

2 LANDASAN TEORI

2.1 Limpasan (*Runoff*)

Limpasan merupakan salah satu bagian yang tak terpisahkan dalam siklus hidrologi. Presipitasi yang terjadi sebagian akan terintersepsi, terinfiltrasi ke dalam tanah untuk menjadi bagian dari air tanah (*groundwater*) sedangkan yang tidak terinfiltrasi akan menjadi limpasan (*run off*) yang selanjutnya akan mengalir ke outlet atau badan air terdekat (Hidayat dkk., 2021). Limpasan permukaan (*surface runoff*) yang merupakan air hujan yang mengalir dalam bentuk lapisan tipis di atas pembukaan lahan akan masuk ke parit-parit dan selokan-selokan yang kemudian bergabung menjadi anak sungai dan akhirnya menjadi aliran sungai. Aliran permukaan dapat terkonsentrasi menuju sungai dalam waktu singkat, sehingga aliran permukaan merupakan penyebab utama terjadinya banjir (Triatmodjo, 2008).

2.1.1 Faktor yang mempengaruhi aliran air permukaan

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi aliran air permukaan (Sudarto, 2009) antara lain:

1. Curah Hujan, merupakan faktor yang sangat penting dalam analisis hidrologi. Besarnya hujan yang jatuh sebagai curah hujan dapat dihitung dari tebal lapisan air hujan yang jatuh diatas permukaan tanah yang rata dan dinyatakan dalam satuan milimeter (mm).
2. Faktor Alam, berupa curah hujan, keadaan topografi dan geofisik sungai.
3. Faktor manusia, perubahan tata guna lahan dalam memenuhi kebutuhan manusia.
4. Faktor *Meteorologi*, intensitas hujan, durasi hujan, dan distribusi hujan.

2.1.2 *Backwater Effect*

Backwater (air balik) adalah fenomena dimana aliran air di suatu saluran (sungai, drainase, *outlet*) terhambat bagian hilirnya (bagian pembuang), sehingga permukaan air di bagian hulu menjadi naik dan aliran melambat atau bahkan menuju ke arah yang berlawanan. Efek menyebabkan kenaikan muka air hulu, genangan, perubahan profil aliran (*flow profile*), dan menyebabkan banjir (Kementerian Pekerjaan Umum, 2014).

2.2 Sistem Drainase Bandara

Menurut Direktorat Jenderal Perhubungan Udara dan Standar ICAO, sistem drainase bandara adalah keseluruhan jaringan saluran yang dirancang untuk mengalirkan limpasan air hujan dari permukaan perkerasan (*runway*, *taxiway*, *apron*) dan lahan sekitar, agar tidak terjadi genangan yang dapat mengganggu keselamatan operasional penerbangan. Fokus untuk pengendalian limpasan air hujan agar tidak terjadi genangan.

2.2.1 Drainase Permukaan

Drainase permukaan mempunyai fungsi sebagai penanganan air di permukaan yang berada di sekitar *runway* atau landasan pacu yang dimana asalnya dari hujan. Langkah perencanaan dari drainase permukaan yaitu menentukan debit rencana yang dimana berupa suatu aliran permukaan serta menentukan sebuah *layout* dari drainase permukaan (Nabilah, 2023).

2.2.2 Drainase Bawah Permukaan

Drainase bawah permukaan bandar udara adalah penghamparan lapisan pasir dibawah perkerasan *runway* dan drainase bawah permukaan tanah pada area *shoulder*. *Shoulder* dengan lapisan tanah yang keras sulit diresapi mempunyai koefisien *run off* 0,55 atau 45% air meresap kedalam tanah. Meresapnya air dapat dilakukan drainase bawah tanah dengan menggunakan pipa drain, atau *box culvert* (Hasmar, 2002).

Drainase bawah permukaan yang dimana fungsinya sebagai pembuang air dari *base course*, membuang aliran air dari *subgrade* di bawah sebuah permukaan dan menerima, mengumpulkan serta membuang atau menyalurkan air dari genangan air atau mata air.

2.3 Tata Guna Lahan

Tata guna lahan berupa peta penggunaan lahan yang berfungsi untuk mengetahui koefisien larian air (Triatmodjo, 2008). Tata guna lahan dapat didefinisikan sebagai suatu hasil produk akhir dari persebaran manusia di permukaan bumi dalam hubungannya dengan lingkungan geografis.

2.4 Daerah Tangkapan Air

Daerah Tangkapan Air (*Catchment area*) disebut juga sebagai daerah aliran sungai. Beberapa daerah aliran sungai kecil sementara ada juga yang sangat besar.

Tergantung pada jumlah anak sungai dari anak-anak sungai yang ada merupakan bagian dari sistem utama. Daerah aliran sungai yang sangat besar dapat terdiri dari beberapa sub-DAS, atau sub-DAS dapat terdiri dari beberapa sub-DAS lainnya. Luas suatu daerah sungai mempengaruhi terhadap debit sungai. Semakin besar daerah tangkapan maka, semakin besar limpasan permukaan atau limpasan sungai. Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah titik/stasiun yang dievaluasi, daerah yang dikelilingi oleh pegunungan dimana air hujan yang jatuh di daerah ini mengalir menuju sungai utama (Triatmodjo, 2008).

2.5 Analisis Hidrologi

2.5.1 Hujan Kawasan

Data hujan yang diperoleh dari alat hujan yang hanya terjadi pada satu tempat atau satu titik saja. Untuk pengukuran hujan kawasan tidak bisa diwakili satu titik pos pengukuran. Hujan kawasan dapat diperoleh dari data rata-rata curah hujan yang sudah direkap. Terdapat tiga cara yang dipakai diantaranya Metode Rerata Aritmatik, Poligon Thiessen dan Isohyet.

a. Metode Rata-Rata Aljabar (Rata-rata Aritmatik)

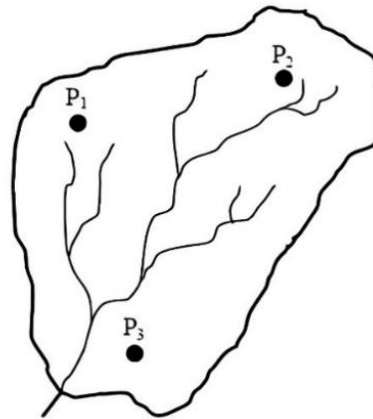
Metode aljabar adalah metode yang paling sederhana untuk menghitung hujan rerata pada suatu kawasan. Stasiun yang digunakan dalam hitungan biasanya yang berada dalam DAS, tetapi stasiun di luar DAS yang masih berdekatan juga bisa diperhitungkan (Triatmodjo, 2008).

$$\bar{P} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{n} \quad (2.1)$$

Keterangan:

P = Hujan rerata kawasan

n = jumlah stasiun



Gambar 2.1 Metode Rata-rata Aritmatika

b. Metode 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. Metode ini digunakan apabila penyebaran stasiun hujan di daerah yang ditinjau tidak merata (Triatmodjo, 2008). Minimal tiga stasiun hujan diperlukan untuk perhitungan. Curah hujan rata-rata ditentukan berdasarkan area pengaruh masing-masing stasiun. Cara ini cocok untuk daerah datar dengan luas 500 – 5,000 km², dan jumlah pos penakar hujan terbatas dibandingkan luasnya.

Prosedur penerapan untuk membentuk Metode *Polygon Thiessen* 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 sama.
3. Garis berat tersebut membentuk *polygon* yang mengelilingi tiap stasiun, Tiap stasiun mewakili luasan yang dibentuk oleh *polygon*.
4. Luas tiap *polygon* diukur dan kemudian dikalikan dengan kedalaman hujan di stasiun yang berada di dalam *polygon*.
5. Jumlah dari hitungan pada butir e untuk semua stasiun dibagi dengan luas daerah yang ditinjau menghasilkan hujan rerata daerah tersebut.

Hujan rerata menggunakan metode ini dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

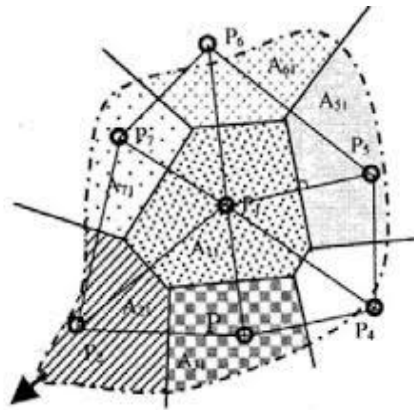
$$\bar{p} = \frac{A_1 P_1 + A_2 P_2 + A_3 P_3 + \dots + A_n P_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \quad (2.2)$$

Keterangan:

$\bar{p}$ = Hujan rerata kawasan

P_n = Hujan di stasiun 1, 2, ..., n

A_n = Luas daerah yang mewakili stasiun 1, 2, ..., n



Gambar 2.2 Metode *Polygon Thiessen*

c. Metode Isohyet

Metode isohyet adalah garis yang menghubungkan titik-titik dengan kedalaman hujan yang sama (Triatmodjo, 2008). Setiap perhitungan menggunakan metode ini berpengaruh setiap pos stasiun hujan dan beranggapan bahwa data hujan pada suatu daerah luasan diantara dua garis isohyet merata dengan rerata dari nilai kedua garis isohyet tersebut.

Metode isohyet terdiri dari beberapa langkah sebagai berikut:

1. Lokasi stasiun hujan dan kedalaman hujan digambarkan pada peta daerah yang ditinjau.
2. Nilai kedalaman hujan di stasiun yang berdampingan dibuat interpolasi dengan pertambahan nilai yang ditetapkan.
3. Dibuat kurva yang menghubungkan titik-titik interpolasi yang mempunyai kedalaman hujan yang sama.
4. Diukur luas daerah antara dua isohyet yang berurutan dan kemudian dikalikan dengan nilai rerata dari nilai kedua garis isohyet.

5. Jumlah dari hitungan pada butir *d* untuk seluruh garis isohyet dibagi dengan luas daerah yang ditinjau menghasilkan kedalaman hujan rerata daerah tersebut.

Metode isohyet dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

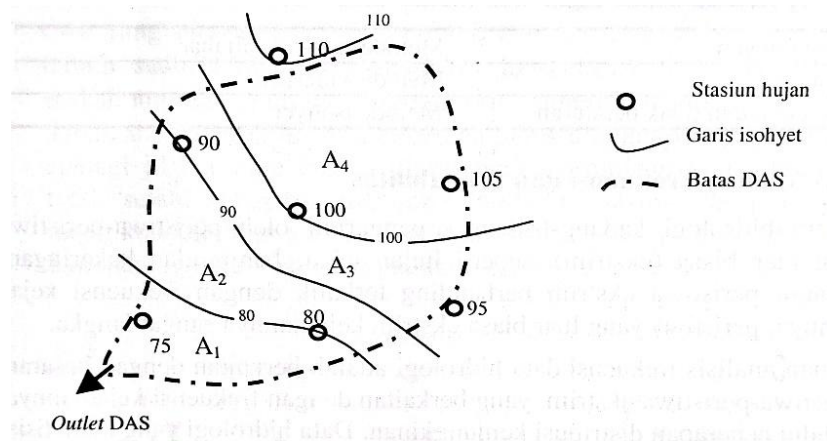
$$\bar{P} = \frac{A_1 \left(\frac{P_1 + P_2}{2} \right) + A_2 \left(\frac{P_2 + P_3}{2} \right) + \dots + A_{n-1} \left(\frac{P_{n-1} + P_n}{2} \right)}{A_1 + A_2 + \dots + A_{n-1}} = \quad (2.3)$$

Keterangan:

$\bar{P}$ = hujan rerata kawasan

P_n = hujan di stasiun 1, 2, ..., n

A_n = luas areal poligon 1, 2, ..., n



Gambar 2.3 Metode Isohyet

2.5.2 Pemilihan Metode Hujan Kawasan

Ketiga metode yang digunakan dalam perhitungan curah hujan kawasan mempunyai berbagai kelemahan dan kekurangan. Pemilihan metode yang tepat pada suatu DAS dapat ditentukan dengan mempertimbangkan tiga faktor berikut:

1. Jaring-jaring pos penakar hujan dalam DAS
2. Luas DAS
3. Topografi DAS

Tabel 2.1 Metode Berdasarkan Luas DAS

DAS besar (> 5000 km ²)	Metode Isohyet
DAS sedang (500 s,d 5000 km ²)	Metode Poligon Thiessen
DAS kecil (<500 km ²)	Metode Rata-rata Aljabar

2.5.3 Analisa Frekuensi

Analisis frekuensi data hidrologi adalah mencari hubungan antara besarnya kejadian ekstrim terhadap frekuensi kejadian dengan menggunakan distribusi probabilitas. Besarnya kejadian ekstrim mempunyai hubungan terbalik dengan probabilitas kejadian, misalnya frekuensi kejadian debit banjir besar adalah lebih kecil dibanding dengan frekuensi debit-debit sedang atau kecil. Dengan analisis frekuensi akan diperkirakan besarnya banjir dengan interval kejadian tertentu seperti 10 tahunan, 100 tahunan atau 1000 tahunan, dan juga berapakah frekuensi banjir dengan besar tertentu yang mungkin terjadi selama suatu periode waktu, misalnya 100 tahun (Triatmodjo, 2008).

Syarat distribusi dengan ketentuan koefisien kemencengan (C_s) dan koefisien kurtosis (C_k) pada distribusi frekuensi yang akan digunakan, berikut tabel yang berhubungan dengan C_s dan C_k .

Tabel 2.2 Karakteristik Distribusi Frekuensi

No	Distribusi Frekuensi	Syarat Distribusi	
		C_s	C_k
1	Normal	0	3
2	Log Normal	$C_v^3 + 3C_v$	$C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3$
3	Gumbel	1,14	5,4
5	Log Person Type III	Selain nilai di atas	

1. Metode Normal

Metode normal juga dikenal dengan Metode *Gauss* yang sering digunakan untuk analisa frekuensi hujan harian maksimum, dan rumus yang digunakan pada metode ini adalah sebagai berikut:

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

Keterangan:

X_t = Hujan maksimum dalam periode ulang T tahun

$\bar{X}$ = Nilai rata-rata hitung varian

S = Standar Deviasi atau simpangan baku

K_T = faktor reduksi Gauss

Nilai faktor reduksi *gauss* yang didapat untuk mempertimbangkan nilai variabel yang disajikan pada tabel berikut:

Tabel 2.3 Nilai Variabel Reduksi Gauss

No.	Periode ulang, T (tahun)	Peluang	K_T
1	1,001	0,999	-3,050
2	1,005	0,995	-2,580
3	1,010	0,990	-2,330
4	1,050	0,950	-1,640
5	1,110	0,900	-1,280
6	1,250	0,800	-0,840
7	1,330	0,750	-0,670
8	1,430	0,700	-0,520
9	1,670	0,600	-0,250
10	2,000	0,500	0,000
11	2,500	0,400	0,250
12	3,330	0,300	0,520
13	4,000	0,250	0,670
14	5,000	0,200	0,840
15	10,000	0,100	1,280
16	20,000	0,050	1,620
17	50,000	0,020	2,050
18	100,000	0,010	2,330
19	200,000	0,005	2,580
20	500,000	0,002	2,880
21	1,000,000	0,001	3,090

2. Metode Log Normal

Jika variabel acak $Y = \log X$ terdistribusi secara normal, maka X dikatakan mengikuti distribusi Log Normal (Suripin, 2004). Perhitungan curah hujan rencana menggunakan persamaan berikut ini:

$$Y = \text{Log}X \quad (2.5)$$

$$Y_T = \bar{Y} + K_T S \quad (2.6)$$

Keterangan:

Y_T = Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang T-tahunan

- $\bar{Y}$ = Nilai rata-rata hitung variat
 S = Deviasi standar nilai variat
 K_T = Faktor frekuensi, merupakan fungsi dari peluang atau periode ulang dan tipe model matematik distribusi peluang yang digunakan untuk analisis peluang.

3. Metode Gumbel

Distribusi Gumbel menggunakan harga ekstrim untuk menunjukkan bahwa dalam deret harga-harga ekstrim $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ mempunyai fungsi distribusi eksponensial ganda. Menurut *Federal Aviation Administration*, 1970 (FAA) merekomendasikan bahwa untuk lapangan terbang sipil dapat digunakan hujan rencana dengan periode ulang hujan (PUH) 5 tahunan, sedangkan untuk lapangan terbang militer dapat digunakan hujan rencana 2 tahun. Perhitungan hujan rencana berdasarkan Distribusi Gumbel dengan rumus-rumus berikut (Suripin, 2004):

$$X_T = \bar{x} + S \times K \quad (2.7)$$

Keterangan:

- X_T = Hujan rencana atau debit dengan periode ulang T
 $\bar{x}$ = Nilai rata-rata dari data hujan (X)
 S = Standar Deviasi (simpangan baku) dari data hujan (X)
 K = Faktor probabilitas

Faktor probabilitas K untuk harga-harga ekstrim Gumbel dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$K = \frac{Y_{T_r} - Y_n}{S_n} \quad (2.8)$$

Keterangan:

- Y_n = *reduced mean* yang tergantung jumlah sampel/data n
 S_n = *reduced standard deviation* yang juga tergantung pada jumlah sampel/data n

Y_{T_r} = *Reduced variate*, yang dapat dihitung dengan persamaan berikut ini

$$Y_{T_r} = -\ln \left\{ -\ln \frac{T_r - 1}{T_r} \right\} \quad (2.9)$$

Tabel 2.4 Reduce Mean, Y_n

U	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,495	0,499	0,503	0,507	0,51	0,51	0,513	0,52	0,522	0,522
20	0,523	0,523	0,526	0,528	0,53	0,53	0,532	0,533	0,535	0,535
30	0,536	0,537	0,538	0,538	0,54	0,54	0,541	0,541	0,543	0,543
40	0,543	0,544	0,544	0,545	0,546	0,546	0,546	0,547	0,548	0,548
50	0,546	0,549	0,549	0,549	0,55	0,5	0,55	0,551	0,551	0,551
60	0,532	0,552	0,552	0,553	0,553	0,553	0,553	0,554	0,554	0,554
70	0,534	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,556	0,556	0,556
80	0,536	0,557	0,557	0,557	0,557	0,558	0,558	0,558	0,558	0,558
90	0,558	0,558	0,558	0,559	0,559	0,559	0,559	0,559	0,559	0,559
100	0,56	0,5602	0,5603	0,5604	0,506	0,5607	0,5608	0,5609	0,561	0,5611
1000	0,575									

Tabel 2.5 Reduced Standard Deviation, S_n

U	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,949	0,937	0,988	0,997	1,009	1,02	1,103	1,041	1,049	1,036
20	1,062	1,069	1,073	1,081	1,086	1,091	1,096	1,1	1,104	1,108
30	1,112	1,113	1,119	1,122	1,125	1,128	1,131	1,133	1,136	1,138
40	1,141	1,143	1,145	1,148	1,149	1,157	1,153	1,155	1,137	1,139
50	1,16	1,162	1,163	1,163	1,166	1,168	1,169	1,17	1,172	1,173
60	1,174	1,175	1,177	1,177	1,179	1,18	1,184	1,182	1,183	1,184
70	1,185	1,186	1,186	1,187	1,189	1,19	1,196	1,191	1,192	1,193
80	1,194	1,194	1,195	1,195	1,197	1,197	1,198	1,199	1,199	1,2
90	1,201	1,201	1,202	1,202	1,203	1,204	1,204	1,205	1,205	1,206
100	1,207	1,207	1,207	1,208	1,208	1,208	1,209	1,209	1,209	1,21
1000	1,27									

Tabel 2.6 Reduced Variate, Y_{Tr} Sebagai Fungsi Periode Ulang

Periode Ulang, Tr (tahun)	Reduced variate, Y_{Tr}	Periode Ulang, Tr (tahun)	Reduced variate, Y_{Tr}
2	0,3668	100	4,6012
5	1,5004	200	5,2969
10	2,2510	250	5,5206
20	2,9709	500	6,2149
25	3,1993	1000	6,9087
50	3,9028	5000	8,5188

Periode Ulang, Tr (tahun)	Reduced variate, Y _{Tr}	Periode Ulang, Tr (tahun)	Reduced variate, Y _{Tr}
75	4,3117	10000	9,2121

4. Metode Distribusi Log Person Type III

Salah satu distribusi yang dikembangkan Pearson yang menjadi perhatian ahli sumber daya air adalah Log Person Type III. Tiga parameter penting dalam Log Person Type III diantaranya:

1. Harga rata-rata
2. Simpangan baku/ Standar Deviasi
3. Koefisien Kemencengan (*skewness*)

Adapun langkah-langkah penggunaan distribusi ini adalah sebagai berikut:

1. Ubah data ke dalam bentuk logaritmis

$$X = \log X \quad (2.10)$$

2. Hitung harga rata-rata dengan rumus

$$\log \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n \log X_i}{n} \quad (2.11)$$

3. Hitung harga simpangan baku dengan rumus

$$s = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \log \bar{x})^2}{n - 1} \right]^{0,5} \quad (2.12)$$

4. Hitung koefisien kemencengan dengan rumus

$$G = \frac{n \sum_{i=1}^n (\log X_i - \log \bar{x})^3}{(n - 1)(n - 2)s^3} \quad (2.13)$$

5. Hitung logaritma hujan atau banjir dengan periode ulang T dengan rumus:

$$\log X_T = \log \bar{x} + K, s \quad (2.14)$$

Dimana K adalah variabel standar untuk X yang besarnya tergantung koefisien kemencengan atau *Skewness*.

Tabel 2.7 Nilai K_T Metode Log Person Type III

No.	Koefisien <i>Skewness</i>	Periode Ulang (tahun)						
		2	5	10	20	25	50	100
1	3	-0,396	0,42	1,18	2,003	2,278	3,152	4,501
2	2,8	-0,384	0,46	1,21	2,009	2,275	3,114	3,973
3	2,6	-0,368	0,499	1,238	2,013	2,267	3,071	3,889
4	2,4	-0,351	0,537	1,262	2,011	2,256	3,023	3,8
5	2,2	-0,333	0,574	1,264	2,006	2,24	2,97	3,705

No.	Koefisien <i>Skewness</i>	Periode Ulang (tahun)						
		2	5	10	20	25	50	100
6	2	-0,307	0,609	1,302	1,996	2,219	2,912	3,605
7	1,8	-0,282	0,643	1,318	1,981	2,193	2,848	3,499
8	1,6	-0,254	0,675	1,329	1,962	2,163	2,78	3,388
9	1,4	-0,225	0,705	1,337	1,938	2,128	2,706	3,271
10	1,2	-0,195	0,732	1,34	1,91	2,087	2,626	3,149
11	1	-0,164	0,758	1,34	1,877	2,043	2,542	3,022
12	0,8	-0,132	0,78	1,336	1,839	1,993	2,453	2,891
13	0,6	-0,099	0,8	1,328	1,797	1,939	2,359	2,755
14	0,4	-0,066	0,816	1,317	1,75	1,88	2,261	2,615
15	0,2	-0,033	0,83	1,301	1,7	1,818	2,159	2,472
16	0	0	0,842	1,282	1,645	1,751	2,054	2,326
17	-0,2	0,033	0,85	1,258	1,586	1,68	1,945	2,178
18	-0,4	0,066	0,855	1,231	1,524	1,606	1,834	2,029
19	-0,6	0,099	0,857	1,2	1,458	1,528	1,72	1,88
20	-0,8	0,132	0,132	0,856	1,166	1,389	1,448	1,733
21	-1	0,164	0,852	1,128	1,317	1,366	1,492	1,588
22	-1,2	0,195	0,844	1,086	1,243	1,282	1,379	1,449
23	-1,4	0,225	0,832	1,041	1,168	1,198	1,27	1,318
24	-1,6	0,254	0,817	0,994	1,049	1,116	1,197	1,197
25	-1,8	0,282	0,799	0,945	1,019	1,035	1,069	1,087
26	-2	0,307	0,777	0,895	0,949	0,959	0,98	0,99
27	-2,2	0,333	0,725	0,884	0,882	0,888	0,9	0,905
28	-2,4	0,351	0,725	0,795	0,819	0,823	0,83	0,832
29	-2,6	0,368	0,969	0,747	0,762	0,764	0,768	0,769
30	-2,8	0,384	0,384	0,666	0,702	0,711	0,712	0,714
31	-3,0	0,396	0,636	0,66	0,666	0,666	0,666	0,667

2.5.4 Uji Kecocokan Distribusi Frekuensi

Penentuan kecocokan distribusi frekuensi dari sampel data terhadap fungsi distribusi frekuensi teoritis yang diperkirakan dapat menggambarkan atau mewakili distribusi empiris (Asmorowati dkk., 2021). Pengujian ini dilakukan terhadap data curah hujan dengan memperhitungkan frekuensi terjadinya hujan.

1. Uji Chi-Kuadrat

Uji distribusi data curah hujan yang dianggap paling mudah perhitungannya untuk menguji peluang curah hujan adalah metode chi kuadrat test (*Chi Square Test*). Uji Kuadrat dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi peluang dapat mewakili dari distribusi sampel data analisis (Asmorowati dkk., 2021).

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

Keterangan:

χ_h^2 = Harga chi-kuadrat

O_i = Jumlah data yang teramati terdapat pada sub kelompok ke-i

E_i = Jumlah data yang secara teoritis terdapat pada sub kelompok ke-i

G = Jumlah sub kelompok

Langkah-langkah untuk menghitung menggunakan metode uji Kecocokan Chi-Kuadrat adalah:

- 1) Urutkan data pengamatan dari besar ke kecil atau sebaliknya.
- 2) Kelompokkan data menjadi G sub-kelompok, tiap-tiap sub-kelompok minimal terdapat 4 data pengamatan.
- 3) Jumlahkan data pengamatan sebesar O_i tiap-tiap sub-kelompok.
- 4) Jumlahkan data dari persamaan distribusi yang digunakan sebesar E_i .
- 5) Jumlah seluruh G sub-kelompok nilai untuk menentukan nilai Chi-Kuadrat.
- 6) Tentukan derajat kebebasan.

Parameter χ_h^2 merupakan variabel acak. Peluang untuk mencapai nilai χ_h^2 sama atau lebih kecil dari pada nilai Chi-Kuadrat yang sebenarnya (χ^2). Dapat dilihat pada Tabel 2.8 sebagai berikut (Suripin, 2004).

Tabel 2.8 Nilai Kritis untuk Distribusi Chi-Kuadrat

Tabel derajat kepercayaan								
dk	α (derajat kepercayaan)							
	0,995	0,99	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01	0,005
1	0,000039	0,000157	0,000982	0,00393	3,841	5,024	6,635	7,879
2	0,01	0,0201	0,0506	0,103	5,991	7,378	9,21	10,597
3	0,0717	0,115	0,216	0,352	7,815	9,348	11,345	12,838
4	0,207	0,297	0,484	0,711	9,488	11,143	13,277	14,86
5	0,412	0,554	0,831	1,145	11,07	12,832	15,086	16,75

Tabel derajat kepercayaan								
dk	α (derajat kepercayaan)							
	0,995	0,99	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01	0,005
6	0,676	0,872	1,237	1,635	12,592	14,449	16,812	18,548
7	0,989	1,239	1,69	2,167	14,067	16,013	18,475	20,278
8	1,344	1,646	2,18	2,733	15,507	17,535	20,09	21,955
9	1,735	2,088	2,7	3,325	16,919	19,023	21,666	23,589
10	2,156	2,558	3,247	3,94	18,307	20,483	23,209	25,188
11	2,603	3,053	3,816	4,575	19,675	21,92	24,725	26,757
12	3,074	3,571	4,404	5,226	21,026	23,337	26,217	28,3
13	3,565	4,107	5,009	5,892	22,362	24,736	27,388	29,819
14	4,075	4,66	5,629	6,571	23,685	26,119	29,141	31,319
15	4,601	5,229	6,262	7,261	24,996	27,448	30,578	32,801
16	5,142	5,812	6,908	7,962	26,296	28,845	32	34,267
17	5,697	6,408	7,564	8,672	27,587	30,191	33,409	35,718
18	6,625	7,015	8,231	9,39	28,869	31,526	34,805	37,156
19	6,844	7,633	8,907	10,117	30,114	32,852	36,191	38,582
20	7,434	8,26	9,591	10,851	31,41	34,17	37,566	39,997
21	8,034	8,897	10,283	11,591	32,671	35,479	38,932	41,401
22	8,643	9,542	10,982	12,338	33,924	36,781	40,289	42,796
23	9,26	10,196	11,689	13,091	36,172	38,076	41,638	44,181
24	9,886	10,856	12,401	13,848	36,415	39,364	42,98	45,558
25	10,52	11,524	13,12	14,611	37,652	40,646	44,314	46,928
26	11,16	12,198	13,844	15,379	38,885	41,923	45,642	48,29
27	11,808	12,879	14,573	16,151	40,113	43,194	46,963	49,645
28	12,461	13,565	15,308	16,928	41,337	44,461	48,278	50,993
29	13,121	14,256	16,047	17,708	42,557	45,722	49,588	52,336
30	13,787	14,953	16,791	18,493	43,733	46,979	50,892	53,672

2. Uji Smirnov-Kolmogorov

Metode uji Smirnov-Kolmogorov mencakup perbandingan antara probabilitas kumulatif lapangan dan distribusi kumulatif fungsi yang ditinjau. Uji kecocokan Smirnov-Kolmogorov pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu. Adapun prosedur pelaksanaannya adalah sebagai berikut:

- 1) Urutkan data (dari besar ke kecil atau sebaliknya) dan tentukan besarnya peluang dari masing-masing data tersebut.
- 2) Urutkan nilai masing-masing peluang teoritis dari hasil penggambaran data (persamaan distribusinya).

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

Tabel 2.9 Nilai Kritis D_0 untuk Uji Smirnov-Kolmogorov

N	<i>Level of Significance (a)</i>			
	0,2	0,1	0,05	0,01
5	0,45	0,51	0,56	0,67
10	0,32	0,37	0,41	0,49
15	0,27	0,3	0,34	0,4
20	0,23	0,26	0,29	0,36
25	0,21	0,24	0,27	0,32
30	0,19	0,22	0,24	0,29
35	0,18	0,2	0,23	0,27
40	0,17	0,19	0,21	0,25
45	0,18	0,18	0,2	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23
N > 50	$\frac{1,07}{N^{0,5}}$	$\frac{1,14}{N^{0,5}}$	$\frac{1,22}{N^{0,5}}$	$\frac{1,36}{N^{0,5}}$

2.5.5 Analisis Intensitas Hujan

Intensitas hujan merupakan ketinggian atau kedalaman air hujan per satuan waktu. Semakin singkat intensitas hujan maka waktu yang diperlukan semakin lama. Sebaliknya semakin lama intensitas hujan, maka waktu yang perlukan semakin pendek (Asmorowati dkk., 2021). Hubungan antara intensitas, lama hujan dan frekuensi hujan biasanya dinyatakan dalam lengkung Intensitas – Durasi – Frekuensi ($IDF = Intensity - Duration - Frequency Curve$). Diperlukan data hujan jangka pendek, misalnya 5 menit, 10 menit, 30 menit, 60 menit untuk membentuk lengkung IDF.

Rumus umum intensitas curah hujan adalah:

$$I_t = \frac{R_t}{t} \quad (2.16)$$

Keterangan:

I_t = Intensitas curah hujan (mm/jam)

R_t = Jumlah hujan (mm)

t = Waktu hujan (jam)

Sedangkan hujan yang turun selama 5 menit sampai 2 jam metode yang dapat digunakan untuk menghitung intensitas curah hujan adalah:

1. Rumus Mononobe

Apabila data hujan yang tersedia hanyalah data hujan harian, maka dapat menggunakan rumus Mononobe.

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (2.17)$$

Keterangan:

I = Intensitas hujan (mm/jam)

t = Lamanya hujan (jam)

R₂₄ = Curah hujan maksimum harian selama 24 jam (mm)

2.6 Debit Banjir Rencana

2.6.1 Metode HSS Nakayasu

Metode Hidrograf Satuan Sintetik adalah metode untuk menghitung debit banjir karena dari perhitungan tersebut akan menghasilkan nilai debit per jam. Debit dihitung dengan metode rasional (FAA: A < 80 ha) atau hidrograf/HSS (> 80 ha).

HSS Nakayasu dikembangkan berdasarkan beberapa sungai di Jepang. Bentuk HSS Nakayasu memberikan parameter debit puncak, luas DAS, hujan efektif, waktu dari permulaan menuju puncak, waktu konsentrasi, waktu satuan dari curah hujan dan panjang sungai utama. Debit puncak hidrograf satuan sintetis dirumuskan sebagai berikut (Irawan1 et al., 2020):

$$Q_p = \frac{1}{3,6} \times A \times R_o \times \left(\frac{1}{0,3 \times t_p + t_{0,3}} \right) \quad (2.18)$$

Keterangan:

Q = Debit limpasan (m³/s)

R_o = Hujan satuan (mm)

A = Luas daerah aliran sungai (ha atau km²)

Waktu keterlambatan (*time lag*, atau *tg*) dirumuskan sebagai berikut:

$$tg = 0,4 + 0,058 \times L \text{ untuk } L > 15 \text{ km} \quad (2.19)$$

$$tg = 0,21 \times L \text{ untuk } L < 15 \text{ km} \quad (2.20)$$

Waktu puncak dan debit puncak hidrograf satuan sintetis dirumuskan sebagai berikut:

$$T_p = tg + 0,8 t_r \quad (2.21)$$

Waktu saat debit sama dengan 0,3 kali debit puncak :

$$T_{0,3} = \alpha + t_g \quad (2.22)$$

Bagian lengkung naik:

$$0 < t < t_p$$

$$Q = Q_p \left(\frac{t}{t_p} \right)^{2,4} \quad (2.23)$$

Bagian lengkung turun:

$$t_p < t < t_{0,3}$$

$$Q = Q_p x 0,3^{\frac{t-t_p}{t_{0,3}}} \quad (2.24)$$

$$t_{0,3} < t < 1,5t_{0,3}$$

$$Q = Q_p x 0,3^{\frac{t-t_p+0,5t_{0,3}}{1,5x t_{0,3}}} \quad (2.25)$$

$$t < 1,5t_{0,3}/M.$$

$$Q = Q_p x 0,3^{\frac{t-t_p+1,5t_{0,3}}{2x t_{0,3}}} \quad (2.26)$$

2.6.2 Koefisien Limpasan (*Runoff*)

Koefisien limpasan merupakan kombinasi tiga factor yaitu topografi datar, bergelombang, dan berbukit. Dua kategori tata gunalahan dan tiga tekstur tanah (Asmorowati dkk., 2021).

Tabel 2.10 Koefisien Limpasan dan Persentase Kedap Air Tata Guna Lahan

Tata guna lahan	Karakteristik	C	Im (%)	Keterangan
Pusat perbelanjaan dan perkantoran		0.90	100	
Industri	Bangunan Penuh	080	80	Berkurang untuk bangunan tidak penuh.
Pemukiman (kepadatan menengah-tinggi)	20 rmh/ha	0.48	30	Bandingkan daerah kedap air dengan daerah lain
	30 rmh/ha	0.55	40	
	40 rmh/ha	0.65	60	
	60 rmh/ha	0.75	75	
Permukiman (kepadatan rendah)	10 rmh/ha	0.40	<20	CN=85 (Curve Number)
Taman	Daerah datar	0.30	0	
Pedesaan	Tanah berpasir		0	C = 020; CN = 60
	Tanah berat (<i>heavy soil</i>)		0	C = 0.35; CN = 75
	Daerah irigasi		0	C = 0.50; CN = 85

(Sumber: Badan Standarisasi Nasional 2016)

Tabel 2.11 Koefisien Limpasan Berdasarkan Tata Guna Lahan

Karakteristik Tanah	Tata Guna Lahan	Koefisien Limpasan I
Campuran pasir dan/atau campuran kerikil	Pertanian	0,20
	Padang rumput	0,15
	Hutan	0,10
Geluh dann sejenisnya	Pertanian	0,40
	Padang rumput	0,35
	Hutan	0,30
Lempung dan sejenisnya	Pertanian	0,50
	Padang rumput	0,45
	Hutan	0,40

Tabel 2.12 Nilai Koefisien Limpasan

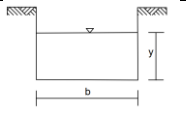
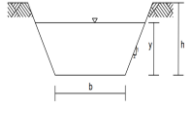
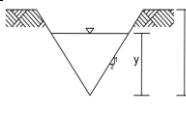
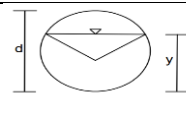
Jenis Daerah	Koefisien Aliran	Kondisi Permukaan	Koefisien Aliran
Daerah Perdagangan Kota Sekitaran kota	0,70-0,95 0,50-0,70	Jalan Aspal	0,70-0,95 0,70-0,85
		Aspal dan Beton	
		Batu bata dan batako	
Daerah Pemukiman Satu Rumah Banyak Rumah, terpisah Banyak rumah, rapat Pemukiman, pinggiran kota Apartemen	0,30-0,50	Atap Rumah	0,70-0,95
	0,40-0,60	Halaman berumput, tanah pasir	0,05-0,10 0,10-0,15 0,15-0,20
	0,60-0,75	Datar, 2%	
	0,25-0,40	Rata-rata 2-7%	
	0,50-0,70	Curam, 7% atau lebih	
Daerah industri Ringan Padat	0,50-0,80 0,60-0,90	Halaman berumput, tanah pasir padat Datar 2% Rata-rata, 2-7% Curam, 7% atau lebih	0,13-0,17 0,18-0,22 0,25-0,35
Lapangan, kuburan dan sejenisnya	0,10-0,25		
Halaman, jalan kerta api dan sejenisnya	0,20-0,35		
Lahan tidak dipelihara	0,10-0,30		

2.7 Analisis Hidrolika

2.7.1 Bentuk Saluran

Bentuk saluran yang sering digunakan untuk saluran drainase permukaan diantaranya persegi, persegi panjang, trapesium, segitiga dan setengah lingkaran. Berikut beberapa bentuk saluran beserta rumus rumus untuk menghitung luas penampang basah, keliling basah, jari – jari hidrolis, lebar puncak, kedalaman hidrolis dan faktor penampang.

Tabel 2.13 Macam-macam Bentuk saluran

Penampang	Luas	Keliling Basah	Jari-jari Hidrolik	Kedalaman Hidrolis
	$A = bxy$	$P = b + 2y$	$\frac{Bh}{B + 2h}$	y
	$A = (b + zy)y$	$P = b + 2y\sqrt{1 + z^2}$	$R = \frac{zy}{2\sqrt{1 + z^2}}$	$\frac{(b + zy)y}{b + 2zy}$
	$A = zy^2$	$P = zy\sqrt{1 + y^2}$	$R = \frac{zy}{2\sqrt{1 + z^2}}$	$\frac{1}{2} y$
	$\frac{1}{8} (\emptyset - \sin \emptyset) \emptyset^2$	$\frac{1}{2} \emptyset D$	$\frac{1}{4} \left(1 - \frac{\sin \emptyset}{\emptyset} \right) D$	$\frac{1}{8} \left(\frac{\emptyset - \sin \emptyset}{\sin(\frac{1}{2}\emptyset)} \right) D$

2.7.2 Kecepatan Aliran

Kecepatan aliran tidak sama sepanjang sungai hal ini tergantung dari bentuk, kekasaran kanal sungai dan pola sungai. Kecepatan terbesar terletak pada bagian tengah kanal dan bagian atas dari bagian terdalam kanal (Fathona, 2014). Penentuan kecepatan aliran air didalam saluran yang direncanakan didasarkan pada kecepatan minimum yang diperbolehkan agar konstruksi saluran tetap aman dan tidak menimbulkan endapan dalam saluran. Umumnya di lapangan kecepatan sebesar 0,60 – 0,90 m/dt dengan catatan dapat digunakan dengan aman apabila persentase lumpur yang ada di air cukup kecil. Kecepatan aliran 0,75 m/dt dapat mencegah pengendapan sedimentasi (Sari & Irawan, 2021).

Tabel 2.14 Kecepatan yang Diizinkan Sesuai Jenis Materialnya

Jenis Bahan	Kecepatan Aliran Air Diizinkan
Pasir halus	0,45
lempung kepasiran	0,50

Jenis Bahan	Kecepatan Aliran Air Diizinkan
Lanau alluvial	0,60
Kerikil halus	0,75
Lempung kokoh	0,75
Lempung padat	1,10
Kerikil kasar	1,20
Batu-batu besar	1,50
Pasangan bata	1,50
Beton	1,50
Beton bertulang	1,50

Perhitungan kecepatan aliran pada aliran terbuka menggunakan rumus sebagai berikut:

$$V = 1/n, R^{2/3}, S^{1/2} \quad (2.25)$$

Keterangan:

V = Kecepatan aliran (m/detik)

n = Koefisien kekasaran *manning*

R = Jari-jari hidrolik (m)

S = Kemiringan memanjang saluran

Adapun kemiringan yang rata-rata saluran terhadap kecepatan rata-rata disajikan pada Tabel 2.15 Kemiringan rata-rata Saluran Terhadap Kecepatan Rata-rata

Tabel 2.15 Kemiringan rata-rata Saluran Terhadap Kecepatan Rata-rata

No	Kemiringan rata-rata saluran (%)	Kecepatan rata-rata (m/detik)
1,	<1	0,4
2,	$1 < X < 2$	0,6
3,	$2 < X < 4$	0,9
4,	$4 < X < 6$	1,2
5,	$6 < X < 10$	1,5
6,	$10 < X < 15$	2,4

2.7.3 Kemiringan Dasar dan Dinding Saluran

Kemiringan dasar saluran adalah kemiringan saluran arah memanjang yang umumnya dipengaruhi oleh kondisi topografi. Kemiringan dasar saluran maksimum 0,005 – 0,008 tergantung bahan saluran yang digunakan. Kemiringan 0,005 untuk tanah padat akan menyebabkan erosi atau penggerusan (Asmorowati et al., 2021). Kemiringan dinding saluran di sajikan pada Tabel 2.16.

Tabel 2.16 Kemiringan Dinding Saluran Sesuai Berbagai Jenis Bahan

Bahan Saluran	Kemiringan Dinding
Batuan	Mendekati vertical
Tanah lumpur	0,25: 1
Lempung keras/ tanah dengan lapisa beton	(0,25 – 1):1
Tanah dengan pasangan batu/ tanah untuk saluran besar	1:1
Lempung/tanah untuk saluran-saluran kecil	1,5:1
Tanah berpasir lepas	2:1
Lumpur berpasir/lempung poros	3:1

2.7.4 Tinggi Jagaan

Jagaan direncanakan untuk mencegah peluapan air akibat gelombang serta fluktuasi permukaan air. Jagaan direncanakan antar 5% - 30% lebih dari dalamnya aliran. Tinggi jagaan untuk saluran terbuka dengan permukaan diperkeras ditentukan berdasarkan pertimbangan, ukuran saluran, kecepatan aliran, arah belokan saluran dan debit banjir (Asmorowati dkk., 2021).

Tinggi *freeboard* biasanya diambil antar 0,15 – 0,60 m dan tinggi timbunan tanah di atas puncak perkerasa (*lining*) saluran, umumnya diambil antara 0,30 – 0,60 m.

$$W = \sqrt{0,5 \times h} \quad (2.26)$$

Keterangan:

W = Tinggi jagaan (m)

h = Tinggi muka air (m)

Tabel 2.17 Kemiringan Saluran Berdasarkan Jenis Material

Jenis Material	Kemiringan Dinding Saluran (%)
Tanah Asli	0 – 5,0
Kerikil	5,0 – 7,5
Pasangan	7,5

2.8 Software HEC-RAS

HEC-RAS (*Hydrologic Engineering Center – River Analysis System*) adalah software simulasi hidrolika yang digunakan untuk menganalisis aliran air dalam saluran terbuka seperti sungai, kanal, dan saluran drainase. HEC-RAS digunakan untuk simulasi aliran 1D dan 2D (*Steady dan Unsteady flow*), perhitungan muka air

sungai, analisis kapasitas saluran dan debit banjir, simulasi aliran melalui struktur, dan analisis banjir genangan (Bimantoro dkk., 2024). Data input yang harus dimasukan untuk melakukan analisa hidrolika menggunakan program bantu HEC-RAS adalah:

1. Data geometric sungai yang ditinjau (koordinat x,y untuk potongan memanjang, penampang melintang).
2. Koefisien *Manning*.
3. Data aliran (debit tiap titik penampang).

Dalam HEC-RAS, ada dua jenis asumsi yaitu aliran *steady* dan *unsteady*. Aliran *steady* adalah aliran yang kecepatan (v) tidak berubah (*constant*) selama selang waktu tertentu, sedangkan aliran *unsteady* adalah aliran yang memiliki kecepatan aliran selalu berubah selama selang waktu tertentu. HEC-RAS dapaat digunakan untuk memetakan banjir secara langsung pada peta sebuah wilayah sehingga dapat terlihat seberapa besar wilayah yang terkena dampak banjir (Sardana dkk., 23M).