

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Penelitian Terdahulu

Saluran drainase Kalidami bukanlah sebuah saluran drainase yang kecil. Saluran drainase Kalidami termasuk saluran drainase primer yang menangani cukup banyak saluran drainase sekunder dan saluran drainase tersier lainnya. Serta saluran drainase Kalidami termasuk saluran yang vital, karena saluran drainase tersebut menangani kawasan vital, seperti rumah sakit, sekolahan, perkantoran, dan masih banyak yang lain. Sebab hal tersebutlah, maka banyak penelitian yang menggunakan saluran drainase Kalidami sebagai model penelitiannya, maupun hanya sebagai contoh model saja. Sehingga penelitian sejenis cukup banyak untuk dijadikan referensi.

Tabel 2. 1 Tinjauan penelitian terdahulu

No	Nama Peneliti	Judul	Hasil
1	Risma Lupita Sari, dkk (2017)	<i>Perencanaan Jaringan Drainase Sub Sistem Kalidami Surabaya</i>	Dengan rencana dimensi untuk saluran drainase primer digunakan lebar 12 meter pada bagian hulu, kemudian terus melebar hingga 40 meter pada bagian akhir saluran yang berbatasan langsung dengan laut. Analisis kapasitas boezem serta analisis pompa drainase disimpulkan telah dapat menampung debit banjir rencana terbesar yaitu 64,3 m ³ /dt pada hilir.
2	Evy Harmani dan M. Soemantoro (2015)	<i>Kolam Retensi Sebagai Alternatif Pengendali Banjir</i>	Kelebihan aliran permukaan dialirkan pada kolam retensi. Namun kolam retensi tidak hanya berfungsi untuk menampung kelebihan aliran permukaan, namun juga difungsikan

			sebagai upaya konservasi atau pelestarian air sehingga kualitas air dapat meningkat.
3	Muhammad Dwi Prayoga, dkk (2013)	<i>Perencanaan Kolam Retensi dan Stasiun Pompa Pada Sistem Drainase Kali Semarang</i>	Untuk volume kolam retensi 88.400 m ³ dibutuhkan 8 pompa drainase yang bekerja dengan kapasitas masing-masing pompa adalah 5 m ³ , dengan debit banjir rencana adalah 63, 983 m ³ /dt. Dihitung juga <i>back water</i> akibat air pasang, di mana kolam retensi berfungsi untuk menampung aliran air laut pasang.
4	Muh Azwin Sudarmin (2017)	<i>Analisis Debit Banjir Rancangan dan Kapasitas Pelimpah Bendungan Way Yori</i>	Dengan curah hujan maksimum 1.465mm dan dengan kapasitas pelimpah adalah 1074 m ³ /dt maka tinggi elevasi air maksimum adalah sebesar 6.295 m di atas pelimpah.
5	Fiqih Jul Fachri (2017)	<i>Analisis Hidrograf Sungai Dengan Menggunakan HSS di Daerah Aliran Sungai Jeneberang</i>	HSS Nakayasu sangat tepat digunakan di Indonesia khususnya di daerah DAS Jeneberang dengan debit puncak sebesar 19,84 m ³ /dt dengan waktu menuju puncak debit sebesar 5,69 jam

2.2 Tinjauan Umum Drainase

Menurut M. Natsir Abduh (2018: 146) drainase atau dapat disebut juga dengan pengatusan, dapat diartikan proses membuang air secara alami atau dapat juga dengan cara buatan oleh manusia dari suatu tempat. Cara pembuangannya pun bermacam-macam seperti dengan cara mengalirkan, menguras, membuang, dan juga dapat pula dengan mengalihkan air.

Selanjutnya, Robert J. Kodoatie dan Roestam Sjarief (2010: 141) membuat urutan aliran air di dalam drainase. Dapat diterangkan sebagai berikut

- 1) Hujan turun secara merata ke kawasan perumahan (pemukiman) R, ke kawasan kantor K, ke kawasan industri I, dan juga ke kawasan pabrik P, serta

tempat-tempat dan lokasi lainnya. Air hujan masuk ke sistem saluran drainase kuarter kawasan;

- 2) Dari sistem drainase kuarter, kemudian air mengalir ke saluran drainase tersier (St), atau ada yang terkumpul dahulu di polder (Po) baru ke St;
- 3) Idealnya adalah air kotor dapat dikumpulkan di polder (Po) lebih dahulu, kemudian dibersihkan di *treatment waste water* (Tw), sangat ditekankan untuk kawasan yang membuang limbah cair baru kemudian dialirkan ke kolam air bersih (Ka), dan akhirnya kelebihan air baru di drainase ke saluran pembuang (bisa lewat St, Ss, lalu Sp);
- 4) Dari sistem saluran drainase tersier (St) dialirkan ke saluran drainase sekunder (Ss);
- 5) Semua aliran dari saluran drainase sekunder dialirkan ke saluran drainase primer (Sp).

2.2.1 Boezem Secara Umum

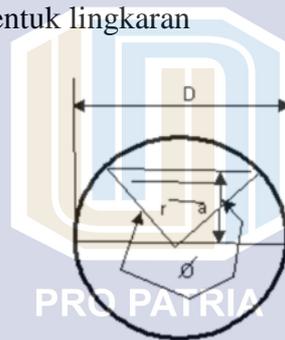
Istilah boezem memang kurang terdengar akrab di kalangan masyarakat awam. Namun di dalam drainase, istilah tersebut sangat akrab terdengar. Jika biasanya masyarakat mengenal istilah waduk ataupun embung di dalam istilah pengairan, begitu pula boezem di dalam istilah drainase adalah hal serupa. Boezem adalah bangunan yang berfungsi untuk tempat penampungan sementara air limpasan hujan dari sebuah saluran drainase primer di mana saluran drainase primer tersebut memiliki saluran yang cukup panjang dengan wilayah pelayanan yang cukup lebar. Di Surabaya sendiri memiliki cukup banyak boezem sebagai pengendali banjir. Beberapa boezem yang dimiliki Surabaya dan cukup dikenal

adalah: boezem Kalidami, boezem Morokrengan, boezem Bratang, boezem Wonorejo, serta masih banyak lainnya. Menurut data DPUBMP Surabaya (2016) di kota Surabaya sendiri memiliki sekitar 36 boezem, dan waduk yang menjadi garda terdepan dalam penanggulangan banjir di kota Surabaya.

2.2.2 Luas Penampang Saluran

Baik drainase yang berada di samping jalan maupun drainase buangan dengan saluran yang lebih lebar, saluran drainasenya memiliki beberapa bentuk penampang umum, yaitu: lingkaran, segitiga, segiempat, dan trapesium. Adapun bentuk dan rumusan dari masing-masing penampang adalah sebagai berikut

- 1) Luas profil basah berbentuk lingkaran



Gambar 2. 1 Profil basah berbentuk lingkaran

$$\theta = 4,5 \text{ radial}$$

$$\text{Kedalaman hidrolis (d)} = 0,8 \times D$$

Luas penampang basah (A)

$$A = \frac{1}{8}(\theta^2 - \sin \theta)D^2 \dots\dots\dots(2-1)$$

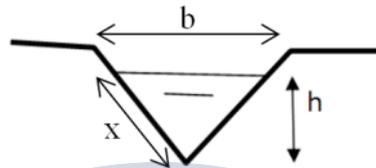
Keliling basah (P)

$$P = \pi \cdot D \left(1 - \frac{\theta}{180^\circ}\right) \dots\dots\dots(2-2)$$

Jari-jari hidrolis (R)

$$R = \frac{A}{P} \dots\dots\dots(2-3)$$

2) Luas profil basah berbentuk segitiga



Gambar 2. 2 Profil basah berbentuk segitiga

Kedalaman hidrolis (d) = h

Luas penampang basah (A)

$$A = \frac{1}{2} b \cdot h \dots\dots\dots(2-4)$$

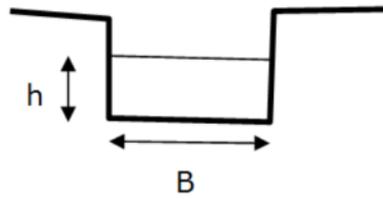
Keliling basah (P)

$$P = 2 \left(\sqrt{h^2 - \left(\frac{b}{2}\right)^2} \right) \dots\dots\dots(2-5)$$

Jari-jari hidrolis (R)

$$R = \frac{A}{P} \dots\dots\dots(2-6)$$

3) Luas profil basah berbentuk segiempat



Gambar 2. 3 Profil basah berbentuk segiempat

Kedalaman hidrolis (d) = h

Luas penampang basah (A)

$$A = b \cdot h \dots\dots\dots(2-7)$$

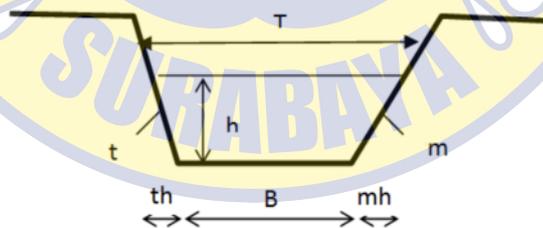
Keliling basah (P)

$$P = b + 2h \dots\dots\dots(2-8)$$

Jari-jari hidrolis (R)

$$R = \frac{A}{P} \dots\dots\dots(2-9)$$

4) Luas profil basah berbentuk trapesium



Gambar 2. 4 Profil basah berbentuk trapesium

Kedalaman hidrolis (d) = h

Luas penampang basah (A)

$$A = \frac{(B + T)}{2} \cdot h \dots\dots\dots(2-10)$$

Keliling basah (P)

$$P = B + m + t \dots\dots\dots(2-11)$$

Jari-jari hidrolis (R)

$$R = \frac{A}{P} \dots\dots\dots(2-12)$$

Sedangkan untuk menghitung kecepatan debit yang mampu dibawa di dalam saluran drainase dapat digunakan persamaan Manning. Rumus persamaan Manning adalah sebagai berikut

$$Q = A \cdot \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(2-13)$$

Keterangan:

Q = debit pada saluran (m³/dt);

A = luas penampang basah (m²);

V = kecepatan aliran di saluran (m/dt);

n = koefisien kekasaran Manning;

R = jari-jari hidrolis (m);

S = kemiringan dasar saluran.

Koefisien n dalam persamaan Manning adalah sebuah koefisien untuk memberikan pengaruh hambatan pada kecepatan aliran air. Koefisien manning tidak mempunyai makna fisik kekerasan. Berikut adalah tabel koefisien Manning

Tabel 2. 2 Koefisien kekasaran Manning

Bahan	Koefisien Manning, n
Besi tuang dilapis	0,014
Kaca	0,010
Saluran beton	0,013
Bata dilapis 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: (PERMEN PU NO 12 /PRT/M/2014, 2014: 63)

2.3 Analisis Hidrologi

Hidrologi adalah sebuah cabang ilmu yang mempelajari tentang air. Hidrologi juga sangat erat dengan penelitian perilaku hujan terutama yang berkaitan dengan perhitungan banjir untuk perencanaan berbagai bangunan sipil. Untuk menghasilkan suatu data yang akurat maka diperlukan pula sebuah analisis yang mendalam serta mendetail untuk dapat menghasilkan sebuah perhitungan yang dapat dipercaya. Begitu pula untuk penelitian kali ini, sebuah perhitungan analisis hidrologi diperlukan sangat mendetail supaya dapat dibuat sebuah perencanaan yang sangat matang untuk rencana ke depannya.

2.3.1 Curah Hujan Rerata Daerah

Curah hujan rerata daerah diperoleh dengan jalan mengumpulkan data curah hujan yang berasal dari masing-masing stasiun hujan yang tersebar di lokasi DAS yang ditinjau. (Harisuseno dan Bisri, 2017: 24)

Menurut Suyono Sosrodarsono (2003: 51) standar luas daerah adalah acuan umum yang digunakan untuk menentukan metode curah hujan daerah yang sangat sesuai dengan metode yang digunakan. Dapat ditentukan dengan kriteria sebagai berikut

- 1) Daerah tinjauan dengan luas 250 ha dengan variasi topografi kecil dapat diwakili oleh sebuah stasiun pengamatan;

- 2) Untuk daerah tinjauan dengan luas 250-50.000 ha yang memiliki dua atau tiga stasiun pengamatan dapat menggunakan metode rata-rata aljabar;
- 3) Untuk daerah tinjauan dengan luas 120.000 – 500.000 ha yang memiliki beberapa stasiun pengamatan tersebar cukup merata dapat menggunakan metode rata-rata aljabar, tetapi jika stasiun pengamatan tersebar tidak merata dapat menggunakan metode Thiessen;
- 4) Untuk daerah tinjauan dengan luas lebih dari 500.000 ha menggunakan metode Isohyet atau metode potongan antara.

Disebutkan di atas ada tiga cara melakukan perhitungan hujan rata-rata daerah, yaitu: rata-rata Aljabar/Aritmatik, metode Thiessen, dan metode Isohyet.

2.3.1.1 Metode Rata-Rata Aljabar/Aritmatik

Di antara tiga metode yang digunakan untuk menentukan curah hujan rerata daerah, metode rata-rata aljabar termasuk metode yang paling sederhana. Metode ini meninjau kesamaan pengaruh dari setiap stasiun pengamatan hujan. Hal tersebut yang menyebabkan sebuah prasyarat jika ingin menggunakan metode ini, stasiun pengamatan hujan harus tersebar secara merata. Metode rata-rata aljabar menggunakan rumus sebagai berikut

$$R_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i \dots\dots\dots(2-14)$$

Keterangan:

R_x = curah hujan rata-rata daerah (mm);

n = jumlah stasiun hujan;

R_i = curah hujan di stasiun hujan ke-i (mm).

2.3.1.2 Metode Thiessen

Seperti disebutkan di atas, untuk penyebaran stasiun pengamatan hujan yang tidak merata maka digunakan metode Thiessen. Karena metode ini lebih teliti, yaitu dengan cara memperhitungkan daerah pengaruh dari masing-masing stasiun pengamatan hujan, maka diharapkan hasilnya mendekati keadaan yang sebenarnya. Metode Thiessen menggunakan rumus sebagai berikut

$$R = \frac{(A_1 \cdot R_1 + A_2 \cdot R_2 + \dots + A_n \cdot R_n)}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots\dots\dots(2-15)$$

Keterangan:

R = curah hujan rata-rata;

R₁, R₂, ..., R_n = curah hujan di tiap titik pengamatan;

A₁, A₂, ..., A_n = bagian luas yang mewakili titik pengamatan;

n = jumlah titik pengamatan.

2.3.1.3 Metode Isohyet

Jika metode aljabar adalah yang paling sederhana, namun hasilnya kurang akurat, maka metode ini lebih akurat jika dibandingkan dengan ketiga metode di atas. Namun metode ini membutuhkan stasiun pengamatan hujan yang cukup banyak, serta penyebaran stasiun pengamatan hujan yang sangat rapat. Adapun rumusannya adalah seperti berikut

$$P = \frac{P_1 \cdot A_1 + P_2 \cdot A_2 + P_3 \cdot A_3 + P_4 \cdot A_4}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4} \dots\dots\dots(2-16)$$

Di mana:

$$P_1 = \frac{P_A + P_B}{2}$$

$$P_2 = \frac{P_B + P_C}{2}$$

$$P_3 = \frac{P_C + P_D}{2}$$

$$P_4 = \frac{P_D + P_E}{2}$$

Keterangan:

P_A, P_B, P_C, P_D, P_E = tebal hujan pada isohyet A, B, C, D, E.

2.3.2 Curah Hujan Rancangan

Yang dimaksud curah hujan rancangan adalah kemungkinan akan terjadinya curah hujan terbesar yang akan terjadi di suatu daerah dengan suatu peluang tertentu. Stasiun pengamatan hujan tersebar di beberapa titik wilayah. Maka diperlukan metode agar dapat digunakan dalam perhitungan.

Metode tersebut adalah metode distribusi frekuensi. Ada tiga metode distribusi frekuensi yang sering digunakan yaitu

- 1) Metode Gumbel,
- 2) Metode Normal,
- 3) Metode Log Pearson III.

Parameter statistik adalah hal yang harus dihitung dahulu sebelum menentukan metode yang digunakan. Parameter statistik yaitu koefisien kemiringan (*skewness*) atau C_s , dan koefisien kepuncakan (*kurtosis*) atau C_k .

Rumusan untuk memperoleh koefisien kemiringan (C_s) adalah sebagai berikut

$$C_s = \frac{n \sum_{i=0}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)S^3} \dots\dots\dots(2-17)$$

Sedangkan rumusan untuk memperoleh koefisien *kurtosis* (C_K) adalah sebagai berikut

$$C_k = \frac{n^2 \sum_{i=0}^n (X_i - \bar{X})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)S^4} \dots\dots\dots(2-18)$$

Kemudian disesuaikan dengan syarat pemilihan metode frekuensi seperti tabel berikut

Tabel 2. 3 Pemilihan metode frekuensi

Jenis Metode	C_K	C_S
Gumbel	<5,402	1,139
Normal	3	0
Log Pearson III	bebas	bebas

Sumber: (BR, 1993: 178)

2.3.2.1 Metode Gumbel

Analisis distribusi Gumbel adalah analisis yang cukup memiliki prasyarat yang cukup berat. Di mana untuk menggunakan distribusi Gumbel harus memiliki nilai koefisien kemiringan sebesar 1,139, serta nilai koefisien kepuncakan harus kurang dari 5,402. Untuk prosedur penghitungan debit banjir dengan metode gumbel adalah sebagai berikut

- 1) Mengumpulkan data debit banjir maksimum 20 tahun,
- 2) Hitung parameter statistik data debit banjir sesaat (\bar{X} , σ , γ),

\bar{X} = rata-rata

σ = standar deviasi

γ = kemiringan (*skewness*)

δ = koefisien kurtosis

- 3) Periksa apakah $\gamma \approx 1,139$, dan $\delta \approx 5,4$, jika iya maka dapat menggunakan rumus distribusi gumbel, jika tidak harus memilih metode distribusi lainnya,
- 4) Jika persyaratan koefisien memenuhi, maka dapat dihitung besar Y dan X_{Tr} dengan persamaan-persamaan di bawah.

Adapun rumusan untuk metode distribusi Gumbel adalah sebagai berikut

$$X_t = \bar{X} + S_x \cdot k \quad \dots\dots\dots(2-19)$$

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{(n - 1)}} \quad \dots\dots\dots(2-20)$$

$$k = \frac{Y_t - Y_n}{S_n} \quad \dots\dots\dots(2-21)$$

$$Y_t = -\ln\left(-\ln\left(\frac{t-1}{t}\right)\right) \quad \dots\dots\dots(2-22)$$

Di mana:

- X_t = besarnya debit banjir rencana untuk periode ulang t,
- \bar{X} = rata-rata tahunan dari seri data debit pengamatan banjir sesaat,
- X_i = seri data maksimum tiap tahun,
- S_x = simpangan baku,
- n = jumlah data,
- t = periode ulang,
- k = konstanta yang dapat dilihat pada tabel,
- Y_n & S_n = besaran yang merupakan fungsi dari jumlah pengamatan (n),
- Y_t = perubahan reduksi (*reduced variate*) dari probabilitas.

Tabel 2. 4 Harga Y_t sebagai fungsi T

T	Y_t
1,01	-1,53
1,58	0,0
2	0,37
5	1,50
10	2,25
20	2,97
50	3,90
100	4,60
200	5,30

Sumber: (PERMEN PU NO 12 /PRT/M/2014, 2014: 54)

Tabel 2. 5 Faktor frekuensi untuk nilai ekstrim (k)

n	Kala Ulang						
	10	20	25	50	75	100	1000
15	1,703	2,410	2,632	3,321	3,721	4,005	6,265
20	1,625	2,302	2,517	3,179	3,563	3,836	6,006
25	1,575	2,235	2,444	3,088	3,463	3,729	5,843
30	1,541	2,188	2,393	3,026	3,393	3,653	5,727
40	1,495	2,126	2,326	2,943	3,301	3,554	5,467
50	1,466	2,086	2,283	2,889	3,241	3,491	5,478
60	1,466	2,059	2,253	2,852	3,200	3,446	
70	1,430	2,038	2,230	2,824	3,169	3,413	5,359
75	1,423	2,029	2,220	2,812	3,155	3,400	
100	1,401	1,998	2,187	2,770	3,109	3,349	5,261

Sumber: (PERMEN PU NO 12 /PRT/M/2014, 2014: 55)

Tabel 2. 6 Simpangan baku tereduksi (S_n)

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,94	0,96	0,98	0,99	1,00	1,02	1,03	1,04	1,04	1,05
20	1,06	1,06	1,07	1,08	1,08	1,09	1,09	1,10	1,10	1,10
30	1,11	1,11	1,11	1,12	1,12	1,12	1,13	1,13	1,13	1,13
40	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
50	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16
60	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17
70	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18
80	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19
90	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
100	1,20									

Sumber: (PERMEN PU NO 12 /PRT/M/2014, 2014: 55)

Tabel 2. 7 Rata-rata tereduksi (Y_n)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	n
0,495	0,499	0,503	0,507	0,510	0,512	0,515	0,518	0,520	0,522	10
0,523	0,525	0,526	0,528	0,529	0,530	0,532	0,533	0,534	0,535	20
0,536	0,537	0,538	0,538	0,539	0,540	0,541	0,541	0,542	0,543	30
0,543	0,544	0,544	0,545	0,545	0,546	0,546	0,547	0,547	0,548	40
0,548	0,549	0,549	0,549	0,550	0,550	0,550	0,551	0,551	0,551	50
0,552	0,552	0,552	0,553	0,553	0,553	0,553	0,554	0,554	0,554	60
0,554	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,556	0,556	0,556	70
0,556	0,557	0,557	0,557	0,557	0,558	0,558	0,558	0,558	0,558	80
0,558	0,558	0,558	0,559	0,559	0,559	0,559	0,559	0,559	0,559	90
0,560										100

Sumber: (PERMEN PU NO 12 /PRT/M/2014, 2014: 55)

Tabel 2. 8 Hubungan antara kala ulang dengan faktor reduksi (Y_t)

Kala Ulang (n)	Faktor Reduksi (Y_t)
2	0,3665
5	1,4999
10	2,2502
25	3,1985
50	3,9019
100	4,6001

Sumber: (PERMEN PU NO 12 /PRT/M/2014, 2014: 55)

2.3.2.2 Metode Normal

Metode distribusi normal memiliki sebuah sifat khas yaitu nilai koefisien *skewness* sama dengan nol dan nilai koefisien *kurtosis* sama dengan 3. Distribusi normal juga sering distribusi Gauss adalah distribusi yang sering digunakan dalam analisis statistika. Parameter yang digunakan dalam distribusi normal adalah rerata μ , dan deviasi standar σ . Prosedur untuk menghitung besar banjir rencana menggunakan distribusi normal adalah

- 1) Pilih puncak banjir setiap tahunnya,
- 2) Hitung parameter statistik yang terdiri dari rata-rata, standar deviasi, dan kemiringan data debit banjir (\bar{X} , σ , γ),

- 3) Tentukan besar periode ulang banjir yang akan dihitung,
- 4) Hitung probabilitas kemungkinan terjadi (p) = $\frac{1}{T}$ dan kemungkinan tidak terjadi (np) = $1 - \frac{1}{T}$,
- 5) Lihat tabel standar normal, tentukan nilai Y dari (np) yang dihitung,
- 6) Hitung besar banjir rencana

Untuk formulasi dalam menghitung banjir rencana dapat dirumuskan sebagai berikut

$$X_t = \bar{X} + K_t S_x \dots\dots\dots(2-23)$$

Di mana:

X_t = perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang t ,

\bar{X} = nilai rata-rata,

S_x = deviasi standar,

K_t = faktor frekuensi yang dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. 9 Reduksi Gauss

Periode Ulang Tahun	Peluang	k
1,0014	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	-2,5
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: (Soewarno, 1995)

2.3.2.3 Metode Log Pearson III

Jika melihat metode Gumbel dan metode Normal, di mana keduanya diharuskan menghitung koefisien *skewness* dan koefisien *kurtosis* dahulu, maka kedua metode tersebut tidak dapat digunakan untuk semua macam sebaran data. Lain halnya dengan metode Log Pearson III yang tidak harus menghitung koefisien *skewness* dan koefisien *kurtosis* terlebih dahulu, sehingga metode Log Pearson III dapat dipakai untuk semua sebaran data.

Untuk menghitung dengan metode Log Pearson III, digunakan parameter-parameter statistik sebagai berikut

- 1) Harga rata-rata,
- 2) Standar deviasi,
- 3) Koefisien kemiringan (C_s).

Tahapan untuk perhitungan curah hujan rancangan dengan menggunakan metode Log Pearson III adalah sebagai berikut (Soemarto, 1987: 243)

- 1) Mengubah data hujan sebanyak n buah menjadi dalam bentuk logaritma;
- 2) Menghitung harga rata-rata logaritma dengan menggunakan rumus;

$$\log \bar{X} = \sum_{i=1}^n \frac{\text{Log } X_i}{n} \dots\dots\dots(2-24)$$

3) Menghitung simpangan baku dengan rumus;

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log Xi - \overline{\log X})^2}{n - 1}} \dots\dots\dots(2-25)$$

4) Menghitung koefisien kemiringan (Cs) dengan menggunakan rumus sebagai berikut;

$$C_s = n \frac{\sum_{i=1}^n (\log Xi - \overline{\log X})^3}{(n - 1)(n - 2)S^3} \dots\dots\dots(2-26)$$

5) Menghitung logaritma curah hujan rancangan dengan kala ulang tertentu

$$\log X_T = \log \bar{X} + G.S \dots\dots\dots(2-27)$$

Dimana harga G diperoleh berdasarkan harga Cs dan tingkat probabilitasnya;

6) Tahapan terakhir adalah menghitung curah hujan rancangan dengan periode ulang tertentu dengan mengambil harga antilog XT.

Keterangan:

XT = curah hujan rancangan dengan kala ulang T tahun;

Log X̄ = rata-rata logaritma dari curah hujan;

Xi = curah hujan tahun ke-i;

n = banyaknya tahun pengamatan;

S = simpangan baku;

Cs = koefisien kemiringan;

G = koefisien frekuensi.

2.3.3 Uji Kesesuaian Distribusi

Keandalan data serta ketepatan data sangat diperlukan supaya hasil nyatanya nanti tidak jauh dari perhitungan rencana. Data yang digunakan nantinya juga harus sesuai dengan teoritis yang digunakan. Hipotesa data pun harus dapat

digunakan untuk perhitungan selanjutnya. Dari hal tersebut, maka sangat diperlukan sebuah pengujian, yaitu pengujian kesesuaian distribusi data. Penelitian ini menggunakan dua metode pengujian, yaitu: uji Smirnov-Kolmogorov, dan uji Chi Square. Digunakan dua metode sebagai pembandingan agar hasilnya nanti dapat digunakan tanpa ragu.

2.3.3.1 Uji Smirnov-Kolmogorov

Uji normalitas dengan menggunakan uji Smirnov-Kolmogorov digunakan apabila data yang diuji berupa data tunggal, atau bukan berbentuk interval. Konsep dasar dari uji ini adalah dengan membandingkan distribusi data dengan distribusi normal baku di mana distribusi normal baku didistribusikan ke dalam bentuk z-skor. Adapun langkah-langkah untuk menguji formalitas dengan menggunakan Smirnov-Kolmogorov adalah sebagai berikut (Ismail, 2018: 193)

- 1) Menentukan hipotesis uji formalitas data,
- 2) Menyusun data dari terkecil hingga terbesar,
- 3) Menentukan proporsi kumulatif (KP),
- 4) Menentukan mean dengan rumus

$$\bar{X} = \frac{\sum fX_i}{n} \dots\dots\dots(2-28)$$

- 5) Standar deviasi data menggunakan rumus

$$s = \sqrt{\frac{\sum f(X - \bar{X})^2}{n - 1}} \dots\dots\dots(2-29)$$

- 6) Menentukan angka baku dengan menggunakan rumus

$$Z_i = \frac{X_i - \bar{X}}{s} \dots\dots\dots(2-30)$$

7) Mencari nilai Z_{wb} dengan tabel Z berdasarkan angka Z_i

8) Menghitung nilai a_1 dengan cara

$$a_1 = K_p - Z_{wb} \dots\dots\dots(2-31)$$

9) Menghitung a_0 dengan cara

$$a_0 = P - a_1 \dots\dots\dots(2-32)$$

10) Mencari nilai maksimum pada a_1 atau a_0 ,

11) Mencari harga D_{wb} dengan menggunakan tabel Smirnov-Kolmogorov,

12) Menarik kesimpulan dengan cara membandingkan nilai a_{max} dan D_{wb} ,

13) H_0 dapat diterima apabila $a_{max} < D_{wb}$

2.3.3.2 Uji Chi Square (Uji Chi Kuadrat)

Uji chi kuadrat dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi peluang yang telah dipilih dapat mewakili dari distribusi statistik sampel data yang dianalisis. Pengambilan Keputusan uji ini menggunakan parameter X^2 , oleh karena itu disebut dengan uji chi Kuadrat. Parameter X^2 dapat dihitung dengan rumus: (Soewarno, 1995: 194)

$$X_h^2 = \sum_{i=0}^g \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \dots\dots\dots(2-33)$$

Keterangan:

X_h^2 = parameter chi kuadrat terhitung;

G = jumlah subkelompok;

O_i = jumlah nilai pengamatan pada subkelompok ke i;

E_i = jumlah nilai teoritis pada sub kelompok ke i.

Uji chi kuadrat dapat dikatakan berhasil jika X^2 hitung $< X^2$ kritis. Adapun prosedur untuk uji chi kuadrat adalah sebagai berikut

- 1) Menghitung jumlah kelas dengan rumus

$$K = 1 + 3,322 \log n \dots\dots\dots(2-34)$$

Di mana:

K = jumlah kelas,

n = banyaknya data;

- 2) Membuat kelompok-kelompok kelas sesuai dengan jumlah kelas;
- 3) Menghitung frekuensi pengamatan $O_i \frac{n}{\text{jumlah kelas}}$;
- 4) Mencari besarnya curah hujan yang masuk dalam batas kelas (E_i);
- 5) Menghitung X dengan rumus

$$X_h^2 = \sum_{i=0}^g \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \dots\dots\dots(2-35)$$

- 6) Mencari derajat kebebasan $dk=G-R-1$;
- 7) Membandingkan X hitung dengan X kritis, apabila X hitung $< X$ kritis maka analisis distribusi curah hujan pengamatan sesuai dengan model teoritis.

2.4 Analisis Limpasan Permukaan

Menganalisis limpasan permukaan adalah dengan menganalisis debit yang terjadi dalam hitungan per satu tahun dengan kemungkinan kejadian pada waktu tertentu, atau dengan suatu kemungkinan periode ulang tertentu. Metode untuk menganalisis debit limpasan permukaan sangat bergantung pada data yang dimiliki dan juga kesesuaian parameter yang statistik yang ada. Untuk menganalisis debit limpasan permukaan dapat menggunakan metode hidrograf

dan metode non-hidrograf. Metode hidrograf dapat dilakukan dengan bantuan model hidrograf satuan sintetik, sedangkan metode non-hidrograf dengan bantuan teknik analisis frekuensi.

2.4.1 Metode Rasional

Metode ini dapat menggambarkan hubungan antara debit limpasan dengan besar curah hujan secara praktis berlaku untuk luas DAS hingga 5.000 hektar. Dua komponen utama ialah waktu konsentrasi (t_c) dan intensitas hujan (i). Persamaan yang digunakan adalah (SNI 2415-2016, 2016: 23)

$$Q_P = 0,278 C \cdot I \cdot A \dots\dots\dots(2-36)$$

Keterangan:

Q_P = debit puncak banjir (m^3/dt);

C = koefisien limpasan;

I = intensitas hujan selama waktu konsentrasi (mm/jam);

A = luas daerah aliran (Ha).

2.4.1.1 Intensitas Hujan Rancangan

Untuk menggunakan metode rasional di atas, maka diperlukan analisis intensitas hujan terlebih dahulu. Jumlah hujan per satuan waktu atau yang biasa ditulis dalam milimeter per jam (mm/jam) adalah sebuah satuan untuk menyatakan intensitas hujan. Di mana intensitas hujan yang dimaksud adalah tingginya curah hujan yang terkumpul dalam satuan waktu per satu jam.

Persamaan yang digunakan untuk menghitung intensitas curah hujan adalah persamaan Mononobe yang rumusnya dituliskan sebagai berikut (SNI 2415-2016, 2016: 59)

$$I = \left[\frac{R_{24}}{24} \right] \left[\frac{24}{t_c} \right]^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots(2-37)$$

Keterangan:

I = intensitas hujan (mm/jam);

t_c = waktu konsentrasi hujan (jam);

R₂₄ = curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm).

2.4.1.2 Koefisien Limpasan

penggunaan lahan di masing-masing tempat sangat berbeda dari satu wilayah dan wilayah lainnya. Hal tersebut yang menyebabkan pengaliran di setiap lahan berbeda kecepatan alirannya. Akibat hal tersebut, maka harus dianalisis setiap wilayahnya masing-masing yaitu dengan menghitung bobot masing-masing bagian sesuai dengan luas daerah yang diwakilinya. Rumusan yang digunakan adalah

$$C_m = \frac{\sum_{i=0}^n C_i \cdot A_i}{\sum_{i=0}^n A_i} \dots\dots\dots(2-38)$$

Keterangan:

C_m = koefisien pengaliran rata-rata;

C_i = koefisien pengaliran yang sesuai kondisi permukaan;

A_i = luas daerah pengaliran yang disesuaikan kondisi permukaan.

Berikut adalah tabel untuk memperkirakan koefisien limpasan yang dibedakan berdasar tata guna lahan, dan juga berdasar kondisi permukaan lahan.

Tabel 2. 10 Nilai koefisien limpasan berdasarkan kondisi permukaan

Jenis Daerah	Koefisien Aliran	Kondisi Permukaan	Koefisien Aliran
Daerah Perdagangan Kota Sekitar Kita	0,70-0,95 0,50-0,70	Jalan Aspal Aspal dan beton Batu bata dan batako	0,75-0,95 0,70-0,85
Daerah Pemukiman Satu rumah Banyak Rumah, terpisah Banyak Rumah, rapat Permukiman, pinggiran Kota Apartemen	0,30-0,50 0,40-0,60 0,60-0,75 0,25-0,40 0,50-0,70	Atap Rumah Halaman berumput, tanah pasir Datar, 2% Rata-rata, 2-7% Curam, 7% lebih	0,70-0,95 0,05-0,10 0,10-0,15 0,15-0,20
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% lebih	0,13-0,17 0,18-0,22 0,25-0,35
Lapangan, kuburan, dan sejenisnya	0,10-0,25		
Halaman, jalan kereta api dan sejenisnya	0,20-0,35		
Lahan tidak terpelihara	0,10-0,30		

Sumber: (SNI 2415-2016, 2016: 26)

Tabel 2. 11 Nilai koefisien limpasan berdasarkan tata guna lahan

Karakteristik tanah	Tata guna lahan	Koefisien Limpasan (C)
Campuran pasir dan/ atau campuran kerikil	Pertanian	0,20
	Padang rumput	0,15
	Hutan	0,10
Geluh dan sejenisnya	Pertanian	0,40
	Padang rumput	0,35
Lempung dan sejenisnya	Hutan	0,30
	Pertanian	0,50
	Padang rumput	0,45
	Hutan	0,40

Sumber: (SNI 2415-2016, 2016: 25)

2.4.1.3 Waktu Konsentrasi

Ketika air hujan jatuh dan mengalir ke suatu titik terjauh dari titik pengamatan tertentu pada suatu wilayah pengaliran akan membutuhkan waktu tertentu untuk mencapai titik tersebut, waktu yang diperlukan tersebut disebut waktu konsentrasi.

Persamaan yang sering digunakan adalah persamaan Kirpich dan rumusannya adalah seperti berikut (SNI 2415-2016, 2016: 24)

$$t_c = 0,0195 \cdot L^{0,77} \cdot S^{-0,385} \dots\dots\dots(2-39)$$

Keterangan:

- t_c = waktu dalam menit;
- L = panjang lereng dalam (m);
- S = kemiringan lereng (m/m).

2.4.2 Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Snyder

Hidrograf satuan sintetik (HSS) Snyder adalah sebuah metode untuk penghitungan debit banjir rencana yang ditemukan oleh Snyder pada tahun 1938 yang berasal dari negara Amerika. Parameter yang digunakan dalam HSS Snyder tidak terlalu banyak. Parameter yang digunakan dalam HSS Snyder adalah sebagai berikut (Limantara, 2018: 232)

- 1) Luas daerah aliran sungai (A),
- 2) Panjang sungai utama (L),
- 3) Jarak antara titik berat daerah aliran sungai dengan outlet (L_c).

Rumus untuk mencari debit banjir menggunakan HSS Snyder adalah

$$t_p = C_t(L \cdot L_c)^n \dots\dots\dots(2-40)$$

$$Q_p = 2,78 \cdot \frac{C_p \cdot A}{t_p} \dots\dots\dots(2-41)$$

$$T_b = \frac{72 + 3T_p}{24} \dots\dots\dots(2-42)$$

$$q_p = 0,278 \cdot \frac{C_p}{t'_p} \dots\dots\dots(2-43)$$

Di mana:

L = panjang aliran utama (km);

L_c = panjang aliran utama dari titik berat DAS ke pelepasan DAS (km);

t_p = waktu mulai titik berat hujan sampai debit puncak (jam);

n = koefisien proporsional terhadap $C_t \approx 0,03$;

C_t = koefisien bergantung pada karakteristik DAS $\approx 1,10-1,40$;

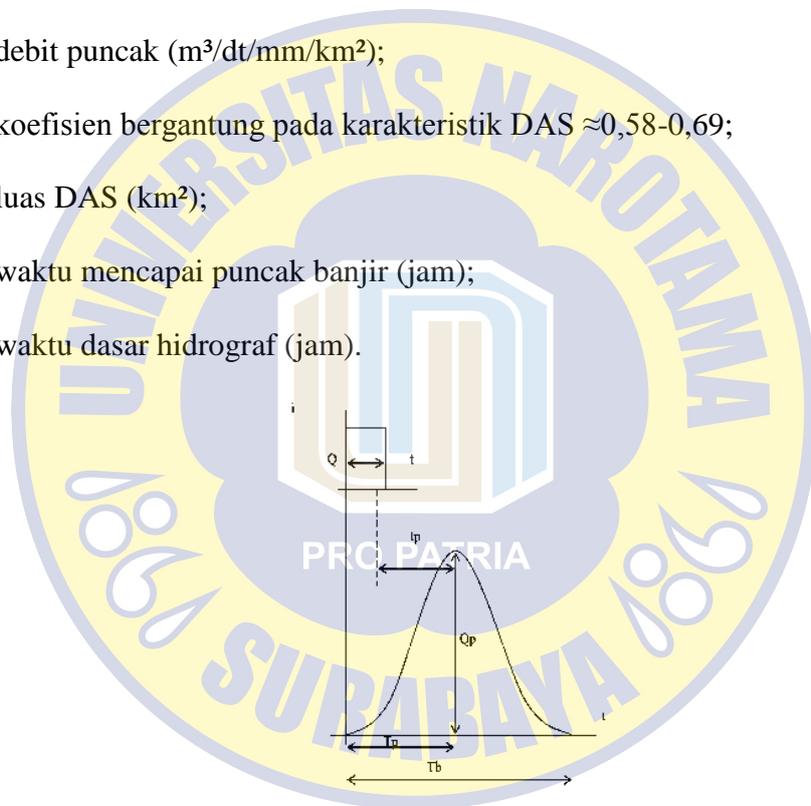
Q_p = debit puncak ($m^3/dt/mm/km^2$);

C_p = koefisien bergantung pada karakteristik DAS $\approx 0,58-0,69$;

A = luas DAS (km^2);

T_p = waktu mencapai puncak banjir (jam);

T_b = waktu dasar hidrograf (jam).



Gambar 2. 5 Hidrograf satuan sintetik Snyder

Sumber: (Limantara, 2018: 233)

Jika perhitungan HSS Snyder jauh melenceng dari data yang sudah ada, maka diperlukan kalibrasi terhadap parameter C_t dan C_p . Snyder juga memiliki dasar metode hitung untuk curah hujan dengan lama efektif adalah 1 jam (t_R).

Rumusnya adalah

$$t_{\varepsilon} = \frac{t_p}{5,50} \dots\dots\dots(2-44)$$

Jika $t_{\varepsilon} > t_R$ maka waktu naik hidrograf satuan

$$t'_p = t_p + 0,25 \cdot (t_{\varepsilon} - t_R) \dots\dots\dots(2-45)$$

$$T_p = t'_p + 0,5 \cdot T_r \dots\dots\dots(2-46)$$

Jika $t_{\varepsilon} < t_R$ maka

$$T_p = t_p + 0,50 \cdot t_R \dots\dots\dots(2-47)$$

Dengan debit maksimum totalnya adalah

$$Q_p = \frac{q_p \cdot h \cdot a}{100} \dots\dots\dots(2-48)$$

Di mana:

Q_p = debit maksimum total ($m^3/dt/mm$),

q_p = debit puncak ($m^3/dt/mm/km^2$);

h = curah hujan satuan (m),

A = luas DAS (km^2).

Jika sebelumnya telah diketahui parameter kemiringan sungai maka

$$T_p = C_t \left(\frac{L \cdot L_c}{S^{0,5}} \right)^n \dots\dots\dots(2-49)$$

Di mana:

S = kemiringan sungai,

$n = 0,38$.

Untuk nilai C_t dapat dilihat pada tabel di bawah

Tabel 2. 12 Nilai C_t pada DAS

C_t	Daerah
1,2	Pegunungan
0,72	Kaki bukit
0,35	Jurang
0,08	perkotaan

Sumber: (SNI 2415-2016, 2016: 24)

Hidrograf satuan sintetik Snyder dalam penggambarannya merupakan fungsi antara debit dan waktu

$$Q_p = f(t) \dots\dots\dots(2-50)$$

Di mana untuk rumusan ordinat dan absis adalah sebagai berikut

$$Y = \frac{Q}{Q_p} \dots\dots\dots(2-51)$$

$$X = \frac{t}{T_p} \dots\dots\dots(2-52)$$

Sedangkan untuk hidrograf satuannya menggunakan persamaan Alexeseyev di mana rumusnya adalah

$$Y = 10^{-a \frac{(1-x)^2}{x}} \dots\dots\dots(2-53)$$

$$a = 1,32 \cdot \lambda^2 + 0,15\lambda + 0,045 \dots\dots\dots(2-54)$$

$$\lambda = \frac{(Q_p \cdot T_p) \cdot 3600}{w} \dots\dots\dots(2-55)$$

$$\lambda = \frac{(Q_p \cdot T_p)}{(h \cdot A)} \dots\dots\dots(2-56)$$

$$w = 1000 \cdot h \cdot A \dots\dots\dots(2-57)$$

Di mana:

H = curah hujan efektif (mm).

2.4.3 Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu

Hidrograf dalam pengertiannya secara singkat adalah sebuah kurva yang memberi hubungan antara parameter debit aliran air dan waktu, namun ada pula parameter yang menghubungkan antara debit aliran air dan kedalaman elevasi air. Metode hidrograf satuan sintetik (HSS) Nakayasu dipilih sebab metode tersebut sering digunakan untuk menghitung debit di Jawa Timur, terutama pada DAS sungai Brantas.

Penggunaan metode tersebut memerlukan beberapa karakteristik parameter yaitu (Limantara, 2018: 223)

- 1) Tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak hidrograf (*time to peak magnitude*) disimbolkan dengan T_p ,
- 2) Tenggang waktu dari titik berat hujan sampai titik berat hidrograf (*time lag*) disimbolkan dengan t_g ,
- 3) Tenggang waktu hidrograf (*time base of hydrograph*) disimbolkan dengan T_B ,
- 4) Luas daerah pengaliran (*catchment area*) disimbolkan dengan A ,
- 5) Panjang alur sungai utama terpanjang (*length of the longest channel*) disimbolkan dengan L ,
- 6) Koefisien pengaliran (*run-off coefficient*) disimbolkan dengan c .

Rumusan untuk metode HSS Nakayasu dibedakan menjadi tiga bagian, yaitu: rumusan debit puncak banjir (*peak discharge*), rumusan persamaan hidrograf satuan pada kurva naik, dan rumusan persamaan hidrograf satuan pada kurva turun. Rumusannya adalah sebagai berikut (Limantara, 2018: 225)

1) Debit puncak banjir (*peak discharge*);

$$Q_p = \frac{c \cdot A \cdot R_0}{3,6(0,3T_p + T_{0,3})} \dots\dots\dots(2-58)$$

Dengan:

Q_p = Q_{maks} , merupakan debit puncak banjir (m^3/dt);

c = koefisien aliran;

A = luas DAS sampai ke *outlet* (km^2);

R_0 = hujan satuan (mm);

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

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

2) Rumusan persamaan hidrograf satuan pada kurva naik;

$0 \leq t < T_p$

$$Q_t = Q_{maks} \left(\frac{t}{T_p} \right)^{2,4} \dots\dots\dots(2-59)$$

3) Rumusan persamaan hidrograf satuan pada kurva turun.

Untuk $T_p \leq t < (T_p + T_{0,3})$

$$Q_t = Q_{maks} \cdot 0,3^{\frac{t-T_p}{T_{0,3}}} \dots\dots\dots(2-60)$$

Untuk $(T_p + T_{0,3}) \leq t < (T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3})$

$$Q_t = Q_{maks} \cdot 0,3^{\frac{t-T_p+0,5T_{0,3}}{1,5T_{0,3}}} \dots\dots\dots(2-61)$$

Untuk $t \geq (T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3})$

$$Q_t = Q_{maks} \cdot 0,3^{\frac{t-T_p+0,5T_{0,3}}{2T_{0,3}}} \dots\dots\dots(2-62)$$

4) Rumus penunjang

$$T_p = t_g + 0,8t_r \dots\dots\dots(2-63)$$

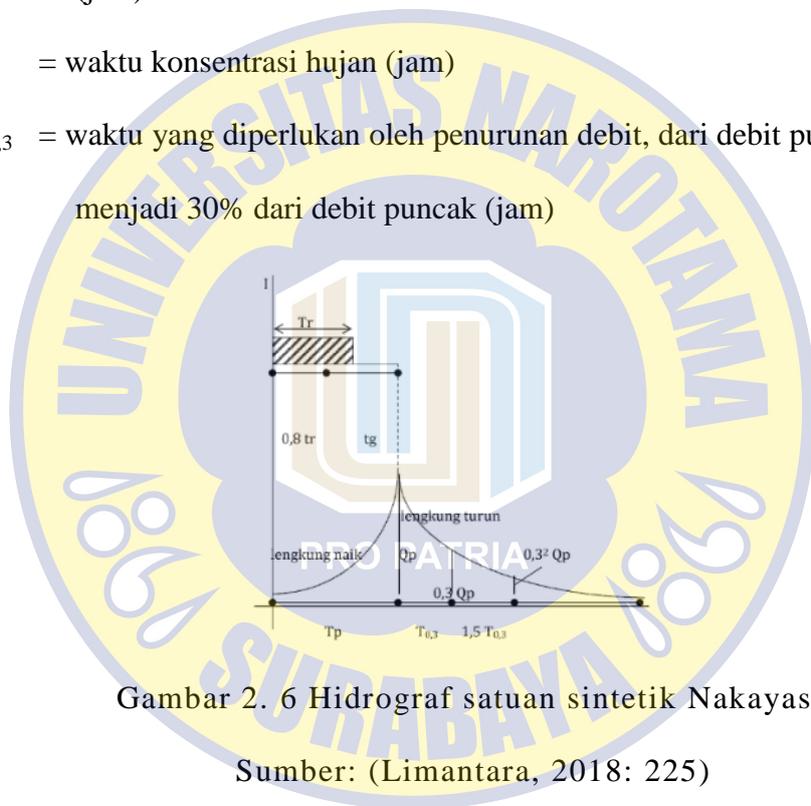
$$T_{0,3} = \alpha t_g \dots\dots\dots(2-64)$$

Dengan:

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

t_g = waktu konsentrasi hujan (jam)

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



Gambar 2. 6 Hidrograf satuan sintetik Nakayasu

Sumber: (Limantara, 2018: 225)

2.5 Analisis Kapasitas Boezem Kalidami

Analisis kapasitas di sini adalah selisih antara jumlah debit air yang masuk dan debit air yang keluar, sehingga didapatkan nilai kapasitas tampungan untuk dapat mengatasi debit banjir maksimum. Untuk menentukan nilai kapasitas tersebut harus berdasar kapasitas tampungan terbesar yang terjadi saat puncak curah hujan terjadi. Analisis dilakukan untuk perubahan aliran masuk (*inflow*) dan aliran keluar (*outflow*) yang diakibatkan oleh boezem.

Untuk menganalisis kapasitas tampungan setiap jamnya, dapat menggunakan metode penelusuran banjir (*flood routing*) melalui tampungan yang dirumuskan sebagai berikut (PERMEN PU NO 12 /PRT/M/2014, 2014: 104)

$$\Delta S = \frac{I_2 + I_1}{2} \Delta t - \frac{O_1 + O_2}{2} \Delta t \quad \dots\dots\dots(2-65)$$

Di mana:

ΔS = volume tampungan pada boezem selama waktu interval Δt (m^3)

I_1 = aliran masuk pada awal interval waktu (m^3/dt)

I_2 = aliran masuk pada akhir interval waktu (m^3/dt)

O_1 = aliran keluar pada awal interval waktu (m^3/dt)

O_2 = aliran keluar pada akhir interval waktu (m^3/dt)

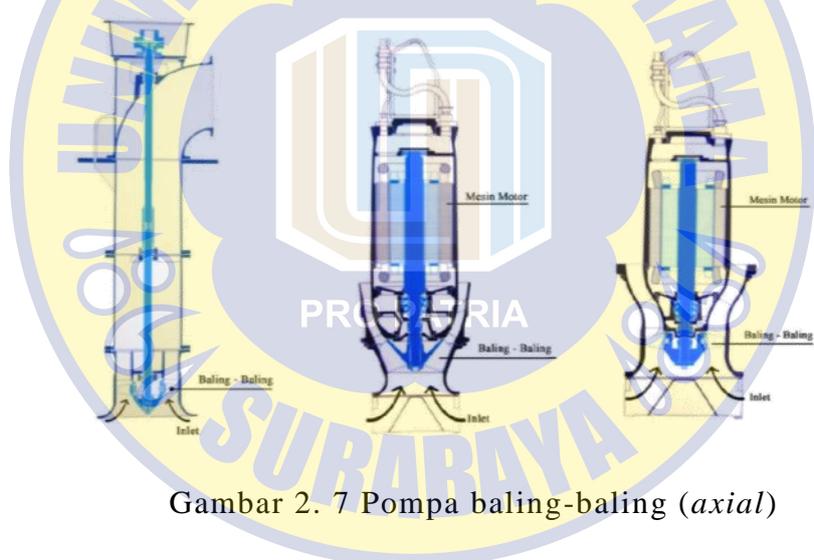
Δt = periode penelusuran (dt)

Jika Δt diasumsikan terjadi selama satu jam. Di mana t_1 adalah awal waktu sehingga $t_1=0$, sehingga $\Delta t=t_2$ yaitu 60 menit. Adapun langkah-langkah untuk menelusuri banjir pada boezem adalah sebagai berikut

- 1) Menentukan *hidrograf inflow* sesuai skala perencanaan,
- 2) Menyiapkan data hubungan antara volume dan area boezem dengan elevasi boezem,
- 3) Menghitung debit limpasan pada boezem,
- 4) Menentukan kondisi awal muka air boezem pada saat mulai *routing* yang berguna untuk memperhitungkan kondisi ekstrim,
- 5) Menentukan periode waktu peninjauan,
- 6) Perhitungan dapat dilakukan dengan tabel.

2.6 Analisis Pompa Drainase

Pompa drainase adalah pompa air yang berkapasitas besar dan berguna untuk mengalirkan air genangan dari daerah yang mempunyai elevasi lebih rendah daripada elevasi saluran pembuangan air banjir. Pompa drainase juga berfungsi untuk mempercepat pengaliran air genangan yang sudah tertampung di dalam boezem agar banjir yang terjadi cepat mengalami penurunan. Pompa drainase juga dibedakan menurut konstruksinya, kapasitasnya, dan spesifikasinya. Beberapa tipe pompa adalah: pompa ulir (*archemedian screw*), pompa turbo (*rotodynamic*), pompa aliran radial (*sentrifugal*), dan pompa baling-baling (*axial*).



Gambar 2. 7 Pompa baling-baling (*axial*)

2.6.1 Kapasitas Pompa Drainase

Umumnya pompa drainase yang digunakan adalah jenis pompa turbin seperti pompa aliran axial, jenis ini digunakan dalam saluran dengan debit yang cukup besar namun dengan ketinggian rendah (*head* kecil). Pompa aliran semi aksial juga terkadang digunakan untuk debit yang cukup besar dan dengan ketinggian sedang (*head* sedang). Sedangkan pompa dengan kapasitas debit yang cukup besar serta dengan ketinggian yang besar (*head* besar), di mana tinggi pompa

ditimbulkan oleh gaya putaran sentrifugal yang mendorong putaran sudu-sudu (*impeller*) pompa sehingga pompa jenis ini disebut pompa tipe sentrifugal.

Pompa drainase yang digunakan di boezem Kalidami adalah tipe pompa air *submersible*, atau dapat juga diartikan pompa air dengan sistem kerjanya adalah memutar *impeller* dengan kecepatan rotasi yang sangat tinggi sehingga terjadi gaya sentrifugal dan mendorong air hingga ke pipa buang. Karena sistem kerjanya yang berdasar gaya sentrifugal, pompa air *submersible* tidak memiliki spesifikasi daya hisap, namun hanya memiliki kapasitas total *head* yang dapat dirumuskan sebagai berikut

$$H = \left(\frac{P_2 - P_1}{\gamma} \right) + \left(\frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} \right) + (z_2 - z_1) + H_{LT} \dots\dots\dots(2-66)$$

Dikarenakan pompa yang digunakan adalah pompa *submersible* sehingga tidak terjadinya perbedaan daya hisap dan daya tekan, maka diasumsikan $P_1=P_2$, serta tidak adanya kecepatan awal ($V_1=0$) sehingga rumusannya menjadi

$$H = \frac{V_2^2}{2g} + (z_2 - z_1) + H_{LT} \dots\dots\dots(2-67)$$

Keterangan:

H = *head* total pompa (m);

z = *head* statis pompa (m);

H_{LT} = *head loss* total (m).

2.6.2 Efektivitas Pompa Drainase

Efektivitas pompa drainase sangat berkaitan erat dengan kehilangan energinya, yang dikenal dengan istilah *head loss*. *Head loss* meliputi dua hal, yaitu: *head loss* mayor, dan *head loss* minor. Penyebab *head loss* mayor adalah

gesekan yang terjadi di dalam pipa. Untuk penyebab *head loss* minor adalah *fitting* pada perpipaan yang ada pada pipa hisap serta pipa buang. *Head loss* total dapat dirumuskan sebagai berikut

$$h_{LT} = h_{lp} + h_{lf} \dots\dots\dots(2-68)$$

Di mana:

h_{LT} = *head loss* total (m),

h_{lp} = *head loss* mayor (m),

h_{lf} = *head loss* minor (m).

2.6.2.1 Head Loss mayor

Rumusan untuk menghitung *head loss* mayor adalah sebagai berikut

$$h_{lp} = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \dots\dots\dots(2-69)$$

Keterangan:

H_{lp} = *head loss* mayor;

f = koefisien gesekan;

L = panjang pipa;

V = kecepatan rata-rata cairan dalam pipa;

D = diameter dalam pipa.

Untuk mencari koefisien gesekan (f) dapat dicari dengan diagram Moody yang mana menggunakan angka Reynolds (*Reynolds number*) dan kekasaran relatif.

Nilai kekasaran relatif bisa didapatkan dengan rumusan

$$\frac{e}{D} \dots\dots\dots(2-70)$$

Di mana:

e = kekasaran permukaan dalam pipa;

D = diameter pipa.

Kekasaran permukaan di dalam pipa didapatkan melalui pemilihan bahan yang digunakan dan dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 2. 13 Kekasaran ekuivalen untuk pipa baru

Pipa	Kekasaran ekuivalen, e	
	Kaki	Milimeter
Paku baja	0,003 – 0,03	0,9-9,0
Beton	0,001 – 0,01	0,3-3,0
Kayu di amplas	0,0006 – 0,003	0,18-0,9
Besi tuang	0,00085	0,26
Besi Galvanisir	0,0005	0,15
Besi Komersial atau besi tempa	0,00015	0,045
Pipa saluran	0,000005	0,0015
Plastik, gelas	0,0 (halus)	0,0 (halus)

Sumber: (Munson, Young dan Okiishi, 2003: 44)

Sedangkan untuk bilangan Reynolds rumusannya adalah sebagai berikut

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} \dots\dots\dots(2-71)$$

Di mana:

Re = bilangan Reynolds;

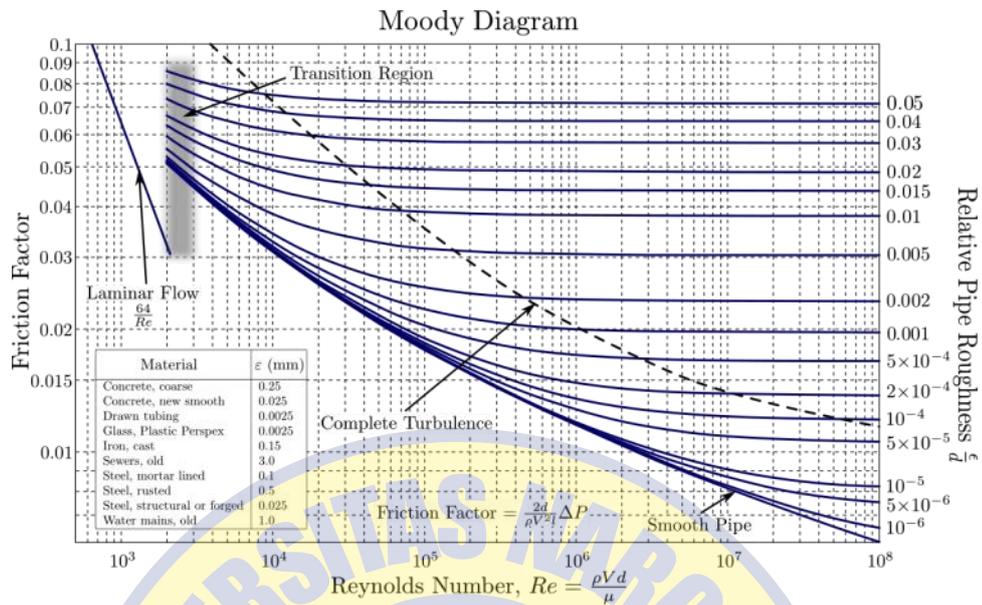
ρ = massa jenis cairan;

V = kecepatan rata-rata aliran;

D = diameter dalam pipa;

μ = viskositas absolut cairan.

Setelah bilangan Reynolds dan kekasaran relatif diketahui, kemudian mencari harga koefisien gesekan dengan mengacu pada diagram Moody seperti berikut



Gambar 2. 8 Diagram Moody

Sumber: (Stephenson, 2012: 53)

2.6.2.2 Head Loss minor

Disebut *head loss* minor karena kehilangan yang terjadi sangat kecil bahkan dapat diabaikan. *Head loss* minor hanya terjadi pada fitting dan lubang-lubang katup (*valve*) yang ada di sepanjang sistem perpipaan, sehingga dapat dirumuskan seperti berikut

$$h_{lf} = n \cdot k \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \dots\dots\dots(2-72)$$

Keterangan:

h_{lf} = *head loss* minor yang terjadi;

n = jumlah fitting/*valve* untuk diameter yang sama;

k = koefisien gesekan;

V = kecepatan rata-rata aliran;

g = percepatan gravitasi.

2.6.2.3 Daya Pompa

Daya pompa dibagi menjadi dua bagian, yaitu: daya hidrolis, dan daya motor. Daya hidrolis adalah daya pompa yang bekerja untuk mengalirkan zat cair. Rumusan yang digunakan adalah

$$P_h = \gamma \cdot H \cdot Q \dots\dots\dots(2-73)$$

Di mana:

- P_h = daya hidrolis (kW);
- γ = berat jenis air (kN/m³);
- Q = debit air (m³/dt);
- H = total head pompa (m).

Daya motor dihitung dengan melihat data voltase dan data arus listrik yang masuk. Dirumuskan sebagai berikut

$$P_i = V \cdot I \cdot \cos \theta \dots\dots\dots(2-74)$$

Di mana:

- P_i = daya motor (kW),
- V = tegangan listrik (volt),
- I = arus listrik (Amper),
- $\cos \theta$ = faktor daya.

2.6.2.4 Efisiensi Pompa

Dasar dari efisiensi pompa adalah perbandingan antara *output* dan *input* pompa drainase. Efisiensi tertinggi adalah efisiensi yang sama dengan harga efisiensi yang dikeluarkan dari pabrikan pembuatnya.

Efisiensi pompa dapat dirumuskan sebagai berikut

$$\eta_P = \frac{P_h}{P_i} \cdot 100\% \dots\dots\dots(2-75)$$

Di mana:

η_P = efisiensi pompa (%),

P_h = daya hidrolis (kW),

P_i = daya motor (kW).

