

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian sebelumnya bertujuan untuk memberikan pertimbangan dan referensi perencanaan. Selain itu, kesamaan dengan penelitian ini juga harus dihindari. Oleh karena itu, dalam tinjauan pustaka ini, peneliti mempertimbangkan beberapa hasil penelitian sebelumnya, yaitu sebagai berikut:

1. Hasil Penelitian Ridwan Sauqi (2016).

Dalam penelitian yang berjudul “Perencanaan Jaringan Drainase Sub Sistem Kali Kepiting dan Kali Kenjeran Surabaya” didapat kesimpulan bahwa saluran tersier direncanakan dengan *precast* U-Ditch dengan dimensi antara 60×100 cm hingga 250×250 cm. Kemudian untuk saluran sekunder sebesar 300×250 cm. Sedangkan dua tipe dimensi lainnya menggunakan perkuata *sheet pile* dengan dimensi 400×250 cm dan 500×250 cm. Untuk saluran primer direncanakan dengan perkuatan *sheet pile*. Dimensi saluran Kali Kenjeran adalah 12×2,5 m dan Kali Kepiting sebesar 18×2,5 m.

2. Hasil Penelitian Ferry Desromi, dkk (2022).

Dalam penelitian yang berjudul “Penggunaan Program HEC-RAS dalam Pengendalian Banjir Sungai” bertujuan untuk mengetahui Permasalahan sumber daya air di kota Palembang seperti banjir hampir di seluruh DAS. Salah satu DAS di kota Palembang, yaitu DAS Buah (Sungai Buah) pada saat musim hujan selalu mengalami permasalahan genangan air (banjir) yang diakibatkan oleh penggerusan dan sedimentasi dari sungai Buah itu sendiri, serta faktor berubahnya fungsi lahan yang menyebabkan air tidak dapat meresap ke dalam tanah.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, didapat kesimpulan bahwa Sungai Buah yang ada kolam retensi Arafuru terdapat daerah yang airnya melimpas yaitu pada stasiun 3+000 yaitu sebesar 0,90 m baik di kanan maupun kiri tebing saluran. Pada stasiun 2+750 sampai dengan 2+800 terjadi penurunan muka air berkisar antara 0,70 m sampai 0,80 m, sedangkan pada stasiun 2+700 terjadi kenaikan muka air sungai Buah tersebut. Hal ini akibat pengaruh buka tutup pintu air (flap gate) yang ada di kolam Arafuru.

3. Hasil Penelitian Dinar Fauziah Fatma Kartikaningrum, dkk (2022).

Dalam penelitian yang berjudul “Analisis Backwater dengan HEC-RAS di Kelurahan Sewu Kota Surakarta” bertujuan untuk mengetahui panjang arus balik terlihat pada perhitungan software HEC-RAS, yang kemudian dipetakan dengan Sistem Informasi Geografis. Dari penelitian ini diharapkan memperoleh debit banjir rencana periode ulang dan hujan 3 harian maksimum tahunan, serta mengetahui terjadi atau tidaknya arus balik air.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, didapat debit banjir rencana hujan periode ulang adalah $Q_2 = 22,736$ m³/detik, $Q_5 = 30,903$ m³/detik, $Q_{10} = 36,656$ m³/detik, $Q_{25} = 44,337$ m³/detik, dan $Q_{50} = 50,375$ m³/detik. Sedangkan nilai debit banjir rencana hujan 3 harian maksimum tahunan adalah 41,584 m³/detik. Selain itu terjadi backwater berdasarkan analisis

yang dilakukan dengan HEC-RAS pada kala ulang 2, 5, 10, 25, dan 50 tahun. Akan tetapi mampu tertangani dengan adanya pintu air.

2.2 Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi adalah langkah awal dalam mengevaluasi sistem drainase, menentukan jumlah limpasan yang akan terbawa, dan menentukan dimensi saluran air. Jumlah limpasan hujan yang direncanakan untuk periode ulang tertentu digunakan sebagai debit. Data yang diperlukan untuk perhitungan ini meliputi:

1. Curah hujan
2. Luas daerah pengaliran
3. Koefisien pengaliran, yang diperoleh dari:
 - a. Tata guna lahan
 - b. Jenis tanah
 - c. Kemiringan medan dan dasar sungai

2.2.1 Distribusi Curah Hujan Wilayah

Penentuan curah hujan rata-rata di seluruh daerah diperlukan untuk penyusunan atau perancangan pengendalian banjir. Curah hujan ini disebut curah hujan wilayah/daerah dan dinyatakan dalam satuan mm. Pengamatan curah hujan dilakukan di beberapa titik wilayah.

Perhitungan curah hujan daerah berdasarkan pengamatan di beberapa titik adalah sebagai berikut:

1. Metode rata-rata Aritmatik (Aljabar)
Metode ini melibatkan perhitungan rata-rata secara aljabar di dalam area yang diamati.

$$\bar{R} = \frac{1}{n} (R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n) \dots\dots\dots (2.1)$$

di mana :

- \bar{R} : Curah hujan daerah (mm)
- n : Jumlah titik-titik (pos-pos) pengamatan
- R_1, R_2, \dots, R_n : curah hujan di setiap titik pengamatan (mm)

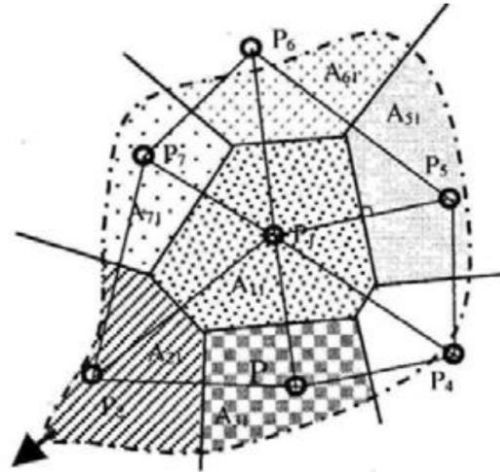
2. Metode Polygon Thiessen

Metode ini mempertimbangkan cakupan wilayah dari setiap stasiun yang mewakili daerah sekitarnya. Cara ini sering digunakan jika sebaran stasiun curah hujan di wilayah yang dipertimbangkan tidak merata dan terdapat setidaknya tiga stasiun curah hujan. Curah hujan rata-rata DAS dihitung dengan memperhitungkan pengaruh wilayah dari masing-masing stasiun. Langkah-langkah untuk menerapkan metode ini antara lain adalah sebagai berikut:

- a. Stasiun curah hujan dipetakan pada peta wilayah sungai yang ditinjau. Garis penghubung antar stasiun hujan dibentuk sehingga membentuk segitiga. Setiap sisi segitiga kemudian diberi garis berat yang saling bertemu dan membentuk poligon yang mengelilingi setiap stasiun. Setiap stasiun mewakili area yang dibentuk oleh poligon

tersebut, sementara untuk stasiun yang berada di dekat batas DAS, garis batas daerah membentuk batas tertutup dari poligon.

- b. Mengukur luas setiap poligon dan mengalikannya dengan kedalaman hujan di setiap poligon. Hasil perhitungan tersebut kemudian dibagi dengan luas wilayah penelitian, seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.1 berikut:



Gambar 2. 1 Poligon Thiessen
Sumber: Suripin (2004)

Curah hujan rata-rata dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\bar{R} = \frac{A_1.R_1 + A_2.R_2 + \dots + A_n.R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2.2)$$

Dimana,

\bar{R} : curah hujan rata-rata (mm)

A_1, A_2, \dots, A_n : luas areal poligon 1, 2, ..., n (km²)

R_1, R_2, \dots, R_n : curah hujan yang tercatat di stasiun hujan 1, 2, ..., n (mm)

2.2.2 Analisis Curah Hujan Harian Maksimum

Curah hujan harian maksimum pada tahun pengamatan di suatu stasiun hujan sering digunakan untuk perancangan bangunan air. Perhitungan curah hujan harian maksimum dapat dilakukan dengan beberapa metode berikut:

1. Distribusi Normal

Distribusi normal, yang juga dikenal sebagai distribusi Gauss, dapat dinyatakan melalui PDF (probability density function) dengan menggunakan rata-rata dan simpangan baku, seperti yang ditunjukkan berikut:

$$P(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\pi^2} \right] \quad (2.3)$$

X : variabel acak kontinu

μ : rata-rata nilai X

σ : simpangan baku dari nilai X

Dalam praktiknya, secara umum rumus tersebut tidak digunakan secara langsung karena telah dibuat tabel sebagai keperluan perhitungan

$$X_T = \bar{X} + K_T S \quad (2.4)$$

X_T : Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang T-tahunan

$$\bar{X} : \text{nilai rata-rata hitung variat data} = \frac{\sum_i^n x_i}{n} \quad (2.5)$$

$$S : \text{Standar deviasi} = \sqrt{\frac{\sum_i^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (2.6)$$

k : faktor frekuensi, merupakan fungsi dari periode ulang yang digunakan untuk analisis peluang

Nilai faktor frekuensi K_T umumnya tersedia di dalam Tabel 2.1 nilai variabel reduksi Gauss (*Variabel reduced Gauss*)

Tabel 2. 1 Nilai Variabel Reduksi Gauss

Periode Ulang T (tahun)	Peluang	K_T
1,001	0,999	-3,05
1,005	0,995	-2,58
1,01	0,99	-2,33
1,05	0,95	-1,64
1,11	0,9	-1,28
1,25	0,8	-0,84
1,33	0,75	-0,67
1,43	0,7	-0,52
1,67	0,6	-0,25
2	0,5	0
2,5	0,4	0,25
3,33	0,3	0,52
4	0,25	0,67
5	0,2	0,84
10	0,1	1,28
20	0,05	1,64
50	0,02	2,05
100	0,01	2,33
200	0,005	2,58
500	0,002	2,88
1000	0,001	3,09

Sumber: Bonnier (1980)

2. Distribusi Log Normal

Distribusi Log Normal mempunyai parameter untuk menghitung nilai Y yang mempunyai kala ulang t tahun dapat ditulis dengan persamaan berikut:

$$\log X_T = \overline{\text{Log}X_{rt}} + k.S \quad (2.7)$$

Dimana,

$\log X_T$: Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang T tahunan

$\overline{\text{Log}X_{rt}}$: nilai rata-rata hitung variat

S : nilai deviasi standart

k : faktor frekuensi analisis peluang. Nilai k dapat diperoleh dari tabel yang merupakan fungsi dari periode ulangnya (lihat Tabel 2.2)

Tabel 2. 2 Faktor frekuensi k distribusi Log Normal

Koefisien Kemencengan (CS)	Periode Ulang (tahun)					
	2	5	10	25	50	100
-2	0,2366	-0,6144	-1,2437	-1,8916	-2,7943	-3,5196
-1,8	0,224	-0,6395	-1,2621	-1,8928	-2,7578	-3,4433
-1,6	0,2092	-0,6654	-1,2792	-1,8901	-2,7138	-3,357
-1,4	0,192	-0,692	-1,2943	-1,8827	-2,6615	-3,2001
-1,2	0,1722	-0,7186	-1,3057	-1,8696	-2,6002	-3,1521
-1	0,1495	-0,7449	-1,3156	-1,8501	-2,5294	-3,0333
-0,8	0,1241	-0,77	-1,3201	-1,8235	-2,4492	-2,9043
-0,6	0,0959	-0,793	-1,3194	-1,7894	-2,366	-2,7665
-0,4	0,0654	-0,8131	-1,3128	-1,7478	-2,2631	-2,6223
-0,2	0,0332	-0,8296	-1,3002	-1,5993	-2,1602	-2,4745
0	0	0	0	0	0	0
0,2	-0,0332	0,8296	1,3002	1,5993	2,1602	2,4745
0,4	-0,0654	0,8131	1,3128	1,7478	2,2631	2,6223
0,6	-0,0959	0,793	1,3194	1,7894	2,366	2,7665
0,8	-0,1241	0,77	1,3201	1,8235	2,4492	2,9043
1	-0,1495	0,7449	1,3156	1,8501	2,5294	3,0333
1,2	-0,1722	0,7186	1,3057	1,8696	2,6002	3,1521
1,4	-0,192	0,692	1,2943	1,8827	2,6615	3,2001
1,6	-0,2092	0,6654	1,2792	1,8901	2,7138	3,357
1,8	-0,224	0,6395	1,2621	1,8928	2,7578	3,4433
2	-0,2366	0,6144	1,2437	1,8916	2,7943	3,5196

Sumber: Bonnier (1980)

3. Metode Gumbel

Curah hujan yang direncanakan untuk periode ulang tertentu ditentukan menggunakan Metode Gumbel. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$X_T = \bar{X} + K_T \times Sd \quad (2.8)$$

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum(Y_T - Y_n)}{n-1}} \quad (2.9)$$

$$k = \frac{Y_{Tr} - Y_n}{S_n} \quad (2.10)$$

Di mana,

X_T = curah hujan rencana dengan data ukur T tahun (mm/hari)

\bar{X} = nilai rata – rata curah hujan

Sd = deviasi standar (simpangan baku)

k = faktor frekuensi gumbel

Y_T = nilai reduksi variat (reduced variate) dari variabel yang diharapkan terjadi pada periode ulang T tahun, dapat dilihat pada Tabel 2.3

Y_n = nilai rata-rata dari reduksi variat (reduce mean), tergantung pada jumlah data (n), seperti yang tertera di Tabel 2.4

S_n = deviasi standar dari reduksi variat (reduced standart deviation), tergantung dari jumlah data (n), sebagaimana ditunjukkan di Tabel 2.5

Tabel 2. 3 Nilai Reduksi Variat (Y_T)

Periode Ulang (T)	Reduced Variate
2	0,35
5	1,4999
10	2,2502
20	2,9606
25	3,1985
50	3,901
100	4,6001
200	5,296
500	6,214
1000	6,919
5000	8,539
10000	9,921

Sumber: Suripin (2004)

Tabel 2. 4 Nilai Reduksi Rata-Rata (Y_n)

n	Y_n	n	Y_n	n	Y_n	n	Y_n
10	0,4595	33	0,5388	56	0,5508	79	0,5567
11	0,4996	34	0,5396	57	0,5511	80	0,5569

Lanjutan Tabel 2. 4 Nilai Reduksi Rata-Rata (Yn)

12	0,5053	35	0,5402	58	0,5518	81	0,557
13	0,507	36	0,541	59	0,5518	82	0,5572
14	0,51	37	0,5418	60	0,5521	83	0,5574
15	0,5128	38	0,5424	61	0,5524	84	0,5576
16	0,5157	39	0,543	62	0,5527	85	0,5578
17	0,5181	40	0,5436	63	0,553	86	0,558
18	0,5202	41	0,5442	64	0,5533	87	0,5581
19	0,522	42	0,5448	65	0,5535	88	0,5583
20	0,5236	43	0,5453	66	0,5538	89	0,5585
21	0,5252	44	0,5458	67	0,554	90	0,5586
22	0,5268	45	0,5463	68	0,5543	91	0,5587
23	0,5283	46	0,5468	69	0,5545	92	0,5589
24	0,5296	47	0,5473	70	0,5548	93	0,5591
25	0,5309	48	0,5477	71	0,555	94	0,5592
26	0,532	49	0,5481	72	0,5552	95	0,5593
27	0,5332	50	0,5485	73	0,5555	96	0,5595
28	0,5343	51	0,5489	74	0,5557	97	0,5596
29	0,5353	52	0,5493	75	0,5559	98	0,5598
30	0,5362	53	0,5497	76	0,5561	99	0,5599
31	0,5371	54	0,5501	77	0,5563	100	0,56
32	0,538	55	0,5504	78	0,5565		

Sumber: Suripin (2004)

Tabel 2. 5 Nilai Standar Deviasi (Sn)

n	Sn	n	Sn	n	Sn	n	Sn
10	0,949	33	1,1226	56	1,1696	79	1,193
11	0,967	34	1,1255	57	1,1708	80	1,1938
12	0,9833	35	1,1285	58	1,1721	81	1,1945
13	0,9971	36	1,1313	59	1,1734	82	1,1953
14	1,0095	37	1,1339	60	1,1747	83	1,1959
15	1,0206	38	1,1363	61	1,1759	84	1,1967
16	1,0316	39	1,1388	62	1,177	85	1,1973
17	1,0411	40	1,1413	63	1,1782	86	1,198
18	1,0493	41	1,1436	64	1,1793	87	1,1987
19	1,0565	42	1,1458	65	1,1803	88	1,1994
20	1,0628	43	1,148	66	1,1814	89	1,2001
21	1,0696	44	1,1499	67	1,1824	90	1,2007
22	1,0754	45	1,1519	68	1,1834	91	1,2013
23	1,0811	46	1,1538	69	1,1844	92	1,202
24	1,0864	47	1,1557	70	1,1854	93	1,2026

Lanjutan Tabel 2. 5 Nilai Standar Deviasi (Sn)

25	1,0915	48	1,1574	71	1,1863	94	1,2032
26	1,0961	49	1,159	72	1,1873	95	1,2038
27	1,1004	50	1,1607	73	1,1881	96	1,2044
28	1,1047	51	1,1623	74	1,189	97	1,2049
29	1,1086	52	1,1638	75	1,1898	98	1,2055
30	1,1124	53	1,1658	76	1,1906	99	1,206
31	1,1159	54	1,1667	77	1,1915	100	1,2065
32	1,1193	55	1,1681	78	1,1923	-	-

Sumber: Soewarno (1995)

4. Distribusi Log Person III

Untuk menerapkan metode ini dalam menentukan probabilitas curah hujan yang direncanakan selama periode ulang T tahun, digunakan rumus berikut:

$$\log X = \log \bar{X} + kS \quad (2.11)$$

Keterangan:

Log X : logaritma curah hujan pada periode ulang T tahun (mm/hari)

$\log \bar{X}$: nilai rata-rata

k : Faktor sifat distribusi Log Person III

S : nilai standar deviasi

1. Menghitung nilai rata-rata

$$\log \bar{X} = \frac{\sum \log X_i}{n} \quad (2.12)$$

2. Menghitung nilai standar deviasi

$$S = \sqrt{\frac{\sum (\log X_i - \log \bar{X})^2}{n-1}} \quad (2.13)$$

3. Menghitung nilai koefisien kemencengan

$$G = \frac{n \sum (\log X_i - \log \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)S^3} \quad (2.14)$$

Tabel 2. 6 Nilai k distribusi Log Person III

Koefisien Kemencengan (CS)	Periode Ulang (tahun)							
	2	5	10	25	50	100	200	1000
3	-0,396	0,42	1,18	2,278	3,152	4,051	4,97	7,25
2,5	-0,36	0,518	1,25	2,262	3,048	3,845	4,652	6,6
2,2	-0,33	0,574	1,284	2,24	2,97	3,705	4,444	6,2
2	-0,307	0,609	1,302	2,219	2,912	3,605	4,298	5,91
1,8	-0,282	0,643	1,318	2,193	2,848	3,499	4,147	5,66
1,6	-0,254	0,675	1,329	2,163	2,78	3,388	3,99	5,39

Lanjutan Tabel 2. 6 Nilai k Distribusi Log Person III

1,4	-0,225	0,705	1,337	2,128	2,706	3,271	3,828	5,11
1,2	-0,195	0,732	1,34	2,087	2,626	3,149	3,661	4,82
1	-0,164	0,758	1,34	2,043	2,542	3,022	3,489	4,54
0,9	-0,148	0,769	1,339	2,018	2,498	2,957	3,401	4,395
0,8	-0,132	0,78	1,336	1,998	2,453	2,891	3,312	4,25
0,7	-0,116	0,79	1,333	1,967	2,407	2,824	3,223	4,105
0,6	-0,099	0,8	1,328	1,939	2,359	2,755	3,132	3,96
0,5	-0,083	0,808	1,323	1,91	2,311	2,686	3,041	3,815
0,4	-0,066	0,816	1,317	1,88	2,261	2,615	2,949	3,67
0,3	-0,05	0,824	1,309	1,849	2,211	2,544	2,856	3,525
0,2	-0,033	0,83	1,301	1,818	2,159	2,472	2,763	3,33
0,1	-0,017	0,836	1,292	1,785	2,107	2,4	2,67	3,235
0	0	0,842	1,282	1,751	2,054	2,326	2,576	3,09
-0,1	0,017	0,836	1,27	1,716	2	2,252	2,482	2,95
-0,2	0,033	0,85	1,258	1,68	1,945	2,178	2,388	2,81
-0,3	0,05	0,853	1,245	1,643	1,89	2,104	2,294	2,675
-0,4	0,066	0,855	1,231	1,606	1,834	2,029	2,201	2,54
-0,5	0,083	0,856	1,216	1,567	1,777	1,955	2,108	2,4
-0,6	0,099	0,857	1,2	1,528	1,72	1,88	2,016	2,275
-0,7	0,116	0,857	1,183	1,488	1,663	1,806	1,926	2,15
-0,8	0,132	0,856	1,166	1,448	1,606	1,733	1,837	2,035
-0,9	0,148	0,854	1,147	1,407	1,549	1,66	1,749	1,91
-1	0,164	0,852	1,128	1,366	1,492	1,588	1,664	1,8
-1,2	0,195	0,844	1,086	1,282	1,379	1,449	1,501	1,625
-1,4	0,225	0,832	1,041	1,198	1,27	1,318	1,351	1,465
-1,6	0,254	0,817	0,995	1,116	1,166	1,197	1,216	1,28
-1,8	0,282	0,799	0,945	1,035	1,069	1,087	1,097	1,13
-2	0,307	0,777	0,895	0,959	0,98	0,99	0,995	1
-2,2	0,33	0,752	0,844	0,888	0,9	0,905	0,907	0,91
-2,5	0,36	0,711	0,771	0,793	0,798	0,799	0,8	0,802
-3	0,396	0,636	0,666	0,666	0,666	0,667	0,667	0,668

Sumber: Soewarno (1995)

Berikut syarat-syarat yang harus diperhatikan dalam menentukan metode distribusi yang tepat:

Tabel 2. 7 Parameter Pemilihan Jenis Distribusi

No.	Jenis Distribusi	Syarat
1.	Normal	$Cs \approx 0$ $Ck = 3$

Lanjutan Tabel 2. 7 Parameter Pemilihan Jenis Distribusi

2.	Gumbel	$C_s \leq 1,1396$ $C_k \leq 5,4002$
3.	Log Normal	$C_s = 0,2$ $C_k = 3,05$
4.	Log Person III	$C_s \neq 0$

Sumber: Bambang (2008)

2.2.3 Uji Kecocokan Distribusi

Digunakan sebagai indikator untuk menilai kesesuaian antara distribusi frekuensi dan distribusi peluang yang akan dipakai. Terdapat dua metode pengujian yang bisa diterapkan, yaitu Uji Chi-kuadrat dan Uji Smirnov-Kolmogorov.

1. Uji Chi-kuadrat

Uji ini bertujuan untuk menentukan apakah persamaan yang dipilih dapat mewakili distribusi statistik dari sampel data yang dianalisis. Uji ini menggunakan parameter X^2 , yang dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$X^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (2.15)$$

Dimana:

X^2 : Parameter chi-kuadrat yang dihitung

G : Jumlah subkelas

O_i : Jumlah nilai pengamatan pada subkelas i

E_i : Jumlah nilai teoritis pada subkelas i

Langkah-langkah uji chi-kuadrat adalah sebagai berikut:

1. Urutkan data yang akan diamati
2. Kelompokkan data sesuai dengan kategorinya menjadi G subkelas dengan minimal 4 pengamatan
3. Tambahkan data pengamatan (O_i) ke setiap subkelas
4. Tambahkan data distribusi yang digunakan untuk E_i
5. Hitung nilai untuk setiap subkelas $(O_i - E_i)^2$ dan $\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$
6. Jumlahkan semua nilai $\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$ dari setiap subkelas untuk menentukan nilai chi kuadrat yang dihitung
7. Tentukan derajat kebebasan, $dk = G - R - 1$ (nilai $R = 2$ untuk distribusi normal dan binomial)

Jika nilai hitung X^2 hitung < nilai X_{kr} dari tabel maka distribusi dianggap memenuhi. Nilai kritis untuk distribusi Chi-kuadrat dapat dilihat pada tabel 2.8.

Tabel 2. 8 Nilai kritis Distribusi Chi-kuadrat

dk	α (alpha)						
	0,95	0,9	0,1	0,05	0,025	0,01	0,005
1	0,0039	0,0158	2,7055	3,8415	5,0239	6,6349	7,8794
2	0,1026	0,2107	4,6052	5,9915	7,3778	9,2103	10,5996
3	0,3518	0,5844	6,2514	7,8147	9,3484	11,3449	12,8362
4	0,7107	1,0636	7,7794	9,4877	11,1433	13,2767	14,8603
5	1,1455	1,6103	9,2364	11,0705	12,8325	15,0863	16,7496
6	1,6354	2,2041	10,6446	12,5916	14,4494	16,8119	18,5476
7	2,1673	2,8331	12,017	14,0671	16,0128	18,4753	20,2777
8	2,7326	3,4895	13,3616	15,5073	17,5345	20,0902	21,955
9	3,3251	4,1682	14,6837	16,919	19,0228	21,666	23,5894
10	3,9403	4,8652	15,9872	18,307	20,4832	23,2093	25,1882
11	4,5748	5,5778	17,275	19,6751	21,92	24,725	26,7568
12	5,226	6,3038	18,5493	21,0261	23,3367	26,217	28,2995
13	5,8919	7,0415	19,8119	22,362	24,7356	27,6882	29,8195
14	6,5706	7,7895	21,0641	23,6848	26,1189	29,1412	31,3193
15	7,2609	8,5468	22,3071	24,9958	27,4884	30,5779	32,8013
16	7,9616	9,3122	23,5418	26,2962	28,8454	31,9999	34,2672
17	8,6718	10,0852	24,769	27,5871	30,191	33,4087	35,7185
18	9,3905	10,8649	25,9894	28,8693	31,5264	34,8053	37,1565
19	10,117	11,6509	27,2036	30,1435	32,8523	36,1909	38,5823
20	10,8508	12,4426	28,412	31,4104	34,1696	37,5662	39,9968
21	11,5913	13,2396	29,6151	32,6706	35,4789	38,9322	41,4011
22	12,338	14,0415	30,8133	33,9244	36,7807	40,2894	42,7957
23	13,0905	14,848	32,0069	35,1725	38,0756	41,6384	44,1813
24	13,8484	15,6587	33,1962	36,415	39,3641	42,9798	45,5585
25	14,6114	16,4734	34,3816	37,6525	40,6465	44,3141	46,9279
26	15,3792	17,2919	35,5632	38,8851	41,9232	45,6417	48,2899
27	16,1514	18,1139	36,7412	40,1133	43,1945	46,9629	49,6449
28	16,9279	18,9392	37,9159	41,3371	44,4608	48,2782	50,9934
29	17,7084	19,7677	39,0875	42,557	45,7223	49,5879	52,3356
30	18,4927	20,5992	40,256	43,773	46,9792	50,8922	53,672
31	19,2806	21,4336	41,4217	44,9853	48,2319	52,1914	55,0027
32	20,0719	22,2706	42,5847	46,1943	49,4804	53,4858	56,3281

2. Uji Smirnov-Kolmogrov

Uji kecocokan ini sering disebut uji non-parametrik, karena tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu. Langkah-langkah pelaksanaannya adalah sebagai berikut:

- Urutkan data dari yang terbesar hingga terkecil atau sebaliknya.

$$X_1 = P(X_1) ; X_2 = P(X_2) ; X_n = P(X_n)$$

- Urutkan setiap peluang teoritis berdasarkan hasil pendataan (persamaan distribusinya)
 $X_1 = P'(X_1)$; $X_2 = P'(X_2)$; $X_n = P'(X_n)$
- Tentukan selisih terbesar antara peluang pengamatan dan teoretis
 $D = \text{maksimum}(P(X_n) - P'(X_n))$
 Dapat dilihat pada Tabel 2.9 untuk nilai kritis (Smirnov-Kolmogorov) dalam menentukan nilai D_0 .

Tabel 2. 9 Nilai Kritis D_0 untuk Uji Smirnov-Kolmogorov

n	Derajat Kebebasan			
	0,2	0,1	0,05	0,01
5	0,45	0,51	0,546	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	0,20	0,23	0,27
40	0,17	0,19	0,21	0,25
45	0,16	0,18	0,20	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23
n > 50	$\frac{1,07}{n}$	$\frac{1,22}{n}$	$\frac{1,36}{n}$	$\frac{1,63}{n}$

Sumber: Bonnier (1980)

2.2.4 Periode Ulang Hujan (PUH)

Jumlah curah hujan yang direncanakan dipilih dengan memperhatikan urgensi dan nilai sosial ekonomi dari wilayah yang dituju. Nilai kala ulang hujan regional berdasarkan urgensi dan nilai sosial ekonomi ditampilkan pada Tabel 2.10 sebagai berikut:

Tabel 2. 10 Periode Ulang Hujan

No	Distribusi	PUH (tahun)
1	Saluran Mikro Pada Daerah	
	Lahan rumah, kebun, kuburan, lahan tak terbangun	2
	Kesibukan dan perkantoran	5
	Perindustrian	
	Ringan	5
	Menengah	10
	Berat	25
	Super berat/proteksi negara	50
2	Saluran Tersier	

Lanjutan Tabel 2. 10 Periode Ulang Hujan

	Resiko kecil	2
	Resiko besar	5
3	Saluran Sekunder	
	Tanda Resiko	2
	Resiko kecil	5
	Resiko besar	10
4	Saluran Primer (Induk)	
	Tanda Resiko	5
	Resiko kecil	10
	Resiko besar	25
	Atau:	
	Luas DAS (25-50) Ha	5
	Luas DAS (50-100) Ha	5-10
	Luas DAS (100-1300) Ha	10-25
	Luas DAS (1300-6500) Ha	25-50
5	Pengendali Banjir Makro	100
6	Gorong-Gorong	
	Jalan raya biasa	10
	Jalan by pass	25
	Jalan ways	50
7	Saluran Tepian	
	Jalan raya biasa	5-10
	Jalan by pass	10-25
	Jalan ways	25-50

Sumber: SDMP (Surabaya Drainage Master Plan, 2012)

2.2.5 Analisis Intensitas Hujan

Intensitas hujan adalah tinggi atau kedalaman air hujan per satuan waktu. Secara umum, semakin singkat durasi hujan, intensitasnya cenderung semakin tinggi, dan semakin besar periodenya (Suripin, 2004).

Curah hujan jangka pendek dinyatakan sebagai intensitas per jam, disebut juga intensitas curah hujan (mm/jam). Jika data hujan berupa data harian, intensitas hujan dapat dihitung menggunakan rumus Mononobe sebagai berikut:

$$I = \frac{R_{24}}{24} \times \left(\frac{24}{tc}\right)^{2/3} \quad (2.16)$$

Keterangan:

I : Intensitas hujan (mm/jam)

R₂₄ : Curah hujan kala ulang Tr. tahun (mm/hari)

tc : Waktu konsentrasi hujan (jam)

Untuk menghitung waktu konsentrasi digunakan rumus sebagai berikut:

$$t_c = t_0 + t_f \quad (2.17)$$

Di mana,

t_0 : *Overland flow time (inlet time)*, waktu yang dibutuhkan air hujan mengalir di permukaan agar sampai di *inlet* (jam)

t_f : *Channel flow time*, waktu yang dibutuhkan untuk air mengalir pada sepanjang saluran sampai di *outlet* (jam)

1. Perhitungan t_0

Rumus umum yang digunakan untuk menghitung t_0 adalah dengan rumus Kerby (1959) sebagai berikut:

$$t_0 = \frac{1,44 \times \left(n_d \times \frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0,467}}{60} \quad (2.18)$$

di mana,

L : Panjang antara titik terjauh aliran dan inlet (m)

n_d : Koefisien hambatan, dapat dilihat pada Tabel 2.11

S : Kemiringan lahan

Tabel 2. 11 Nilai Koefisien Hambatan, n_d

Bahan	Koefisien Hambatan (n_d)
Besi tulang dilapis	0,014
Kaca	0,010
Saluran Beton	0,013
Bata dilapisi mortar	0,015
Pasangan batu disemen	0,025
Saluran tanah bersih	0,022
Saluran tanah	0,030
Saluran dengan dasar batu dan tebing rumput	0,040
Saluran pada galian batu padas	0,040

Sumber: Bambang (2008)

2. Perhitungan t_f

$$t_f = \frac{L}{V \times 3600} \quad (2.19)$$

Keterangan:

L : panjang lintasan aliran pada saluran (m)

V : kecepatan aliran di dalam saluran (m/detik)

2.2.6 Perhitungan Debit Banjir Rencana

Metode perhitungan debit banjir rencana memakai metode rasional untuk mendapat debit puncak. Debit puncak dipengaruhi oleh intensitas hujan, besaran koefisien, dan luas lahan yang akan didrainase. Rumus umum metode rasional adalah:

$$Q = 0,278 \cdot C \cdot I \cdot A \quad (2.20)$$

Dimana:

Q : Debit banjir rencana (m^3/dt)

C : Koefisien pengaliran

I : Intensitas hujan (mm/jam)

A : Luas area (km^2)

2.2.7 Koefisien Pengaliran

Koefisien aliran adalah rasio antara jumlah air yang mengalir di permukaan tanah (limpasan) dengan jumlah curah hujan yang jatuh di daerah tersebut. Besar kecilnya koefisien aliran dipengaruhi oleh:

- Kemiringan daerah aliran
- Luas dan bentuk daerah pengaliran
- Kebasahan Tanah
- Tata guna lahan

Tabel 2. 12 Koefisien Aliran Permukaan untuk Daerah Urban

Jenis Daerah	Koefisien C
Daerah Perdagangan	
- Perkotaan (down town)	0,7 - 0,9
- Pinggiran	0,5 - 0,7
Permukiman	
- Perumahan satu keluarga	0,3 - 0,5
- Perumahan berkelompok, terpisah-pisah	0,4 - 0,6
- Perumahan berkelompok, bersambungan	0,6 - 0,75
- Sub-urban	0,25 - 0,40
- Daerah apartemen	0,5 - 0,7
Industri	
- Daerah industri ringan	0,5 - 0,8
- Daerah industri berat	0,6 - 0,9
Taman, pekuburan	0,1 - 0,25
Tempat bermain	0,2 - 0,35
Daerah stasiun kereta api	0,2 - 0,4
Daerah belum diperbaiki	0,1 - 0,3
Jalan	0,7 - 0,95
Bata	
Jalan, hampan	0,75 - 0,85
Atap	0,75 - 0,95

Sumber: Schwab, *et al* (1981) dalam Arsyad (2006)

Jika DAS terdiri dari berbagai jenis lahan dengan koefisien aliran permukaan yang berbeda-beda, maka koefisien C yang digunakan adalah koefisien gabungan dan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$C_{gab} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i \times A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (2.21)$$

Di mana,

A_i : luas lahan (Ha)

C_i : koefisien aliran permukaan

2.3 Analisis Hidrolika

2.3.1 Analisis Kapasitas Saluran

Perhitungan kapasitas saluran ini digunakan sebagai kriteria untuk menentukan apakah aliran keluar yang direncanakan pada kondisi tertentu dapat ditampung oleh saluran tanpa terjadi luapan air (Anggrahini, 2005).

Adapun perhitungan kapasitas saluran yaitu sebagai berikut:

$$Q = V \times A \quad (2.22)$$

Keterangan:

Q : debit hidrolika (m^3/s)

n : koefisien kekasaran manning (Tabel 2.11)

R : jari-jari hidrolis saluran (m)

S : kemiringan saluran

A : luas penampang saluran (m^2)

V : kecepatan aliran di saluran (m/detik)

Kecepatan rata-rata aliran pada saluran dapat dihitung menggunakan rumus Manning sebagai berikut:

$$V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2} \quad (2.23)$$

Di mana,

n : koefisien kekasaran manning, dapat dilihat pada Tabel 2.13

R : jari-jari hidrolis (m)

S : kemiringan saluran

$$R = \frac{A}{P} \quad (2.24)$$

Di mana,

A : luas penampang saluran (m^2)

P : keliling basah saluran (m)

Tabel 2. 13 Nilai Koefisien Manning (n)

Permukaan	Nilai n Yang Disarankan		
	Minimum	Normal	Maksimum
Baja dengan permukaan gelombang	0,021	0,025	0,03
Kayu diserut tak diawetkan	0,01	0,012	0,014
Plester semen	0,011	0,013	0,015
Beton	0,011	0,013	0,015
Batu potong diatur	0,013	0,015	0,017
Batu bara	0,011	0,013	0,015
Pasangan batu	0,017	0,025	0,03

Sumber: Anggrahini, 1997

Kecepatan minimum yang disarankan:

- Saluran tanah kecil = 0,40 m/detik
- Saluran tanah sedang s/d besar = 0,60 – 0,90 m/detik
- Pipa = 0,60 – 0,75 m/detik

Sedangkan untuk kecepatan maksimum yang disarankan dapat dilihat pada Tabel 2.14 di bawah ini.

Tabel 2. 14 Kecepatan Maksimum Aliran

Jenis Material	Kecepatan Ijin, V _{ij} (m/detik)
Pasir halus	0,45
Lempung kepasiran	0,50
Lanau aluvia	0,60
Kerikil halus	0,75
Lempung kokoh	0,75
Kerikil kasar	1,10
Batu bata besar	1,20
Pasangan batu	1,50
Beton	1,50
Beton bertulang	1,50

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum (2006)

1. Penampang Saluran Segi Empat

$$A = b \times h \quad (2.25)$$

$$P = b + 2h \quad (2.26)$$

2. Penampang Saluran Trapesium

$$A = (b + z \times h) \times h \quad (2.27)$$

$$P = b + 2h \times \sqrt{1 + z^2} \quad (2.28)$$

Dimana:

A : luas penampang saluran (m²)

- b : lebar dasar saluran (m)
- z : tinggi air dalam saluran (m)
- h : kemiringan tebing saluran
- P : keliling basah saluran (m)
- R : jari-jari hidrolis dari penampang saluran (m)

2.4 Program Bantu

2.4.1 HEC-RAS

River Analysis System (RAS) adalah program yang memodelkan aliran sungai. Program ini diproduksi oleh *Hydrological Engineering Center (HEC)*, sebuah divisi dari Institut Sumber Daya Air (IWR) Korps Insinyur Angkatan Darat AS (USACE). HEC-RAS melakukan analisis hidrolika dengan asumsi aliran permanen (steady) dan aliran tak permanen (unsteady), sehingga menghasilkan desain berdasarkan analisis tersebut. Untuk melakukan analisis hidrolika menggunakan HEC-RAS, data yang harus dimasukkan adalah sebagai berikut:

1. Data geometri saluran berupa koordinat X dan Y, potongan memanjang, dan potongan melintang.
2. Koefisien Manning
3. Data debit pada setiap titik penampang

Hasil analisis dari HEC-RAS adalah sebagai berikut:

1. Ketinggian permukaan air sepanjang aliran
2. Profil penampang saluran yang ditinjau
3. Kecepatan

2.4.2 ArcGIS

ArcGIS adalah perangkat lunak yang berguna sebagai sistem informasi geografis. Perangkat lunak ini dikembangkan oleh ESRI (*Environment Science & Research Institute*). Perangkat ini dilengkapi dengan beragam fitur sesuai kebutuhan.

Umumnya software ini digunakan untuk mengumpulkan, menyimpan, dan menganalisis berbagai fenomena dan objek geografis di Bumi. Perangkat lunak ini telah membantu banyak ahli untuk meneliti, mengevaluasi dan menyimpulkan teori baru berdasarkan data yang dikumpulkan.

Hal yang sering dilakukan dengan software ArcGIS salah satunya adalah pembuatan peta kontur. Peta kontur merupakan peta yang menunjukkan ketinggian permukaan bumi. Peta kontur dibuat dengan mengambil gambar permukaan bumi dari pesawat udara atau satelit. Adapun langkah-langkah untuk membuat kontur adalah sebagai berikut:

- Buka software ArcGIS, lalu tambahkan data dari folder yang sudah diunduh.
- Proyeksikan file ke dalam bentuk UTM dengan memilih ArcToolbox > Data Management Tools > Projections and Transformations > Define Projection.
- Masukkan file dan pilih sistem koordinat UTM zone.

- Untuk membuat garis kontur, buat terlebih dahulu raster yang merupakan interpolasi ketinggian dari titik-titik yang sudah diketahui ketinggiannya menggunakan IDW. Pilih ArcToolbox > Raster Interpolation > IDW.
- Hasil dari IDW berupa data raster yang berisi informasi ketinggian dari hasil interpolasi antar titik yang diketahui ketinggiannya. Data ini kemudian diubah menjadi garis kontur dengan langkah berikut:
- Pilih ArcToolbox > 3D Analyst Tools > Raster Surface > Contour. Masukkan input raster dengan hasil IDW tadi, pilih interval kontur 10, lalu klik OK.



