

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Daerah Aliran Sungai

Daerah aliran sungai (DAS) merupakan suatu daerah yang dibatasi oleh topografi alami, dimana semua air hujan yang jatuh di dalamnya akan mengalir melalui suatu sungai dan keluar melalui outlet pada sungai tersebut, fisik-biologi dan satuan kegiatan sosial ekonomi untuk perencanaan dan pengolahan sumber daya alam (Pratiwi, 2018).

Daerah aliran sungai (DAS) merupakan daerah yang dibatasi oleh punggung gunung dimana air hujan yang jatuh pada daerah tersebut akan ditampung oleh punggung gunung tersebut dan dialirkan melalui sungai-sungai kecil ke sungai utama (Salsabila & Nugraheni, 2020).

Dari definisi diatas, dapat dikatakan bahwa daerah aliran sungai (DAS) merupakan suatu kawasan yang menerima air hujan, menampung, dan mengalirkan air hujan melalui sungai utama. Setiap daerah aliran sungai (DAS) dipisahkan oleh pemisah seperti pegunungan atau perbukitan.

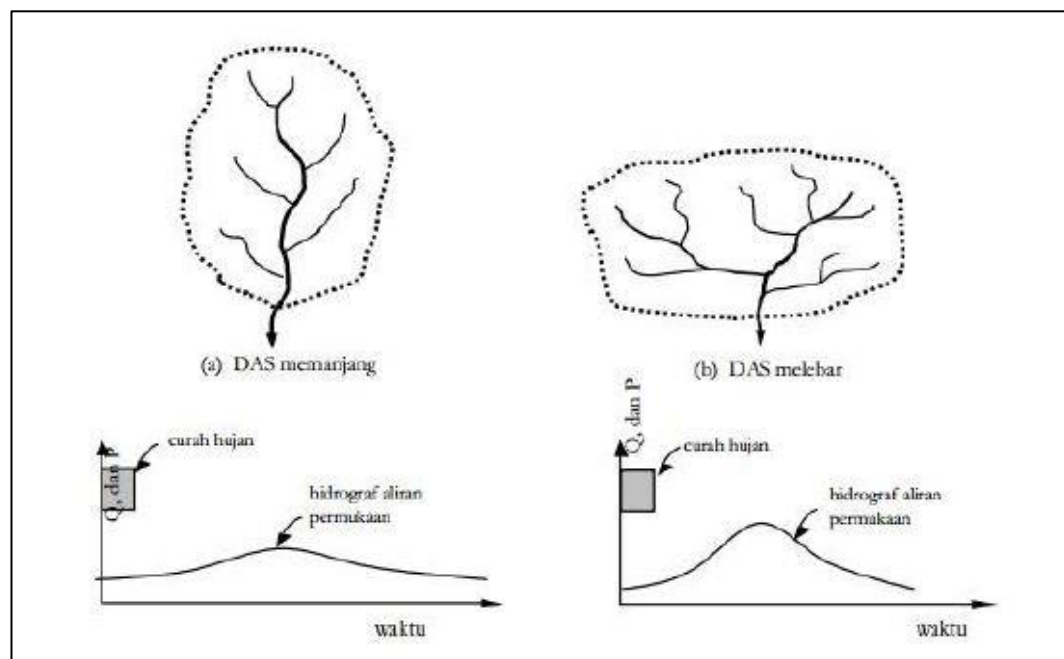
2.1.1 Karakteristik Daerah Aliran Sungai (DAS)

Karakteristik suatu daerah aliran sungai (DAS) dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain luas dan bentuk DAS, kondisi topografi, kondisi geologi serta vegetasi tutupan lahan atau tata guna lahan (Suripin, 2004).

1. Luas dan Bentuk DAS

Luas DAS akan mempengaruhi laju dan volume aliran permukaan, semakin luas suatu DAS maka volume aliran permukaan semakin besar, sedangkan bentuk suatu DAS berpengaruh terhadap pola aliran dalam sungai. Pada curah hujan dan intensitas yang sama, tapi dengan bentuk DAS yang berbeda mengakibatkan laju aliran permukaan (*surface runoff*) dari bentuk DAS yang memanjang dan sempit akan lebih besar dari pada bentuk DAS yang melebar atau melingkar. Hal ini terjadi karena waktu konsentrasi pada DAS memanjang terjadi lebih lama dibandingkan dengan DAS yang

melebar, sehingga terkonsentrasinya air di titik kontrol lebih lambat dan hal ini berakibat pada laju dan volume aliran permukaan.

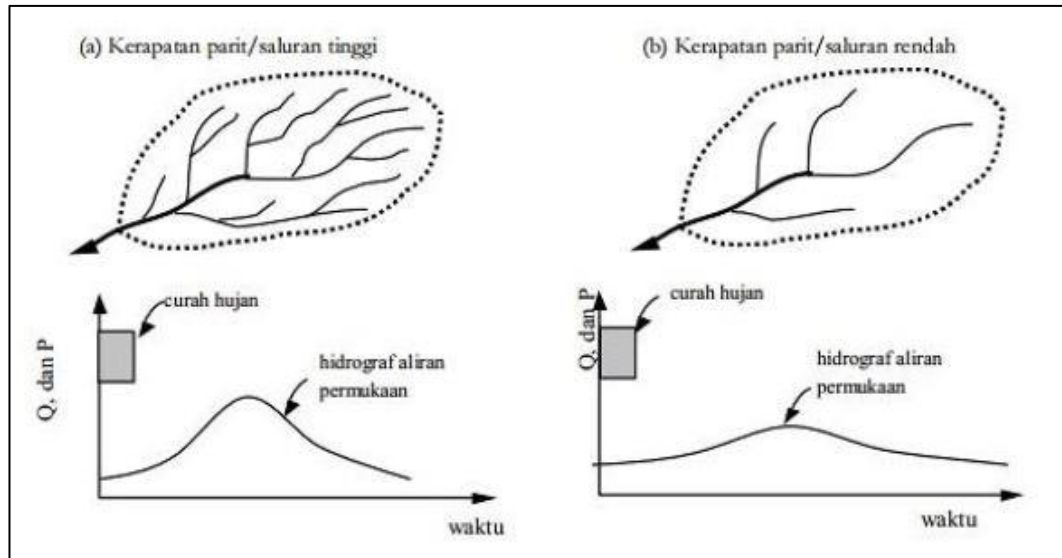


Gambar 2.1 Pengaruh Bentuk DAS pada *Surface Runoff*

Sumber : (Suripin, 2004)

2. Kondisi Topografi

Kondisi topografi seperti *slope*, keadaan dan kerapatan parit/saluran dan bentuk-bentuk cekungan lainnya mempengaruhi laju dan volume aliran permukaan. DAS dengan kemiringan curam disertai parit/saluran yang rapat akan menghasilkan laju dan volume aliran permukaan yang lebih tinggi dibandingkan dengan DAS yang landai dengan parit yang jarang dan adanya cekungan. Panjang parit per satuan luas DAS pada aliran permukaan dapat memperpendek waktu konsentrasi sehingga memperbesar laju aliran permukaan.



Gambar 2.2 Pengaruh Kerapatan Parit pada Hidrograf

Sumber : (Suripin, 2004)

3. Tata Guna Lahan

Pengaruh tata guna lahan pada aliran permukaan dinyatakan dalam koefisien aliran permukaan (C), yaitu bilangan yang menunjukkan perbandingan antara besarnya aliran permukaan dan besarnya curah hujan. Angka koefisien aliran permukaan merupakan salah satu indikator untuk menentukan kondisi fisik suatu DAS. Nilai C berkisar antara 0-1. Nilai C yang mendekati angka nol menunjukkan bahwa kondisi DAS tersebut masih dalam keadaan baik dan sebaliknya nilai C yang semakin mendekati angka satu menunjukkan bahwa kondisi DAS dalam keadaan semakin rusak.

4. Kondisi Geologi

Kondisi geologi mempengaruhi laju infiltrasi sehingga dapat mempengaruhi aliran permukaan. laju dan jumlah air yang meresap ke dalam tanah merupakan fungsi dari jenis tanah, kelengasan tanah, permeabilitas tanah, penutup tanah, *drainase*, *water table*, intensitas dan jumlah hujan.

2.2 Bendungan

Menurut (Peraturan Pemerintah, 2010) tentang bendungan menyebutkan bendungan adalah bangunan yang berupa urugan tanah, urugan batu, beton, dan/atau pasangan batu yang dibangun untuk menahan dan menampung limbah tambang, atau menampung lumpur sehingga terbentuk waduk.

Dalam (Setiawan, 2021) menjelaskan pembangunan bendungan dan pengelolaan bendungan beserta waduknya bertujuan untuk meningkatkan kemanfaatan fungsi sumber daya air, pengawetan air, pengendalian daya rusak air, dan fungsi pengamanan tampungan limbah tambang atau tampungan lumpur. Berdasarkan tujuan pembangunannya, bendungan dibagi menjadi dua yaitu :

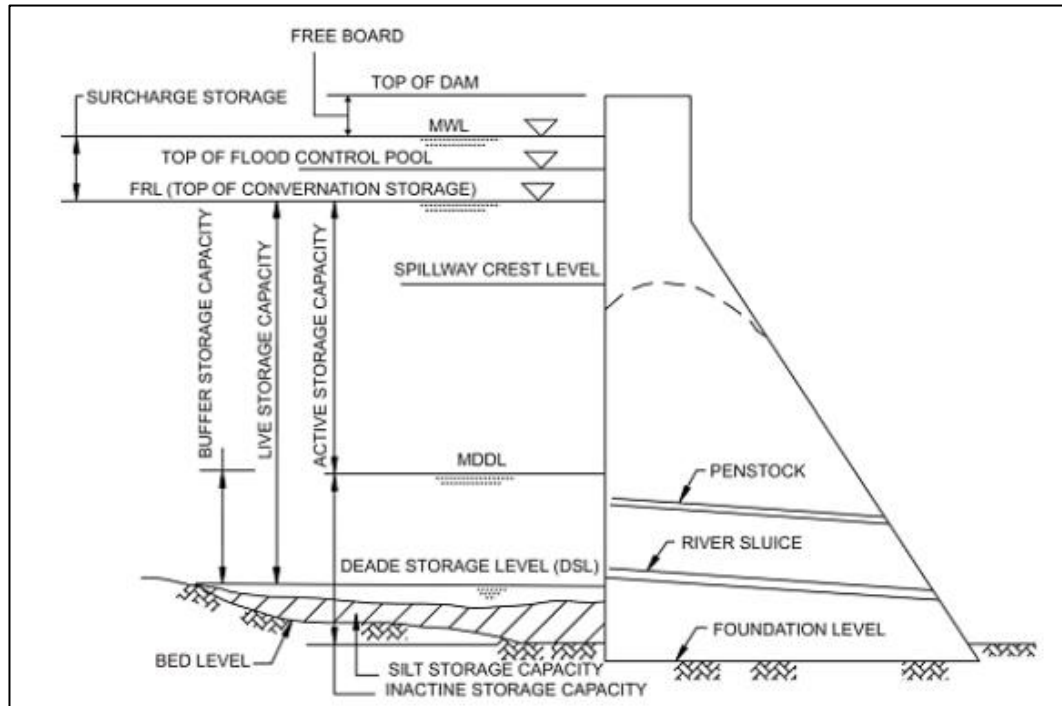
- a. Bendungan dengan tujuan tunggal (*Single Purpose Dam*), merupakan bendungan yang dibangun untuk memenuhi satu tujuan saja, misalnya untuk pembangkit listrik saja, untuk irigasi (pengairan), atau untuk pengendalian banjir saja, dll.
- b. Bendungan serbaguna (*Multi Purpose Dam*), merupakan bendungan yang dibangun untuk memenuhi beberapa tujuan, misalnya untuk pembangkit listrik (PLTA) dan irigasi (pengairan), atau untuk pengendalian banjir dan PLTA, air minum dan air industri, dll.

2.2.1 Penggunaan Waduk dan Zona Tampungan

Waduk merupakan sebuah wadah atau *reservoir* buatan manusia yang dibuat dengan tujuan menyimpan air. Waduk memiliki banyak fungsi, seperti penyediaan air untuk irigasi pertanian, pembangkit listrik tenaga air, pengendalian banjir, dan juga sebagai tempat rekreasi. Waduk Saguling ini mempunyai fungsi *single purpose* dan tujuan penggunaan waduk Saguling untuk kebutuhan PLTA yang mendukung sistem listrik Jawa-Bali (Aprizal et al., 2003). Tujuan penggunaan waduk untuk kebutuhan manusia dan keperluan industri yaitu sebagai berikut :

- Irigasi, untuk menambah curah hujan yang tidak mencukupi kebutuhan.
- Pembangkit listrik tenaga air, untuk menyediakan pasokan listrik.
- *Skema Pumped storage hydropower*, di mana air mengalir dari *reservoir* atas ke bawah untuk menghasilkan tenaga dan energi pada saat permintaan tinggi melalui turbin, yang *reversibel* dan air dipompa kembali ke *reservoir* atas ketika memiliki kelebihan energi.
- Pengendali Banjir (*Flood Control*), untuk menampung debit banjir dan membuang kelebihan debit melalui *spillway*.
- Penggunaan fasilitas, dalam hal ini termasuk ketentuan untuk berperahu, olahraga air, memancing dan lainnya.

Kapasitas tampungan dalam waduk dibagi menjadi tiga atau empat bagian yang dibedakan oleh beberapa elevasi. Berikut diagram zona tampungan pada waduk:

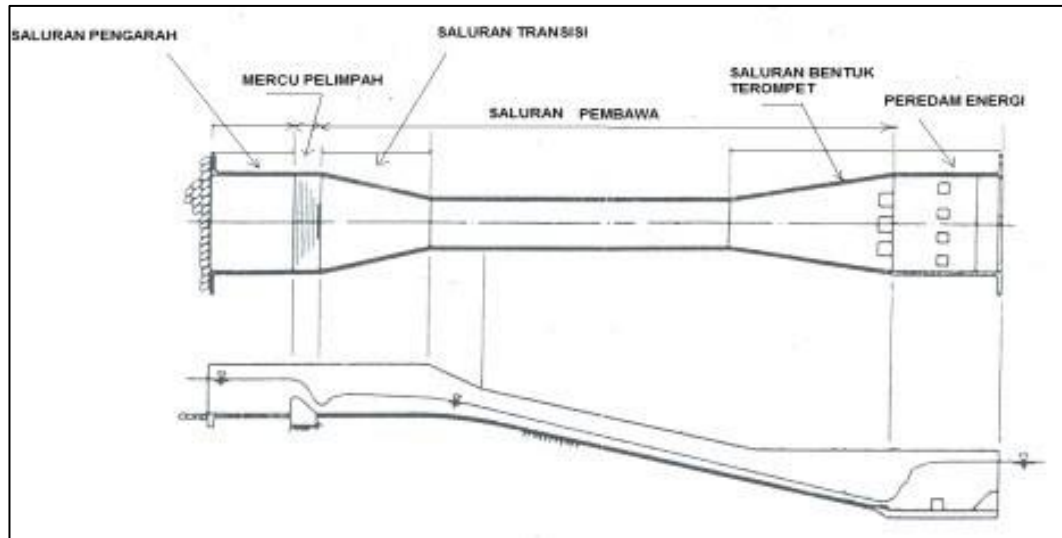


Gambar 2.3 Diagram Zona Tampungan

Sumber : (Triatmodjo, 2008)

2.2.2 Bangunan Pelimpah (*Spillway*)

Spillway adalah salah satu komponen penting dari sebuah bendungan, yang digunakan sebagai pengontrol pelepasan arus dari suatu bendungan ke daerah hilir. Fungsi utama dari *spillway* adalah membuang kelebihan air waduk, sehingga air tidak melimpas ke puncak bendungan (*overtopping*) yang dapat membahayakan bendungan, terutama bendungan tipe urugan tanah. *spillway* harus dirancang dengan baik agar debit banjir yang direncanakan nantinya dapat mengalir dengan baik melalui saluran transisi, saluran peluncur dan peredam energi.



Gambar 2.4 Skema Sebuah Tipe Bangunan Pelimpah pada Bendungan

Sumber : (Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi, 2017)

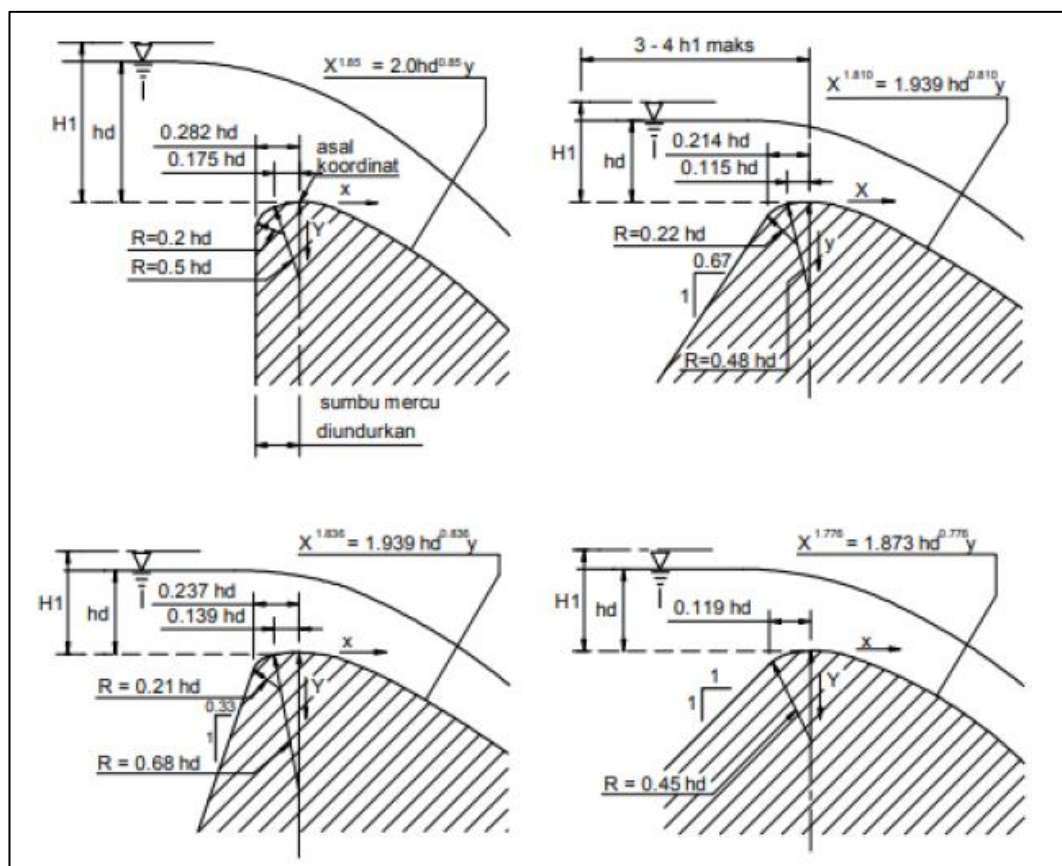
Saluran Pelimpah (*Spillway*) harus didesain secara hati-hati dan jangan sampai berdampak merugikan terhadap tubuh bendungan, pondasi dan *reservoir*. Penentuan tipe bangunan pelimpah harus mempertimbangkan kondisi geologi, topografi, segi keamanan, sosial dan ekonomi, cara operasi dan pemeliharaan dan juga tipe bendungannya. Bangunan pelimpah dapat dibangun menjadi bagian dari bendungan, tapi bila kondisi topografi memungkinkan bangunan pelimpah juga dapat dibangun terpisah dari bendungan utama, untuk menghindari pengaruh rembesan melalui bidang kontak.

Berdasarkan fungsinya *Spillway* dibedakan menjadi tiga, yaitu *Service Spillway*, *Auxiliary Spillway* dan *Emergency Spillway*. Sedangkan berdasarkan bentuknya *Spillway* terdiri dari *Chute*, *Side Channel Spillway*, *Shaft*, *Siphon*, *Labirin*, *Box Inlet Drop Spillway* dan Pelimpah Konduit / Terowongan. *Spillway* juga diklasifikasikan menjadi *Spillway* tanpa pintu dan dengan pintu. *Spillway* dengan pintu terdiri dari pelimpah berpintu dan pelimpah dengan “*fuse gate*“, sedangkan *Spillway* tanpa pintu terdiri dari (Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi, 2017) :

- a. Pelimpah dengan *Mercu Ogee* dan *Sill* kendali
- b. Saluran dengan dua sisi dan pelimpah samping dengan *Mercu Ogee*
- c. Pelimpah *Morning Glory*
- d. Pelimpah dengan *Mercu Labirin* melalui bidang kontak.

2.2.2.1 Mercu Bangunan Pelimpah

Puncak mercu pada bangunan pelimpah/tinggi bangunan pelimpah diatur sama dengan muka air normal pada suatu bendungan (*Normal Water Level*). Muka air normal ini setara dengan batas atas tampungan efektif bendungan. Pada umumnya kebanyakan mercu pada pelimpah menggunakan tipe *Mercu Ogee*. *Mercu Ogee* adalah sebuah mercu yang memiliki bentuk tirai luapan ambang tajam. Oleh karena itu, mercu ini tidak akan memberikan tekanan sub atmosfer pada permukaan mercu sewaktu bendung mengalirkan air pada debit rencana. Untuk debit rendah, air akan memberikan tekanan ke bawah pada mercu.



Gambar 2.5 Bentuk-bentuk Bendung *Mercu Ogee*

Sumber : (Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi, 2017)

2.2.2.2 Model Tampungan dan Kapasitas Pelimpah

Tampungan banjir dan kapasitas pelimpah pada bendungan ditentukan dengan melakukan analisis penelusuran banjir desain yang dimulai pada muka air waduk normal. Banjir desain adalah banjir yang digunakan untuk mendesain bendungan beserta bangunan-bangunan pelengkapannya, terutama untuk menentukan

ukuran bangunan pelimpah dan bangunan pengeluaran, serta untuk menentukan volume tampungan maksimum air waduk dan tinggi puncak bendungan (Setiawan, 2021).

Kapasitas pelimpah didesain dengan menggunakan analisis besarnya debit banjir. Besarnya debit banjir yang melewati bangunan pelimpah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan debit banjir sesuai dengan jenis atau tipe puncak pelimpahnya.

2.3 Ketersediaan Air (*Inflow*)

Ketersediaan air merupakan jumlah air yang ada pada suatu lokasi (bendungan atau bangunan air lainnya) dengan jumlah tertentu dan dalam waktu tertentu. Menurut (Kementerian PUPR, 2017) tahun normal adalah tahun pada saat curah hujan berkisar 85% - 115% dari curah hujan rata-rata hasil pengamatan. Maka berdasarkan pernyataan tersebut tahun basah adalah tahun pada saat debit lebih besar dari 115% dan tahun kering adalah ketika debit kurang dari 85% serta rata-rata tahun normal berkisar pada kisaran 100%.

Menetapkan pola operasi waduk didasarkan pada debit dengan tingkat keandalan tertentu. Data besarnya debit air yang masuk (*inflow*) ke waduk melalui dua cara yaitu pencatatan debit dan transformasi data curah hujan. Panjang data debit yang digunakan minimal merupakan data sepuluh (10) tahun terakhir :

1. Pencatatan Debit

Metode ini untuk waduk yang telah beroperasi lama. Debit lokal adalah debit tambahan yang dapat dimanfaatkan atau diperhitungkan untuk memenuhi kebutuhan air yang tidak langsung masuk ke waduk. Debit lokal ini perlu dipertimbangkan sebagai bagian ketersediaan air selain yang dikeluarkan waduk.

2. Transformasi dari Data Curah Hujan

Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk mentransformasi data curah hujan menjadi data aliran. Model hidrologi yang biasa digunakan yaitu *Dr. Mock dan NRECA, Model Tank, SSARR, Sacramento, dan Stanford*. Pada beberapa metode diperlukan proses kalibrasi untuk mendapatkan hasil keluaran debit. Data yang dibutuhkan untuk kalibrasi yaitu data debit aktual tercatat.

2.4 Pembangkitan Data

Dalam perhitungan-perhitungan hidrologi terdapat tiga model yang digunakan yaitu model deterministik, model probabilistik, model stokastik. Pada penelitian ini menggunakan model stokastik mampu mengisi kekosongan diantara kedua model tersebut, yaitu mempertahankan sifat-sifat peluang yang berhubungan dengan runtun waktu kejadiannya yang salah satunya dari banyak stokastik yaitu model *Thomas Fiering*. Termasuk dalam model stokastik adalah proses perpanjangan runtun data. Konsep dari metode stokastik adalah pembangkitan data dengan cara mempertahankan karakteristik data historis, melalui parameter rerata data, standar deviasi dan koefisien korelasi antar waktu.

2.4.1 Debit *Inflow* Bangkitan Metode *Thomas Fiering*

Menurut (Cahyadi et al., 2020) Model *Thomas Fiering* adalah satu diantara banyak model stokastik. Peramalan data model *Thomas Fiering* dapat digunakan untuk memecahkan kurang panjangnya suatu data hidrologi. Prinsip dasar dari data sintetik atau data bangkitan adalah membuat data baru berdasarkan data yang telah ada, untuk mendapatkan nilai data yang akan datang. Model *Thomas Fiering* merupakan markovian alami dengan parameter periodik, yaitu nilai rerata, standar deviasi, koefisien korelasi, dan bilangan acak.

Pembangkitan data menggunakan metode *Thomas Fiering* dapat digunakan untuk memecahkan persoalan kurang panjangnya data hidrologi. Keunggulan metode *Thomas Fiering* adalah dapat meramalkan data untuk beberapa tahun ke depan (Soemarto, 1999). Rumus yang digunakan dalam metode *Thomas Fiering* yaitu sebagai berikut:

$$Q_{i+1j} = Q_j + b_j (Q_{ij-1} - Q_{j-1}) + t_i Sd_j (1 - r_j)^{\frac{1}{2}} \quad (2.1)$$

Keterangan:

Q_{i+1} = debit hasil pembangkitan untuk bulan j dan tahun ke (i+1).

$Q_{i j-1}$ = debit pada tahun ke I, pada bulan sebelumnya (j-1).

R_j = korelasi antara debit bulan sebelumnya (j-1) dan bulan j.

b_j = koefisien regresi antara debit bulan j dan j-1.

t_i = bilangan random normal.

Sd_j = Standar deviasi bulan j.

2.4.2 Uji Validitas

Uji validitas dilakukan untuk mengetahui tingkat ketelitian dari korelasi hubungan antara data pengamatan dan data perhitungan. Validasi (*validation*) adalah proses evaluasi terhadap model untuk mendapatkan gambaran tentang tingkat ketidakpastian yang dimiliki oleh suatu model dalam memprediksi proses hidrologi. Pada umumnya, validasi dilakukan dengan menggunakan data diluar periode data yang digunakan untuk kalibrasi (Arrokhman et al., 2021).

Kalibrasi debit dilakukan guna mengetahui apakah nilai debit pada debit simulasi telah mendekati kondisi sebenarnya. Data debit dianalisis validasinya dengan data debit menggunakan metode *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE).

Uji efisiensi *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE) digunakan untuk mengevaluasi keabsahan model. Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan simulasi model perhitungan dan hasil pengamatan, dengan persamaannya sebagai berikut (Indarto, 2012) :

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^N (P_1 - Q_i)^2}{\sum_{t=1}^N (P_1 - \bar{P}_i)^2} \quad (2.2)$$

Keterangan:

- NSE = koefisien *Nash-Sutcliffe*
- N = jumlah data
- P_1 = data observasi (data aktual).
- Q_i = hasil simulasi data.
- \bar{P}_i = Rata-rata data observasi.

Tabel 2.1 Kriteria Nilai *Nash Sutcliffe Efficiency* (NSE)

Nilai NSE	Interpretasi
$NSE > 0,75$	Baik
$0,36 < NSE < 0,75$	Memenuhi
$NSE < 0,36$	Tidak Memenuhi

Sumber : (Indarto, 2012)

2.5 Uji ketiadaan *Trend*

Uji ketiadaan *trend* dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui ada tidaknya *trend* atau variasi dalam data. Apabila ada *trend* maka data tidak disarankan dalam

analisis hidrologi. Data yang baik adalah data yang homogen, artinya data berasal dari populasi yang sejenis.

2.5.1 Uji korelasi peringkat metode spearman

Trend dalam hidrologi dapat diartikan sebagai korelasi antara waktu dengan variasi dari suatu variabel. Uji korelasi peringkat dapat dilakukan dengan menggunakan metode spearman dengan menggunakan persamaan berikut :

$$KP = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (dt)^2}{n^3 - n} \quad (2.3)$$

$$t = KP \left[\frac{n - 2}{1 - KP^2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.4)$$

Dimana:

KP = n korelasi peringkat dari Spearman.

N = Jumlah data.

Dt = Rt – Tt.

Tt = Peringkat dari waktu.

Rt = Peringkat variabel hidrologi.

t = Nilai distribusi t, pada derajat kebebasan (n-2) untuk derajat kepercayaan tertentu (umumnya 5%).

Uji-t digunakan untuk menentukan apakah variabel waktu dan variabel hidrologi saling tergantung atau tidak, dalam hal ini yang diuji Tt dan Rt. Untuk mengetahui variabel hidrologi tersebut saling tergantung (*dependent*) atau tidak tergantung (*independent*) digunakan Uji-t. Dengan hipotesa sebagai berikut :

- Hipotesa diterima jika nilai $t < t_c$, tidak ada trend (Rt dan Tt *independent*, tidak saling tergantung).
- Hipotesa ditolak jika $t > t_c$, ada trend.

2.6 Analisis Distribusi Frekuensi

Analisis frekuensi ini didasarkan pada sifat statistik data yang tersedia untuk memperoleh probabilitas besaran debit banjir di masa yang akan datang. Berdasarkan hal tersebut maka sifat data yang akan datang diandaikan masih sama dengan sifat statistik data yang telah tersedia. Secara fisik dapat diartikan bahwa sifat klimatologis dan sifat hidrologi DAS diharapkan masih tetap sama. Teori distribusi dapat digunakan untuk menyelesaikan persamaan umum tinggi hujan

untuk analisis frekuensi yang dilakukan dengan menggunakan sebaran kemungkinan teori probability distribution dan yang bisa digunakan adalah sebaran Normal, sebaran *Log Normal*, sebaran *Gumbel* tipe 1 dan sebaran *Log Pearson tipe III* (Pratiwi, 2018).

(Fauziyah et al., 2013) Didalam metode statistik ada beberapa parameter-parameter yang bisa membantu dalam menentukan sebaran sebaran yang terjadi. Penentuan metode yang tepat untuk analisa distribusi frekuensi akan dilakukan cek kesesuaian bergantung pada data dan fungsi kebutuhan. Parameter statistik yang digunakan dalam menentukan jenis distribusi ditunjukkan pada tabel dibawah ini :

Tabel 2.2 Parameter Statistik untuk Menentukan Jenis Distribusi

No	Jenis Distribusi	Syarat Uji Distribusi	
1	Normal	Cs = 0	
		Ck = 3	
2	log Normal	Cv ³ + 3Cv	Cs = 0
		Cv ⁸ + 6Cv ⁶ + 15Cv ⁴ + 16Cv ² + 3	Ck = 0
3	Gumbell	Cs = 1,14	
		Ck = 5,4	
4	Log Pearson Type III	Jika semua syarat tidak terpenuhi	

Sumber : (Triatmodjo, 2008)

2.6.1 Distribusi Normal

Metode distribusi normal merupakan fungsi densitas peluang normal atau *probability density function* (PDF) atau distribusi gauss. Distribusi normal banyak digunakan dalam analisis hidrologi, misal dalam analisis frekuensi curah hujan, perhitungan curah hujan menurut distribusi normal memiliki persamaan sebagai berikut (Widyawati et al., 2020) :

$$X_{Tr} = \bar{X} + K_{Tr} \times S_X \quad (2.5)$$

$$\bar{X} = \frac{\sum_i^n X_i}{n} \quad (2.6)$$

$$S_X = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} \quad (2.7)$$

Keterangan:

X_{Tr} = Besarnya curah hujan rencana untuk periode ulang T tahun.

\bar{X} = Harga rata-rata dari data

S_X = Simpangan baku

K_{Tr} = Variabel reduksi Gauss

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	1.128
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

Sumber : (Suripin, 2004)

2.6.2 Distribusi Log Normal

Distribusi Log Normal, merupakan hasil transformasi dari distribusi normal, yaitu dengan mengubah varian X menjadi nilai logaritmik varian X. Distribusi Log Pearson Tipe III akan menjadi distribusi Log Normal apabila nilai koefisien kemencengan $C_s = 0,00$. Metode distribusi log normal dapat dituliskan seperti pada persamaan berikut:

$$\log X_{Tr} = \log \bar{X} + (K_{Tr} \times S_{\log X}) \quad (2.8)$$

$$\log X_{Tr} = \frac{\sum_1^n \log(X_i)}{n} \quad (2.9)$$

$$S_{\log X} = \sqrt{\frac{\sum (\log X - \log \bar{X})^2}{n - 1}} \quad (2.10)$$

Dengan:

$\log X_{Tr}$ = Besarnya curah hujan rencana untuk periode ulang T tahun.

$\log \bar{X}$ = Harga rata-rata dari data

K_{Tr} = Variabel reduksi Gauss

$S_{\log X}$ = Simpangan baku

2.6.3 Distribusi *Log Pearson Type III*

Parameter penting dalam *Log Pearson Type III* yaitu nilai rata-rata, simpangan baku, dan koefisien kemencengan. Jika koefisien kemencengan sama dengan nol maka distribusi kembali ke distribusi Log Normal. Tidak seperti konsep yang melatarbelakangi pemakaian distribusi normal untuk debit puncak, maka probabilitas distribusi *Log Pearson Type III* masih tetap dipakai karena fleksibilitasnya. Fungsi kerapatan distribusi *Log Pearson type III* mempunyai persamaan sebagai berikut :

$$\log X_{Tr} = \log \bar{X} + (K_{Tr} \times S_{\log X}) \quad (2.11)$$

$$\log X_{Tr} = \frac{\sum_1^n \log(X_i)}{n} \quad (2.12)$$

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

Keterangan :

$\log X_{Tr}$ = Besarnya curah hujan rencana untuk periode ulang T tahun.

$\log \bar{X}$ = Harga rata-rata dari data

K_{Tr} = Koefisien Frekuensi *Log Pearson Type III*

$S_{\log X}$ = Simpangan baku

Analisis frekuensi Metode *Log Normal* dan *Log Pearson Tipe III* didapatkan data parameter koefisien *skewnes*, koefisien *kurtosis* dan koefisien variansi. Berikut ini persamaan *skewness* (Cs), *kurtosis* (Ck) dan variansi (Cv) (Suwarno & Wibowo, 2017).

- Koefisien Variasi (Cv)

$$C_v = \frac{\sigma_{\log X}}{\log \bar{X}} \quad (2.14)$$

- Standar Deviasi (S)

$$S = \sqrt{\frac{\sum(\log xi - \overline{\log x})^2}{(n - 1)}} \quad (2.15)$$

- Koefisien Skewness (Cs)

$$Cs = \frac{n \times \sum(\log xi - \overline{\log x})^3}{(n - 1)(n - 2)(s)^2} \quad (2.16)$$

- Koefisien Kurtosis (Ck)

$$Ck = \frac{n^2}{(n - 1)(n - 2)(n - 3)s^4} \sum_{i=1}^n (xi - \bar{x})^4 \quad (2.17)$$

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

Tabel 2.4 Nilai KT Metode *Log Pearson 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
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	0.856	1.166	1.389	1.448	1.733	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

No.	Koefisien <i>Skewness</i>	Periode Ulang (tahun)						
		2	5	10	20	25	50	100
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

Sumber : (Suripin, 2004)

2.6.4 Distribusi *Gumbel*

Distribusi *Gumbel* adalah suatu metode yang didasarkan atas distribusi normal (distribusi harga ekstrim). *Gumbel* beranggapan bahwa distribusi variabel-variabel hidrologis tidak terbatas, sehingga harus digunakan distribusi dari harga-harga yang terbesar (harga maksimal). Distribusi *Gumbel* dianggap paling tepat karena dilengkapi dengan curah hujan maksimum setiap hari untuk berbagai periode waktu dan periode hujan yang berulang (Cahyadi et al., 2020).

Persamaan *Gumbel* sebagai berikut :

$$X_{Tr} = \bar{X} + K \times S_X \quad (2.18)$$

$$\bar{X} = \frac{\sum_i^n X_i}{n} \quad (2.19)$$

$$S_X = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} \quad (2.20)$$

Keterangan :

X_{Tr} = Besarnya curah hujan rencana untuk periode ulang T tahun.

\bar{X} = Harga rata-rata dari data

S_X = Simpangan baku

K = Faktor frekuensi (fungsi dari periode ulang dan tipe frekuensi)

Untuk menghitung faktor frekuensi *gumbel* :

$$K = \frac{Y_t - Y_n}{S_n} \quad (2.21)$$

Keterangan :

Y_t = Reduksi sebagai fungsi dari probabilitas

Y_n = Besaran yang merupakan fungsi dari jumlah pengamatan

S_n = reduksi standar deviasi

Tabel 2.5 Reduce Standard Deviation (Sn)

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

Sumber : (Suripin, 2004)

Tabel 2.6 Return Periode as a Function of Reduce Variate (Yt)

Periode Ulang	Reduce Variate
2	0.3665
5	14.999
10	22.502
25	31.985
50	39.019
100	46.001
1000	69

Sumber : (Suripin, 2004)

Tabel 2.7 Reduce Mean (Yn)

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

Sumber : (Suripin, 2004)

2.7 Uji Kecocokan Distribusi

Dalam menentukan kecocokan (*the goodness of fit test*) distribusi frekuensi dari sampel data terhadap fungsi distribusi yang diperkirakan dapat menggambarkan atau mewakili distribusi frekuensi tersebut diperlukan pengujian

parameter. Untuk keperluan analisis uji kecocokan digunakan dua metode statistik yaitu Uji *Chi-Square*, dan Uji *Kolmogorov-Smirnov* (Widyawati et al., 2020).

2.7.1 Uji *Chi-Square*

Uji *Chi-Square* bertujuan untuk menentukan apakah persamaan distribusi yang dipilih dapat mewakili distribusi statistik sampel data yang telah dianalisis. Uji *Chi-Square* merupakan pengujian terhadap perbedaan antara sampel dan distribusi probabilitas.

$$(X^2)_{hit} = \sum_{i=1}^k \frac{(EF - OF)^2}{EF} \quad (2.22)$$

Keterangan:

$(X^2)_{hit}$ = Uji Statistik

OF = Nilai yang diamati (*observed frequency*)

EF = Nilai yang diharapkan (*expected frequency*)

Uji *Chi-kuadrat* merupakan uji simpangan vertikal dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- Tentukan jumlah kelas distribusi (K)

$$K = 1 + 3,22 \log X \quad (2.23)$$

- Cari nilai *Chi-kuadrat* hitung $(X^2)_{cr}$
- Besarnya nilai $(X^2)_{cr}$ dapat diperoleh berdasarkan taraf signifikan (α) dan derajat bebasnya (DK). Dengan memasukkan harga K dan sebaran *Chi-Kuadrat* dapat diperoleh harga DK

$$DK = K - (P - 1) \quad (2.24)$$

- Kemudian nilai $(X^2)_{cr}$ dibandingkan dengan nilai *chi kuadrat kritis* $(X^2)_{cr}$.
- Jika Nilai $(X^2)_{cr} > (X^2)_{hitung}$, berarti sebaran vertikal dapat diterima.

2.7.2 Uji *Smirnov-Kolmogorov*

Uji *Smirnov Kolmogorov* atau sering disebut uji kesesuaian parametrik digunakan untuk menguji simpangan baku dengan cara horizontal, pengujian terhadap simpangan horizontal yaitu menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\Delta_{maks} = |P_E(X) - P_t(X)| \quad (2.25)$$

Dimana:

Δ_{maks} = Selisih data probabilitas teoritis dan empiris

$P_E(X)$ = Posisi data x menurut empiris

$P_t(X)$ = Posisi data x menurut teoritis

Dari hasil perhitungan diperoleh perbedaan yang maksimum antara distribusi teoritis dan distribusi empiris yang disebut dengan Δ_{maks} . Dengan nilai Δ_{maks} hasil perhitungan Δ_{cr} yang diperoleh dari tabel untuk suatu derajat tertentu. Apabila $\Delta_{cr} > \Delta_{maks}$ maka hipotesa dapat diterima.

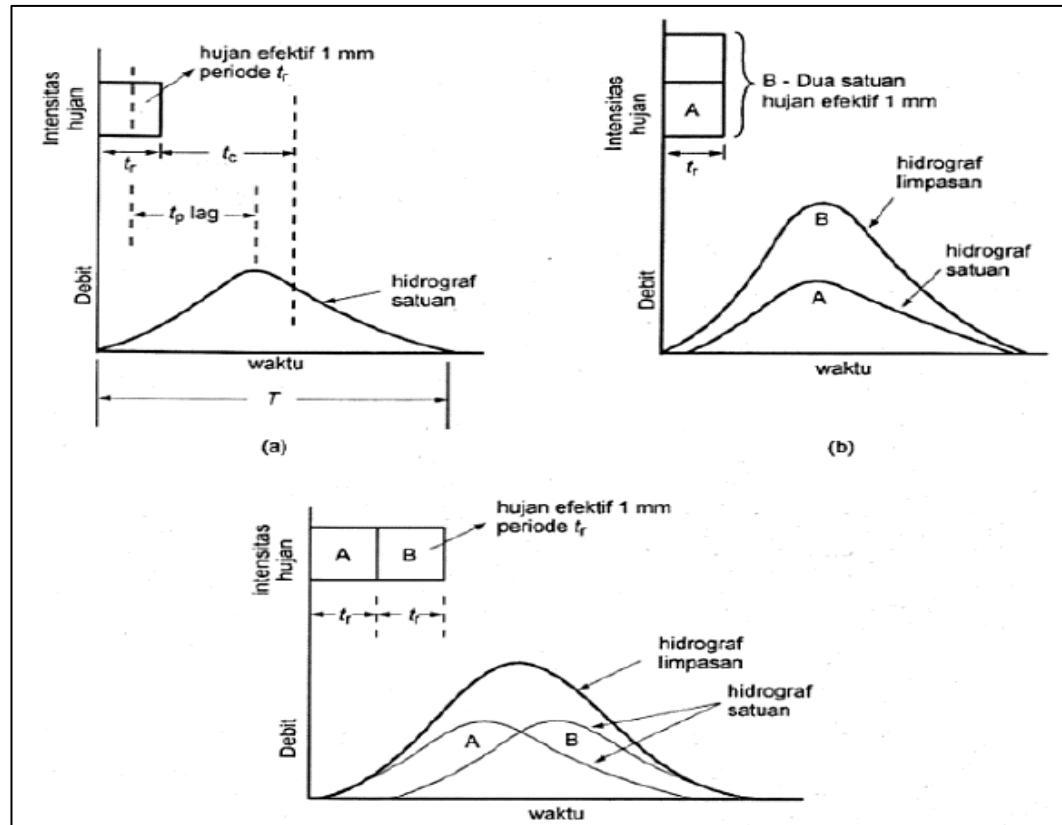
Tabel 2.8 Peluang Teoritis Pada Uji *Smirnov-Kolmogorov*

Jumlah data (n)	Derajat Kepercayaan (α)			
	0.20	0.10	0.05	0.01
5	0.45	0.51	0.56	0.67
10	0.32	0.35	0.41	0.49
15	0.27	0.30	0.34	0.40
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

Sumber : (Suripin, 2004)

2.8 Analisis Debit Banjir Maksimum dengan Hidrograf Satuan Sintetik

Mengenalkan konsep hidrograf satuan, yang banyak digunakan untuk melakukan transformasi dari hujan menjadi debit aliran. Hidrograf satuan didefinisikan sebagai hidrograf limpasan langsung (tanpa aliran dasar) yang tercatat di ujung hilir DAS yang ditimbulkan oleh hujan efektif sebesar 1 mm yang terjadi secara merata di permukaan DAS dengan intensitas tetap dalam suatu durasi tertentu (Triatmodjo, 2008).



Gambar 2.6 Prinsip Hidrograf Satuan

Sumber : (Triatmodjo, 2008)

2.8.1 Metode Nakayasu

Di daerah di mana data hidrologi tidak tersedia untuk menurunkan hidrograf satuan, maka dibuat hidrograf satuan sintetis yang didasarkan pada karakteristik fisik dari DAS. Metode HSS sudah sangat banyak diaplikasikan di DAS di Indonesia, terutama DAS yang tidak mempunyai data debit. HSS berasumsikan bahwa hujan terjadi merata di seluruh DAS (Irawan et al., 2020).

Menurut (Soemarto, 1999), Hidrograf satuan sintetis Nakayasu dikembangkan berdasarkan beberapa sungai di Jepang, Penggunaan metode ini memerlukan beberapa karakteristik parameter daerah alirannya, seperti :

- Tenggang waktu dari permulaan hujan sampai akhir hujan
- Tenggang waktu hidrograf (*time base of hydrograph*)
- Luas daerah aliran sungai
- Panjang alur sungai utama terpanjang (*length of the longest channel*)
- Koefisien pengaliran (*runoff coefficient*)

Bentuk persamaan HSS Nakayasu adalah:

$$Q_p = \frac{A \cdot R_o}{3,6 * 0,3T_p + T_{0,3}} \quad (2.26)$$

Dengan :

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

R_o = hujan satuan (mm)

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

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

A = luas daerah pengaliran sampai outlet (km^2)

C = Koefisien Pengaliran

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

$$T_p = t_g + 0,8 + T_r \quad (2.27)$$

$$T_{0,3} = \alpha \times t_g \quad (2.28)$$

Hujan efektif yang menyebabkan terjadinya limpasan dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$T_r = 0,75 \times t_g \quad (2.29)$$

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

- sungai dengan panjang alur $L > 15$ km, maka :

$$t_g = 0,4 + 0,058 \times L \quad (2.30)$$

- sungai dengan panjang alur $L < 15$ km, maka:

$$t_g = 0,21 \times L^{0,7} \quad (2.31)$$

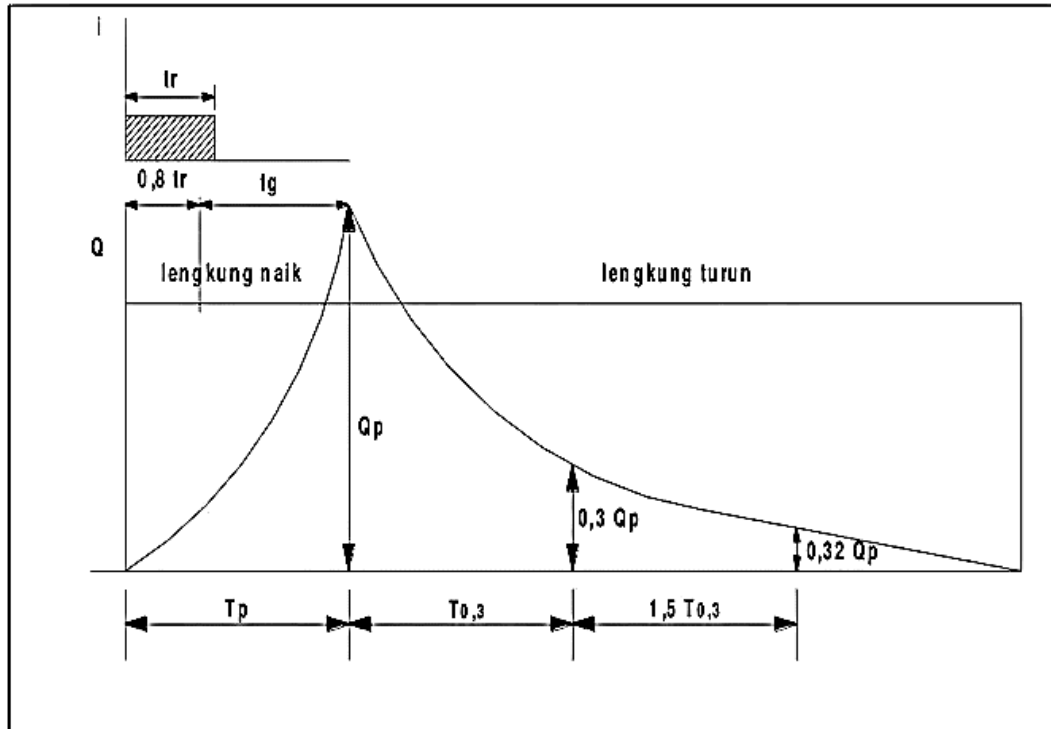
Perhitungan $T_{0,3}$ menggunakan ketentuan parameter hidrograf α sebagai berikut :

$\alpha = 2$ Pada daerah pengaliran biasa

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

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

$$\alpha = \frac{0,47 \times (A \times L^{0,25})}{t_g} \quad (2.32)$$



Gambar 2.7 Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu

Sumber : (Triatmodjo, 2008)

Bagian lengkung dari HSS Nakayasu mempunyai persamaan sebagai berikut :

1. Pada waktu naik : $0 \leq t < T_p$

$$Q_t = Q_p \left(\frac{t}{T_p} \right)^{2,4} \quad (2.33)$$

2. Pada waktu turun :

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

$$Q_t = Q_p \times 0,3 \frac{(t-T_p)}{T_{0,3}} \quad (2.34)$$

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

$$Q_t = Q_p \times 0,3 \frac{(t-T_p+0,5T_{0,3})}{1,5-T_{0,3}} \quad (2.35)$$

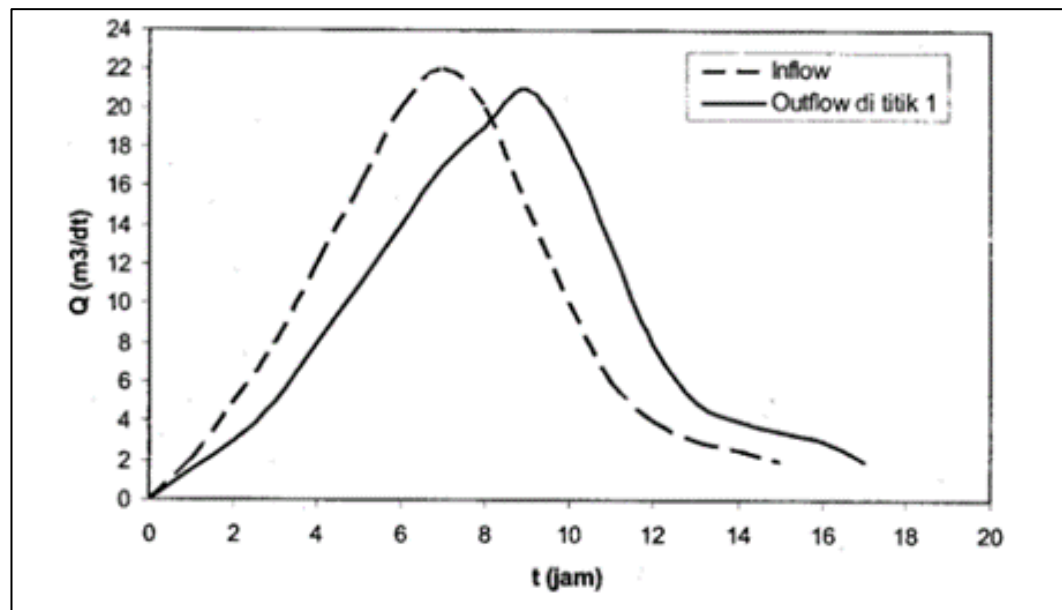
- Selang nilai : $t > (T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3})$

$$Q_t = Q_p \times 0,3 \frac{(t-T_p+1,5T_{0,3})}{2T_{0,3}} \quad (2.36)$$

2.9 Penelusuran Banjir

Penelusuran banjir (*Flood Routing*) merupakan suatu cara untuk menentukan besarnya debit aliran dan waktu terjadinya debit tersebut pada suatu

titik di sepanjang aliran sungai dengan menggunakan hidrograf aliran di daerah hulu titik tersebut. Terdapat dua kelompok penelusuran yang digunakan di dalam penelusuran banjir, yaitu penelusuran hidrologis, dan penelusuran hidraulik. Penelusuran hidrologis debit rencana dinyatakan sebagai fungsi waktu untuk satu titik sepanjang sungai. Persamaan yang dipergunakan dalam penelusuran hidrologis yaitu persamaan Kontinuitas dan Tampung.



Gambar 2.8 Skema Penelusuran Hidrologis (*Inflow & Outflow*)

Sumber : (Triatmodjo, 2008)

Terdapat beberapa model penelusuran hidrologis diantaranya *Muskingum Method*, *Level Pool Reservoir* dan *Linear Reservoir*. Dalam model *Level Pool Reservoir* terdapat tiga fungsi yang menggambarkan hubungan persamaan kontinuitas, yaitu :

1. Ketinggian air dan tampungan (H dan S)

Hubungan antara ketinggian dan tampungan dapat ditentukan dengan mengalikan antara kedalaman air dengan luas tampungan.

$$S = H \times A \quad (2.37)$$

2. Ketinggian air dan *Outflow* (AH – O)

Hubungan antara ketinggian air dan *outflow* bergantung dari tipe bangunan *outflow*. Persamaan untuk bangunan bendung atau *spillway* adalah sebagai berikut:

$$O = C_d L H^{\frac{2}{3}} \quad (2.38)$$

3. *Outflow* dan tampungan (O dan S)

$$\frac{2S}{\Delta t} + O \quad (2.39)$$

Besarnya debit limpasan maksimum dan debit total *reservoir* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan-persamaan di bawah ini :

$$\left[\frac{2S_{j+1}}{\Delta t} - O_{j+1} \right] = \left[\frac{2S_{j+1}}{\Delta t} + O_{j+1} \right] - 2O_{j+1} \quad (2.40)$$

$$Q_{maks} = I_{maks} - O_{maks} \quad (2.41)$$

$$Q_{total} = I_{total} - O_{total} \quad (2.42)$$

Keterangan :

S	=	Tampungan (<i>Storage</i>) (m ³)	J	=	Indeks
Q	=	Debit limpasan (m ³ /det)	A	=	Kuas <i>reservoir</i> (km ²)
Δt	=	Selang waktu (det)	H	=	Elevasi muka air <i>reservoir</i> (m)
I	=	Debit <i>Inflow</i> (m ³ /det)	L	=	Lebar <i>spillway</i> (m)
O	=	Debit <i>outflow</i> (m ³ /det)	C _d	=	Koefisien debit

Volume tampungan (*storage*) merupakan hasil kali dari luas rerata genangan dengan tinggi peluapannya. Kapasitas waduk ini ditetapkan berdasarkan pengukuran topografi yang didasarkan pada peta dengan skala 1:1000 dan beda tinggi kontur 1 m. Persamaan pendekatan untuk mencari volume tampungan yang dibatasi oleh dua garis kontur berurutan adalah sebagai berikut :

$$V_s = (Z_n - Z_{n-1}) \cdot \left(\frac{A_n + A_{n-1}}{2} \right) \quad (2.43)$$

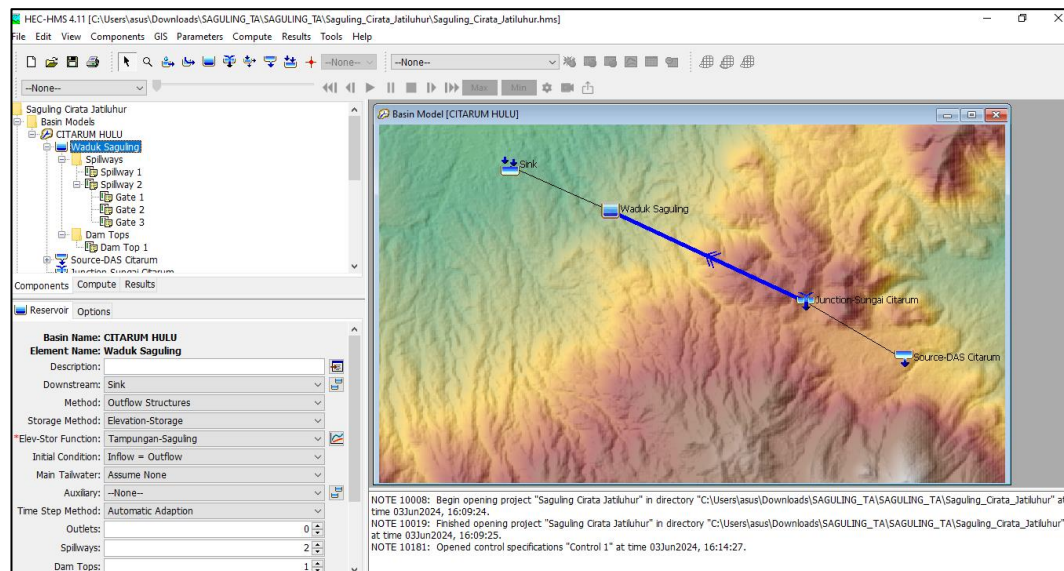
Dimana:

V_s	=	Volume pada kontur (m ³)
Z_n	=	Elevasi kontur ke-n (m)
Z_{n-1}	=	Elevasi kontur pada n-1 (m)
A_n	=	Luas Kumulatif ke-n (m ²)
A_{n-1}	=	Luas Kumulatif pada n-1 (m ²)

2.10 HEC-HMS

HEC-HMS merupakan singkatan dari *hydrologic engineering center hydrologic Modelling System*. Model ini merupakan model hidrologi numerik yang

dikembangkan oleh *U.S Army Corps of Engineering* dan dikembangkan untuk kalibrasi, kemampuan simulasi model distribusi, dan kemampuan membaca data *geographic information system (GIS)*. *Software* ini digunakan untuk menganalisa hidrologi dengan mensimulasikan proses curah hujan dan limpasan langsung (*run off*) dari sebuah wilayah sungai. Berikut merupakan tampilan *software* HEC-HMS pada saat ini :



Gambar 2.9 Tampilan HEC-HMS

Model HEC-HMS mengangkat teori klasik hidrograf satuan untuk digunakan dalam pemodelannya, antara lain hidrograf satuan *sintetik Snyder, Clark, SCS (Soil Conservation Service)* ataupun kita dapat mengembangkan hidrograf satuan lain dengan menggunakan fasilitas *user define hydrograph*. Konsep dasar perhitungan dari model HEC-HMS adalah data hujan sebagai input air untuk satu atau beberapa sub daerah tangkapan air (*sub-basin*) yang sedang di analisa. Jenis datanya berupa intensitas, volume atau kumulatif volume hujan. Setiap *sub-basin* dianggap sebagai suatu tandon yang non linier dimana *inflow* nya adalah data hujan. Aliran permukaan, infiltrasi dan penguapan adalah komponen yang keluar dari *sub-basin*. Prosedur penggunaan *software* HEC-HMS sendiri adalah sebagai berikut :

1. Membuat suatu project baru (*new project*)
2. Membuat HMS *Component Models*
 - *Basin Model* - berisi elemen-elemen DAS,
 - *Meteorologic Model* - berisi data hujan dan penguapan,

- *Control Specification* - berisi waktu mulai & berakhirnya simulasi
3. Membuat *Time Series Data*
 - Data hujan
 - Data debit
 4. Membuat *Paired Data* (jika diperlukan)
 - Hidrograf Satuan
 - Hubungan Elevasi-tampungan
 5. Inputkan data pada setiap tahapan & periksa kembali parameternya,
 6. Melakukan *Simulation dan Calibration* (jika tersedia data debit).