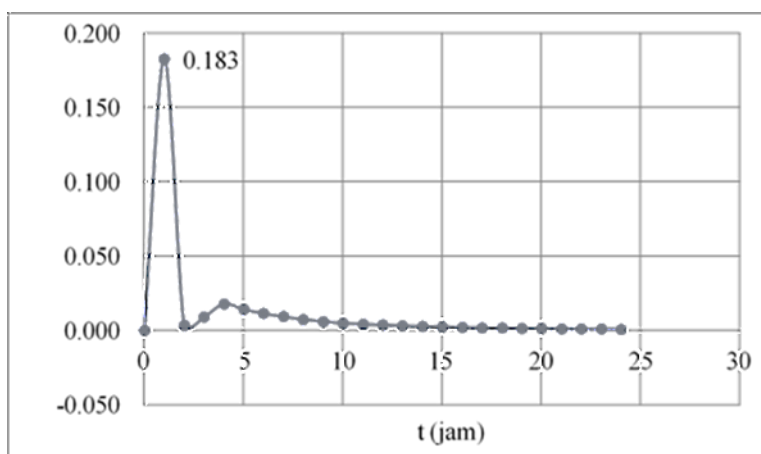
$$\text{Lengkung turun tahap 2 (Qd2)} = Q_p \cdot (0.3^{(((t-T_p) + (0.5 \cdot T_{0.3}))/ (1.5 \cdot T_{0.3})))}$$

$$\text{Lengkung turun tahap 3 (Qd3)} = Q_p \cdot (0.3^{(((t-T_p) + (1.5 \cdot T_{0.3}))/ (2 \cdot T_{0.3})))}$$

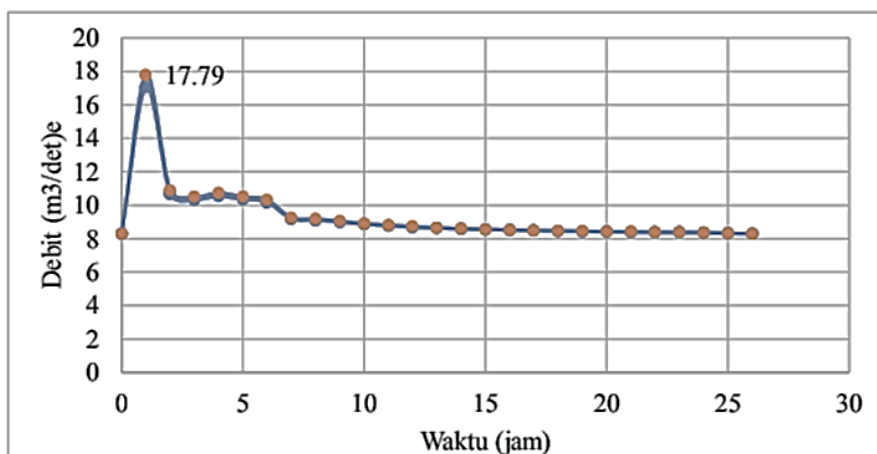
Setelah dilakukan perhitungan Hidrograf Satuan Sintetik menggunakan metode Nakayasu, selanjutnya dilakukan perhitungan banjir rancangan dan penggambaran hidrograf banjir rancangan untuk kala ulang 5 tahun dan 10 tahun. Perhitungan selengkapnya ditampilkan dalam Tabel 21.

Tabel 20. Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu

t	Notasi		Qa
0	Qdo	$Q_p \cdot (t/T_p)^{2.4}$	0.000
1			0.183
2			0.003
3			0.009
4			0.018
5	Qd1	$Q_p \cdot 0.3^{(((t-T_p)/T_{0.3}))}$	0.014
6			0.011
7			0.009
8			0.008
9			0.006
10			0.005
11	Qd2	$Q_p \cdot (0.3^{(((t-T_p) + (0.5 \cdot T_{0.3}))/ (1.5 \cdot T_{0.3})))}$	0.0044
12			0.0038
13			0.0033
14			0.0029
15			0.0025
16			0.0022
17			0.0019
18			0.0016
19	Qd3	$Q_p \cdot (0.3^{(((t-T_p) + (1.5 \cdot T_{0.3}))/ (2 \cdot T_{0.3})))}$	0.0015
20			0.0013
21			0.0012
22			0.0011
23			0.0009
24			0.0009



Gambar 10. Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu (Q_{d0} , Q_{d1} , Q_{d2} , Q_{d3} , Q_{d4})



Gambar 11. Debit banjir periode ulang 5 tahun dan 10 tahun

Tabel 21. Hidrograf Banjir Rancangan Nakayasu Kala Ulang 5 Tahun

t	Qt	R1	R2	R3	R4	R5	R6	Base Flow	Qttotal
Jam	m³/dt	47.073	12.235	8.583	6.833	5.770	5.044	m³/dt	m³/dt
0	0.000	0						8.280	8.280
1	0.177	8.330	0					8.280	16.787
2	0.002	0.108	2.165	0				8.280	10.556
3	0.014	0.669	0.028	1.519	0.000			8.280	10.510
4	0.012	0.582	0.174	0.020	1.209	0.000		8.280	10.277
5	0.011	0.506	0.151	0.122	0.016	1.021	0.000	8.280	10.107
6	0.007	0.323	0.132	0.106	0.097	0.013	0.893	8.280	9.850
7	0.006	0.294	0.084	0.092	0.084	0.082	0.012	8.280	8.935
8	0.006	0.268	0.076	0.059	0.073	0.071	0.072	8.280	8.906
9	0.005	0.244	0.070	0.054	0.047	0.062	0.062	8.280	8.824
10	0.005	0.223	0.064	0.049	0.043	0.040	0.054	8.280	8.756
11	0.003	0.144	0.058	0.045	0.039	0.036	0.035	8.280	8.640
12	0.003	0.135	0.038	0.041	0.035	0.033	0.032	8.280	8.596
13	0.003	0.126	0.035	0.026	0.032	0.030	0.029	8.280	8.561
14	0.002	0.117	0.033	0.025	0.021	0.027	0.026	8.280	8.531

t	Qt	R1	R2	R3	R4	R5	R6	Base Flow	Qttotal
Jam	m³/dt	47.073	12.235	8.583	6.833	5.770	5.044	m³/dt	m³/dt
15	0.002	0.109	0.030	0.023	0.020	0.018	0.024	8.280	8.506
16	0.002	0.102	0.028	0.021	0.018	0.017	0.015	8.280	8.484
17	0.002	0.095	0.026	0.020	0.017	0.015	0.014	8.280	8.470
18	0.002	0.089	0.025	0.019	0.016	0.014	0.013	8.280	8.457
19	0.002	0.083	0.023	0.017	0.015	0.013	0.013	8.280	8.445
20	0.002	0.077	0.021	0.016	0.014	0.012	0.012	8.280	8.434
21	0.002	0.072	0.020	0.015	0.013	0.012	0.011	8.280	8.424
22	0.001	0.067	0.019	0.014	0.012	0.011	0.010	8.280	8.414
23	0.001	0.062	0.017	0.013	0.011	0.010	0.009	8.280	8.405
24	0.001	0.058	0.016	0.012	0.010	0.009	0.009	8.280	8.397
25			0.015	0.011	0.010	0.009	0.008	8.280	8.333
26				0.011	0.009	0.008	0.008	8.280	8.316
27					0.008	0.008	0.007	8.280	8.303
28						0.007	0.007	8.280	8.294
29							0.006	8.280	8.286
30	0.002	0.077	0.021	0.016	0.014	0.012	0.012	8.280	8.434

Tabel 22. Hidrograf Banjir Nakayasu periode ulang 10 tahun

t	Qt	R1	R2	R3	R4	R5	R6	Base Flow	Qttotal
Jam	m³/dt	51.058	13.271	9.309	7.411	6.258	5.470	m³/dt	m³/dt
0	0.000	0						8.28	8.28
1	0.177	9.035	0					8.28	17.4924
2	0.002	0.118	2.349	0				8.28	10.74832
3	0.014	0.726	0.031	1.647	0			8.28	10.69797
4	0.012	0.631	0.189	0.021	1.312	0		8.28	10.44515
5	0.011	0.549	0.164	0.132	0.017	1.108	0	8.28	10.26067
6	0.007	0.350	0.143	0.115	0.105	0.014	0.968	8.28	9.982866
7	0.006	0.319	0.091	0.100	0.092	0.089	0.013	8.28	8.989824
8	0.006	0.291	0.083	0.064	0.080	0.077	0.078	8.28	8.958231
9	0.005	0.265	0.076	0.058	0.051	0.067	0.068	8.28	8.869777
10	0.005	0.241	0.069	0.053	0.046	0.043	0.059	8.28	8.796191
11	0.003	0.157	0.063	0.048	0.042	0.039	0.038	8.28	8.669725
12	0.003	0.146	0.041	0.044	0.038	0.036	0.034	8.28	8.622057
13	0.003	0.136	0.038	0.029	0.035	0.032	0.031	8.28	8.584181
14	0.002	0.127	0.035	0.027	0.023	0.030	0.028	8.28	8.552363
15	0.002	0.119	0.033	0.025	0.021	0.019	0.026	8.28	8.524993
16	0.002	0.111	0.031	0.023	0.020	0.018	0.017	8.28	8.501135
17	0.002	0.103	0.029	0.022	0.018	0.017	0.016	8.28	8.486222
18	0.002	0.096	0.027	0.020	0.017	0.016	0.015	8.28	8.472315
19	0.002	0.090	0.025	0.019	0.016	0.015	0.014	8.28	8.459346
20	0.002	0.084	0.023	0.018	0.015	0.014	0.013	8.28	8.447251
21	0.002	0.078	0.022	0.016	0.014	0.013	0.012	8.28	8.435972
22	0.001	0.073	0.020	0.015	0.013	0.012	0.011	8.28	8.425454
23	0.001	0.068	0.019	0.014	0.012	0.011	0.010	8.28	8.415645

t	Qt	R1	R2	R3	R4	R5	R6	Base Flow	Qtotal
Jam	m ³ /dt	51.058	13.271	9.309	7.411	6.258	5.470	m ³ /dt	m ³ /dt
24	0.001	0.063	0.018	0.013	0.011	0.010	0.010	8.28	8.406498
25			0.016	0.012	0.011	0.010	0.009	8.28	8.337855
26				0.012	0.010	0.009	0.008	8.28	8.31863
27					0.009	0.008	0.008	8.28	8.305275
28						0.008	0.007	8.28	8.295013
29							0.007	8.28	8.286774

Tabel 23. Rekapitulasi debit banjir rancangan 5 tahun dan 10 tahun

T	Q5	Q10
	m ³ /det	m ³ /det
0	8.28	8.28
1	17.06	17.79
2	10.68	10.88
3	10.32	10.49
4	10.53	10.72
5	10.34	10.51
6	10.16	10.32
7	9.18	9.26
8	9.10	9.17
9	8.99	9.05
10	8.86	8.90
11	8.76	8.81
12	8.69	8.72
13	8.63	8.66
14	8.58	8.60
15	8.54	8.56
16	8.50	8.52
17	8.48	8.49
18	8.45	8.46

Tabel 24. Rekapitulasi debit banjir rancangan 5 tahun dan 10 tahun

T	Q5	Q10
	m ³ /det	m ³ /det
19	8.43	8.44
20	8.41	8.42
21	8.40	8.41
22	8.39	8.39
23	8.37	8.38
24	8.36	8.37
25	8.32	8.32
26	8.31	8.31

4.1.8 Dimensi Saluran

Hasil debit banjir rancangan nakayasu = $Q_{\text{total}} = 17,79 \text{ m}^3/\text{detik}$ (10 tahun). Digunakan sistem trial dan error untuk menganalisis dimensi saluran.

Tabel 25. Dimensi Saluran Rencana

Q	B	h	A	P	R	V	Q
(m^3/det)	(m)	(m)	(m^2)	(m)	(m)	(m^2/det)	(m^3/det)
17.79	1.325	1.325	1.755625	3.975	0.441667	10.211211	17.92705782

Tabel 26. Dimensi Saluran Eksisting

B	h	A	P	R	V	Q
(m)	(m)	(m^2)	(m)	(m)	(m^2/det)	(m^3/det)
1.5	1.5	2.25	4.5	0.5	11.0916	24.9561

4.2 Pembahasan

4.2.1 Curah Hujan

Data curah hujan pada 3 stasiun hujan yaitu stasiun hujan Perak 1, Perak 2 dan Juanda adalah data hujan yang diperoleh melalui pencatatan harian, setiap hari, setiap bulan. Data ini didapatkan dari buku panduan Surabaya dalam angka tahun 2008 – 2023.

Pada stasiun hujan Perak 1, data hujan maksimum diperoleh pada tahun 2020, yaitu sebesar 199 mm. Hal ini disebabkan karena pada tahun tersebut terjadi hujan maksimum di bulan Desember yaitu = 532,9 mm. Pada stasiun hujan Perak 2, data hujan maksimum diperoleh pada tahun 2022, yaitu sebesar 205 mm. Hal ini disebabkan karena pada tahun tersebut terjadi hujan maksimum di bulan Februari yaitu = 486,4 mm. Pada stasiun hujan Juanda, data hujan maksimum diperoleh pada tahun 2016, yaitu sebesar 248 mm. Hal ini disebabkan karena pada tahun tersebut terjadi hujan maksimum di bulan Februari yaitu = 590 mm. Pada kisaran bulan Juli – September (tahun 2008 – 2022), banyak pencatatan yang menyatakan nilai 0. Hal ini diartikan adanya hujan yang sedikit sehingga yang tertampung pada penakar hujan sulit untuk diukur (mendekati nol), adanya human error/kesalahan pencatatan di lapangan atau tidak terjadi hujan sama sekali, mengingat bulan basah biasanya dimulai pada bulan Oktober – April. Rerata hujan maksimum dengan tinggi hujan > 100 mm terjadi pada bulan Januari – April pada ketiga stasiun hujan tersebut.

Perhitungan curah hujan pada stasiun hujan Perak 1, Perak 2 dan Juanda menghasilkan rerata hujan minimum = 116 mm (tahun 2008) dan rerata hujan maksimum = 214 mm (tahun 2016) seperti yang ditampilkan dalam Tabel 10. Rerata hujan maksimum dipengaruhi oleh curah hujan maksimum di stasiun Juanda sebesar 248 mm (tahun 2016) sedangkan rerata hujan minimum dipengaruhi oleh curah hujan minimum di stasiun Perak 2 sebesar 110 mm (tahun 2008). Rerata hujan ini menggunakan data 15 tahun.

4.2.2 Periode Ulang

Periode pada saat 5 tahun memberikan peluang 20% dan dari hasil pembacaan Tabel *Log Pearson* III diperoleh nilai 0,85. Dari ketiga variabel menghasilkan curah hujan rencana sebesar 190,081 mm. Pada periode ulang 10 tahun dengan peluang 10% memberikan nilai K sebesar 1,0258 dan menghasilkan curah hujan rencana sebesar 206,178 mm. Periode ulang ini (5 dan 10) pada umumnya digunakan dalam perencanaan perbaikan drainase sedangkan periode ulang > 10 tahun umumnya digunakan untuk konstruksi seperti jembatan dan bendungan.

4.2.3 Curah Hujan Rencana

Perhitungan debit rencana menggunakan *Log Pearson* tipe III dilakukan dengan cara data curah hujan selama 15 tahun dirubah menjadi data bentuk log, kemudian dihitung jumlah, rerata dan standar deviasi, dan nilai kemencengan (skewness). Nilai kemencengan ini digunakan untuk mengetahui apakah ke-15 data hujan tersebut berada dalam kurva normal. Apabila tidak terletak dalam kurva normal tersebut, maka data dapat diperbaiki/dieleminasi agar diperoleh data yang baik untuk analisis selanjutnya. Perhitungan debit rencana ini memperhatikan kala ulang (T_r) yaitu digunakan 5 dan 10 tahun, mengingat perbaikan sistem saluran drainase umumnya pada kisaran waktu tersebut dan peluang diperoleh melalui rumusan $100/T_r$, diperoleh kala ulang 5 tahun peluang adalah 20% dan kala ulang 10 tahun, peluang adalah 10%. Berdasar hasil perhitungan kemencengan dan peluang, dicari nilai K yang diperoleh dari Tabel *Log Pearson* Tipe III (Lampiran 5). Nilai K diperoleh = 0,85 dan 1, 258. Selanjutnya dihitung curah hujan rencana berdasar kala ulang dan diperoleh $R_5 = 190,081$ mm dan $R_{10} = 206,178$ mm. dalam perhitungan ini tidak digunakan dan tidak menganalisis kala ulang 20, 25, 50 dan 100 tahun karena kala ulang tersebut umumnya digunakan untuk konstruksi/sstruktur besar dan jangka panjang seperti jembatan, bendungan, dam.

4.2.4 Uji Validitas Frekuensi Curah Hujan

Uji Smirnov Kolmogorov digunakan untuk mengetahui validitas curah hujan dapat digunakan untuk analisis selanjutnya atau tidak dengan syarat nilai $D_{maksimum} < D_{kritis}$ (tabel Smirnov Kolmogorov). Data hujan 15 tahunan dari 3 stasiun hujan menghasilkan nilai $D_{maksimum} = 0,612$. Pada taraf kepercayaan $\alpha = 1\%$ dan 5% diperoleh $D_{kritis} = 0,304$ dan $0,3376$. Karena $D_{maks} > D_{kritis}$, maka data curah hujan ini belum memenuhi untuk analisis lanjutan. Langkah selanjutnya adalah mengeliminasi data yang kurang baik yang tidak terletak dalam kurva normal. Oleh karena itu 3 data yang tidak terletak dalam kurva normal diperbaiki. Data tersebut adalah data hujan tahun 2010 = 204 mm, tahun 2016 = 214 mm, tahun 2018 = 124 mm. Setelah data diperbaiki (semula 15 data kemudian menjadi 12 data), $D_{maksimum}$

kembali dihitung dan dihasilkan nilai 0,334. Pada taraf kepercayaan $\alpha = 1\%$ dan 5% diperoleh $D_{kritis} = 0,338$ dan $0,37543$. Karena $D_{maks} < D_{kritis}$, maka data curah hujan ini sudah memenuhi untuk analisis lanjutan.

4.2.5 Intensitas Hujan Jam-jaman

Intensitas hujan jam Mononobe adalah perhitungan sebaran hujan yang terjadi saat jam ke- n sampai dengan jam ke- $n+1$ selama periode genangan terjadi dalam satuan waktu (24 jam). Mengingat di jalan Ketintang, Kecamatan Gayungan, Surabaya ini selalu terjadi genangan > 3 jam, maka digunakan periode genangan = 6 jam dengan perkiraan bahwa dalam 6 jam, genangan tersebut dapat surut khususnya bila puncak hujan dalam bulan basah (Oktober – April). Persentase pada jam ke-1 adalah 55,03% (genangan dimulai), jam ke-2 = 14,30%, jam ke-3 = 10,03%, jam ke-4 = 7,99%, jam ke-5 = 6,75%, jam ke-6 = 5,90% (surut).

4.2.6 Curah Hujan Efektif Jam-jaman

Variabel curah hujan efektif jam-jaman tergantung pada curah hujan rencana (R), koefisien pengaliran dan sebaran hujan Mononobe (R_{24}). Semakin besar nilai ketiga variabel tersebut maka akan semakin besar nilai curah hujan efektif jam-jaman ($R_{efektif}$) yang tentunya juga akan mempengaruhi besaran debit banjir rancangan. Pada kala ulang 5 tahun diperoleh rentang $R_{efektif} = 5,044 \text{ mm} - 47,703 \text{ mm}$, sedangkan kala ulang 10 tahun diperoleh rentang $R_{efektif} = 5,471 \text{ mm} - 51,059 \text{ mm}$

4.2.7 Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu

Variabel penyusun dalam HSS Nakayasu adalah panjang sungai (L), koefisien pengaliran (k), parameter lengkung (naik cepat, turun cepat), luas DAS dan hujan satuan. Pada jalan Ketintang ini berada di DAS Kali Surabaya, dan dari hasil perhitungan Nakayasu. Lengkung naik sangat cepat, diperoleh dari hasil analisis, yaitu lengkung naik pada jam ke 1 yaitu $Q = 0,183 \text{ m}^3/\text{detik}$. Dapat diartikan bahwa hal ini sesuai dengan kondisi di lapangan, bahwa ketika hujan terjadi, dalam jangka waktu 1 jam langsung terjadi genangan banjir pada jalan tersebut. Hal ini dibuktikan dengan adanya kenaikan lengkung Nakayasu yang cepat pada jam ke-1 dan hal ini tidak lepas dari hasil analisis curah hujan yang berasal dari data tahun 2008 – 2022.

Pada perhitungan debit banjir berdasar Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu diperoleh nilai debit banjir pada kala ulang 5 tahun sebesar $= 17,06 \text{ m}^3/\text{detik}$ dan nilai debit banjir pada kala ulang 10 tahun sebesar $= 17,79 \text{ m}^3/\text{detik}$. Debit ini berfungsi dalam perencanaan dimensi saluran. Digunakan debit banjir yang paling maksimal/nilainya paling besar yaitu pada kala ulang 10 tahun dengan pengertian bahwa bila debit maksimal yaitu $17,79 \text{ m}^3/\text{detik}$ sudah memenuhi perhitungan dimensi yang direncanakan, maka debit yang lain di kala ulang 5 tahun juga sudah pasti memenuhi pula.

4.2.8 Dimensi Saluran

Dari hasil analisis diperoleh dimensi saluran berbentuk persegi ukuran 1,325m x 1,325m yang mampu menampung debit rencana sesuai debit rancangan Nakayasu. Hal ini menunjukkan bahwa debit perancangan Nakayasu yang sudah dianalisis dapat ditampung oleh *U-DITCH* fabrikasi. Dapat disimpulkan bahwa hasil perhitungan sudah sesuai dengan saluran yang dipasang di lapangan.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, maka kesimpulan yang diperoleh adalah sebagai berikut:

1. Debit banjir untuk periode ulang 5 tahun = 17,06 m³/detik sedangkan untuk periode ulang 10 tahun = 17,79 m³/detik. Untuk perencanaan dimensi saluran digunakan debit yang paling maksimal yaitu pada periode ulang 10 tahun dengan pengertian bahwa bila menggunakan debit pada periode ulang 10 tahun dapat memenuhi perhitungan kapasitas dan dimensi saluran, maka debit pada periode ulang 5 tahun juga pasti memenuhi.
2. Dimensi saluran yang mampu menampung debit banjir rancangan berupa saluran persegi dengan ukuran 1,325 m x 1,325 m. Hal ini sesuai dengan *U-DITCH* ukuran 1,50 m x 1,50 m yang digunakan untuk perbaikan saluran drainase Jalan Ketintang sisi barat, Kecamatan Gayungan, Surabaya.

5.2 Saran

Saran yang dikemukakan adalah sebagai berikut:

1. Data hujan yang digunakan untuk analisis sebaiknya jumlah data > 10, sesuai dengan ketentuan perhitungan dalam hidrologi bahwa jumlah minimal untuk perhitungan data hidrologi adalah 10.
2. Perlunya peta kontur untuk dapat menghitung kemiringan saluran sesuai dengan kondisi topografi daerah yang akan dianalisis.
3. Dimensi saluran perlu dicoba jenis yang lain (trapezium, lingkaran) untuk mengetahui efektifitas dan aman yang lebih efisien di lapangan serta kemudahan dalam pelaksanaan pekerjaan.

DAFTAR REFERENSI

Aditiya, R. (2019). Kajian Banjir Di Wilayah Ketintang Surabaya . Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Konstruksi V, 157-162.

- Anonim. (2022). Atmosfera bulan Januari, buletin Stasiun Meteorologi Kelas I Juanda. Sidoarjo.
- Anonim. (2022). Atmosfera bulan Februari-desember, buletin Stasiun Meteorologi Kelas I Juanda. Sidoarjo.
- BPS Kota Surabaya. (2008)-(2022). Bps-Statistics Of Surabaya Municipality. Katalog BPS : 1403.3578
- Chow, V. (1988). Applied Hydrology. Mc. Graw Hill .
- Dwi Indriyani, dkk, (2019). Boezem, Pompa, Dan Pintu Air Sebagai Pengendali Banjir Di Kali Balong. Surabaya. Teknik Infrastruktur Sipil
- Kamiana, I. M. (2012). Teknik Perhitungan Rencana Debit Bangunan Air. Yogyakarta: Cv Graha Ilmu.
- Kirpich. (1940). Time Of Concentration Of Small Agricultural Watershed. Civil Engineering, 362.
- PU SDA, K. P. (2011). Prosedur Dan Instruksi Kerja Perhitungan Debit Banjir Rencana. Jakarta.
- PU SDA. (2022). Pengairan dalam Angka.
- Pemkot Surabaya. (2009). Status Lingkungan Hidup Daerah Kota Surabaya.
- Rosmala Dewi. (2016). Analisis Parameter Alfa Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu Di Sub Das Lesti. Malang, Jurnal Teknik Pengairan. Vol. 7 No. 1, hal. 106-117.
- Soemarto, C. D. (1999). Hidrologi Teknik. Erlangga.
- Suripin. (2004). Sistem Drainase Perkotaan Yang Berkelanjutan. Yogyakarta: Andi Offset.
- Suroso. (2006). Analisis Curah Hujan Untuk Membuat Kurva Intensity-Duration. Jurnal.
- Triadmodjo, B. (2008). Hidrologi Terapan. Yogyakarta: Beta Offset Jakarta. Umboro Lasminto. (2016). Studi Potensi Tampung Air Sebagai Sumber Air Baku. Surabaya. Teknik Sipil FTSP ITS, Surabaya.