

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Hidrograf

Sherman memperkenalkan konsep hidrograf satuan pada tahun 1932. Konsep tersebut digunakan untuk mengubah hujan menjadi debit aliran langsung (*direct run off*). Hidrograf satuan itu juga sering disebut hidrograf *direct run off* yang berasal dari hujan 1 mm yang jatuh merata ke permukaan suatu DAS dengan besar tetap dan dengan durasi tertentu. Secara sederhananya adalah hujan yang mengakibatkan adanya air akibat hujan tersebut di seluruh permukaan tanah DAS terkait dengan ketebalan 1 mm merata.

Untuk memperkirakan banjir rancangan, hidrograf satuan bisa digunakan untuk menganalisisnya. Cara ini mudah tidak terlalu rumit, pemahamannya juga mudah, tidak memerlukan data yang banyak, detail dan rumit namun bisa menghasilkan hasil yang cukup banyak. Berdasarkan dari studi literatur, ada beberapa pernyataan terhadap hidrograf satuan, berikut adalah beberapa pernyataan tersebut:

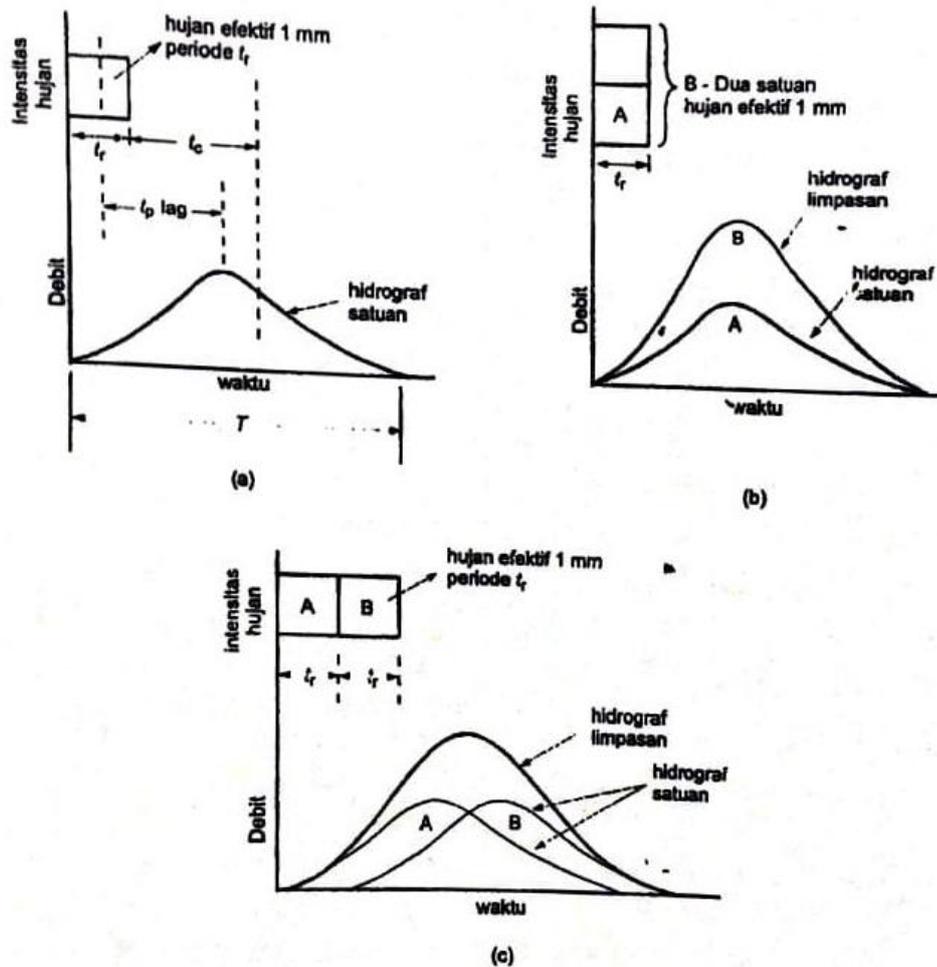
1. Hidrograf sendiri tidak memperhitungkan faktor infiltrasi dari rumusnya.
2. Hidrograf satuan sintetis mengibaratkan sungai berada pada kondisi yang ideal tanpa ada gangguan apa pun, jadi belum tentu sesuai dengan keadaan di lapangan. Sehingga hasil dari hidrograf ini bisa disebut pendekatan ke kondisi aslinya.
3. Hidrograf ini tidak tepat bila digunakan untuk daerah aliran sungai yang memiliki wilayah yang luas. Hal tersebut dikarenakan sulitnya untuk memperoleh besar hujan yang tersebar merata di permukaan wilayah tersebut, alternatifnya adalah dengan membagi wilayah itu menjadi bagian-bagian yang lebih kecil lalu dianalisis.
4. Hujan efektif memiliki intensitas yang tetap dalam waktu tertentu. Sehingga untuk memenuhi pernyataan ini maka hujan yang dianalisis berdurasi yang singkat.

2.2. Konsep Hidrograf Satuan

Berdasarkan konsep hidrograf, terdapat beberapa karakteristik bentuk hidrograf. Adapun penjelasannya sebagai berikut ini:

1. Hidrograf memperlihatkan berbagai data karakter dari suatu daerah aliran sungai yang meliputi: sifat tanah, bentuk dari DAS, luasan DAS, kemiringan yang ada di DAS dan lain-lain) dan karakteristik hujan. Karakteristik hujan tersebut antara lain: intensitas hujan, durasi hujan, dan pola turunnya hujan yang ada pada suatu das tersebut. Jadi dengan melihat hidrograf, kita bisa mengetahui DAS itu seperti apa meliputi variabel-variabel tersebut. Contohnya bila hidrograf untuk mencapai puncak itu membutuhkan waktu yang relatif cepat maka bisa diketahui bahwa DAS tersebut hulunya menyempit dan hilirnya melebar .
2. Hujan satu dan hujan lainnya itu tidak membuat sifat dari suatu DAS berubah, hal tersebut menyebabkan hidrograf yang memiliki waktu dan pola yang sama akan memiliki bentuk yang sama. Oleh karena itulah dapat dilakukan superposisi dari hidrograf untuk membentuk hidrograf banjir, hidrograf yang terjadi akan mempunyai bentuk yang sama dengan hidrograf dengan hujan efektif 1 mm dengan durasi yang sama. Sehingga bila hidrograf memiliki waktu dua satuan maka untuk mencari hidrograf tersebut bisa dengan mengalikan hidrograf satu satuan dengan 2 saja.
3. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi bentuk dari suatu hidrograf, faktor tersebut berasal dari faktor hujannya sendiri maupun faktor dari lingkungan. Adapun poin-poin tersebut yang mempengaruhi, sebagai berikut:
 - a) Kriteria tanah, mempengaruhi besar infiltrasi yang terjadi, semakin banyak infiltrasi yang terjadi maka debit aliran akan semakin berkurang.
 - b) Debit yang dihasilkan oleh hujan
Debit mempengaruhi ketinggian hidrograf, semakin besar debit yang dihasilkan oleh hujan maka titik pada garis hidrograf pada waktu tersebut akan semakin naik ke atas.
 - c) Waktu hujan
Waktu hujan mempengaruhi lebar hidrograf, semakin lama waktu debit hujan sampai ke debit dasar maka bentuk hidrograf akan semakin lebar.

Bentuk dari hidrograf satuan memiliki keterangan seperti pada gambar berikut.



Gambar 2.1. Prinsip Hidrograf Satuan
Sumber: Bambang Triatmodjo, 2008

2.3. Hidrograf Satuan Sintetis (HSS)

Tidak semua tempat tersedia data hidrologi yang cukup untuk menurunkan hujan menjadi hidrograf satuan. Namun tidak berarti daerah yang belum memiliki data tersebut tidak bisa dicari hidrografnya. Hidrograf satuan sintetis adalah cara untuk mencarinya.

Untuk menurunkan hujan menjadi bentuk hidrograf, HSS tidak perlu memerlukan data yang relatif banyak, cukup dengan beberapa data karakteristik suatu DAS maka Hidrograf Satuan Sintetis bisa dibentuk. Oleh karena itu Hidrograf Satuan Sintetis penting dalam dunia hidrologi.

2.4. HSS Metode Snyder

Pada Metode Snyder ini memiliki beberapa variabel. Variabel-variabel tersebut antara lain: waktu dasar (T_d), aliran puncak (Q_p), waktu kelambatan dan waktu standar hujan (sudah dikurangi infiltrasi) untuk Hidrograf Satuan Sintetis yang memiliki hubungan karakteristik suatu daerah aliran sungai.

Dari hubungan-hubungan tersebut, diperoleh rumus-rumus persamaan. Berikut adalah rumus-rumus pada Metode Snyder: (Gupta, 1989)

$$t_p = C_t (L L_c)^{0,3} \quad (2.1)$$

$$Q_p = \frac{C_p A}{t_p} \quad (2.2)$$

$$T = 3 + \frac{t_p}{8} \quad (2.3)$$

$$t_D = \frac{t_p}{5,5} \quad (2.4)$$

Bila waktu hujan efektif (t_r) tidak sama dengan waktu standar hujan efektif (T_d) digunakanlah rumus-rumus berikut ini:

$$t_{pR} = t_p + 0,25 (t_r - t_D) \quad (2.5)$$

$$Q_{pR} = Q_p \frac{t_p}{t_{pR}} \quad (2.6)$$

$$P_r = \frac{t_r}{2} \times t_{pR} \quad (2.7)$$

Keterangan:

t_D : waktu standar hujan efektif (jam)

t_r : waktu hujan efektif yang terjadi (jam)

t_p : waktu dari titik berat durasi hujan efektif t_d ke puncak hidrograf (jam)

t_{pR} : waktu dari titik berat durasi hujan (t_r) ke puncak hidrograf (jam)

T : waktu dasar Hidrograf Satuan Sintetis (hari)

Q_p : debit puncak Hidrograf Satuan Sintetis untuk durasi hujan standar t_d

Q_{pR} : debit puncak untuk durasi waktu hujan efektif (t_r)

L : panjang sungai yang paling panjang (sungai utama) terhadap titik tinjauan (km)

L_c : jarak titik acuan ke titik yang paling dekat dengan titik berat suatu DAS (km)

- A : luas dari suatu DAS (km^2)
 C_t : koefisien dengan nilai yang tergantung dengan variabel kemiringan DAS. Nilainya berbeda-beda tiap DAS yaitu sebesar 1,4 sd 1,7
 C_p : koefisien dengan nilai yang tergantung dengan variabel karakteristik suatu DAS. Nilainya berbeda-beda tiap DAS yaitu antara 0,5 sampai 0,19
 P_r : waktu yang dibutuhkan dari mulai hujan sampai ke puncak hujan

Setelah dicari menggunakan rumus-rumus tersebut, maka Hidrograf Satuan Sintetis bisa digambarkan. Namun untuk mempermudah dalam penggambarannya terdapat juga rumus seperti di bawah ini:

$$W_{50} = \frac{0,23 A^{1,08}}{Q_{pR}^{1,08}} \quad (2.8)$$

$$W_{75} = \frac{0,13 A^{1,08}}{Q_{pR}^{1,08}} \quad (2.9)$$

Keterangan

- A : Luas DAS (km^2)
 Q_{pR} : Debit saat tr tidak sama dengan tD (m^3/s)
 W_{50} : hidrograf pada debit 50% dari debit puncak
 W_{75} : hidrograf pada debit 75% dari debit puncak

Berdasarkan Triatmodjo (2008), variabel W_{50} adalah hidrograf pada debit 50% dari debit puncak dan W_{75} adalah hidrograf pada debit 75% dari debit puncak, satuan dari kedua variabel tersebut adalah jam. Mengacu dari definisi kedua variabel tersebut dapat diketahui bahwa lebar W_{50} dan W_{75} memiliki perbandingan sebesar 1:2.

2.5. HSS Metode SCS (*Soil Conservation Service*)

Nama lain dari Metode ini adalah hidrograf tak berdimensi. Metode ini berasal dari gabungan beberapa hidrograf. Sumbu Y yaitu sumbu yang menggambarkan besarnya debit pada waktu yang ada di sumbu X, berdasarkan Gupta (1989), nilai hidrograf bisa dihitung dengan menggunakan perhitungan-perhitungan rumus-rumus berikut ini.

$$Q_p = \frac{0,208 A}{p_r} \quad (2.10)$$

$$P_r = \frac{t_r}{2} + t_p \quad (2.11)$$

$$T_p = Ct(L \times Lc)^{0.3} \quad (2.12)$$

$$T_B = \frac{T_B}{T_P} \times T_p \quad (2.13)$$

Keterangan:

A = Luas DAS (m²)

P_r = t_l = Time lag Snyder (jam)

T_p = Waktu puncak (jam)

Q_p = Debit puncak (jam)

T_B = Waktu dasar (jam)

Terdapat tabel yang digunakan dalam perhitungan HSS Metode Snyder. berikut adalah tabel tersebut

Tabel 2.1. Tabel HSS Metode SCS

t/tp	q/q_p	<i>rasio</i>	V
0.000	0.000	0.150	0.00
0.100	0.015	0.600	0.00
0.200	0.075	0.850	0.00
0.300	0.160	1.200	0.01
0.400	0.280	1.500	0.02
0.500	0.430	1.700	0.04
0.600	0.600	1.700	0.05
0.700	0.770	1.200	0.07
0.800	0.890	0.800	0.08
0.900	0.970	0.300	0.09
1.000	1.000	-0.200	0.10
1.100	0.980	-0.600	0.10
1.200	0.920	-0.800	0.10
1.300	0.840	-0.900	0.09
1.400	0.750	-0.900	0.08
1.500	0.660	-1.000	0.07
1.600	0.560	-0.700	0.06
1.800	0.420	-0.500	0.10
2.000	0.320	-0.400	0.07
2.200	0.240	-0.300	0.06
2.400	0.180	-0.250	0.04
2.600	0.130	-0.160	0.03
2.800	0.098	-0.115	0.02
3.000	0.075	-0.078	0.02
3.500	0.036	-0.036	0.03
4.000	0.018	-0.018	0.01
4.500	0.009	-0.010	0.01
5.000	0.004	0.001	0.00

Sumber: Natakusumah, 2010

Tabel tersebut digunakan untuk mencari Q_t yang mana rumus tersebut ini didapatkan dari perhitungan yang dilakukan oleh Dantje K Natakusumah pada tahun 2010, berikut adalah penjabaran dari rumus tersebut.

$$=IF(B112<=H10,VLOOKUP(B112,A28:C55,2)+(VLOOKUP(B112,A28:C55,3))*(B112-(VLOOKUP(B112,A28:C55,1))),0)$$

Keterangan:

1 = $t = T/T_p$ (berasal dari waktu T dibagi dengan waktu puncak T_p)

2 = T_B/T_p (berasal dari data DAS)

3 = q/q_p (berasal dari tabel SCS)

4 = rasio (berasal dari tabel SCS)

5 = T/T_p (berasal dari waktu T dibagi dengan waktu puncak T_p)

6 = t/t_p (berasal dari tabel SCS)

Agar mudah dipahami, berikut adalah penulisan rumus di atas.

$$q_t = \frac{q}{q_p} + rasio \times \left(\frac{T}{T_p} - \frac{t}{t_p} \right) \quad (2.14)$$

Pengimplementasian di tabel akan berbentuk sebagai berikut.

T	t= T/Tp	q=Q/Qp	Q	Rasio	V
(jam)	jam	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
0	0.00	0.0000	0.000	0.000	0.00

Gambar 2.2. Bentuk Tabel SCS

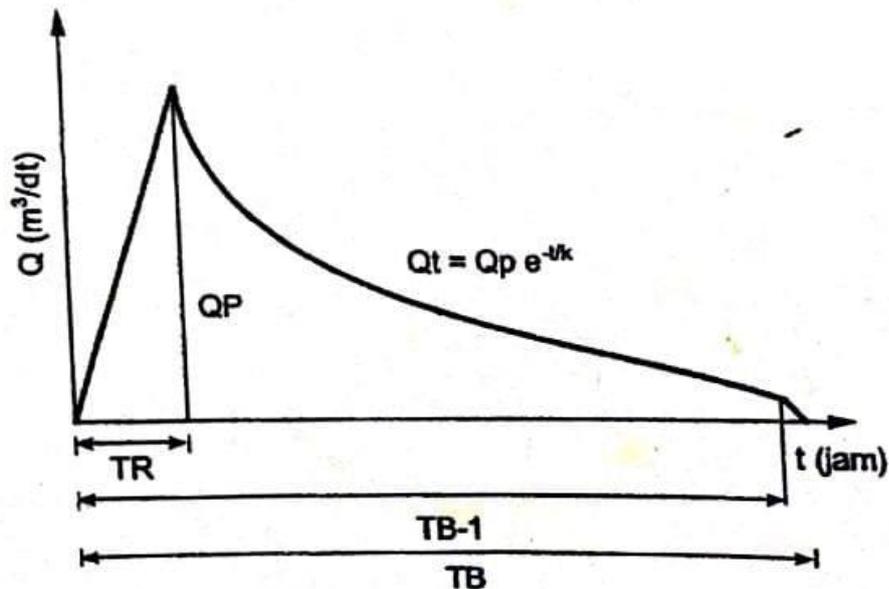
Sumber : Natakusumah, 2010

2.6. HSS Metode GAMA I

Hidrograf satuan sintetis Metode ini diciptakan Sri Harto tahun 1985 yang berasal dari UGM. Metode ini diperoleh setelah melakukan penelitian terhadap perilaku yang berhubungan dengan hujan dan debit dari 30 daerah aliran sungai di Jawa. Metode ini bisa digunakan di wilayah di luar pulau Jawa. Berdasarkan studi literatur, Metode ini juga bisa dengan baik digunakan di beberapa pulau atau tempat lain.

Ada beberapa bagian untuk membentuk hidrograf ini, bagian-bagian tersebut antara lain: sisi naik (*rising limb*), puncak (*crest*) dan sisi turun (*recession limb*). Bentuk hidrograf Metode ini bisa dilihat di gambar di bawah. Bila dilihat di grafiknya itu ada patahan yang terletak di sisi turun hidrograf tersebut. Penyebab dari patahan

tersebut dikarenakan bagian turun ini bernilai eksponensial yang berarti tidak mungkin atau mustahil debit akan bernilai nol (0). walaupun nilai nol itu terlihat kecil namun tetap tidak bisa dihiraukan karena bisa dilihat dari pengertian Hidrograf Satuan Sintetis yang mana volume hidrograf satuan ini adalah harus sama dengan 1, semakin jauh perbedaan dengan nilai 1 tersebut maka hidrograf akan semakin tidak tepat.



Gambar 2.3. HSS Metode GAMA I
Sumber : Bambang Triatmodjo, 2008

Hidrograf satuan sintetis dengan Metode ini memiliki beberapa variabel utama, variabel-variabel tersebut antara lain adalah debit puncak (Q_p), waktu dasar (T_B), waktu naik (*Time rise* T_R), dan sisi resesi yang nilainya ditentukan dari nilai koefisien tampungan (K).

Nilai koefisien tampungan tersebut bisa dicari menggunakan persamaan dari rumus berikut ini

$$Q_t = Q_p e^{-t/K} \quad (2.15)$$

Keterangan:

- Q_t : Debit pada saat waktu t (m^3/s)
- Q_p : Debit puncak atau terbesar (m^3/s)
- t : Waktu t saat terjadinya Q_p (jam)
- K : Koefisien tampungan (jam)

Untuk mencarinya adalah dengan menghubungkan persamaan tersebut sehingga bisa didapatkanlah nilai dari koefisien tersebut.

Persamaan-persamaan yang digunakan dalam HSS Gama I sebagai berikut.

1. Waktu puncak HSS Gama I (TR)

Variabel ini memperlihatkan waktu saat terjadinya debit terbesar atau debit puncak.

Rumus untuk mencarinya sebagai berikut:

$$TR = 0,43 \left(\frac{L}{100 SF} \right)^3 + 1,0665 SIM + 1,2775 \quad (2.16)$$

Keterangan:

L : Panjang sungai utama (km)

SF : Faktor sumber, dicari dengan membandingkan banyaknya panjang sungai tingkat satu dengan banyaknya panjang sungai semua tingkat

SIM : Faktor simetri, dicari dengan mengalikan faktor lebar (WF) dengan luas DAS yang berada di hulu DAS (RUA)

TR : Waktu puncak HSS GAMA 1 (jam)

2. Debit puncak banjir (QP)

Variabel ini memperlihatkan besarnya debit paling besar yang terjadi selama dilakukannya analisa. Rumus untuk mencarinya sebagai berikut:

$$QP = 0,1836 A^{0,5886} TR^{-0,4008} JN^{0,2381} \quad (2.17)$$

Keterangan:

A : Luas DAS (km²)

TR : Waktu puncak HSS GAMA 1 (jam)

JN : Banyaknya pertemuan sungai-sungai yang ada dalam wilayah DAS.

3. Waktu dasar (TB)

Variabel ini memperlihatkan waktu t saat debit dasar atau debit yang selalu ada di suatu DAS.

$$TB = 27,4132 TR^{0,1457} S^{-0,0986} SN^{0,7344} RUA^{0,2574} \quad (2.18)$$

Keterangan:

TR : Waktu puncak HSS Gama I (jam)

S : Kemiringan dasar sungai yang ada di DAS.

SN : Frekuensi sumber, dicari dengan membandingkan jumlah banyaknya pangsa sungai tingkat satu dengan jumlah banyaknya pangsa sungai semua tingkat

RUA : Luas DAS sebelah hulu, dicari dengan membandingkan besarnya luas DAS yang diukur yang terletak di hulu garis yang ditarik tegak lurus garis hubungan antara stasiun hidrometri yang ada dengan titik yang paling dekat dengan titik berat DAS, melalui titik tersebut.

4. Koefisien tampungan atau koefisien resesi (*K*)

Untuk mencari variabel ini diperoleh dengan menggunakan rumus berikut:

$$K = 0,5617 A^{0,1798} S^{-0,1446} SF^{-1,0897} D^{0,0452} \quad (2.19)$$

Keterangan:

A : Luas DAS (km²)

TR : Waktu puncak HSS Gama I (jam)

S : Kemiringan dasar sungai yang ada di DAS.

SN : Frekuensi sumber, dicari dengan membandingkan banyaknya pangsa sungai tingkat satu dengan banyaknya pangsa sungai semua tingkat

5. Aliran dasar (*Q_B*)

Aliran dasar adalah debit yang ada walaupun musim kemarau tiba. Sungai memiliki debit dasar.

$$Q_B = 0,4715 A^{0,6444} D^{0,9430} \quad (2.20)$$

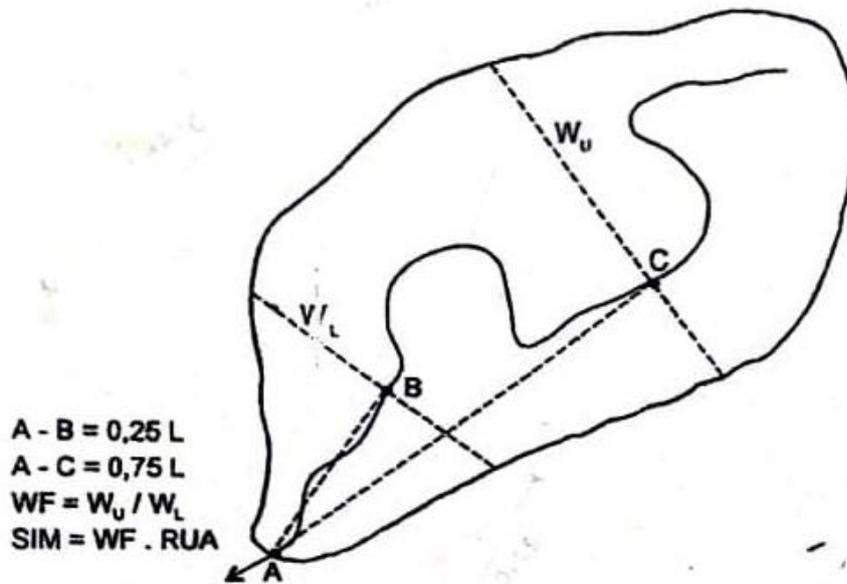
Keterangan:

A : Luas DAS (km²)

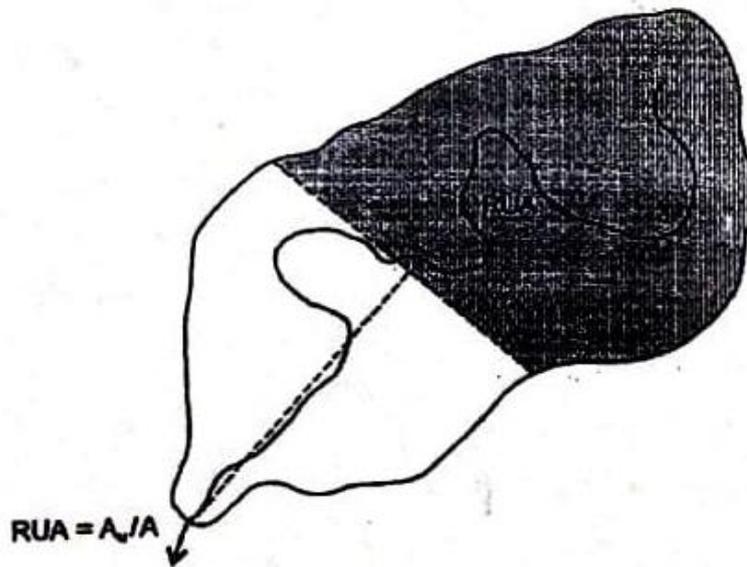
TR : Waktu puncak HSS GAMA 1 (jam)

D : Kerapatan jaringan kuras, dicari dengan menjumlahkan panjang sungai semua tingkat per satuan luas DAS.

Perhitungan variabel faktor lebar (*WF*) dan luas DAS sebelah hulu (*RUA*) diilustrasikan seperti pada gambar berikut



Gambar 2.4. Sketsa Penetapan WF
 Sumber : Bambang Triatmodjo, 2008



Gambar 2.5. Sketsa Penetapan RUA
 Sumber : Bambang Triatmodjo, 2008

Terdapat persamaan tambahan dalam Metode ini yang memiliki nama indeks infiltrasi. Semakin besar indeks infiltrasi ini maka nilai infiltrasi akan semakin besar pula, begitu pun sebaliknya bila indeks infiltrasi bernilai semakin rendah maka besar infiltrasi pun akan semakin rendah dan akan terjadi debit limpasan langsung yang semakin besar.

$$\Phi = 10,4903 - 3,859 \cdot 10^{-6} A^2 + 1,6985 \cdot 10^{-13} \left(\frac{A}{SN}\right)^4 \quad (2.21)$$

Keterangan:

- Φ : Indeks infiltrasi (mm/jam)
A : Luas suatu DAS (km²)
SN : Frekuensi sumber

2.7. HSS Metode Nakayasu

Metode ini dibuat di Jepang. Berdasarkan dari studi literatur, hidrograf ini didapatkan dari dilakukan penelitian terhadap beberapa sungai di daerah Jepang lalu didapatkanlah Metode dengan nama Nakayasu (Soemarto, 1987). Dari penelitian tersebut didapatkan persamaan-persamaan di bawah, dari persamaan-persamaan di bawah tersebut lalu Hidrograf Satuan Sintetis bisa dibentuk. Berikut adalah persamaan-persamaan yang terdapat pada Metode Nakayasu.

$$Q_p = \frac{1}{3,6} \left(\frac{A Re}{0,3 T_p + T_{0,3}} \right) \quad (2.22)$$

$$T_p = t_g + 0,8 T_r \quad (2.23)$$

$$t_g = 0,4 + 0,058 L \quad L > 15 \text{ km} \quad (2.24)$$

$$t_g = 0,21 L^{0,7} \quad L < 15 \text{ km} \quad (2.25)$$

$$T_{0,3} = \alpha t_r \quad (2.26)$$

$$t_r = 0,5 t_g \text{ sampai } t_g \quad (2.27)$$

Keterangan:

- Q_p : Debit puncak (m³/s)
A : Luasan DAS (km²)
 Re : Curah hujan efektif yang besarnya 1 mm
 T_p : Waktu yang diperlukan dari permukaan banjir sampai puncak hidrograf (jam)
 $T_{0,3}$: Waktu yang dibutuhkan dari puncak banjir sampai dengan 0,3 dikali debit puncak (jam)
 t_g : Waktu dari permukaan banjir sampai puncak hidrograf (jam)
 T_r : Satuan waktu yang digunakan yang dicari dari curah hujan (jam)
 α : Koefisien karakteristik DAS
L : Panjang sungai utama atau sungai paling panjang (km)

Hidrograf untuk membentuk grafiknya terdiri dari beberapa bagian antara lain adalah kurva naik dan kurva turun dalam berbagai keadaan. Berikut adalah rumus-rumus setiap bagian di Hidrograf Satuan Sintetis Metode Nakayasu.

a. Kurva naik pada saat $0 < t < T_p$

$$Q_t = Q_p \left(\frac{t}{T_p} \right)^{2,4} \quad (2.28)$$

Keterangan:

t : Waktu hujan (jam)

T_p : Waktu saat debit puncak (jam)

Q_p : Debit puncak (m^3/s)

Q_t : Debit pada waktu t (m^3/s)

b. Kurva turun pada saat $T_p < t < T_p + T_{0,3}$

$$Q_t = Q_p \times 0,3^{(t - T_p)/T_{0,3}} \quad (2.29)$$

Keterangan:

t : Waktu hujan (jam)

T_p : Waktu saat debit puncak (jam)

$T_{0,3}$: Waktu saat debit 0,3 kali debit puncak (jam)

Q_p : Debit puncak (m^3/s)

Q_t : Debit pada waktu t (m^3/s)

c. Kurva turun pada saat $T_p + T_{0,3} < t < T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3}$

$$Q_t = Q_p \times 0,3^{[(t - T_p) + (0,5 T_{0,3})]/(1,5 T_{0,3})} \quad (2.30)$$

Keterangan:

t : Waktu hujan (jam)

T_p : Waktu saat debit puncak (jam)

$T_{0,3}$: Waktu saat debit 0,3 kali debit puncak (jam)

Q_p : Debit puncak (m^3/s)

Q_t : Debit pada waktu t (m^3/s)

d. kurva turun pada saat $t > T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3}$

$$Q_t = Q_p \times 0,3^{[(t - T_p) + (1,5 T_{0,3})]/(2 T_{0,3})} \quad (2.31)$$

Keterangan:

t : Waktu hujan (jam)

T_p : Waktu saat debit puncak (jam)

$T_{0,3}$: Waktu saat debit 0,3 kali debit puncak (jam)

Q_p : Debit puncak (m^3/s)

Q_t : Debit pada waktu t (m^3/s)

2.8. Volume Aliran Permukaan DAS (V_{DAS})

Berdasarkan Natakusumah (2011), Volume aliran permukaan DAS adalah volume hujan efektif satu satuan yang jatuh merata di seluruh permukaan DAS, dapat dicari menggunakan rumus sebagai berikut.

$$V_{DAS} = R \times A_{DAS} \quad (2.32)$$

Keterangan:

V_{DAS} = Volume aliran permukaan DAS (m^3)

R = Curah hujan satuan (m)

A_{DAS} = Luas DAS (m^2)

2.9. Volume Aliran Permukaan HSS (V_{HSS})

Berdasarkan Triatmodjo (2008), untuk mencari volume aliran permukaan DAS yang dihitung menggunakan metode HSS adalah dengan menggunakan rumus persamaan di bawah ini:

$$V_{HSS} = \sum Q_t * \Delta t \quad (2.33)$$

Keterangan:

V_{HSS} = Volume aliran permukaan HSS (m^3)

$\sum Q_t$ = Total debit (m^3/s)

Δt = Waktu Interval hujan (jam)

2.10. Tinggi Limpasan Langsung (H_{DRO})

Limpasan langsung (*Direct Runoff*) adalah total jumlah air yang mengalir di permukaan akibat kelebihan air hujan (*Water Surplus*).

Berdasarkan definisi dari hidrograf satuan, nilai tinggi limpasan langsung harus sama dengan 1 mm, semakin nilainya mendekati 1 maka Hidrograf Satuan Sintetis semakin sesuai dengan hidrograf aslinya.

Berdasarkan Natakusumah (2011), jika Volume Aliran Permukaan HSS dibagi dengan luas DAS yang sudah dikali 1000 sehingga akan didapatkan tinggi limpasan langsung atau yang biasa disebut H_{DRO} yang memiliki nilai sama seperti hujan satuan yaitu 1 mm

$$H_{DRO} = \frac{V_{HSS}}{A_{DAS}} = 1 \quad (2.34)$$

Keterangan:

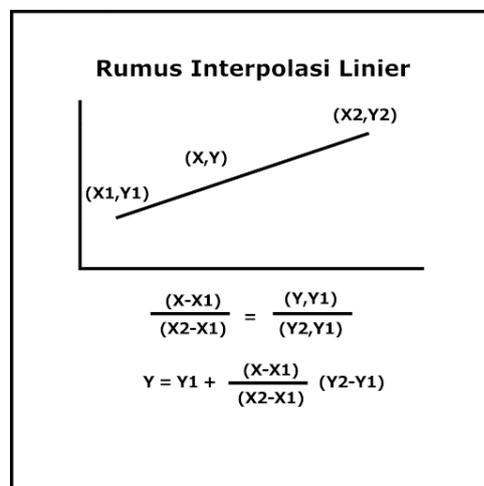
H_{DRO} = Tinggi limpasan langsung (mm)

V_{HSS} = Volume aliran permukaan DAS dari HSS (m^3)

A_{DAS} = Luas DAS (m^2)

2.11. Interpolasi Linier

Berdasarkan Jadipaham (2018), interpolasi adalah cara mencari suatu nilai dengan menggunakan konsep perbandingan dan persamaan dengan nilai lain yang memiliki hubungan persamaan dengan nilai yang dicari. Persamaan yang ada harus bersifat linear yang mana artinya bila salah satu sumbu berubah nilai maka sumbu lain akan berubah juga dengan perubahan yang sama bobotnya dengan perbedaan perubahan sumbu yang satunya. Untuk mempermudah pemahaman bisa dilihat gambar berikut ini:



Gambar 2.6. Rumus Interpolasi Linier
Sumber: jadipaham.com

Dari gambar tersebut maka bisa didapatkan persamaan linear sebagai berikut:

$$Y = Y_1 + \frac{(X-X_1)}{(X_2-X_1)}(Y_2 - Y_1) \quad (2.35)$$

Dengan cara ini setiap titik yang berada di antara dua titik diketahui memiliki hubungan linear akan dapat ditentukan dengan perhitungan menggunakan rumus interpolasi linear tersebut.

2.12. Perhitungan Infiltrasi

Terdapat beberapa Metode untuk menghitung infiltrasi. Menurut studi literatur dari peneliti, Metode yang bisa digunakan untuk menghitung infiltrasi antara lain: Metode Horton, Metode Kostiokov, dan Metode Philip.

Dalam hal perhitungan infiltrasi ini, perancang memilih menggunakan Model Horton untuk dimasukkan ke dalam program, alasan pemilihannya karena variabel yang dibutuhkan lebih mudah untuk didapatkan.

Model Horton ditemukan oleh Horton tahun 1933. Metode ini memiliki pernyataan bahwa besarnya kapasitas infiltrasi berbanding terbalik dengan waktu hingga mendekati nilai yang konstan. Penurunan kapasitas infiltrasi tersebut dipengaruhi oleh faktor yang bekerja di permukaan tanah dari pada faktor yang bekerja di dalam tanah. Faktor yang berpengaruh tersebut antara lain, retakan tanah yang ditutup oleh zat koloid dan pembentukan kerak tanah dan pengangkutan partikel halus yang terdapat pada permukaan tanah yang disebabkan oleh air hujan.

Untuk mencari nilai kecepatan infiltrasi dicari dengan menggunakan Metode Horton ini bisa dicari menggunakan rumus berikut ini

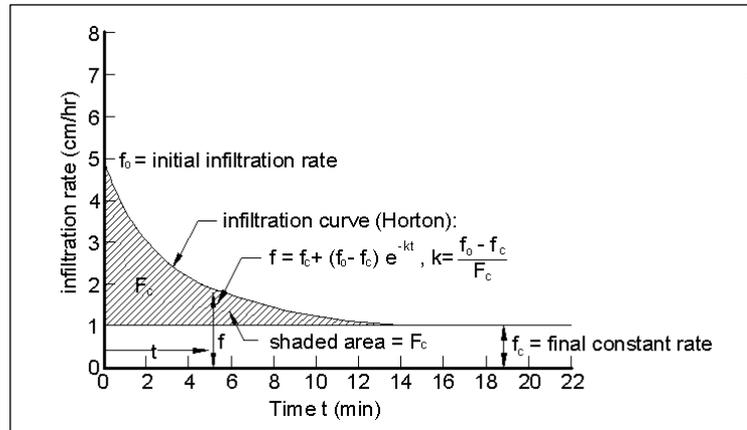
$$f = f_c + (f_0 - f_c) \times e^{-kt} \quad (2.36)$$

$$k = \frac{f_0 - f_c}{F_c} \quad (2.37)$$

Keterangan:

- f = Kecepatan infiltrasi (m/jam)
- f_0 = Kecepatan infiltrasi pada saat awal (cm/jam)
- f_c = Kecepatan infiltrasi pada saat akhir (cm/jam)
- e = Bilangan dasar Logaritma Naperian

- F_c = Besar selisih antara volume total infiltrasi dengan volume infiltrasi konstan (cm) atau sama dengan luas kurva yang di arsir seperti gambar di bawah
- k = Koefisien Horton
- t = Waktu dari awal hujan turun sampai dilakukannya perhitungan (jam)



Grafik 2.1. Infiltrasi Horton
Sumber: Nisa Andean Restuti, 2010

Untuk mencari nilai infiltrasi dicari dengan menggunakan Metode Horton ini diperlukan data hujan yang banyak dan rinci yang berarti semakin rinci semakin bagus, misalkan 30 menit, waktu tersebut terus bertambah sampai nilai dari laju infiltrasi besarnya konstan atau tetap atau besarnya perubahan sangat kecil. Besarnya curah hujan efektif dapat dicari dengan mengurangi volume hujan yang turun dengan volume infiltrasi yang terjadi.

Tabel 2.2. Laju Infiltrasi berbagai Kelompok Tanah Selama 1 Jam

Kelompok	Laju infiltrasi setelah 1 jam (mm/jam)
Tinggi (tanah berpasir)	12,50 - 25,00
Menengah (banyak geluh, lempung, lumpur)	2,50 - 12,50
Rendah (banyak lempung, geluh lempung)	0,25 - 2,50

Sumber: Hydrology Handbook, Second Edition, 2016

Tabel 2.3. Perkiraan Parameter Horton

Soil and Cover Complex	f_0 (mm/jam)	f_c (mm/jam)	K Menit ⁻¹
Standard agricultural (bare)	280	6 - 220	1,6
Standard agricultural (turfed)	900	20 - 290	0,8
Peat	325	2 - 29	1,8
Fine Sandy Clay (bare)	210	2 - 25	2,0
Fine Sandy Clay (turfed)	670	10 - 30	1,4

Sumber: Hydrology Handbook Second Edition, 2016

2.13. Kesalahan (*Error*)

Secara sederhana, nilai *Error* tersebut adalah gambaran seberapa besar perbedaan H_{DRO} dengan tinggi hujan, dalam hal ini tinggi hujan pada HSS besarnya adalah 1 mm. *Error* yang digunakan pada program ini menggunakan rumus berikut.

$$error = \frac{|approx-exact|}{exact} \times 100 \quad (2.38)$$

Keterangan:

approx = Nilai perkiraan

exact = Nilai akurat

Dalam penelitian ini, yang bertindak sebagai nilai *approx* adalah hasil dari program perancangan, sedangkan nilai *exact* adalah hasil perhitungan manual.

Semakin besar perbedaan H_{DRO} dengan nilai 1 maka Hidrograf semakin tidak akurat. (Staf Wikihow, 2015. Cara Menghitung Galat Persentase. <https://id.wikihow.com/Menghitung-Galat-Persentase>. Diakses pada 24 Juli 2021)

Bila H_{DRO} tidak bernilai 1 maka hasil perhitungan tidak dapat dikatakan HSS dikarenakan hal tersebut menyebabkan tidak sesaunya dengan konsep Sherman mengenai Hidrograf. Oleh karena itu nilai H_{DRO} yang tidak 1 mm harus dikoreksi agar menjadi 1.

Koreksi dari nilai H_{DRO} agar bernilai 1 adalah dengan cara mencari Q_t koreksi dan Volume Aliran Permukaan HSS koreksi, berikut adalah rumus untuk mencari Q_t koreksi.

$$Q_t \text{ Koreksi} = \frac{Q_t}{H_{DRO}} \quad (2.39)$$

Keterangan:

$Q_t \text{ Koreksi}$ = Debit pada waktu t (m^3/s)

H_{DRO} = Tinggi limpasan langsung sebelum dilakukan koreksi (mm)

Berikut adalah rumus untuk mencari Volume Aliran Permukaan HSS Koreksi.

$$V_{HSS \text{ Koreksi}} = \sum Q_t \text{ koreksi} \times \Delta t \quad (2.40)$$

Keterangan:

$V_{HSS \text{ Koreksi}}$ = Volume aliran permukaan HSS koreksi (m^3)

$\sum Q_t \text{ Koreksi}$ = Jumlah Q_t koreksi (m^3/s)

Δt = Waktu interval hujan (jam)

Berikut adalah rumus untuk mencari H_{DRO} Koreksi.

$$H_{DRO} \text{ Koreksi} = \frac{V_{HSS} \text{ Koreksi}}{A_{DAS}} = 1 \quad (2.41)$$

Keterangan:

$H_{DRO} \text{ Koreksi}$ = Tinggi limpasan langsung koreksi (mm)

$V_{HSS} \text{ Koreksi}$ = Volume Aliran Permukaan HSS setelah dilakukan koreksi (m^3)

A_{DAS} = Luas DAS (m^2)