

TESIS

**KAJIAN KEANDALAN METODE HIDROGRAF SATUAN SINTETIK
UNTUK PENETAPAN BANJIR RANCANGAN**

*THE RELIABILITY OF SYNTHETIC UNIT HYDROGRAPH METHODS
FOR DESIGN FLOOD DETERMINATION*

M. AGUSALIM
P2301213015



**PROGRAM PASCA SARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2018**

TESIS

**KAJIAN KEANDALAN METODE HIDROGRAF SATUAN SINTETIK
UNTUK PENETAPAN BANJIR RANCANGAN**

Disusun dan diajukan oleh:

M. AGUSALIM
Nomor Pokok P2301213015

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis
Pada tanggal 30 April 2018

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui:

Komisi Penasehat:

Dr. Eng. Ir. Farouk Maricar, MT.

Ketua

Ketua Program Studi S2
Teknik Sipil,

Dr. Eng. Ir. Farouk Maricar, MT.

Dr. Eng. Mukhsan Putra Hatta, ST., MT.

Anggota

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin,

Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, MT.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT, karena atas berkat Rahman dan Rahim serta Inayah-Nya jualah sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini.

Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mencapai derajat sarjana S-2 pada Program Studi Teknik Sipil Pascasarjana Universitas Hasanuddin Makassar.

Dengan selesainya tesis ini, ucapan terimakasih yang ikhlas disampaikan kepada:

Dr. Eng. Ir. Farouk Maricar, MT. selaku pembimbing utama sekaligus sebagai Ketua Program Studi Teknik Sipil Pascasarjana Universitas Hasanuddin Makassar, atas segala bimbingan arahan dan waktu yang telah diberikan kepada kami sehingga penulis dapat selesai sesuai waktu yang direncanakan.

Dr. Eng. Mukhsan Putra Hatta, ST., MT. yang juga selaku pembimbing atas segala bimbingan, arahan dan waktu yang telah diberikan kepada kami sampai akhir dari penulisan tesis ini.

Bapak Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar selaku penanggung jawab Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar

Para Dosen dan staf Pascasarjan Universitas Hasanuddin yang telah membantu dan membimbing penulis selama mengikuti pendidikan pada program Pascasarjana Teknik Sipil Universitas Hasanuddin Makassar.

Rekan-rekan Mahasiswa Program Pascasarjana Teknik Sipil Universitas Hasanuddin Makassar, terkhusus angkatan 2013 Muhammad Iqbq, Syafaat S Kuba Fausiah Latif, Kasmawati dan yang tak sempat kami sebutkan satu persatu , semoga Allah SWT membalas kebaikan dengan amalan yang setimpal

Bapak Ketua BPH dan Bapak Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar, atas biaya, dorongan dan semangat yang diberikan kepada kami untuk menempuh pendidikan S-2 di Universitas Hasanuddin Makassar

Bapak dekan dan para Wakil dekan setra Kaprodi se Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar, atas dorongan dan semangat serta bantuan yang selalu diberikan kepada kami guna memperlancar penelitian dan penulisan tesis ini

Sujud dan terima kasih yang dalam penulis persembahkan kepada Ayahanda dan Ibunda, atas segala kasih dan sayang yang tidak terhitung nilainya dalam menuntun jalan bagi penulis, juga kepada ayahanda Abdul Rakhim Nanda dan Bunda Nurnawaty sujud dan terimakasih penulis ucapkan atas jasa-jasanya selama ini.

Ucapan terima kasih terkhusus kepada istri tercinta Asriany dan ananda tercinta Faith Dzakhwan Al Fitrah yang senantiasa menjadi perekat bagi kami dalam melaksanakan amanah-Nya.

Tak lupa ucapan terima kasih pula kami ucapkan kepada saudara-saudara kami tercinta Rahmawati, Ummu Aima Ali, Ilham Ali, Armansyah dan Agung Saputra terimakasih telah membantu kami dalam penyelesaian tesis ini

Disadari bahwa tesis ini masi jauh dari sempurna, sehingga kritik dan saran guna kesempurnaan tulisan ini sangat diharapkan dari para pembaca.

Makassar, April 2018

Penulis,

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBARAN PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
ABSTRAK	xiii
ABSTRACT	xiv
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Tujuan Penelitian	4
D. Manfaat Penelitian	5
E. Batasan Masalah	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Landasan Teori	7
1. Analisa Hidrologi	7
a. Pengertian Hidrologi	7
b. Analisa distribusi curah hujan wilayah	8
c. Analisa curah hujan rancangan	12
d. Pemilihan jenis sebaran	15
2. Uji Kesesuaian Distribusi	
a. Uji Parameter Statistik	18
b. Uji Smirnov Kolmogorov	19
c. Uji Chi-Square	20
3. Analisa Hidrograf	22

a. Komponen Hidrograf	25
b. Penurunan Hidrograf Satuan	26
4. Hidrograf Satuan Pengamatan Collins	29
5. Hidrograf Satuan Sintetik	32
6. Analisa Debit Banjir Rancangan	33
a. Debit Banjir Rancangan Metode Gama I	35
b. Debit Banjir Rancangan Metode Nakayasu	41
c. Debit Banjir Rancangan Metode Snyder	44
d. Debit Banjir Rancangan Metode SCS	46
e. Debit Banjir Rancangan Metode ITB	48
7. Uji Penyimpangan Ordinat	53
B. Hipotesis	54
C. Kerangka Pikir Penelitian	55
BAB III METODE PENELITIAN	
A. Tempat Dan Waktu Penelitian	56
B. Prosedur penelitian dan Sumber Data	56
C. Teknik Pengumpulan dan Pengolahan Data	58
D. Variabel yang Diteliti	62
E. Diagram Alur Penelitian	63
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	
A. Hasil Penelitian	64
1. Analisa Curah Hujan Rata-rata Areal	64
2. Analisa Curah Hujan Rancangan	66
a. Uji Parameter Statistik	66
b. Uji Smirnov Kolmogorov	69
c. Uji Chi Square	71
3. Analisis Curah Hujan Efektif	74
4. Analisis Lengkung Debit	76
5. Analisis Hidrograf Satuan Terukur	77

6.	Analisis Hujan Efektif Jam-jaman Data Terukur	79
7.	Perhitungan Limpasan Langsung	80
8.	Analisis Perhitungan HS Collins	82
9.	Analisis Perhitungan Hidrograf Satusn Sintitik	89
	a. Analisis Pehitungan HSS Nakayasu	89
	b. Analisis Perhitungan HSS GAMA-1	92
	c. Analisis Perhitungan HSS Snyder	96
	d. Analisis Perhitunga HSS SCS	100
	e. Analisis Perhitungan HSS ITB	103
B.	Uji Penyimpangan Ordinat	107
C.	Analisis Kalibrasi dan Modifikasi Formulasi	113
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
	A. Kesimpulan	122
	B. Saran	123
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

DAFTAR TABEL

Tabel 1	: Kesimpulan pemilihan jenis distribusi	19
Tabel 2	: Harga standar Koefesien α dan β	52
Tabel 3	: Data-data penentu HSS Nakayasu	59
Tabel 4	: Data-data penentu HSS GAMA-1	59
Tabel 5	: Data-data penentu HSS Snyder	60
Tabel 6	: Data-data penentu HSS Soil Consevation Service (SCS)	60
Tabel 7	: Data-data penentu HSS ITB	60
Tabel 8	: Fariabel yang diteliti	62
Tabel 9	: Data curah hujan Maksimum rata-rata	65
Tabel 10	: Hasil uji parameter Statistik untuk Tiap Distribusi	69
Tabel 11	: Uji kesesuaian distribusi Smirnov-kolmogorov	70
Tabel 12	: Uji kesesuaian distribusi chi square untuk Metode Gumbel	71
Tabel 13	: Perhitungan Log Pearson Type III	72
Tabel 14	: Besaran hujan rancangan Log Pearson Type III	74
Tabel 15	: Intensitas hujan Jam-jaman	75
Tabel 16	: Distribusi hujan jam-jaman	75
Tabel 17	: Data tinggi muka air Sungai Maros tahun 2005-2015 (pencatatan AWLR)	76
Tabel 18	: Data tinggi muka air dan debit sungai Maros (TMA Terukur)	78
Tabel 19	: Analisa perhitungan curah hujan efektif	80

Tabel 20	: Analisa perhitungan limpasan langsung	81
Tabel 21	: Perhitungan Hidrograf Satuan Terukur (coba-coba 1)	83
Tabel 22	: Perhitungan Hidrograf Satuan Terukur (coba-coba 7)	86
Tabel 23	: Perhitungan Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu	91
Tabel 24	: Perhitungan Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) GAMA-1	95
Tabel 25	: Perhitungan Hidrograf Satuan (HSS) Sintetik Snyder	98
Tabel 26	: Perhitungan Hidrograf Satuan Sintetik Soil Conservation Service (HSS SCS)	102
Tabel 27	: Perhitungan Hidrograf Satuan Sintetik HSS ITB	105
Tabel 28	: Hasil perhitungan Hidrograf Satuan Terukur dan Hidrograf satuan Sintetik (HSS)	107
Tabel 29	: Hasil penyimpangan metode hidrograf Satuan Sintetik Terhadap HS terukur sebelum kalibrasi	108
Tabel 30	: Perbandingan Parameter Asal dan Hasil Kalibrasi Metode HSS Nakayasu	114
Tabel 31	: Bentuk Hidrograf HSS Nakayasu dan GAMA-1 Setelah dikalibrasi	115

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 : Poligon thiessen	10
Gambar 2 : Cara isoyet	12
Gambar 3 : Hubungan antara hujan efektif dengan limpasan langsung	23
Gambar 4 : Prinsip-prinsip hidrograf satuan	25
Gambar 5 : Komponen Hidrograf	26
Gambar 6 : Metode pemisahan aliran dasar	28
Gambar 7 : Sketsa Penetapan WF	38
Gambar 8 : Sketra Penempatan RUA	38
Gambar 9 : Sketsa Penetapan Tingkat Sungai	38
Gambar 10 : Hidrograf Satuan Metode Gama I	40
Gambar 11 : Hidrograf satuan sintetik Nakayasu	43
Gambar 12 : Hidrograf satuan sintetik Snyder	46
Gambar 13 : Segi Tiga Hidrograf satuan	48
Gambar 14 : Peta DAS Sungai Maros	57
Gambar 15 : Grafik lengkung debit sungai Maros	77
Gambar 16 : Grafik Tinggi Muka Air Sungai Maros	78
Gambar 17 : Grafik debit terukur Sungai Maros	79
Gambar 18 : Grafik Hidrograf Satuan Terukur metode Collins	89
Gambar 19 : Grafik Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu	92
Gambar 20 : Grafik Hidrograf Satuan Sintetik GAMA-1	96

Gambar 21 : Grafik Hidrograf Satuan Sintetik Snyder	99
Gambar 22 : Grafik Hidrograf Satuan Sintetik SCS	103
Gambar 23 : Grafik Hidrograf Satuan Sintetik ITB	106
Gambar 24 : Grafik Perbandingan Debit Puncak HS Terukur Collins VS Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) sebelum kalibrasi	108
Gambar 25 : Grafik Debit puncak HS terukur dan HSS	109
Gambar 26 : Debit puncak HS Terukur Collins VS HSS Nakayasu	109
Gambar 27 : Debit puncak HS Terukur Collins Vs HSS GAMA-1	110
Gambar 28 : Debit puncak HS Terukur Collins Vs HSS Snyder	111
Gambar 29 : Debit puncak HS Terukur Collins Vs HSS SCS	112
Gambar 30 : Debit puncak HS Terukur Collins Vs HSS ITB	112
Gambar 31 : Debit puncak HS Terukur Collins Vs HSS Nakayasu Sebelum dan Sesudah Kalibrasi	116
Gambar 32 : Trend line HSS Gama 1 terhadap Metode Collins	116
Gambar 33 : Perbandingan debit Puncak HS terukur Collins VS Hidrograf Satuan Sintetik Gama-1 sebelum dan sesudah Kakibrasi	118
Gambar 34 : Perbandingan debit Puncak HS terukur Collins VS Hidrograf Satuan Sintetik sesudah Kakibrasi	120
Gambar 35 : Grafik debit puncak HS terukur dan HSS setelah Kalibrasi	121

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	: Tabel curah hujan rata-rata maksimum yang terjadi pada hari yang sama	126
Lampiran 2	: Tabel Nilai kritis (D_{cr}) untuk uji Smirnov Kolmogorov	128
Lampiran 3	: Tabel Nilai X^2_{cr} untuk Chi-Square	129
Lampiran 4	: Tabel Harga Reduced Standart Variate (YT) Sebagai Fungsi periode Ulang	130
Lampiran 5	: Tabel Hubungan reduksi varian rata-rata (Y_n) Dengan jumlah Data metode Gumbel	130
Lampiran 6	: Hubungan antara Deviasi Standart (S_n) dan Reduksi Data dengan Jumlah Data	131
Lampiran 7	: Harga K untuk Log Pearson Type III	132
Lampiran 8	: Gambar Letak stasiun Curah Hujan dan AWLR DAS Maros	133
Lampiran 9	: Gambar Lokasi Daerah Studi	134
Lampiran 10	: Gambar Sketsa Poligon Thiessen	135
Lampiran 11	: Gambar Sketsa Penentuan WL dan WU	136
Lampiran 12	: Gambar Sketsa Penentuan RUA	137

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Penggunaan ilmu hidrologi dalam bidang keairan merupakan awal dari sebuah perencanaan suatu bangunan hidraulik. Informasi dan besaran yang diperoleh dalam analisa hidrologi merupakan masukan penting untuk analisa selanjutnya. Apabila terjadi kesalahan pada analisa hidrologi maka akan terbawa ke analisa berikutnya. Pada dasarnya semua persamaan hidrologi terdapat dari konsep daur hidrologi dan neraca air.

Dewasa ini begitu banyak metode yang digunakan untuk menganalisis hidrograf banjir. Metode tersebut berguna untuk menghitung debit banjir, baik untuk detail desain komponen bendungan, misalnya bangunan pelimpa (*spillway*), saluran pengelak (*diversion tunne*), tanggul banjir maupun desain komponen bangunan air lainnya. Dalam penerapannya, penting untuk memilih metode-metode yang paling layak digunakan dalam analisis. Hal ini sebagai upaya agar analisis yang dilakukan lebih mendekati kebenaran dilapangan. Oleh karena itu, perlu diadakan suatu kajian terhadap metode-metode tersebut.

Merencanakan bangunan air harus dilakukan secara optimal, secara optimal artinya mampu mempertahankan kekuatan dan umur bangunan itu sendiri, sehingga dalam periode penggunaannya, bangunan

tersebut diharapkan dapat dilalui dengan aman oleh banjir yang terjadi sampai ketinggian debit maksimum tanpa adanya kerusakan pada bangunan tersebut. Permasalahan yang terjadi adalah berapa besar debit yang harus disalurkan melalui bangunan yang besarnya tidak tentu dan berubah-ubah karena adanya banjir. Untuk mengatasi masalah tersebut diperlukan suatu perhitungan hidrologi khususnya analisis banjir rancangan.

Debit Banjir Rancangan dapat ditetapkan dengan metode hidrograf dan metode non hidrograf. Metode hidrograf selain dapat menghasilkan debit puncak, juga dapat memberikan informasi debit pada tiap-tiap rambatan waktu. Sedangkan metode non hidrograf hanya memberikan informasi debit puncak saja.

Dengan kemampuan memberikan informasi yang lebih banyak, maka perhitungan banjir rancangan dengan menggunakan metode hidrograf dianggap lebih mewakili untuk dapat digunakan sebagai dasar dalam mendesain suatu bangunan air baik dari segi teknis ataupun dari segi ekonomisnya.

Beberapa penelitian yang dilakukan di beberapa DAS di pulau Jawa memperlihatkan bahwa untuk parameter-parameter tertentu dalam menentukan besarnya debit banjir rancangan dengan metode hidrograf daerah kajian asal, misalnya Hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu yang penelitiannya dilakukan di Jepang, dan beberapa metode HSS yang lain di tempat tertentu. Ini memberikan suatu gambaran bahwa karakteristik DAS,

kondisi dan pola hujan merupakan faktor yang memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap parameter-parameter masing-masing metode hidrograf tersebut. Karena begitu banyak metode yang digunakan untuk menganalisis hidrograf banjir yang berguna untuk menghitung debit banjir, baik untuk detail desain komponen bendungan, maka untuk memilih metode-metode yang paling layak digunakan dalam analisis sebagai upaya agar analisis yang dilakukan lebih mendekati kebenaran di lapangan perlu dilakukan suatu kajian terhadap metode-metode tersebut. Untuk dapat mengkaji keandalan dari suatu metode, maka diperlukan beberapa metode lain sebagai pembandingan.

Metode analisis hidrograf yang telah dikembangkan di Indonesia, diantaranya Hidrograf Satuan Sintetis GAMA I, Hasil penelitian terdahulu, Hidrograf Satuan Sintetis GAMA I terbukti baik dalam memberikan analisis hidrograf banjir khususnya di pulau Jawa dan belakangan daerah lain di Indonesia (Sri Harto, 2000). Sedangkan metode lain yang telah dikembangkan oleh peneliti-peneliti di luar negeri, seperti Hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu dari Jepang, HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Centre-Hydrologic Modelling System*).

Uraian tersebut diatas merupakan pertimbangan untuk melakukan penelitian terhadap keandalan metode Hidrograf Satuan Sintetis jika diterapkan di DAS Maros

B. Rumusan Masalah

Masalah yang dibahas dalam penelitian ini adalah

1. Apakah Hidrograf Satuan Sintetis yaitu HSS Nakayasu, HSS Snyder, HSS GAMA I, HSS SCS (*Soil Conserveation Servis*), HSS ITB dapat diterapkan langsung pada daerah kajian?
2. Adakah perbedaan ketelitian hasil perhitungan setiap Metode HSS Nakayasu, HSS Snyder, HSS GAMA I, HSS SCS (*Soil Conserveation Servis*), HSS ITB jika dibandingkan Hidrograf Satuan Observasi (terukur) metode Collins ?
3. Dari ke lima metode HSS tersebut diatas, manakah yang paling menghasilkan faktor koreksi terkecil jika dibandingkan dengan Hidrograf Satuan Terukur (Observasi)
4. Bagaiman keandalan metode Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) jika diterapkan pada DAS Maros.

C. Tujuan Penelitian

Terkait dengan masalah yang telah dirumuskan sebelumnya, maka tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Menguji keandalan metode Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) yang dibandingkan dengan Hidrograf Satuan Terukur metode Collins untuk diterapkan di daerah kajian (DAS Maros)

2. Menganalisis parameter-parameter yang berpengaruh pada metode-metode Hidrograf Satuan Sintetis sehingga dapat digunakan untuk menghitung debit rancangan dengan parameter yang sesuai pada daerah kajian
3. Menganalisa kecocokan metode-metode Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) yang dapat digunakan menghitung banjir rancangan pada DAS Maros

D. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan masukan yang relatif akurat bagi para perencana, praktisi dan semua pihak yang berkepentingan dengan perancangan bangunan air.

Jika hasil penelitian ini memiliki tingkat kesahihan yang cukup akurat, maka hasil dari penelitian ini dapat menjadi gambaran mengenai metode perhitungan hidrograf satuan yang paling cocok untuk perhitungan hidrograf satuan di DAS Maros.

E. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, penyusun mengambil batasan-batasan untuk lebih mengarahkan pada masalah penelitian pengujian keandalan masing-masing metode dalam perhitungan hidrograf banjir. Batasan-batasan tersebut adalah sebagai berikut :

1. Kajian dilakukan dengan menerapkan metode Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) Nakayasu, Snyder, GAMA I, SCS (*Soil Conservation Servis*), HSS ITB.
2. Metode pembandingan adalah hidrograf satuan terukur metode Collins dengan menggunakan data debit terukur.
3. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari instansi terkait.
4. Daerah Aliran Sungai (DAS) yang diteliti adalah DAS Maros (sub DAS Maros Tompobulu)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

D. Landasan Teori

8. Analisa Hidrologi

a. Pengertian Hidrologi

Hidrologi adalah ilmu pengetahuan yang mempelajari kejadian, perputaran dan penyebaran air di atmosfer dan di permukaan bumi serta di bawah permukaan bumi, juga mempelajari sifat alam dan kimianya serta reaksinya terhadap lingkungannya dengan kehidupan.

Data hidrologi adalah kumpulan keterangan atau fakta mengenai fenomena hidrologi yang merupakan bahan informasi yang sangat penting dalam pelaksanaan inventarisasi potensi sumber-sumber air, pemanfaatan sumber-sumber air yang tepat dan rehabilitasi sumber-sumber alam seperti air, tanah, hutan yang telah rusak.

Dalam perencanaan suatu bangunan air, harus tersedia untuk diinventarisasi kedalam penganalisaan parameter-parameter yang berhubungan langsung dengan perencanaan bangunan tersebut. Maka dengan menggunakan beberapa metode dalam menganalisis kebenaran data tersebut, akan didapatkan suatu variabel hidrologi berupa besaran

extrim, misalnya curah hujan maksimum, debit banjir maksimum atau debit minimum.

b. Analisa Distribusi Curah Hujan Wilayah

Data curah hujan dan debit merupakan data yang sangat penting dalam perencanaan bangunan hidrologi. Analisis data hujan dimaksudkan untuk mendapatkan besaran curah hujan. Perlunya menghitung curah hujan wilayah adalah untuk penyusunan suatu rancangan pemanfaatan air dan rancangan pengendalian banjir (Sosrodarsono & Takeda, 1977). Metode yang digunakan dalam perhitungan curah hujan rata-rata wilayah daerah aliran sungai (DAS) ada tiga metode, yaitu:

- 1) Metode rata-rata aritmatik (aljabar),
- 2) Metode poligon Thiessen dan
- 3) Metode Isohyet

Metode rata-rata aritmatik (*aljabar*) adalah metode yang paling sederhana, pengukuran yang dilakukan di beberapa stasiun dalam waktu yang bersamaan dijumlahkan dan kemudian dibagi jumlah stasiun. Stasiun hujan yang digunakan dalam hitungan adalah yang berada dalam DAS, tetapi stasiun di luar DAS tangkapan yang masih berdekatan juga bisa diperhitungkan. Metode rata-rata aljabar memberikan hasil yang baik apabila stasiun hujan tersebar secara merata di DAS, distribusi hujan relatif merata pada seluruh DAS. (Triatmodjo, 2008).

Metode Thiessen memperhitungkan bobot dari masing-masing stasiun yang mewakili luasan di sekitarnya. Pada suatu luasan di dalam

DAS dianggap bahwa hujan adalah sama dengan yang terjadi pada stasiun yang terdekat, sehingga hujan yang tercatat pada suatu stasiun mewakili luasan tersebut. Metode ini digunakan apabila penyebaran stasiun hujan di daerah yang ditinjau tidak merata, pada metode ini stasiun hujan minimal yang digunakan untuk perhitungan adalah tiga stasiun hujan. Hitungan curah hujan rata-rata dilakukan dengan memperhitungkan daerah pengaruh dari tiap stasiun. Metode poligon Thiessen banyak digunakan untuk menghitung hujan rata-rata kawasan. Poligon Thiessen adalah tetap untuk suatu jaringan stasiun hujan tertentu. Apabila terdapat perubahan jaringan stasiun hujan seperti pemindahan atau penambahan stasiun, maka harus dibuat lagi poligon yang baru. (Triatmodjo, 2008).

Curah hujan yang diperlukan untuk penyusunan suatu rancangan pemanfaatan air adalah curah hujan rata-rata di seluruh daerah yang bersangkutan, bukan curah hujan pada titik tertentu. Curah hujan ini disebut curah hujan wilayah atau curah hujan daerah yang dinyatakan dalam millimeter (mm)

Curah hujan ini harus diperkirakan dari beberapa titik pengamatan curah hujan, untuk mengetahui luas areal hujan setiap stasiun curah hujan digunakan metode poligon thiessen dengan rumus :

$$R_t = \frac{A_1.R_1 + A_2.R_2 + A_3.R_3 + \dots + A_n.R_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n}$$

Dimana :

$R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$ = Curah hujan yang tercatat pada pos penakar 1, 2,

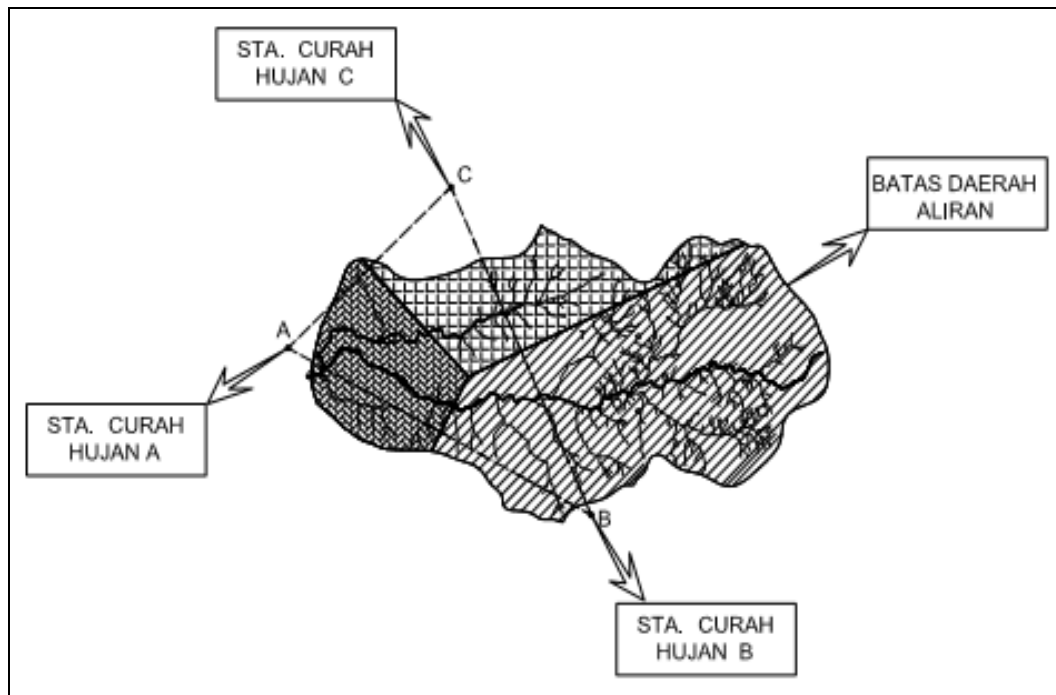
$A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ = Luas areal poligon 1, 2, 3,n

n = Banyaknya pos penakar hujan

Cara ini merupakan bobot tertentu untuk stasiun hujan dengan pengertian bahwa setiap stasiun hujan dianggap mewakili hujan dalam daerah dengan luas tertentu, dan luas tersebut merupakan faktor koreksi bagi hujan yang bersangkutan. Luas masing-masing daerah tersebut diperoleh dengan cara:

- 1) Semua stasiun yang terjadi terdapat didalam (di luar) DAS dihubungkan dengan garis sehingga terbentuk jaringan segitiga
- 2) Pada masing-masing segitiga ditarik garis sumbunya, semua garis sumbu tersebut membentuk poligon

Luas daerah yang hujannya diwakili oleh salah satu stasiun yang bersangkutan adalah daerah yang dibatasi garis-garis poligon tersebut atau dengan batas DAS luas relatif daerah ini merupakan faktor koreksinya.



Gambar 1. Poligon thiessen, suripin 2004

Metode Isohyet adalah garis yang menghubungkan titik-titik dengan kedalaman hujan yang sama. Pada metode Isohyet, dianggap bahwa hujan pada suatu daerah di antara dua garis Isohyet adalah merata dan sama dengan nilai rata-rata dari kedua garis Isohyet tersebut. Metode Isohyet merupakan cara paling teliti untuk menghitung kedalaman hujan rata-rata di suatu daerah, pada metode ini stasiun hujan harus banyak dan tersebar merata, metode Isohyet membutuhkan pekerjaan dan perhatian yang lebih banyak dibanding dua metode lainnya. (Triatmodjo, 2008).

Metode ini menggunakan pembagian DAS dengan garis-garis yang menghubungkan tempat-tempat dengan curah hujan yang sama besar (isohyet). Curah hujan rata-rata di daerah aliran sungai didapatkan dengan menjumlahkan perkalian antara curah hujan rata-rata di antara garis-garis isohyet dengan luas daerah yang dibatasi oleh garis batas

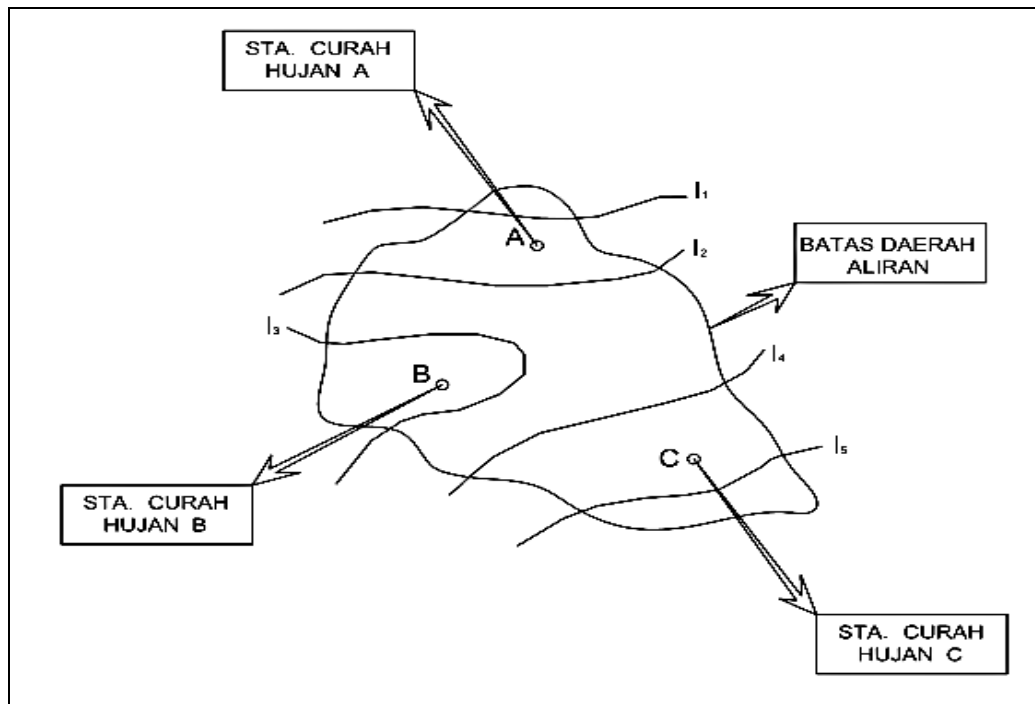
DAS dan dua garis isohyet, kemudian dibagi dengan luas seluruh DAS. Cara ini mempunyai kelemahan yaitu apabila dikerjakan secara manual, dimana setiap kali harus menggambarkan garis isohyet yang tentunya hasilnya sangat tergantung pada masing-masing pembuat garis. Unsur subyektivitas ini dapat dihindarkan dengan penggunaan perangkat lunak komputer yang dapat menghasilkan gambar garis isohyet berdasarkan sistem interpolasi grid, sehingga hasilnya akan sama untuk setiap input data di masing-masing stasiun hujan. Persamaan dalam hitungan hujan rata-rata dengan metode isohyet dapat kita rumuskan seperti berikut:

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

Dimana:

- P = Curah hujan rata-rata,
- P_1, P_2, \dots, P_n = Besaran curah hujan yang sama pada setiap garis isohyet,
- A_{Total} = Luas total DAS ($A_1 + A_2 + \dots + A_n$)

Dalam praktek pemakaian hitungan hujan DAS tersebut, banyak digunakan cara kedua atau metode Poligon Thiessen karena dipandang lebih praktis dengan hasil yang cukup baik.



Gambar 2. Cara isoyet , suripin 2004

c. Analisa Curah Hujan Rancangan

Perhitungan curah hujan rencana digunakan untuk meramal besarnya hujan dengan periode ulang tertentu. Berdasarkan curah hujan rencana tersebut kemudian dicari intensitas hujan yang digunakan untuk mencari debit banjir rencana (Sosrodarsono & Takeda, 1977). Dalam ilmu statistik dikenal beberapa macam distribusi frekuensi dan empat jenis distribusi yang banyak digunakan dalam bidang hidrologi, yaitu distribusi normal, distribusi Log-Normal, distribusi Log-Person III, dan distribusi Gumbel. Sebelum menghitung curah hujan wilayah dengan distribusi yang ada terlebih dahulu dilakukan pengukuran dispersi untuk mendapatkan

parameter-parameter yang digunakan dalam perhitungan curah hujan rencana (Suripin, 2004).

Suatu kenyataan bahwa tidak semua variat dari suatu variabel hidrologi terletak atau sama dengan nilai rata-ratanya, kemungkinan ada nilai variat yang lebih besar atau lebih kecil dari pada nilai rata-ratanya. Besarnya derajat dari sebaran variat disekitar nilai rata-ratanya disebut dengan variasi (*variation*) atau dispersi (*dispersion*) dari pada suatu data sembarang variabel hidrologi. Cara mengukur besarnya variasi atau dispersi disebut pengukuran dispersi, pengukuran dispersi meliputi standar deviasi, koefisien kemencengan, koefisien variasi, dan pengukuran kurtosis. (Soewarno, 1995). Persamaan yang digunakan dalam pengukuran dispersi tersebut adalah sebagai berikut:

- 1) Standart deviasi (S), umumnya ukuran dispersi yang paling banyak digunakan adalah deviasi standar (*standard deviation*) dan varian (*variance*). Varian dihitung sebagai nilai kuadrat dari deviasi standar. Apabila penyebaran data sangat besar terhadap nilai rata-rata maka nilai standar deviasi akan besar, akan tetapi apabila penyebaran data sangat kecil terhadap nilai rata-rata maka standar deviasi akan kecil.

Persamaan:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_{rt})^2}{n-1}}$$

- 2) Koefesien Variasi (Cv), Koefisien variasi (*variation coefficient*) adalah nilai perbandingan antara deviasi standar dengan nilai rata-rata hitung dari suatu distribusi.

Persamaan:

$$Cv = \frac{S}{x_{rt}}$$

- 3) Koefesien Kemencengan (Cs), Kemencengan (*skewness*) adalah suatu nilai yang menunjukkan derajat ketidaksimetrisan (*asymetry*) dari suatu bentuk distribusi. Umumnya ukuran kemencengan dinyatakan dengan besarnya koefisien kemencengan (*coefficient of skewness*).

Persamaan:

$$Cs = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - X_{rt})^3}{(n-1).(n-2)S^3}$$

- 4) Pengukuran kurtosis (Ck), Pengukuran kurtosis dimaksudkan untuk mengukur keruncingan dari bentuk kurva distribusi, yang umumnya dibandingkan dengan distribusi normal.

Persamaan:

$$Ck = \frac{1}{n} \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_{rt})^4}{S^4}$$

Dimana :

- S = Standar Deviasi
 Cv = Koefesien Variasi
 Cs = Koefesien Kepencengan

Ck	= Koefesien Kurtosis
n	= Jumlah data
Xrt	= Rata-rata Hitung
Xi	= Titik tengah Rata-rata hitung

d. Pemilihan Jenis Sebaran

Ada berbagai macam distribusi teoritis yang kesemuanya dapat dibagi menjadi dua yaitu distribusi diskrit dan distribusi kontinyu. Distribusi diskrit adalah binomial dan Poisson, sedangkan yang kontinyu adalah Normal, Log Normal, Pearson dan Gumbel (Soewarno, 1995). Berikut jenis sebaran yang biasa digunakan dalam menentukan hujan rancangan:

- 1) **Distribusi Normal**, Dalam analisis hidrologi distribusi normal banyak digunakan untuk menganalisis frekuensi curah hujan, analisis statistik dari distribusi curah hujan tahunan, debit rata-rata tahunan. Distribusi normal atau kurva normal disebut pula Distribusi Gauss.

Persamaan:

$$X_t = X_{rt} + k \cdot S$$

Dimana :

Xt	= Curah hujan rencana
Xrt	= Curah hujan rata-rata
S	= Standar deviasi

- 2) **Distribusi Log Normal**, Distribusi Log Normal, merupakan hasil transformasi dari Distribusi Normal, yaitu dengan mengubah varian X menjadi nilai logaritmik varian X.

Rumus :

$$\text{Log } X_t = \text{Log} X_{rt} + k \cdot S \quad (8)$$

$$X_t = 10^{\text{Log} X_t} \quad (9)$$

Dimana :

X_t = Curah hujan rencana

X_{rt} = Curah hujan rata-rata

S = Standar deviasi

- 3) **Distribusi Gumbel**, Perhitungan curah hujan rencana menurut Metode Gumbel, mempunyai perumusan sebagai berikut :

$$X_T = X_{rt} + SK \quad (10)$$

Dimana:

X_T = Curah hujan rencana

X_{rt} = Curah hujan rata-rata

S = Standar deviasi

K = Faktor Frekwensi/Probabilitas

Faktor probabilitas K untuk harga rata-rata ekstrim gumbel dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut:

$$K = \frac{Y_t - Y_n}{S_n} \quad (11)$$

Dimana:

Y_t = Reduced mean yang tergantung jumlah sampel

Y_n = Reduced Standard deviation yang tergantung pada jumlah Sampel

S_n = Reduced variate, mempunyai nilai yang berbeda setiap periode ulang

Untuk tabel Y_t , Y_n dan S_n dapat dilihat pada (lampiran tabel 3, 4 dan 5).

- 4) **Distribusi Log Pearson Type III**, Distribusi Log-Pearson Tipe III banyak digunakan dalam analisis hidrologi, terutama dalam analisis data maksimum (banjir) dan minimum (debit minimum) dengan nilai ekstrem. Bentuk kumulatif dari distribusi Log-Pearson Tipe III dengan nilai variatnya X apabila digambarkan pada kertas peluang logaritmik (*logarithmic probability paper*) akan merupakan model matematik persamaan garis lurus. Persamaan garis lurusnya adalah:

$$Y = \bar{Y} - K.S \quad (12)$$

Dimana :

Y = Nilai Logaritma dari X

\bar{Y} = Nilai rata-rata dari Y

S = Standar deviasi dari Y

K = Karakteristik dari distribusi log pearson type III

Tahapan untuk menghitung hujan rancangan maksimum dengan metode Log-Pearson Type III adalah sebagai berikut (Suwarno,1995: 142).

- a) Hujan harian maksimum diubah dalam bentuk logaritma.
- b) Menghitung harga logaritma rata-rata dengan persamaan

$$\text{Log } X_{rt} = \frac{\sum \text{Log } X}{n} \quad (13)$$

- c) Menghitung simpangan baku dengan (menggunakan rumus 3)
- d) Menghitung koefesien kepercengan (menggunakan rumus 4)
- e) Menghitung logaritma hujan rancangan dengan kala ulang tertentu dengan persamaaan

$$\text{Log } X_T = \text{Log } X_{rt} + K.Si \quad (14)$$

Menghitung antilog X_T untuk mendapatkan curah hujan rancangan dengan kala ulang tertentu.

Untuk tabel harga K untuk distribusi Log Pearson Type III dapat dilihat pada lampiran tabel 6 dan 7

9. Uji Kesesuaian Distribusi

a. Uji parameter Statistik

Untuk mengetahui apakah pemilihan distribusi yang digunakan dalam perhitungan curah hujan rancangan diterima atau ditolak, maka perlu dilakukan uji kesesuaian distribusi. Uji ini dilakukan dengan

menggunakan uji parameter statistik. Syarat –syarat untuk uji parameter ini adalah seperti yang ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 1. Kesimpulan pemilihan jenis distribusi

Jenis Distribusi	Syarat
Normal	$C_s = 0.00$ $C_k = 3.00$
Log Normal	$C_s = 3 \times C_v$ $C_k > 0$
Gumbel	$C_s = 1.1396$ $C_k = 4.4002$
Log Pearson Type III	Tidak memenuhi sifat-sifat seperti pada ketiga distribusi

b. Uji Smirnov-Kolmogorov

Uji ini digunakan untuk menguji simpangan secara horizontal, yaitu merupakan selisih simpangan maksimum antara distribusi teoritis dan empiris (D_0). Dengan pemeriksaan uji ini akan diketahui:

- 1) Kebenaran antara hasil pengamatan dengan model distribusi yang diharapkan atau yang diperoleh secara teoritis.
- 2) Kebenaran hipotesa diterima atau ditolak.

Uji kesesuaian *Smirnov-Kolmogorov*, sering juga disebut uji kecocokan non parametrik (*non parametric test*), karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu.

Langkah-langkah pengujian *Smirnov-Kolmogorof* adalah sebagai berikut (Soewarno, 1995: 198):

- 1) Mengurutkan data (dari besar ke kecil atau sebaliknya) dan juga besarnya peluang dari masing-masing data tersebut.
- 2) Menentukan nilai masing-masing peluang teoritis dari hasil penggambaran data (persamaan distribusinya). Dari kedua nilai peluang ditentukan selisih terbesarnya antara peluang pengamatan dengan peluang teoritis.
- 3) Berdasarkan tabel nilai kritis (*Smirnov-Kolmogorov Test*) dapat ditentukan harga D_{cr} .

Apabila D_o lebih kecil dari D_{cr} maka distribusi teoritis yang digunakan untuk menentukan persamaan distribusi dapat diterima, apabila D_o lebih besar dari D_{cr} maka distribusi teoritis yang digunakan untuk menentukan persamaan distribusi tidak dapat diterima. Nilai D_{cr} untuk uji *Smirnov-Kolmogorov* tersebut dapat dilihat pada lampiran Tabel 1.

c. Uji Chi-Square

Uji ini digunakan untuk menguji simpangan secara vertikal apakah distribusi pengamatan dapat diterima secara teoritis. Pada penggunaan Uji *Smirnov-Kolmogorov*, meskipun menggunakan perhitungan matematis namun kesimpulan hanya berdasarkan bagian tertentu (sebuah variant) yang mempunyai penyimpangan terbesar, sedangkan Uji *Chi-Square* menguji penyimpangan distribusi data pengamatan dengan mengukur secara matematis kedekatan antara data pengamatan dan

seluruh bagian garis persamaan distribusi teoritisnya. Uji Chi-Square dapat diturunkan menjadi persamaan sebagai berikut (Soewarno, 1995: 194):

$$X^2 = \sum \frac{(Ef - Of)^2}{Ef} \quad (15)$$

dimana:

X^2 = Chi-Square.

Ef = Frekuensi (banyaknya pengamatan) yang diharapkan, sesuai dengan pembagian kelasnya.

Of = Frekuensi yang terbaca pada kelas yang sama.

Nilai X^2 yang terhitung ini harus lebih kecil dari harga X^2_{cr} (yang didapat dari tabel Chi-Square).

Derajat kebebasan ini secara umum dapat dihitung dengan:

$$DK = K - (P + 1) \quad (16)$$

Dimana:

DK = Derajat kebebasan.

K = Banyaknya kelas.

P = Banyaknya keterikatan atau sama dengan banyaknya parameter, yang untuk sebaran Chi-Square adalah sama dengan 2 (dua).

Berdasarkan literatur di atas, pada uji Chi-Square menguji penyimpangan distribusi data pengamatan dengan mengukur secara matematis kedekatan antara data pengamatan dan seluruh bagian garis

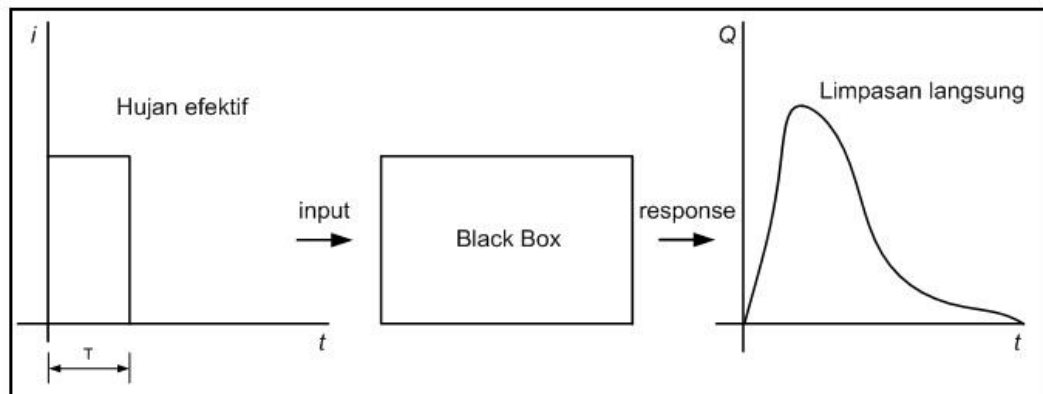
persamaan distribusi teoritisnya dengan nilai X^2_{cr} . Nilai X^2_{cr} untuk uji Chi Square dapat dilihat pada lampiran tabel 2.

10. Analisis Hidograf

Hidrograf satuan adalah hidrograf limpasan langsung yang dihasilkan oleh hujan efektif (hujan netto) yang terjadi merata di seluruh DAS dan dengan intensitas tetap selama satu satuan waktu yang ditetapkan, yang disebut hujan satuan. Hujan satuan adalah curah hujan yang lamanya sedemikian rupa sehingga lamanya limpasan permukaan tidak menjadi pendek, meskipun curah hujan itu menjadi pendek. Jadi hujan satuan yang dipilih adalah yang lamanya sama atau lebih pendek dari periode naik hidrograf (waktu dari titik permulaan aliran permukaan sampai puncak, *time to peak*). Periode limpasan dari hujan satuan semuanya adalah kira-kira sama dan tidak ada sangkut pautnya dengan intensitas hujan (Suripin, 2003).

Dalam bentuk definisi yang lebih sederhana hidograf satuan suatu DAS adalah suatu limpasan langsung yang diakibatkan oleh satu satuan hujan efektif, yang terbagi rata dalam waktu dan ruang (Soemarto, 1999).

Teori hidrograf satuan merupakan penerapan teori sistem linear dalam hidrologi daerah aliran sungai yang dipandang sebagai proses *black box* dan sistemnya ditandai oleh tanggapan (*response*) debit Q terhadap *input* tertentu. Inputnya adalah hujan merata, yaitu hujan dengan intensitas konstan sebesar i dan durasi T yang terbagi rata di atas DAS.



Gambar 3: Hubungan antara hujan efektif dengan limpasan langsung

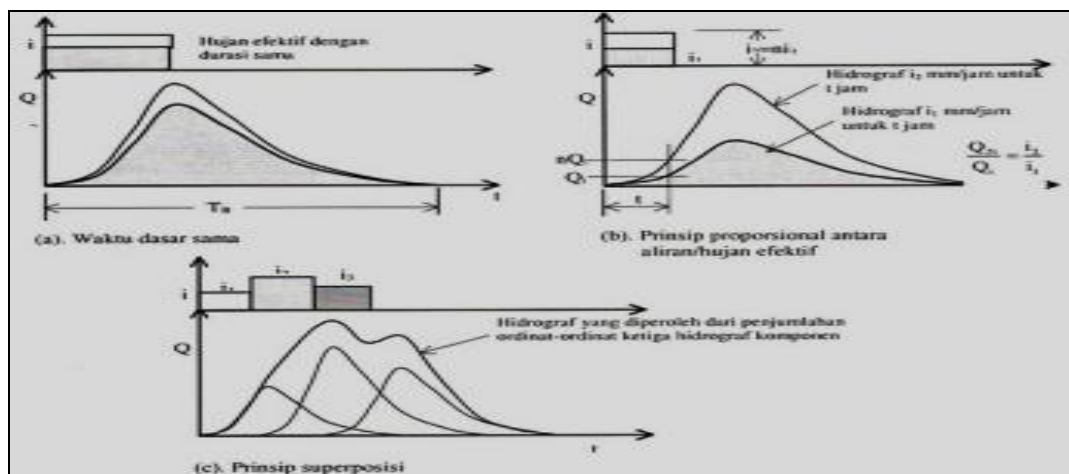
Tujuan dari hidrograf satuan adalah untuk memperkirakan hubungan antara hujan efektif dan aliran permukaan. Konsep hidrograf satuan pertama kali dikemukakan oleh Sherman pada tahun 1932. Dia menyatakan bahwa suatu sistem DAS mempunyai sifat khas yang menyatakan respon DAS terhadap suatu masukan tertentu yang berdasarkan pada tiga prinsip:

- a. Pada hujan efektif berintensitas seragam pada suatu daerah aliran tertentu, intensitas hujan yang berbeda tetapi memiliki durasi sama, akan menghasilkan limpasan dengan durasi sama, meskipun jumlahnya berbeda. Ini merupakan aturan empiris yang mendekati kebenaran dan digambarkan pada **Gambar 4a**
- b. Pada hujan efektif berintensitas seragam pada suatu daerah aliran tertentu, intensitas hujan yang berbeda tetapi memiliki durasi sama, akan menghasilkan hidrograf limpasan, di mana ordinatnya pada sembarang waktu memiliki proporsi yang sama dengan proporsi

intensitas hujan efektifnya. Dengan kata lain, ordinat hidrograf satuan sebanding dengan volume hujan efektif yang menimbulkannya. Hal ini berarti bahwa hujan sebanyak n kali lipat dalam suatu waktu tertentu akan menghasilkan suatu hidrograf dengan ordinat sebesar n kali lipat (**Gambar 4b**).

- c. Prinsip superposisi dipakai pada hidrograf yang dihasilkan oleh hujan efektif berintensitas seragam yang memiliki periode-periode yang berdekatan atau tersendiri. Jadi, hidrograf yang merepresentasikan kombinasi beberapa kejadian aliran permukaan adalah jumlah dari ordinat hidrograf tunggal yang memberi kontribusi.

Ketiga asumsi ini secara tidak langsung menyatakan bahwa tanggapan DAS terhadap hujan adalah linier, walaupun sebenarnya kurang tepat. Namun demikian, penggunaan hidrograf satuan telah banyak memberikan hasil yang memuaskan untuk berbagai kondisi. Sehingga, teori hidrograf satuan banyak dipakai dalam menentukan debit atau banjir rencana.



Gambar 4. Prinsip-prinsip hidrograf satuan

a. Komponen Hidrograf

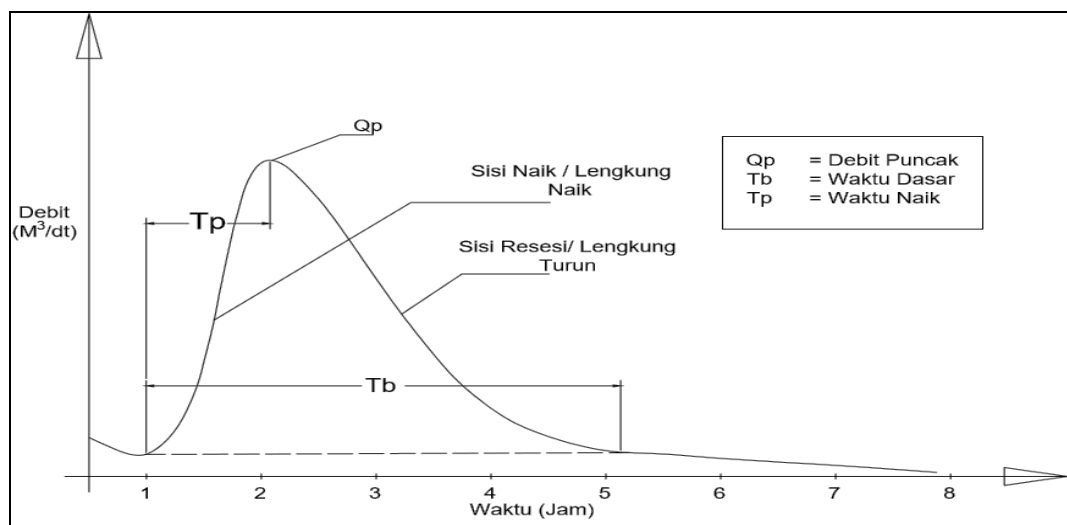
Bentuk hidrograf pada umumnya sangat dipengaruhi oleh sifat hujan yang terjadi, akan tetapi juga dipengaruhi oleh sifat DAS yang lain (Sri Harto, 1992, Viessman 1989). Seyhan (1997) mengemukakan bahwa hidrograf periode pendek terdiri atas cabang naik, puncak (maksimum) dan cabang turun, sedangkan hidrograf jangka panjang dibedakan menjadi tiga yaitu hidrograf bergigi, hidrograf halus dan hidrograf yang ditunjukkan oleh sungai-sungai besar (Ward 1967, mengacu pada Seyhan 1977)

Bambang triatmojo (2008) membagi hidrograf menjadi tiga komponen, diantaranya yaitu sisi naik (rising limb). Sisi naik (rising limb) adalah bagian antara waktu nol dan waktu puncak. Sisi turun (recession limb) adalah bagian hidrograf yang menurun antara waktu puncak dan waktu dasar. Waktu dasar (time base) adalah waktu yang diukur dari nol sampai dimana sisi turun berakhir. Selain itu komponen hidrograf dapat

ditandai dengan tiga komponen sifat pokoknya, yaitu waktu naik (time of rise), debit puncak (peak discharger) dan waktu dasar (base time).

Karakter konstribusi air tanah pada aliran sangat berbeda pada limpasan permukaan, maka konstribusi air tanah harus dianalisa secara terpisah, oleh karena itu salah satu syarat utama dalam analisa hidrograf ialah memisahkan kedua hal tersebut (Wilson, 1990)

Dalam bentuk definisi yang lebih sederhana hidograf satuan suatu DAS adalah suatu limpasan langsung yang diakibatkan oleh satu satuan hujan efektif, yang terbagi rata dalam waktu dan ruang (Soemarto, 1999).



Gambar 5: Komponen Hidrograf

a. Penurunan Hidrograf Satuan

Untuk mendapatkan hidrograf limpasan langsung, digunakan beberapa metode antara lain metode Garis lurus (*straight line*) dan *fixed*

base length method (Linsley, 1986) serta *variable slope method* (Sri Harto, 1993)

Bambang Triatmojo (2008) berpendapat bahwa untuk menurunkan hidrograf satuan diperlukan data hujan dan data debit aliran. Prosedur penurunan hidrograf satuan adalah sebagai berikut:

- 1) Memisahkan aliran dasar dari hidrograf limpasan langsung dengan cara:
 - a) *Metode garis lurus (straight line method)*, cara ini adalah cara yang paling sederhana dilakukan dengan cara menarik garis lurus dari titik dimana aliran langsung mulai terjadi atau pada titik belok (A) sampai akhir dari aliran langsung (B), apabila titik (B) tidak diketahui, maka Tarik garis horizontal dari titik (A)
 - b) *Metode panjang dasar tetap (Fixed base length method)*, cara ini dilakukan dengan menarik garis dari titik singgung pada saat limpasan (titik belok A atau infleksi point, berpotongan dengan garis vertical yang melalui puncak dan sejajar dengan sumbu Q di titik (C) yang berada di bawah puncak hidrograf. Dari titik (C) kemudian ditarik garis lurus menuju titik (D) yang berada disisi turun yang berjarak N hari sesudah puncak. Nilai N dapat dihitung dengan formula sebagai berikut :

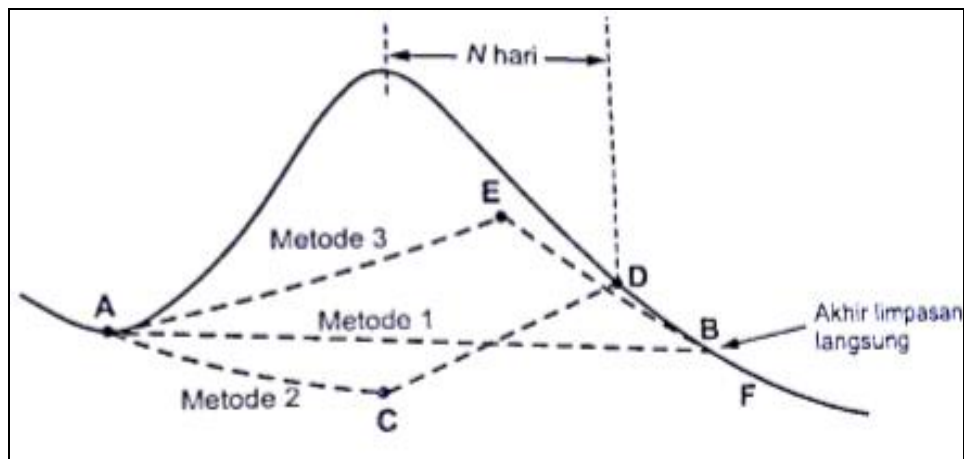
$$N = 0,8 A^{0.2} \quad (17)$$

dimana :

$$N = \text{Waktu (hari)}$$

$$A = \text{Luas DAS (Km}^2\text{)}$$

- c) *Metode kemiringan berbeda (Variable slope method)*, cara ini dilakukan dengan menarik kurva resesi kebelakang yang berawal dari titik aliran langsung (B) sampai ke titik (E) di bawa titik balik. Hubungkan titik (A) dengan garis lurus atau kurva sembarang.



Gambar 6: metode pemisahan aliran dasar.

- 2) Dalam penurunan hidrograf satuan, menghitung luasan luasan dibawah hidrograf limpasan langsung yang merupakan volume aliran permukaan. Volume aliran tersebut dikonsersi menjadi kedalama aliran dideluruh das
- 3) Ordinat dari hidrograf limpasan langsung dibagi dengan kedalaman aliran, yang menghasilkan hidrograf satuan dengan durasi sama dengan durasi hujan.
- 4) Menentukan hujan efektif untuk memperoleh hidrograf dilakukan dengan menggunakan indeks infiltrrasi. Perkiraan dilakukan dengan

cara mempertimbangkan pengaruh parameter DAS yang secara hidrologi dapat diketahui pengaruhnya terhadap indeks infiltrasi.

Persamaan pendekatannya sebagai berikut :

$$\Phi = 10,4003 - 3,859 \cdot 10^{-6} A^2 + 1,6985 \cdot 10^{-13} (A/SN)^4 \quad (18)$$

Untuk memperkirakan aliran dasar digunakan persamaan berikut:

$$QB = 0,475 A^{-0,1491} D^{0,9430} \text{ (M}^3/\text{dt)} \quad (19)$$

Sedangkan dalam menetapkan rata-rata DAS, perlu mengikuti cara-cara yang ada. Tetapi bila dalam praktek analisis tersebut selit, maka disarankan menggunakan cara yang mengalihkan hujan titik dengan factor reduksi hujan,

$$B = 1,5518 A^{-0,1491} N^{-0,2725} SIM^{0,0259S-0,0733} \quad (20)$$

Berdasarkan persamaan di atas maka dapat dihitung dbit banjir setiap jam dengan persamaan:

$$Qp = (Qt.Re) + QB \text{ (M}^3/\text{dt)} \quad (21)$$

Dimana:

QP = debit banjir setiap jam (M³/dt)

Qt = Debit satua tiap jam (M³/dt)

Re = Curah Hujan Efektif (mm/jam)

Qb = Aliran Dasar (M³/dt)

11. Hidrograf Satuan Pengamatan Collins

Hidrograf satuan pengamatan meupakan hidrograf yang menggambarkan rangkaian kejadian curah hujan yang hanya

menghasilkan satucurah hujan efektif dalam satuan waktu, yang dapat diturunkan dari data hujan terpisah dengan intensitas merata atau hujan periode tunggal. Namun demikian hal tersebut jarang terjadi, yang banyak terjadi adalah hujan dengan periode kompleks, yaitu curah hujan yang dihasilkan lebih dari satu periode (Subarkah, 1980)

Dalam hidrograf pada DAS lokasi studi, perlu dipilih hidrograf yang terpisah (*isolated*) dan mempunyai satu puncak (*single Peak*) serta mempunyai hujan yang cukup dan mempunyai pencatatan distribusi hujan jam-jaman. Syarat tersebut untuk mempermudah perhitungan. Sedangkan untuk mendapatkan hidrograf satuan penguatan, dilakukan dengan cara analisis numeric, salah satunya adalah metode Collins.

Sebenarnya dalam penentuan hidrograf banyak cara analisis yang bias digunakan misalnya cara persamaan polynomial dan cara matriks serta Collins. Pada dasarnya, ketiga cara tersebut menggunakan prinsip yang sama, yaitu mencari hidrograf aliran langsung (*direct runoff*) akibat hujan efektif (hujan yang telah dikurangi losses) merata di DAS dengan durasi dan kedalaman tertentu (satu satuan)

Jika data observasi (hidrograf pengamatan) salah, akan mengakibatkan pencatatan hujan salah. Jika hal tersebut terjadi, berarti teori hidrograf satuan tidak mencerminkan karakteristik DAS yang bersangkutan dan hidrograf satuan tidak bisa dianggap mewakili DAS tersebut. Metode Collins merupakan cara untuk mendapatkan hidrograf satuan pengamatan dengan data hujan periode kompleks.

Adapun tahapan penentuan hidrograf satuan dengan metode Collins dalam analisis banjir rancangan pada DAS Bantimurung sebagai berikut:

- a) Memilih data hujan jam-jaman otomatis dan hidrograf aliran terukur pada DAS
- b) Memisahkan aliran dasar dan hidrograf limpasan langsung (HLL) dengan metode garis lurus (*strigh line method*)
- c) Menetapkan nilai hujan efektif dengan metode indeks infiltrasi (ϕ indeks)
- d) Menetapkan sebuah hidrograf satuan perkiraan awal dengan menetapkan ordinat-ordinatnya dengan besaran tertentu (UH-1).
- e) Menentukan hidrograf limpasan langsung akibat hujan efektif jam-jaman kecuali untuk hujan terbesar.
- f) Jumlahkan semua hidrograf limpasan langsung (HLL) ini dan hasilnya dikurangkan dengan hidrograf langsung terukur. Selisih hidrograf limpasan langsung yang didapatkan dibagi dengan hujan efektif jam-jaman yang maksimum. Hasilnya adalah hidrograf satuan baru (UH-2).
- g) Hitung rerata UH-1 dan UH-2 sebagai UH-3 dan amati apakah cukup dekat dengan UH-1.
- h) Apabila masih belum cukup dekat, ulangi langkah (4) sampai dengan langkah (7) dengan mengambil UH-3 sebagai hidrograf satuan perkiraan awal yang baru. Prosedur ini diulangi sampai

didapatkan hasil UH-3 yang cukup dekat dengan UH-1. Berdasarkan hasil perhitungan hidrograf satuan pengamatan, kemudian diukur besaran Q_p , T_p , dan T_b , kemudian dirata-ratakan. Pada hujan kompleks (bukan hujan tunggal), penurunan sebaiknya di-kerjakan dengan metode Collins untuk menghindari kesalahan beruntun (Sri Harto, 1993).

12. Hidrograf Satuan Sintetik

Jika didaerah dimana ketersediaan data hidrologi tidak tersedia untuk menurunkan hidrograf satuan, maka dibuat hidrograf satuan sintesis yang didasarkan pada karakteristik fisik DAS. (Bambang triatmojo, 2008), beberapa metode yang dapat digunakan dalam penurunan hidrograf satuan sintesis seperti Snyder, SCS Gama1, Nakayasu, ITB 1, ITB 2, limantara dan beberapa metode temuan lainnya.

Soemarto (1987), berpendapat adaempat dalil dalam teori klasik tentang hidrograf satuan merupakan penerapan dari sistem linear dalam bidang hidrologi. Keempat dalil tersebut adalah sebagai berikut :

- a) Prinsip merata adalah hidrograf satuan ditimbulkan oleh satuan hujan lebih yang terjadi secara merata di seluruh DAS, selama waktu yang ditetapkan.
- b) Prinsip waktu dasar konstan dalam suatu DAS adalah hidrograf satuan yang dihasilkan oleh hujan efektif dalam waktu yang sama akan mempunyai waktu dasar, tanpa melihat insensitas hujan.

- c) Prinsip linearitas adalah besaran limpasan langsung pada suatu DAS berbanding lurus terhadap tebal hujan efektif, yang berlaku bagi semua hujan dengan waktu yang sama.
- d) Prinsip super posisi adalah total hidrograf limpasan langsung yang disebabkan oleh beberapa kajian hujan yang terpisah merupakan penjumlahan dari tiap tiap hidrograf satuan, berikut gambar dibawah ini.

13. Analisis Debit Banjir Rancangan

Banjir adalah genangan air pada permukaan tanah sampai melebihi batas tinggi tertentu yang mengakibatkan kerugian. (Subarkah, 1980), Debit banjir rancangan adalah debit besar tahunan yang diperkirakan dengan satu proses kemungkinan ulang tertentu. (Martha dan adidarma, 2000).

Penentuan banjir rancangan dapat memberikan hasil yang bermanfaat bila disajikan dalam bentuk hidrograf banjir hidrograf aliran adalah suatu grafik yang memperlihatkan hubungan antara debit dan waktu. Cukup banyak informasi yang diberikan dari pengalihragaman hujan menjadi hirodograf limpasan, salah satu cara yang dianggap terbaik yaitu dengan penurunan hidrograf satuan dari hidrograf banjir yang teramati. Namun demikian, sulitnya untuk mendapatkan data hidrograf pengamatan merupakan kendala yang utama yang dihadapi akhir-akhir ini. Akhirnya dikembangkan penurunan hidrograf yang didasarkan sintesis

parameter bentuk aliran sungai yang dikenal dengan hidrograf sintetis (*Bisri dan Adawayanti, 1995*)

Dalam penelitian ini, debit banjir juga dihitung dengan mentransformasikan rancangan dengan hidrograf satuan terukur DAS yang ditinjau. Analisis frekuensi data debit maksimum tidak dilakukan mengingat ketersediaan data yang terlalu pendek. Metode hidrograf satuan dapat diperoleh dengan cara sebagai berikut:

- a) Hujan rancangan dialihkan mejadi hujan jam-jaman berdasarkan pola alihan hujan terukur untuk DAS yang ditinjau (Edy Sukoso, 2004),
- b) Hujan efektif dihitung menggunakan metode indeks $-\phi$ rerata dari hasil perhitungan indeks $-\phi$ berdasarkan hujan rerata DAS,
- c) Banjir rancangan dihitung berdasarkan hidrograf satuan rerata dari beberapa kejadian banjir yang ditulis dalam bentuk persamaan di bawah ini :

$$Q_n = \sum_{m=1}^{m \geq n} P_m U_k + Q_b \quad (22)$$

dimana:

Q_n = Banjir Rancangan (M3/dt)

Q_b = Aliran dasar (m3/dt)

P_m = Hujan efektif

U_k = Ordinat hidrograf satuan

k = Jumlah ordinat HS

m = Durasi hujan

n = durasi banjir

- d) Banjir rancangan berdasarkan hidrograf satuan tersebut ditambah dengan baseflow yang merupakan nilai rerata dari kejadian banjir yang ada untuk memperoleh hidrograf total
- e) Perhitungan distribusi hujan jam-jaman dalam kasus ini digunakan rumus mononobe sebagai berikut :

$$R_T = \frac{R_{24}}{t} \left| \frac{t}{T} \right|^{2/3} \quad (23)$$

Dengan:

R_T = Intensitas hujan rata-tara dalam T jam

R_{24} = Curah hujan dalam 1 hari (mm)

t = Waktu konsentrasi hujan (Jam)

T = Waktu mulai hujan

a. Debit Banjir Rancangan Metode Gama I

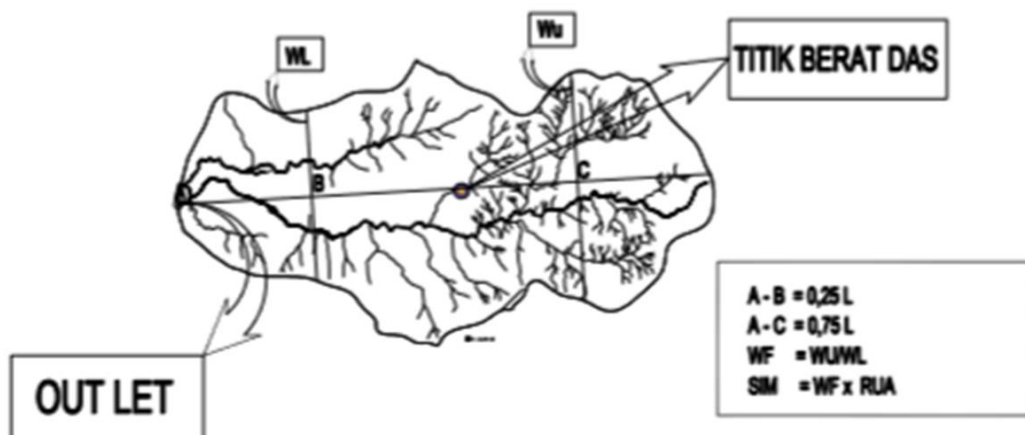
Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Gama I yang merupakan salah satu metode empiris yang dikembangkan oleh Dr. Ir. Sri Harto Br, Dipl.H dengan memanfaatkan parameter-parameter DAS yang sangat menentukan pengalirragaman hujan menjadi banjir. Parameter-parameter tersebut dapat diukur dengan mudah dari peta topografi yang merupakan parameter DAS yang secara hidrologik mudah dijelaskan pengaruhnya

terhadap hidrograf. Parameter-parameter tersebut ditakrifkan sebagai berikut :

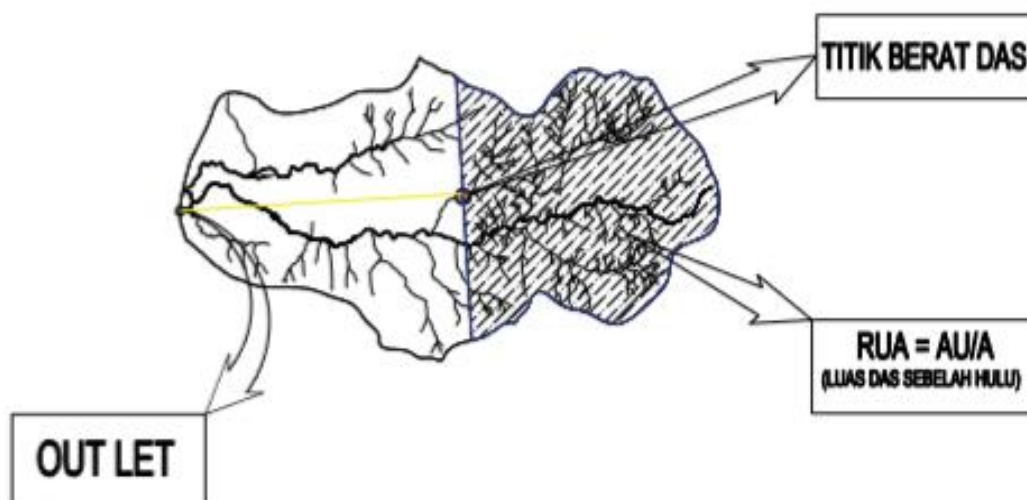
- 1) Faktor-sumber, (SF) yaitu perbandingan antara jumlah panjang sungai-sungai tingkat satu dengan jumlah panjang sungai-sungai semua tingkat.
- 2) Frekuensi-sumber, (SN) yaitu perbandingan antara jumlah pangsa sungai-sungai tingkat satu dengan jumlah pangsa sungai-sungai semua tingkat.
- 3) Faktor-lebar, (WF) yaitu perbandingan antara lebar DAS yang diukur dititik di sungai yang berjarak 0,75 L dengan lebar DAS yang diukur di titik di sungai yang berjarak 0,25 L dari stasiun hidrometri (Gambar 7).
- 4) Luas DAS sebelah hulu (RUA), yaitu perbandingan antara luas DAS yang diukur di hulu garis yang ditarik tegak lurus garis hubung antara setasiun hidrometri dengan titik yang paling dekat dengan titik berat DAS, melewati titik tersebut. (Gambar 8).
- 5) Faktor-simetri (SIM), yaitu hasil kali antara faktor-lebar (WF) dengan luas DAS sebelah hulu (RUA).
- 6) Jumlah pertemuan sungai (JN) adalah jumlah semua pertemuan sungai di dalam DAS tersebut. Jumlah ini tidak lain adalah jumlah pangsa sungai tingkat satu dikurangi satu.
- 7) Kerapatan-jaringan-kuras (D), yaitu jumlah panjang sungai semua tingkat tiap satuan luas DAS.

Penetapan tingkat-tingkat sungai dilakukan dengan cara Strahler (1964) yang pada dasarnya sebagai berikut :

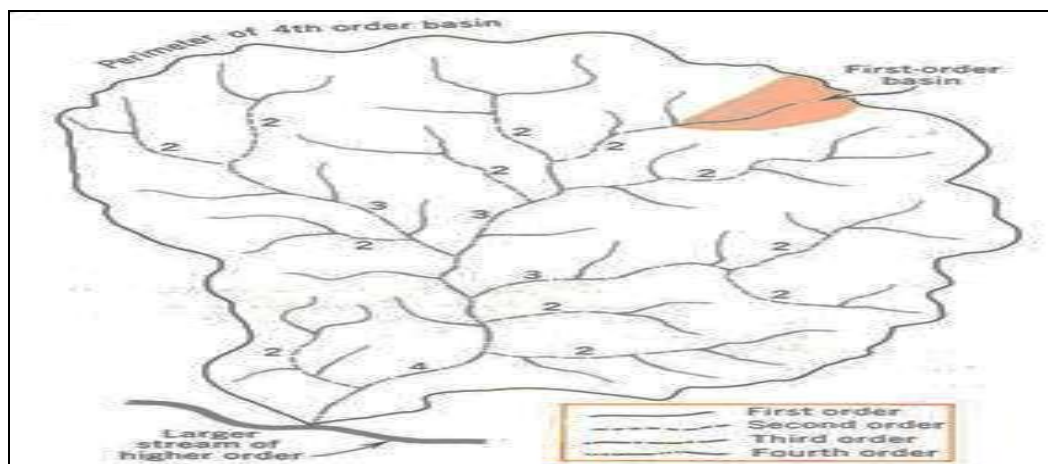
- 1) Sungai-sungai paling ujung adalah sungai-sungai tingkat satu.
- 2) Apabila dua buah sungai dengan tingkat yang sama bertemu akan terbentuk sungai satu tingkat lebih tinggi.
- 3) Apabila sebuah sungai dengan suatu tingkat bertemu dengan sungai lain dengan tingkat yang lebih rendah maka tingkat sungai pertama tidak berubah (Gambar 8)



Gambar 7. Sketsa Penetapan WF (Triatmodjo,2008)



Gambar 8. Sketsa Penetapan RUA (Triatmodjo,2008)



Gambar 9. Sketsa Penetapan Tingkat Sungai (Triatmodjo,2008)

Penetapan parameter-parameter yang disebutkan diatas dapat dilakukan dengan mudah, namun memerlukan kesabaran dan peta yang digunakan dengan skala 1 : 50.000. Untuk itu pengukuran dianjurkan paling tidak dilakukan pengulangan sebanyak tiga kali, untuk memperoleh pengukuran yang lebih baik.

Selanjutnya, hidrograf satuan diberikan dengan empat variabel pokok, yaitu waktu-naik (TR), debit-puncak (Qp), waktu-dasar (TB) dan koefisien-tampungan (K), dengan persamaan-persamaan berikut ini. Koefisien tampungan dipergunakan untuk menetapkan liku-resesi hidrograf-satuan yang pada dasarnya dapat didekati dengan persamaan eksponensial (van Dam, 1979).

$$Q_t = Q_p \cdot e^{-\frac{t}{k}} \quad (24)$$

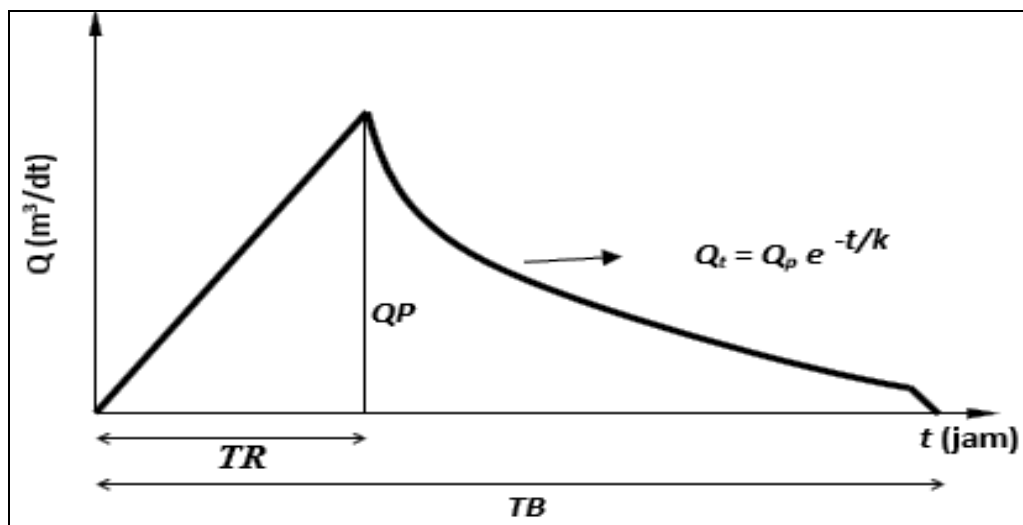
$$TR = 0,43 (L/100 SF)^3 + 1,0665 SIM + 1,2775 \quad (25)$$

$$Q_p = 0,1836 A^{0,5886} TR^{-0,4008} JN^{0,2381} \quad (26)$$

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

$$K = 0,5617 A^{0,1798} S^{-0,1446} SF^{-1,0897} D^{0,0452} \quad (28)$$

Hidrograf satuan sintetik Gama I disajikan secara sistematis dalam gambar 9.



Gambar 10. Hidrograf Satuan Metode Gama I

Untuk selanjutnya, hidrograf satuan ini disebut sebagai Hidrograf satuan Sintetik (HSS) Gama I. Dalam pemakaian cara ini masih ada hal-hal yang perlu diperhatikan, di antaranya berikut ini.

- 1) Penetapan hujan-mangkus untuk memperoleh hidrograf dilakukan dengan menggunakan indeks-infiltrasi. Untuk memperoleh indeks ini agak sulit. Untuk ini, dipergunakan pendekatan dengan mengikuti petunjuk Bernes (1959). Perkiraan dilakukan dengan mempertimbangkan pengaruh parameter DAS yang secara hidrologik dapat diketahui pengaruhnya terhadap indeks-infiltrasi. Persamaan pendekatannya sebagai berikut :

$$\phi = 10,4903 - 3,859 \cdot 10^{-6} A^2 + 1,66985 \cdot 10^{-13} (A/SN)^4 \quad (29)$$

- 2) Untuk memperkirakan aliran-dasar dipergunakan persamaan pendekatan berikut ini. Persamaan ini merupakan pendekatan

untuk aliran dasar yang tetap, dengan memperhatikan pendekatan Kraijenhoff van der Leur (1967) tentang hidrograf air tanah.

$$QB = 0,4751 A^{0,6444} D^{0,940} \quad (30)$$

- 3) Dalam menetapkan hujan rata-rata DAS, masih perlu mengikuti cara-cara yang ada. Akan tetapi, apabila dalam praktek analisis tersebut sulit, maka dapat disarankan untuk menggunakan cara yang disebutkan berikut ini, dengan mengalikan hujan titik dengan faktor reduksi hujan, sebesar:

$$B = 1,5518 A^{-0,1491} N^{-0,2725} SIM^{0,0259} S^{-0,0733} \quad (31)$$

Persamaan tersebut di atas juga merupakan cara yang disarankan untuk mempertinggi ketelitian hitungan berdasar cara-cara rasional. Dengan memperhatikan cara-cara diatas maka dapat dilihat bahwa hidrograf-satuan yang diturunkan dengan cara tersebut berlaku hanya untuk satuan waktu tertentu. Khusus untuk hidrograf-satuan sintetik Gama I, kedalaman hujan yang dipergunakan adalah dalam 1 mm/jam, dan berlaku untuk luas DAS maksimum 3.250 km².

b. Debit Banjir Rancangan Metode Nakayasu

Nakayasu (1950) telah menyelidiki hidrograf satuan di Jepang dan memberikan seperangkat persamaan untuk membentuk suatu hidrograf satuan.

Langkah – langkah dan rumus yang digunakan dalam pengerjaan dengan metode Nakayasu adalah sebagai berikut :

Hidrograf satuan sintetik Nakayasu dikembangkan berdasar beberapa sungai di Jepang (Soemarna, 1987). Bentuk HSS Nakayasu diberikan oleh Gambar 6 dan persamaan berikut ini.

$$Q_p = \frac{1}{3,6} \left(\frac{A R_e}{0,3 T_p + T_{0,3}} \right) \quad (32)$$

$$T_p = T_g + 0,8 T_r \quad (33)$$

$$t_g = 0,4 + 0,058 L \quad \text{untuk } L > 15 \text{ km} \quad (34)$$

$$T_g = 0,21 L^{0,7} \quad \text{untuk } L < 15 \text{ km} \quad (35)$$

$$T_{0,3} = \alpha t_g \quad (36)$$

dimana:

Q_p = Debit puncak banjir

A = Luas DAS (km²)

R_e = Curah hujan efektif (mm)

T_p = Waktu dari permulaan banjir sampai puncak hidrograf banjir (jam)

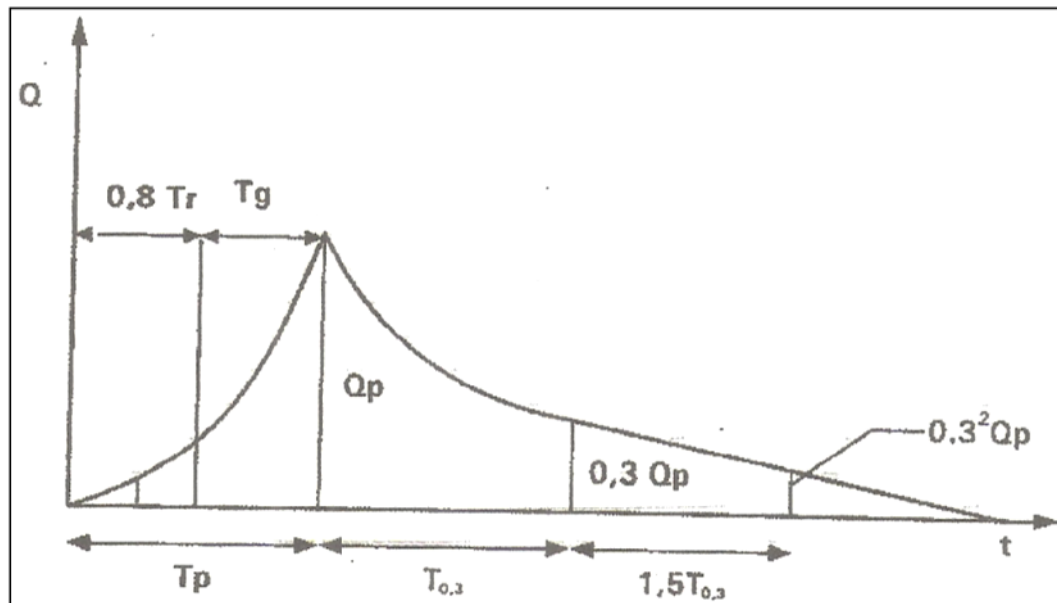
$T_{0,3}$ = Waktu dari puncak banjir sampai 0,3 kali debit puncak banjir (jam)

t_g = Waktu konsentrasi

T_r = Satuan waktu dari curah hujan (jam)

α = Koefisien karakteristik DAS

L = Panjang sungai utama (km)



Gambar 11. Hidrograf satuan sintetik Nakayasu

Bentuk hidrograf satuan diberikan oleh persamaan berikut:

- a. Pada kurva naik ($0 < t < T_p$)

$$Q_t = Q_p \frac{t^{2,4}}{T_p} \quad (37)$$

- b. Pada kurva turun ($T_p < t < T_p + T_{0,3}$)

$$Q_r = Q_p \times 0,3^{\left(\frac{t-T_p}{T_{0,3}}\right)} \quad (38)$$

- c. Pada kurva turun ($T_p + T_{0,3} < t < T_p + T_{0,3} + T_{0,3}^2$)

$$Q_t = Q_p \times 0,3^{\left[\frac{(t-T_p)+(0,5T_{0,3})}{1,5T_{0,3}}\right]} \quad (39)$$

- d. Pada kurva turun ($t > T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3}$)

$$Q_t = Q_p \times 0,3^{\left[\frac{(t-T_p)+(1,5T_{0,3})}{1,5T_{0,3}}\right]} \quad (40)$$

c. Debit Banjir Rancangan Metode Snyder

Hidrograf satuan sintesis (HSS) Snyder pertama kali dikembangkan oleh Snyder (1938) di Amerika Serikat. Snyder mendapatkan dan mengembangkan hidrograf satuan DAS di Amerika Serikat yang berukuran 30 – 30000 Km² dengan menghubungkan unsur-unsur hidrograf satuan dengan karakteristik DAS akibat hujan 1 cm

Unsur-unsur satuan yang dimaksud adalah Debit puncak (Q_p , M³/dt), Waktu dasar T_b (Jam), Durasi hujan T_r (Jam). Sedangkan karakteristik DAS adalah Luas DAS A (Km²), Panjang aliran utama L (Km), Jarak antara titik berat DAS dengan outlet yang diukur di sepanjang aliran utama L_c (Km)

Dengan unsur-unsur tersebut diatas, Snyder membuat rumusan sebagai berikut:

$$T_p = C_t (L.L_c)^{0,3} \quad (41)$$

Dimana:

L = Panjang Sungai (Km)

L_c = Panjang sungai dari titik berat basin ke titik tinjau (Km)

T_p = Tenggang waktu dari titik berat hujan efektif ke puncak unit

Hidrograf

C_t = koefisien yang tergantung dari slope basinnya

$$q_p = 275 \times (C_p/t_p) \quad (42)$$

dimana:

q_p = Debit maksimum hidrograf stuan (m^3/dt)

C_p = Koefesien karakteristik basin

$$t_e = p/5,5 \quad (43)$$

dimana:

t_e = Lamanya curah hujan efektif

Jika $t_e > t_r$ ($t_r = 1$ mm), Maka

$$t'p = t_p + 0,25 (t_r - t_e) \quad (44)$$

sehingga didapat waktu untuk mencapai debit maksimum

$$T_p = t'p = 0,5 t_r \quad (45)$$

Jika $t_e < t_r$, maka

$$T_p = t_p = 0,5 t_r \quad (46)$$

dimana:

T_p = Waktu untuk mencapai puncak (time rise to peak)

t_r = Lamanya hujan efektif 1 Jam

$$Q_p = q_p \frac{h}{1000} A \quad (47)$$

dimana:

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

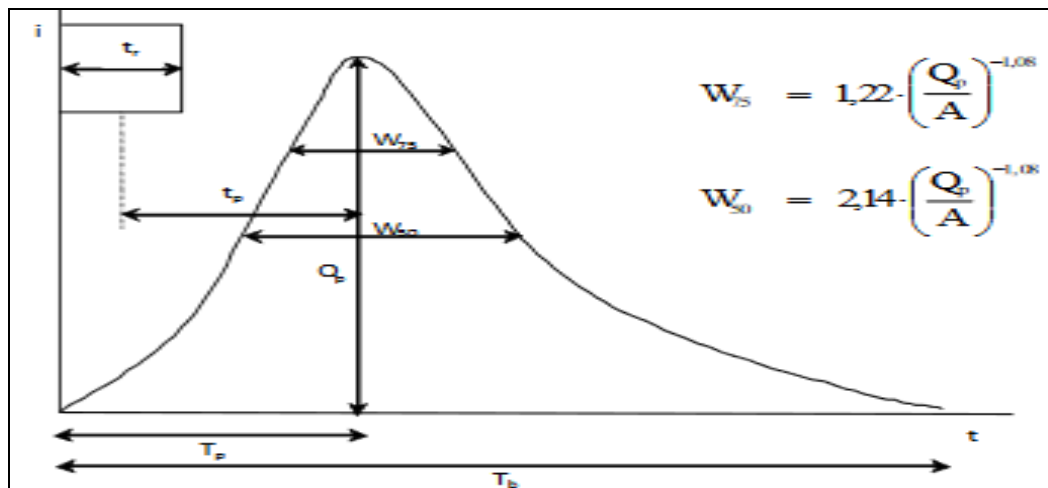
A = Luas DAS (Km^2)

H = Curah hujan (1mm)

Waktu dasarnya adalah sebagai berikut:

$$T_b = 72 + 3t_p \quad (48)$$

Koefesien C_t dan C_p harus ditentukan secara empiris, karena besarnya berubah-ubah antara daerah yang satu dengan daerah yang lain. Besarnya C_t antara 0,75 – 3,00 sedangkan C_p antara 0,90 – 1,40



Gambar 12: Hidrograf satuan sintetik Snyder

Hidrograf yang didapatkan dari perhitungan ini adalah hidrograf satuan tak berdimensi, sehingga untuk proses perhitungan hidrograf satuannya digunakan persamaan Alexeyev, sebagai berikut:

$$Q = f(t) \quad (49)$$

$$Y = q/Q_p \text{ dan } X = t/T_p \quad (50)$$

$$Y = 10^{-a \frac{(1-x)^2}{x}} \quad (51)$$

$$A = 1,32 \lambda^2 + 0,15 \lambda + 0,045 \quad (52)$$

$$\lambda = \frac{Q_p \cdot T_p}{h \cdot A} \quad (53)$$

dimana:

h = tinggi hujan (1 mm)

d. Debit Banjir Rancangan Soil Conservation Service (SCS)

Hidrograf Satuan sintetik SCS adalah hidrograf yang mana debit diekpresikan sebagai perbandingan antara debit q dengan debit puncak q_p dan waktu merupakan perbandingan dari waktu w dengan waktu tenggang naik dari hidrograf T_p . Diberikan debit puncak dan waktu kelambatan atau tenggang waktu dari titik berat hujan sampai titik berat hidrograf (*time lag*) untuk durasi dari hujan efektif (*execess rainfall*). Hirdrogf satuan dapat diestimasi dari hidrograf sintetik tak berdimensi untuk suatu DPS. Nilai Q_p dan T_p dapat diestimasi dengan menggunakan penyedehanaan model dari segi tiga hidrograf satuan seperti diperlihatkan pada gambar 12, dimana waktu t dalam jam dan debit q dalam $M^3/dt.cm$

SCS menganjurkan waktu resesi (*time of recession*) dapat diperkirakan sebesar $1,67 T_p$. Sebagaimana luas dibawa hidrograf satua akan sesuai dengan suatu limpasan langsung sebesar 1 cm, sehingga dapat dilihat bahwa

$$q_p = 2,75 (c/t_p) \quad (54)$$

sedangkan,

$$Q_p = (q_p \times A) / 100 \quad (55)$$

Dimana :

c = Koefesien karakter basin SCS = 2,08

A = Luas DAS (Km^2)

Dari beberapa penelitian yang dilakukan pada DAS besar maupun DAS kecil menunjukkan bahwa kelambatan basin (*Basin Lag*) $t_p = 0,6 t_c$.

Sedangkan waktu naik (Time of Rise) T_p , dapat diekspresikan dengan persamaan:

$$T_p = (t_r/2) + t_p \quad (56)$$

Hidrograf tak berdimensi tersebut dapat dikomversi kedalam dimensi yang dibutuhkan dengan menggunakan persamaan alexeyev seperti pada metode HSS Snyder. Untuk perhitungan waktu konsentrasi T_c digunakan rumus yang telah direkomendasikan untuk digunakan di Indonesia, yaitu:

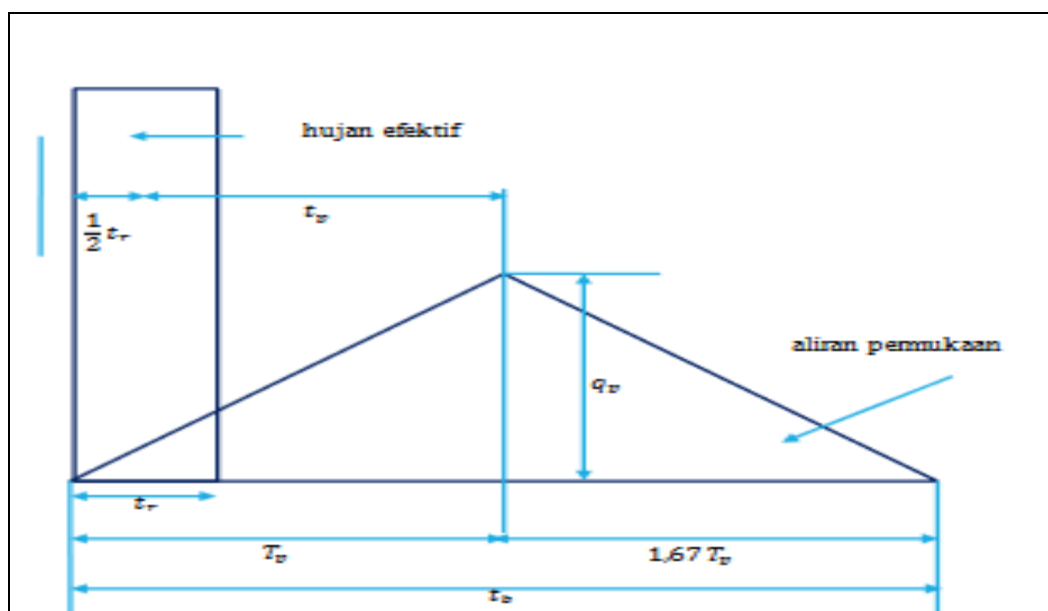
$$T_c = 0,869 \times L^3/H)^{0,385} \quad (57)$$

Dengan:

T_c = Waktu Konsentrasi (Jam)

L = Panjang sungai terpanjang (Km)

H = Selisih tinggi antara titik terjauh dengan titik tinjau (m)



Gambar 13: Segi tiga hidrograf satuan

e. Debit Banjir Rancangan Metode ITB

Untuk menganalisis hidrograph satuan sintetik dengan metoda perlu diketahui parameter fisik dan non fisik. Dari karakteristik fisik DAS dapat dihitungkan tiga elemen penting yaitu, Waktu Puncak (T_p) dan Waktu Dasar, Debit Puncak (Q_p) dan bentuk dari hydrograph satuan itu sendiri. Selain parameter fisik terdapat pula parameter non-fisik yang digunakan untuk proses kalibrasi.

- 1) Waktu Puncak (T_p) dan Waktu Dasar (T_b), Waktu puncak Hidrograph Satuan Sintetis ditentukan oleh harga time lag. Time lag adalah waktu tercapainya debit puncak dihitung dari pusat hujan satuan. Ada banyak rumus yang telah diajukan oleh berbagai peneliti berdasarkan hasil penelitian di berbagai DAS baik yang berada di Luar negeri.

Prosedure umum ini direncanakan cukup flexible dalam mengadopsi rumusan time lag. Sebagai contoh ilustrasi dalam makalah ini Time Lag untuk HSS ITB-1 menggunakan cara Snyder, sedang HSS ITB-2, menggunakan rumus Nakayasu yang telah dikoreksi.

Time Lag HSS ITB-1 menggunakan rumus time lag menurut Snyder namun dengan penyederhanaan harga $L_c = 0,5 L$, sehingga dapat dituliskan sbb

$$TL = C_t (1.5L)^{0.3} \quad (58)$$

Sedang HSS ITB-2, menggunakan rumus time lag menurut Nakayasu (setelah harga konstanta 0.48 dikoreksi menjadi 0.527, ini dimaksudkan agar hasil kedua segmen persamaan tidak terputus).

$$TL = Ct \cdot 0,21 L^{0,7} \text{ (untuk } L \leq 15 \text{ Km)} \quad (59)$$

$$TL = Ct \cdot 0,527 + 0,058 L \text{ (untuk } L \geq 15 \text{ Km)} \quad (60)$$

Dimana:

TL = Time Lag

CT = Koefisien untuk proses kalibrasi

L = Panjang sungai terpanjang (Km)

Waktu mencapai puncak (Time to Peak), Jika rumus time lag menggunakan rumus Snyder dan jika T_r adalah durasi hujan satuan maka nilai waktu puncak adalah sbb

$$T_p = T_L + 0.50 T_r \quad (61)$$

Jika time lag menggunakan rumus Nakayasu, maka nilai waktu puncak adalah sbb:

$$T_p = TL + 0.60 TL = 1.6 TL \quad (62)$$

Waktu Dasar (Time Base): Secara teoritis T_b berharga tak berhingga (seperi halnya Cara Nakayasu), namun prakteknya T_b dapat dibatasi sampai lengkung turun mendekati nol, misal

$$T_b = (10 \text{ s/d } 20) \cdot T_p \quad (63)$$

Durasi hujan satuan umumnya diambil $T_r = 1$ jam, namun dapat dipilih durasi lainnya asalkan dinyatakan dalam satuan jam (misal 0.5 jam, 10 menit = 1/6 jam). Coefisien C_t diperlukan dalam

proses kalibrasi harga T_p . Harga standar koefisien C_t adalah 1.0, namun jika saat proses kalibrasi dijumpai T_p perhitungan lebih kecil dari T_p pengamatan, harga diambil $C_t > 1.0$ sehingga harga T_p akan membesar, sebaliknya jika T_p perhitungan lebih besar dari T_p pengamatan, harga diambil $C_t < 1.0$ agar harga T_p akan mengecil. Proses ini diulang agar T_p perhitungan mendekati T_p pengamatan.

2) Bentuk Dasar Hidrograf Satuan, Bentuk HSS dapat dinyatakan dengan berbagai persamaan-persamaan bentuk dasar HSS. Dua bentuk dasar HSS yang digunakan untuk HSS ITB-1 dan HSS ITB-2 sebagai berikut:

a) HSS ITB-1 memiliki persamaan lengkung naik dan lengkung turun seluruhnya yang dinyatakan dengan satu persamaan yang sama yaitu

$$q(t) = \exp\left\{2 - t - \frac{1}{t}\right\}^{\alpha C_p} \quad (64)$$

b) HSS ITB-2 memiliki persamaan lengkung naik dan lengkung turun yang dinyatakan dengan dua persamaan yang berbeda yaitu

$$\text{Lengkung Naik } q(t) = t^{\alpha} \quad (0 < t < 1) \quad (65)$$

$$\text{Lengkung turun } q(t) = \exp\{1 - t^{\beta C_p}\} \quad (t > 1) \quad (66)$$

Pada persamaan (64) sampai (66) diatas $t = (T/T_p)$ adalah waktu yang telah dinormalkan dan $q = (Q/Q_p)$ adalah debit yang telah dinormalkan $t = (T/T_p)$ dan $q = (Q/Q_p)$ berharga

antara 0 dan 1). Harga koefisien α dan β diatas bergantung pada rumus time lag yang digunakan. Jika rumusan time lag yang digunakan adalah rumus Snyder dan Nakayasu, maka harga standar koefisien α dan β untuk HSS ITB-1 dan HSS ITB-2 diberikan pada Tabel 5. Jika sangat diperlukan harga koefisien α dan β dapat dirubah, namun untuk lebih memudahkan proses kalibrasi dilakukan dengan merubah coefisien C_p .

Tabel 2: Harga standar Koefesien α dan β

Rumusan Time Lag yang digunakan	Harga koefesien standard	
	HSS ITB 1	HSS ITB 2
Snyder ($L_c = 0,5 L$)	$\alpha = 1,500$	$\alpha = 2,500, \beta = 1,000$
Nakayasu	$\alpha = 0,620$	$\alpha = 2,500, \beta = 0,720$

Harga standar koefisien C_p adalah 1.0, jika harga debit puncak perhitungan lebih kecil dari debit puncak pengamatan, maka harga diambil $C_p > 1.0$ ini akan membuat harga debit puncak membesar, sebaliknya jika debit puncak perhitungan lebih besar dari hasil pengamatan maka harga diambil $C_p < 1.0$ agar harga debit puncak mengecil.

- 3) Debit Puncak Hidrograf Satuan, Dari definisi hidrograph satuan sintetis dan prinsip konservasi massa maka dapat disimpulkan bahwa volume hujan efektif satu satuan yang jatuh merata diseluruh DAS (V_{DAS}) harus sama volume

hidrograph satuan sintesis (V_{HS}) dengan waktu puncak T_p . Jika bentuk dasar hidrograph satuan diketahui, dan harga waktu puncak dan waktu dasar diketahui, maka debit puncak hidrograph satuan sintesis akibat tinggi hujan satu satuan $R=1$ mm yang jatuh selama durasi hujan satu satuan $T_r = 1$ jam, adalah sebagai berikut :

$$Q_p = \frac{R}{3.6 T_p} \frac{A_{DAS}}{A_{HSS}} \quad (67)$$

dimana:

- Q_p = Debit puncak hidrograph satuan (m^3/dt)
- R = Curah hujan satuan (mm)
- T_p = waktu mencapai puncak (jam)
- A_{DAS} = Luas DAS (km^2)
- A_{HSS} = Luas kurva hidrograph satuan tak berdimensi (*Dimensionless Unit hydrograph*) yang dilakukan secara Numerik dengan metoda trapesium

Dengan rumusan diatas maka penerapan prinsip konservasi Massa dalam perhitungan hidrograph banjir Akan lebih mudah dijelaskan karena bentuknya lebih eksplisit. Rumus diatas berbeda dengan rumusan debit puncak hidrograph satuan lain yang sudah ada.

14. Uji Penyimpangan Ordinat

Uji penyimpangan dilakukan untuk mengetahui berapa besar penyimpangan ordinat dari Hidrograf satuan sintetis dibandingkan dengan hidrograf satuan terukur Collins. Hasil uji penyimpangan ini akan

memperlihatkan HSS yang menunjukkan penyimpangan terkecil, dalam hal ini yang akan digunakan pada DAS Maros Tompobulu.

Uji ini dilakukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$PY = \left| \frac{Y_{HS} - Y_{HSS}}{Y_{HS}} \right| \times 100\% \quad (68)$$

Dimana:

PY = Penyimpangan oerdinat (%)

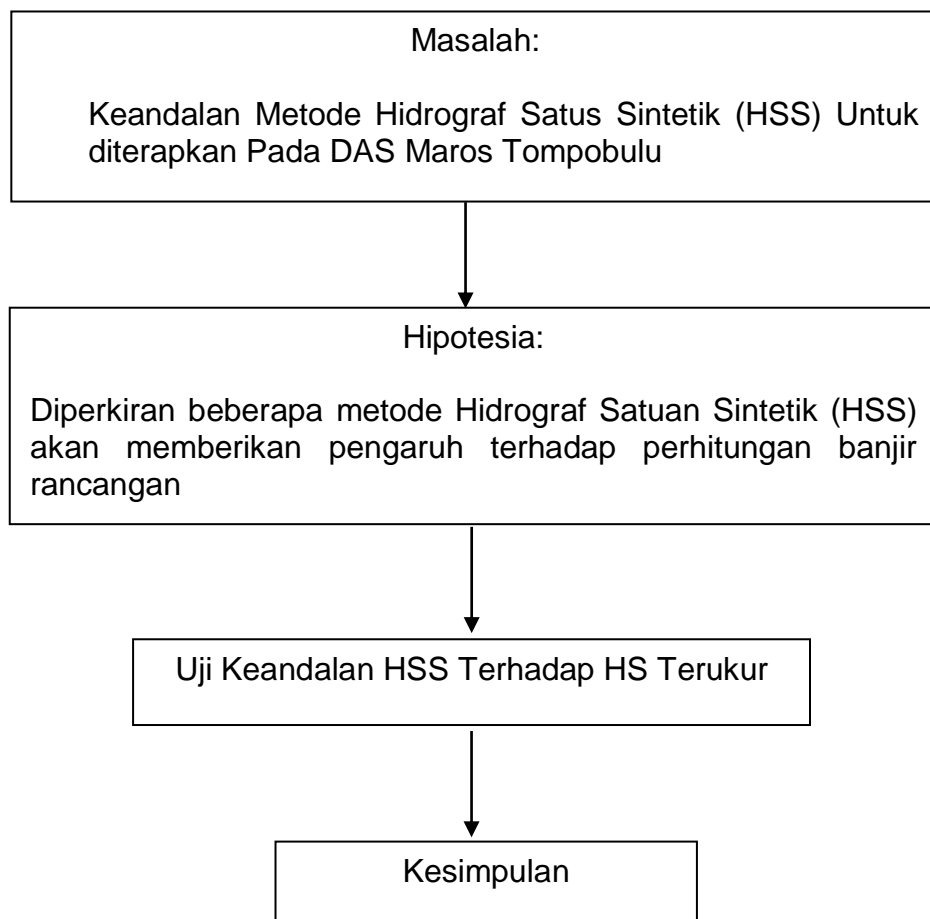
Y_{HS} = Debit puncak Hidrograf Satuan Terukur

Y_{HSS} = Debit puncak Hidrograf satuan sintetik

E. Hipotesis

Diperkirakan beberapa metode Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) diatas akan memberikan pengaruh terhadap perhitungan banjir rancangan untuk diterapkan pada daerah kajian, mengingat masing-masing metode hidrograf satuan mencakup parameter yang berbeda-beda maka akan terdapat perbedaan ketelitianantara metode tersebut. Untuk itu dilakukan kajian terhadap keandalan setiap metode tersebut dan metode Hidrograf Satuan terukur adalah sebagai pembandingnya.

F. Kerangka Pikir Penelitian



BAB III

METODE PENELITIAN

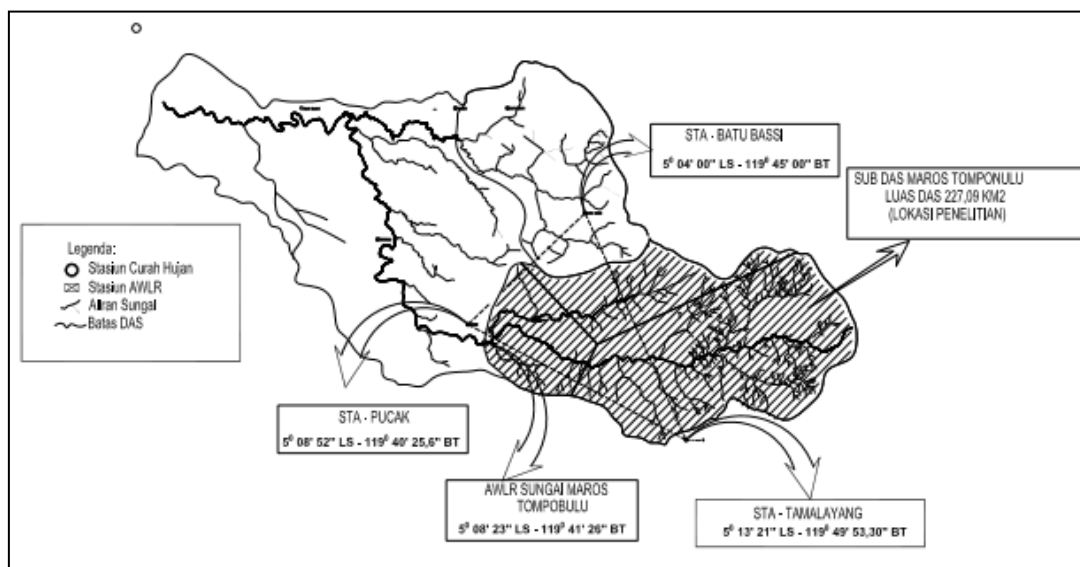
1. Tempat Dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan dengan mengambil Daerah Aliran Sungai (DAS) Maros sebagai titik tinjau tepatnya adalah DAS Maros. secara administratif DAS terletak di wilayah Kabupaten Maros dan Kabupaten Gowa di provinsi Sulawesi Selatan, tepatnya berada di Kecamatan Marusu, Maros Baru, Turikale, Mandai, Tanrili, Simbang, dan Bantimurung serta Cenrana dan Tompobulu Kabupaten Maros dan Kecamatan Tinggi Moncong Kabupaten Gowa. Dan secara geografis terletak antara $4^{\circ} 58' 40''$ LS dan $119^{\circ} 55' 38''$ BT. Daerah Aliran Sungai (DAS) Maros termasuk bagian dari satuan wilayah sungai Jeneberang. Yang menjadi subject dalam penelitian adalah DAS Maros sub DAS Maros Tompobulu dengan luas $227,09 \text{ Km}^2$ dengan panjang sungai 31.5 Km.

2. Prosedur penelitian dan Sumber Data

Secara umum data yang digunakan dalam penelitian adalah data-data sekunder yang diperoleh dari Balai Wilayah Sungai Pompengan Provinsi Sulawesi Selatan, Data yang dimaksud adalah:

- 1) Peta Topografi DAS, Peta topografi diperoleh dari Bakosurtanal (Badan Koordinasi Survei Dan Pemetaan Nasional), Skala 1:50.000 atau instansi terkait
- 2) Data hujan harian dengan alat ukur penakar hujan manual dan otomatis
- 3) Data debit dengan alat ukur papan duga (staff gauge)
- 4) Data elevasi muka air dengan alat ukur tinggi muka air otomatis AWLR (*Automatic Water Level Recorder*)
- 5) Data Karakteristik DAS
 - a) Luas DAS
 - b) Panjang sungai
 - c) Kemiringan sungai



Gambar 14: Peta DAS Sungai Maros Sub DAS Maros

3. Teknik pengumpulan dan Pengolahan data

1. Teknik Pengumpulan Data

Data yang digunakan adalah data sekunder, data Sekunder adalah data yang diperoleh secara tidak langsung atau dari catatan-catatan terdahulu. Data ini diperoleh dari instansi-instansi terkait seperti Dinas Balai Besar Pompengan Wilayah Sungai jeneberang serta Dinas Pengelolaan Sumber Daya Air propinsi Sulawesi Selatan dan lain-lain.

Adapun data sekunder yang digunakan antara lain :

- a) Peta Topografi, untuk mengetahui DAS dan luas DAS sungai Bantimurung.
- b) Data hidrologi, untuk mengetahui karakteristik aliran sungai, debit air banjir sehingga dapat menentukan debit banjir rancangan, yaitu antara lain data elevasi muka air dengan kejadian banjir tanggal 3 - 4 Januari 2014 untuk dialih ragamkan menjadi debit dan data hujan jam-jaman dari pencatatan hujan otomatis tanggal 3 januari 2014

2. Teknik pengolahan data

Dalam penelitian ini, teknik yng digunakan untuk menghitung curah hujan rata-rata areal digunakan metode poligon thiessen dan untuk

menghitung curah hujan rencana digunakan rumus log pearson type III dan metode gumbel serta uji kesesuaian distribusi digunakan uji parameter statistik

Kebutuhan data untuk masing masing hidrograf satu sintetik adalah seperti yang di cantumkan pada tabel berikut :

- a) Analisis HSS nakayasu yang dapat diperoleh dari pengukuran peta DAS adalah:

Tabel 3: Data-data penentu HSS Nakayasu

Data	Simbol	Satuan	Besaran	Keterangan
Luas DAS	A	Km ²	277,09	
Panjang Sungai	L	Km	31.5	
Hujan Satuan	R ₀	mm	1	

Sumber : Peta DAS Maros

- b) Kebutuhan data untuk analisis HSS Gama I diperoleh dari pengukuran peta DAS skala 1 : 50000 adalah sebagai berikut:

Tabel 4: Data-data penentu HSS GAMA I

Data	Simbol	Satuan	Besaran	Ket
Luas DAS	A	Km ²	277,09	
Panjang sungai	L	Km	31.5	
Kelandaian sungai	S	%	0.002	
Jumlah panjang sungai tingkat 1	ΣP_1	Km	21.631	
Jumlah panjang sungai semua tingkat	ΣPN	Km	70.630	
Jumlah pangsa Sungai tingkat 1	ΣS_1	Buah	31	
Jumlah pangsa sungai semua tingkat	ΣS_T	Buah	61	
Lebar DAS dari titik 0.75 L dari titik Outlet	WU	Km	4.655	
Lebar DAS dari titik 0.25 L dari				

titik Outlet	WL	Km	5.800	
Luas DAS yang diukur dihilu	AU	Km ²	49.510	
Jumlah pertemuan sungai	JN=S ₁ -1	Buah	30	

Sumber : Peta DAS Maros

c) Kebutuhan data untuk analisis HSS Snyder adalah sebagai berikut:

Tabel 5: Data-data penentu HSS Snyder

Data	Simbol	Satuan	Besaran	Ket
Luas DAS	A	Km ²	277	
Panjang sungai	L	Km	31.5	
Jarak titik berat DAS dengan titik tinjau	Lc	Km	5.03	

Sumber : Peta DAS Maros

d) Kebutuhan data untuk analisis HSS SCS (*Soil Conservevation Service*) adalah :

Tabel 6: Data-data penentu HSS SCS (*Soil Conservevation Service*)

Data	Simbol	Satuan	Besaran	Ket
Luas DAS	A	Km ²	277	
Panjang sungai	L	Km	31.5	
Kemiringan rerata	S	%	0.002	
Beda tinggi titik terjauh dengan titik injau	Δh	m	609.5	

Sumber : Peta DAS Maros Tompo bulu

a. Kebutuhan data untuk analisis HSS ITB 1 dan ITB 2 adalah :

Tabel 7: Data-data penentu HSS ITB 1 dan ITB 2

Data	Simbol	Satuan	Besaran	Ket
Luas DAS	A	Km ²	277	
Panjang sungai	L	Km	31.5	

Sumber : Peta DAS Maros Tompo bulu

Pengelompokan pembahasan dibagi menjadi beberapa kelompok antara lain :

- a) Kelompok pertama, pengumpulan data berupa data curah hujan, data tinggi muka air (data AWLR) dan data peta topografi
- b) Kelompok ke dua perhitungan curah hujan rata-rata arela dengan areal menggunakan rumus poligon tiessen
- c) Kelompok ketiga perhitungan curah hujan rencana dengan menggunakan metode terpilih
- d) Kelompok keempat, menguji kesesuaian distribusi dengan menggunakan uji statistik
- e) Kealompok kelima, Menghitung curah hujan rencana untuk beberapa fariasi data (panjang data) dengan metode yang telah ditentukan
- f) Kelompok Keenam, Menghitung debit rencana berdasarkan fariasi hujan rencana
- g) Kelompok ketuju, menghitung Hidrograf Satuan Terukur dan Hidrograf Satuan Sintetik
- h) Menghitung Debit Banjir Rancangan untuk masing-masing HS terukur dan Hidrograf Satuan Sintetik
- i) Kelompok kedelapan, menarik kesimpulan atas hasil berdasarkan hasil perhitungan dan perbandingan.

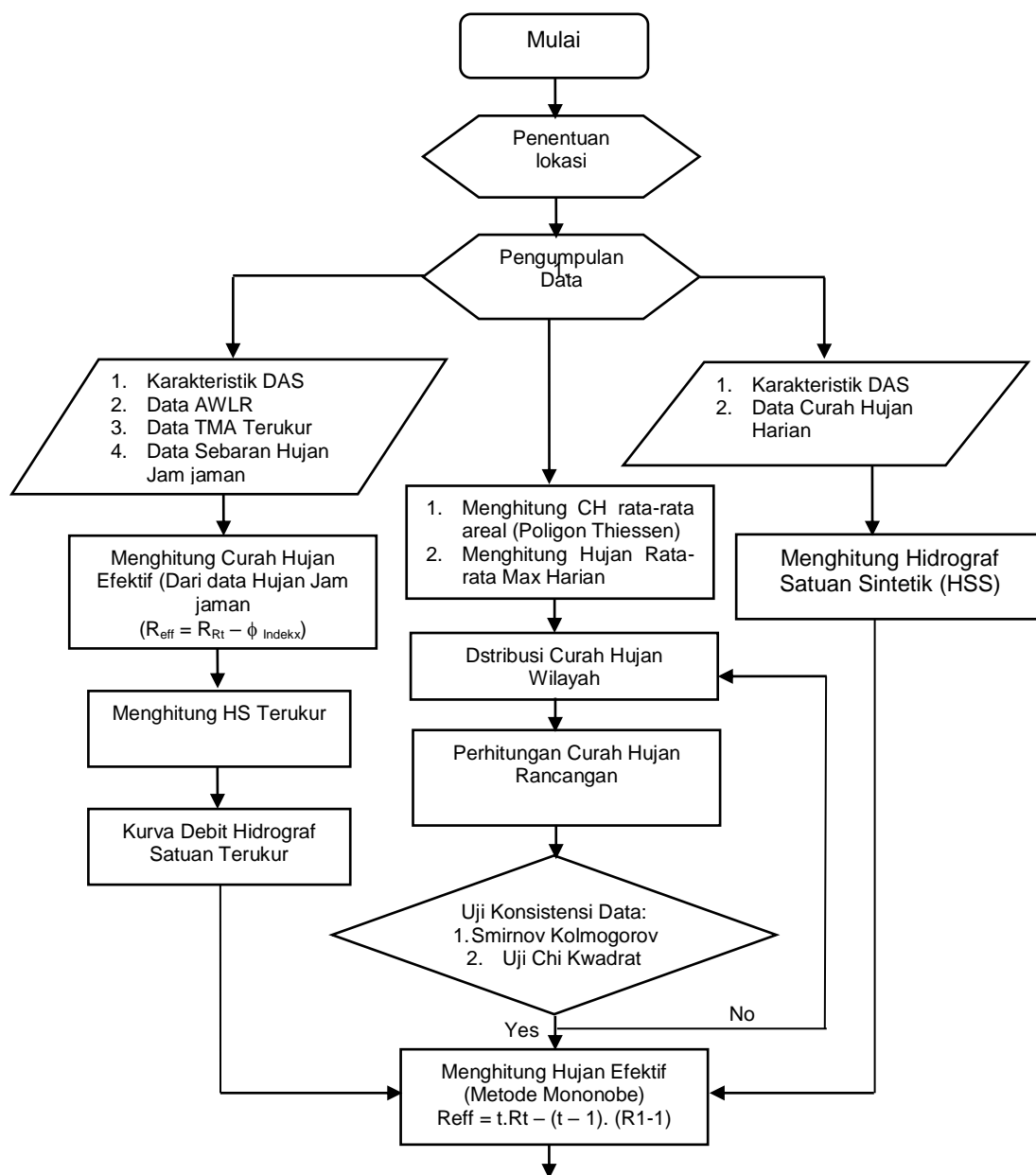
4. Variabel Yang Diteliti

Data yang telah didapat kemudian diolah dan dianalisa sesuai dengan kebutuhannya. Masing-masing data berbeda dalam pengelolaan dan analisisnya. Untuk itu, variabel-variabel yang diteliti dalam penelitian ini adalah seperti yang disajikan pada tabel berikut:

Tabel 8: Variabel yang diteliti

No	Hidrograf Satuan Sintetik	Variabel Penelitian
1	HSS Nakayasu	<ol style="list-style-type: none"> 1. Alfa (α) 2. Waktu hujan sampai debit puncak (tg) 3. Waktu naik (Qa) 4. Waktu turun 1 (Qd₁) 5. Waktu turun 2 (Qd₂) 6. Waktu turun 3 (Qd₃)
2	HSS Snyder	<ol style="list-style-type: none"> 1. Koefisien Slope (Ct) 2. Koefisien Karakteristik (Cp)
3	HSS Soil Conservation Service (SCS)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Curah hujan Efektif (Tc) 2. Tenggang waktu dari titik berat hujan efektif sampai debit puncak (tp) 3. Debit puncak per satuan lebar (qp) 4. Lengku alexeyef (a)
4	HSS Gama 1	<ol style="list-style-type: none"> 1. Waktu puncak (TR) 2. Debit Puncak (QP) 3. Koefisien Resesi (K)

5. Diagram Alur Penelitian



BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

6. Hasil Penelitian

Sebelum melakukan analisis debit banjir rancangan, maka terlebih dahulu dilakukan pengumpulan data. Adapun data-data tersebut digunakan sebagai dasar perhitungan dalam menentukan debit banjir rancangan nantinya. Dalam penelitian ini, hal awal yang dilakukan adalah menentukan luas Daerah aliran sungai (DAS) Sungai Maros Tompobulu, kemudian dilakukan analisis selanjutnya. Setelah melakukan analisa terhadap peta topografi maka diperoleh data-data seperti yang dijelaskan pada Bab III tabel 1 sampai tabel 5

1. Anilisis Curah Hujan Rata-rata Areal

Dalam penelitian ini stasiun curah hujan yang digunakan dalam menentukan curah hujan areal rata-rata adalah :

- a. Stasiun Curah Pucak Lekopancing ($5^{\circ} 08' 52''$ LS– $119^{\circ} 40' 52,6''$ BT)
- b. Stasiu Curah hujan Tamalayang ($5^{\circ} 13' 21''$ LS – $119^{\circ} 49' 53,30''$ BT)
- c. Stasiun Curah Hujan Batu Bassi ($5^{\circ} 04' 0''$ LS – $119^{\circ} 45' 0''$ BT)

Untuk hujan rerata areal digunakan metode poligon thiessen dan untuk menetapkan luas pengaruh masing-masing stasiun curah hujan seperti yang disajikan pada Bab III (gambar 13), sedangkan penentuan

bobot pengaruh masing-masing stasiun curah hujan dilakukan dengan cara membagikan luas pengaruh masing-masing stasiun terhadap luas keseluruhan DAS yaitu :

Luas Total DAS

Luas Pengaruh Stasiun Puca Lekopancing = 38,62 Km²/277.09
= 18 %

Luas Pengaruh Stasiun Tamalayang = 140,46 Km²/277.09
= 62 %

Luas Pengaruh Stasiun Puca Lekopancing = 47,93 Km²/277.09
= 20%

Dari luas pengaruh tiap stasiun curah hujan tersebut diatas maka diperoleh data tinggi hujan maksimum harian yang terjadi pada hari yang sama sebagaimana di sajikan pada lampiran tabel 1.

Untuk rata rata hujan areal diperoleh curah hujan maksimum sebagai berikut :

Tabel 9: Curah hujan maksimum rata-rata diurutkan dari terbesar keterkecil

No	Hujan Maks	No	Hujan Maks
(1)	(2)	(3)	(4)
1	336.84	6	144.33
2	231.91	7	141.56
3	176.33	8	133.61
4	158.07	9	130.28
5	148.89	10	125.63

Lanjutan Tabel 9: Curah hujan maksimum rata-rata diurutkan dari terbesar keterkecil

No	Hujan Max	No	Hujan Max
(1)	(2)	(3)	(4)
11	123.90	20	85.28
12	122.28	21	75.60
13	121.11	22	74.76
14	111.57	23	68.50
15	104.00	24	66.85
16	98.20	25	63.38
17	94.49	26	57.02
18	90.39	27	54.21
19	85.93		

2. Analisis Curah Hujan Rancangan

a. Uji Parameter Statistik

Dalam analisis ini dilakukan perhitungan curah hujan rancangan dengan tiga metode metode Gumbel, Metode Normal dan Metode Log Pearson Type III. Sebelum menentukan metode yang akan digunakan dalam perhitungan selanjutnya maka terlebih dahulu dilakukan uji kesesuaian terhadap ketiga metode tersebut.

Uji kesesuaian distribusi dilakukan dengan cara uji parameter statistik untuk ketiga metode tersebut. Untuk perhitungan uji parameter statistik tiap metode disajikan sebagai berikut:

1) Distribusi Metode Gumbel

Tabel 10: Perhitungan uji parameter statistik untuk metode Gumbel

No	Curah Hujan	Kala Ulang	$(X_i - X_r)$	$(X_i - X_r)^2$	$(X_i - X_r)^3$	$(X_i - X_r)^4$
	(Data)	$(m/n+1)$	$(2) - (n)$	$(4) ^2$	$(4) ^3$	$(4) ^4$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	336.84	0.04	217.40	47262.24	10274755.63	47262.24
2	231.91	0.07	112.47	12649.67	1422718.29	12649.67
3	176.33	0.11	56.89	3235.91	184075.05	3235.91
4	158.07	0.14	38.63	1492.38	57652.39	1492.38
5	148.89	0.18	29.45	867.26	25540.24	867.26
6	144.33	0.21	24.89	619.29	15411.33	619.29
7	141.56	0.25	22.11	489.05	10814.96	489.05
8	133.61	0.29	14.17	200.87	2846.93	200.87
9	130.28	0.32	10.84	117.43	1272.53	117.43
10	125.63	0.36	6.19	38.33	237.28	38.33
11	123.90	0.39	4.46	19.90	88.76	19.90
12	122.28	0.43	2.84	8.08	22.97	8.08
13	121.11	0.46	1.67	2.80	4.67	2.80
14	111.57	0.50	-7.87	61.95	-487.55	61.95
15	104.00	0.54	-15.44	238.49	-3683.01	238.49
16	98.20	0.57	-21.25	451.35	-9588.97	451.35
17	94.49	0.61	-24.95	622.72	-15539.41	622.72
18	90.39	0.64	-29.05	844.00	-24519.59	844.00
19	85.93	0.68	-33.52	1123.30	-37648.01	1123.30
20	85.28	0.71	-34.16	1166.77	-39854.63	1166.77
21	75.60	0.75	-43.84	1922.19	-84273.92	1922.19
22	74.76	0.79	-44.69	1996.78	-89226.94	1996.78
23	68.50	0.82	-50.94	2594.53	-132156.28	2594.53

Lanjutan Tabel 10: Perhitungan uji parameter statistik untuk metode Gumbel

No	Curah Hujan (Data)	Kala Ulang (m/n+1)	(Xi - Xr) (2) - (n)	(Xi - Xr) ² (4) ^2	(Xi - Xr) ³ (4) ^3	(Xi - Xr) ⁴ (4) ^4
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
24	66.85	0.86	-52.59	2765.59	-145439.41	2765.59
25	63.38	0.89	-56.07	3143.34	-176233.12	3143.34
26	57.02	0.93	-62.43	3896.90	-243264.72	3896.90
27	54.21	0.96	-65.23	4254.73	-277528.41	4254.73
Σ	3224.91		0.00	92085.83	10715997.05	92085.83

Jumlah Data (n) = 27

Rata-rata

$$\text{Standr Deviasi (Sx)} \quad S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_{rt})^2}{n - 1}}$$

$$= 38,16$$

$$\text{Koefesien Asimetris (CS)} \quad CS = \frac{n \sum_{i=1}^n (\text{Log } X_i - X_{rt})^3}{(n - 1) \cdot (n - 2) S^3}$$

$$= 0.03$$

$$\text{Koefesien Variasi (CV)} \quad CV = \frac{S}{X_{rt}}$$

$$= 0,31$$

$$\text{Koefesien Kotusis (Ck)} \quad Ck = \frac{1}{n} \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_{rt})^4}{S^4}$$

$$= 0,0007$$

2) Distribusi Metode Normal

Langkah yang dilakukan untuk menguji distribusi normal pada dasarnya sama ketika kita melakukan pengujian terhadap metode Gumbel sehingga parameter-parameter penentu dalam menguji distribusi Normal nilainya sama dengan yang dihasilkan pada pengujian untuk metode Gumbel.

Tabel 11 : Hasil Uji parameter statistik untuk tiap distribusi

Jenis Distribusi	Syarat	Hasil	Keterangan
Normal	Cs = 0.00	Cs = 0.83	Tidak
	Ck = 3.00	Ck = 0.0007	Memenuhi
Gumbel	Cs = 1.1396	Cs = 0.83	Tidak
	Ck = 4.4002	Ck = 0.0007	Memenuhi
Log Pearson Type III	Tidak terikat sifat-sifat seperti pada ketiga distribusi		

b. Uji Smirnov Kolmogorof

Uji Smirnov Kolmogorof dilakukan dengan membandingkan probabilitas tiap data, antara sebaran empiris dan teoritis yang dinyatakan dalam delta (Δ) harga delta terbesar (Δ_{\max}) dibandingkan dengan delta kritis dengan tingkat keyakinan tertentu. Distribusi dianggap sesuai jika Δ_{\max} (Δ_{\max}) lebih kecil dibanding Δ_{kritis} (Δ_{kritis})

Tabel 12: Uji kesesuaian distribusi Smirnov Kolmogorov untuk metode Gumbel

No	Data	$P(X) = \frac{m}{(n+1)}$	$P(< X)$	$(X_i - X_{rt})/S_d$	$(P' = (M/n - 1))$	$P'(X <)$	Delta (Δ)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	336.84	0.036	0.96	3.65	0.04	0.96	0.003
2	231.91	0.071	0.93	1.89	0.08	0.92	0.005
3	176.33	0.107	0.89	0.96	0.12	0.88	0.008
4	158.07	0.143	0.86	0.65	0.15	0.85	0.011
5	148.89	0.179	0.82	0.49	0.19	0.81	0.014
6	144.33	0.214	0.79	0.42	0.23	0.77	0.016
7	141.56	0.250	0.75	0.37	0.27	0.73	0.019
8	133.61	0.286	0.71	0.24	0.31	0.69	0.022
9	130.28	0.321	0.68	0.18	0.35	0.65	0.025
10	125.63	0.357	0.64	0.10	0.38	0.62	0.027
11	123.90	0.393	0.61	0.07	0.42	0.58	0.030
12	122.28	0.429	0.57	0.05	0.46	0.54	0.033
13	121.11	0.464	0.54	0.03	0.50	0.50	0.036
14	111.57	0.500	0.50	-0.13	0.54	0.46	0.038
15	104.00	0.536	0.46	-0.26	0.58	0.42	0.041
16	98.20	0.571	0.43	-0.36	0.62	0.38	0.044
17	94.49	0.607	0.39	-0.42	0.65	0.35	0.047
18	90.39	0.643	0.36	-0.49	0.69	0.31	0.049
19	85.93	0.679	0.32	-0.56	0.73	0.27	0.052
20	85.28	0.714	0.29	-0.57	0.77	0.23	0.055
21	75.60	0.750	0.25	-0.74	0.81	0.19	0.058
22	74.76	0.786	0.21	-0.75	0.85	0.15	0.060
23	68.50	0.821	0.18	-0.86	0.88	0.12	0.063
24	66.85	0.857	0.14	-0.88	0.92	0.08	0.066
25	63.38	0.893	0.11	-0.94	0.96	0.04	0.069
26	57.02	0.929	0.07	-1.05	1.00	0.00	0.071
27	54.21	0.964	0.04	-1.10	1.04	-0.04	0.074

X Rara-rata (X_{rt}) = 124,20

Standard Deviasi (S_d) = 38,157

Δ_{maks} = 0.074

Δ_{kritis} = 0,254 (derajat Kepercayaan 5%)

Karena $\Delta_{Maks} < \Delta_{kritis}$ Maka distribusi dapat diterima

c. Uji Chi Skuare

Uji chi Skuare (X^2) dilakukan untuk menguji kesesuaian distribusi, apakah persamaan distribusi peluang yang telah dipilih dapat mewakili sampel data yang dianalisis. Pengambilan keputusan ini menggunakan parameter X^2

Tabel 13: Uji kesesuaian distribusi Chi Skuare untuk metode Gumbel

No	Probabilitas (%)	O _i	E _i	O _i - E _i	(O _i - E _i) ² /E _i
1	30,516 < 65,516	0.00	4.50	-4.50	4.50
2	65,516 < 100,516	8.00	4.50	3.50	2.72
3	100,516 < 135,516	9.00	4.50	4.50	4.50
4	135,516 < 170,516	7.00	4.50	2.50	1.39
5	170,516 < 205,516	2.00	4.50	-2.50	1.39
6	> 205,516	1.00	4.50	-3.50	2.72
		27.00	27.00	0.00	17.22

$$K = 1 + 3,322 \text{ Log } n$$

$$= 5,755 \implies 6 \text{ Kelas}$$

$$D_k = K - (2+1)$$

$$= 3$$

$$E_i = n/K$$

$$= 4,5$$

$$D_x = (X_{\max} - X_{\min}) / (K-1)$$

$$= 30,516$$

Derajat signifikan 5%, maka diperoleh Hasil X^2_{hitung} 17.222 dan dengan D_{cr} 7,581 sehingga dapat disimpulkan distribusi tak dapat diterima (ditolak) sebab Hasil_{hitung} > D_{cr}

Dengan melihat tabel diatas, maka dapat disimpulkan bahwa untuk menghitung curah hujan rancangan maka metode yang digunakan adalah metode Log Pearson Type III.

3. Analisis Curah Hujan Efektif

Curah hujan efektif rata-rata pada penelitian ini dihitung dengan persamaan

$$R_t = R_o \times \left(\frac{6}{T}\right)^{\frac{2}{3}}$$

$$R_o = \frac{R_{24}}{6}$$

$$RT = t \times R_t - (t - 1) \times (R_t - 1)$$

Dimana :

R_t = Curah hujan sampai jam ke T

T = Waktu hujan sampai jam ke T

R_{24} = Curah hujan maksimum harian

t = Waktu konsentrasi hujan untuk menjadi banjir
(waktu hujan terpusat dianggap 6 jam/hari)

Dari persamaan diatas, maka diperoleh intensitas hujan jam-jaman sebagai berikut:

Tabel 14 : Intensitas hujan jam-jaman (untuk T = 1 jam)

No	Jam ke	Rata-rata hujan (Rt) Dari 1 sampai jam ke t	Nisbah Hujan Jam-jaman $RT = t. R_t - (t-1). (R_{t-1})$	Ratio (%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1	0 - 1	0.5503 R ₂₄	0.5503 R ₂₄	55.0321
2	1 - 2	0.3467 R ₂₄	0.1430 R ₂₄	14.3040
3	2 - 3	0.2646 R ₂₄	0.1003 R ₂₄	10.0339
4	3 - 4	0.2184 R ₂₄	0.0799 R ₂₄	7.9880
5	4 - 5	0.1882 R ₂₄	0.0675 R ₂₄	6.7456
6	5 - 6	0.1667 R ₂₄	0.0590 R ₂₄	5.8964

Sehingga diperoleh distribusi hujan jam-jaman sebagai berikut:

Tabel 15 : Distribusi hujan jam-jaman

Waktu	Ratio	Kumulatif	Curah Hujan Rencana					
			5 Tahun	10 Tahun	25 Tahun	50 Tahun	100 Tahun	200 Tahun
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
1	55.0321	55.0	64.22	77.45	94.56	107.44	120.78	134.34
2	14.3040	69.3	16.69	20.13	24.58	27.93	31.39	34.92
3	10.0339	79.4	11.71	14.12	17.24	19.59	22.02	24.49
4	7.9880	87.4	9.32	11.24	13.73	15.60	17.53	19.50
5	6.7456	94.1	7.87	9.49	11.59	13.17	14.80	16.47
6	5.8964	100.0	6.88	8.30	10.13	11.51	12.94	14.39
Hujan Efektif			116.70	140.74	171.83	195.23	219.47	244.11
Koefesien Pengaliran			0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Prob. Hujan Maksimum			155.61	187.65	229.11	260.31	292.63	325.48

4. Analisis Lengkung Debit

Lengkung aliran debit (discharge Rating Curve), adalah kurva yang menunjukkan hubungan antara tinggi muka air dan debit pada lokasi penampang sungai tertentu. Debit sungai adalah volume air yang melalui penampang basah sungai dalam satuan waktu tertentu yang biasanya dinyatakan dalam satuan m^3/dt atau liter/dt

Lengkung aliran dibuat berdasarkan data pengukuran aliran yang dilaksanakan pada muka air dan waktu yang berbeda-beda. Kemudian data pengukuran aliran tersebut digambarkan pada kertas aritmatik atau kertas logaritmik, tergantung pada lokasi yang bersangkutan. Tinggi muka air (TMA) digambarkan pada sumbu vertikal sedangkan debit dengan sumbu horisontal. Untuk perhitungan data tinggi muka air dan debit pada DAS Maros dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 16 : Data tinggi muka air dan Debit sungai Maros Tahun 2005 - 2015

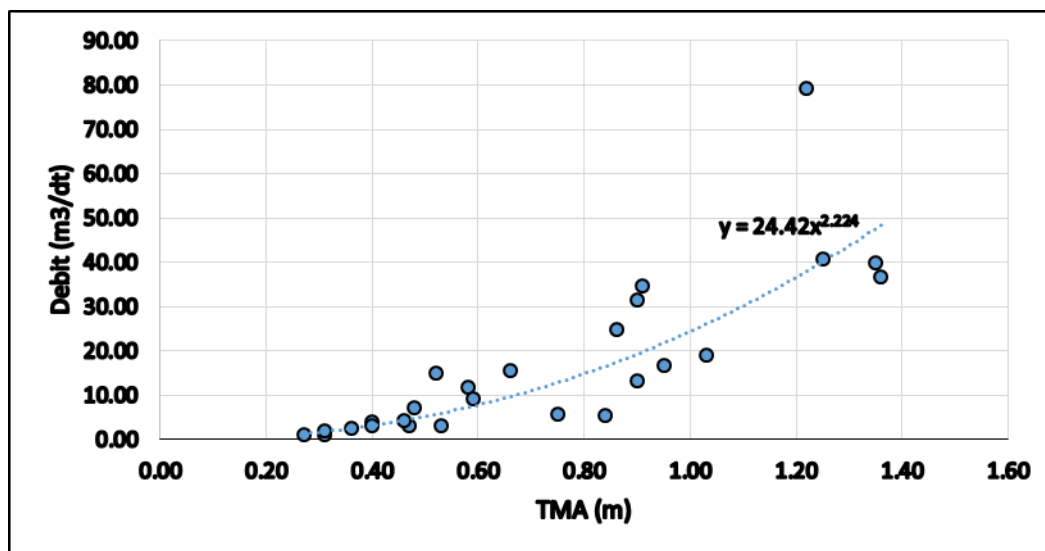
No	Tanggal	H	Q	No	Tanggal	H	Q
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	25-08-05	0.31	0.99	14	10-10-09	0.27	1.18
2	23-12-05	0.91	34.65	15	18-01-10	1.25	40.89
3	24-01-06	1.22	79.27	16	22-05-10	1.03	18.94
4	15-05-06	0.58	11.77	17	18-08-10	0.53	3.11
5	14-06-06	0.59	9.19	18	24-01-11	0.86	24.87
6	12-08-06	0.36	2.66	19	29-06-11	0.40	3.94
7	28-12-06	0.52	14.89	20	14-12-11	0.84	5.43
8	07-12-17	0.75	5.85	21	12-07-13	0.90	31.57
9	09-01-08	1.36	36.85	22	04-04-14	0.90	13.28

Lanjutan Tabel 16 : Data Tinggi Muka Air dan Debit sungai Maros tahun 2005 - 2015

No	Tanggal	H	Q	No	Tanggal	H	Q
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
10	27-06-08	0.47	3.03	23	27-06-14	0.66	15.65
11	29-10-08	0.31	2.08	24	20-08-14	0.40	3.13
12	14-02-09	1.35	40.03	25	29-11-14	0.48	7.20
13	24-06-09	0.46	4.36	26	14-01-15	0.95	16.74

Sumber : Balai besara Wilayah sungai Pompengan Jeneberang

Dari data pada tabel tersebut diatas, maka dapat dibuat grafik lengkung aliran pada DAS Maros sub DAS Maros Tompobulu dengan menggunakan grafik linear regresi sehingga muncul persamaan $Q = 24.42X^{2.224}$ sebagai berikut :



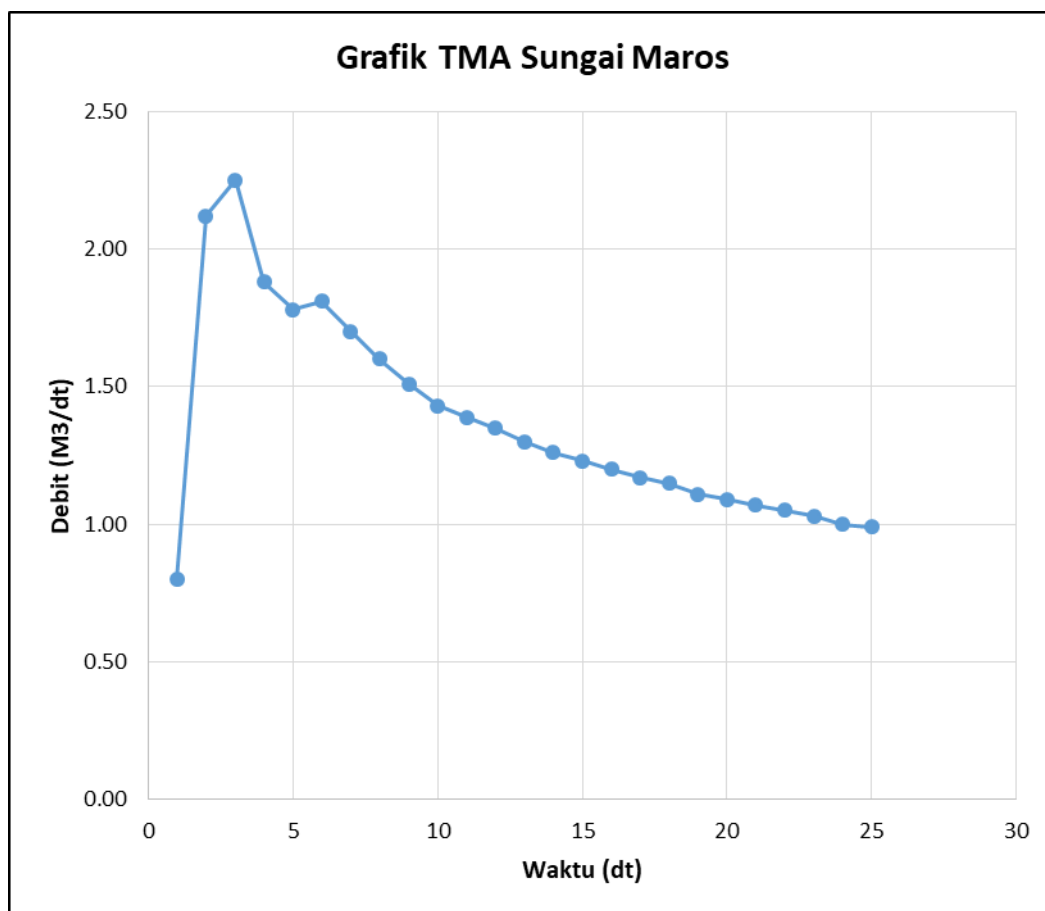
Gambar 15 : Grafik lengkung debit Sungai Maros

5. Analisis Perhitungan Hidrograf Satuan Terukur

Sebagaimana data AWLR yang disajikan pada tabel 17 maka dapat digambarkan sebuah grafik tinggi muka air amatan yang terjadi pada tanggal 4 – 5 Januari 2015 sebagai berikut:

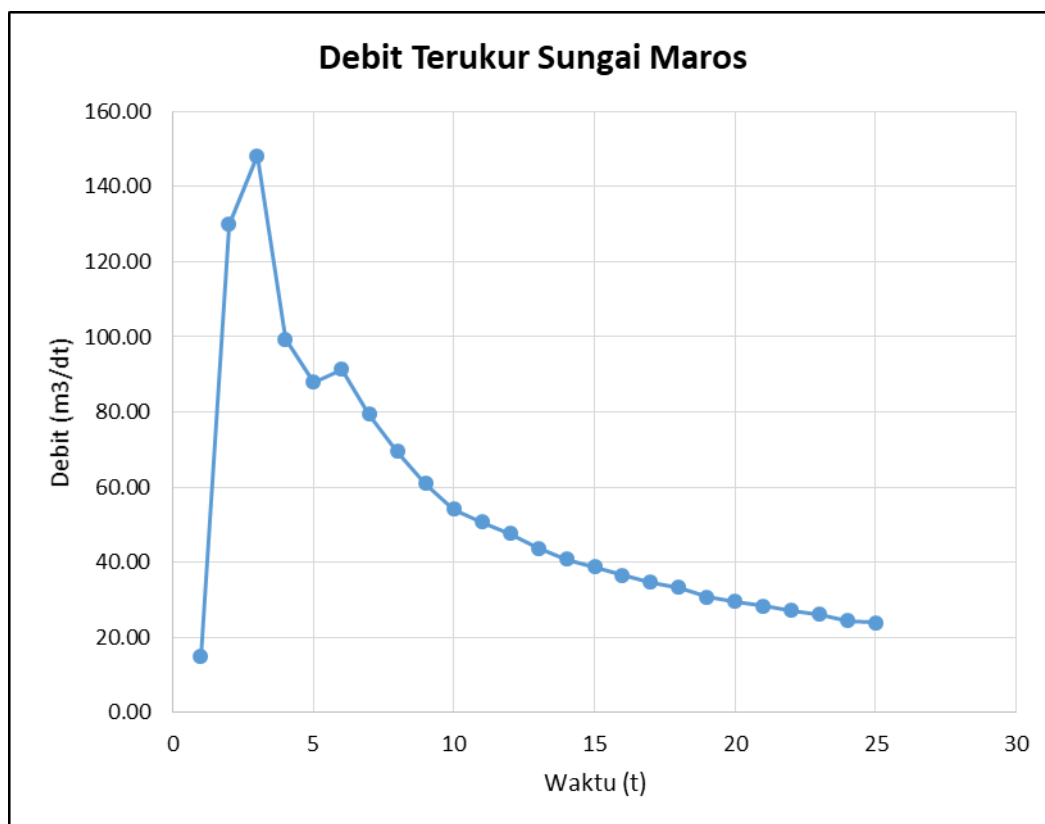
Tabel 17 : Data tinggi muka air dan Debit Sungai Maros

Jam Ke	Jam	h/m	Q (m ³ /dtk)	Jam Ke	Jam	h/m	Q (m ³ /dtk)
1	2	3	4	5	6	7	8
0	12.00	0.80	14.8668	13	01.00	1.26	40.8291
1	13.00	2.12	129.8723	14	02.00	1.23	38.6985
2	14.00	2.25	148.2517	15	03.00	1.20	36.6307
3	15.00	1.88	99.4198	16	04.00	1.17	34.6251
4	16.00	1.78	88.0399	17	05.00	1.15	33.3225
5	17.00	1.81	91.3740	18	06.00	1.11	30.7995
6	18.00	1.70	79.4811	19	07.00	1.09	29.5789
7	19.00	1.60	69.4558	20	08.00	1.07	28.3854
8	20.00	1.51	61.0647	21	09.00	1.05	27.2189
9	21.00	1.43	54.1020	22	10.00	1.03	26.0793
10	22.00	1.39	50.7938	23	11.00	1.00	24.4200
11	23.00	1.35	47.6001	24	12.00	0.99	23.8802
12	24.00	1.30	43.7679				



Gambar 16 : Tinggi muka Air Terukur Sungai Maros

Dari tinggi muka air terukur Sungai Maros Tompobulu yang telah disajikan pada data diatas, maka dilakukan pengalihragaman tinggi muka air menjadi debit amatan dengan menggunakan persamaan regresi $Q = 24.42X^{2.224}$ dan hasilnya dapat dilihat pada tabel 18 serta digambarkan sebagai berikut:



Gambar 17 : Grafik Debit Terukur Sungai Maros

6. Analisa Hujan Efektif Jam-jaman Data Terukur

Sebagaimana yang telah dijelaskan bahwa dalam menetapkan hujan efektif, untuk memperoleh hidrograf, maka dilakukan perhitungan dengan indek infiltrasi dengan persamaan Barnest

$$\phi = 10.4003 - 3.859 \times 10^{-6} \times A + 1.6985 \times 10^{-13} (A/SN)^4$$

Maka indek infiltrasi adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \phi &= 10.4903 - 3.859 \times 10^{-6} \times 277.09^2 + 1.6985 \times 10^{-13} \times (277.09/0.306^4) \\ &= 10.194 \end{aligned}$$

Tabel 18 : Analisa perhitungan curah hujan Efektif

Tanggal	Jam	Hujan Rata-rata	Index ϕ (mm/Jam)	Hujan Efektif (mm/Jam)
03-01-14	23.00 - 24.00	3.520	10.194	0.00
	24.00 - 01.00	4.210	10.194	0.00
	01.00 - 02.00	7.820	10.194	0.00
	03.00 - 04.00	10.580	10.194	0.39
	04.00 - 05.00	14.980	10.194	4.79
	05.00 -06.00	10.880	10.194	0.69
	06.00 -07.00	8.920	10.194	0.00
	07.00 -08.00	6.640	10.194	0.00
	08.00 - 09.00	4.450	10.194	0.00

7. Perhitungan Hidrograf Limpasan Langsung

Untuk pemisahan aliran dasar dengan hidrograf limpasan langsung digunakan metode *variabel slope metode*, adapun hasil analisis pemisahan aliran dasar dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 19 : Analisa perhitungan limpasan langsung

Jam Ke	Jam	H (m)	Q (m ³ /dt)	Aliran Dasar	Limpasan Langsung	Volume Limpasan Langsung
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	12.00	0.800	14.867	14.867	0.000	0.000
2	13.00	2.120	129.872	15.070	114.802	413288.369
3	14.00	2.250	148.252	15.620	132.632	477473.994
4	15.00	1.880	99.420	15.740	83.680	301247.141
5	16.00	1.780	88.040	16.130	71.910	258875.789
6	17.00	1.810	91.374	16.480	74.894	269618.531
7	18.00	1.700	79.481	16.650	62.831	226192.086
8	19.00	1.600	69.456	16.920	52.536	189128.870
9	20.00	1.510	61.065	17.371	43.694	157297.762
10	21.00	1.430	54.102	17.597	36.505	131418.580
11	22.00	1.390	50.794	18.192	32.602	117367.146
12	23.00	1.350	47.600	18.377	29.223	105203.198
13	24.00	1.300	43.768	18.845	24.923	89723.508
14	01.00	1.260	40.829	19.176	21.653	77951.501
15	02.00	1.230	38.699	19.462	19.236	69250.479
16	03.00	1.200	36.631	19.800	16.831	60592.178
17	04.00	1.170	34.625	20.287	14.338	51618.594
18	05.00	1.150	33.323	20.533	12.790	46043.662
19	06.00	1.110	30.800	21.170	9.630	34666.276
20	07.00	1.090	29.579	21.381	8.198	29511.402
21	08.00	1.070	28.385	21.787	6.598	23753.198
22	09.00	1.050	27.219	22.301	4.918	17705.900
23	10.00	1.030	26.079	22.560	3.519	12670.139
24	11.00	1.000	24.420	22.821	1.600	5758.200
25	12.00	0.990	23.880	23.880	0.000	0.000
					Jumlah	3,166,356.50

8. Analisis Perhitungan Hidrograf Satuan Collins

Sesuai dengan penjelasan terdahulu, prosedur perhitungan satuan Collins dilakukan dengan tahapan-tahapan dibawa ini dan hasil analisis perhitungan dapat dilihat pada tabel 24 dan tabel 25 :

- a. Menentukan hidrograf limpasan langsung pengamatan dengan memisahkan aliran dasar dari hidrograf pengamatan
- b. Menentukan volume limpasan langsung yang diakibatkan oleh hujan 1 mm
- c. Menentukan lebar dasar hidrograf
- d. Menentukan ordinat hidrograf satuan awal coba – coba (1) atau satuan awal dengan cara poin (b) – poin (c)
- e. Menentukan hidrograf limpasan langsung yang diakibatkan oleh hujan efektif di DAS bersangkutan, kecuali nilai hujan efektif terbesar R_{maks}
- f. Mencari selisih antara ordinat hidrograf limpasan langsung Q (amatan) dikurang dengan Q Limpasan (model)
- g. Mencari $ut-1$ pada masing-masing ordinat dengan cara point (f) [$(Q-amatan) - (Q-limpasan) / Reffmaks$]
- h. Mencari faktor perubahan luas $DAS / \sum \text{poin-(g)} / 1000$ maka didapat nilai $P = 0,611886$
- i. Untuk mendapatkan $ut-jus$ dilakukan dengan masing masing ordinat [$(Qamatan) - (Q-limpasan) / Reff maks \times \text{nilai } P$]

- j. Menentukan nilai F dengan cara $\Sigma Q\text{-Model} / \Sigma Q\text{-Amatan}$, maka nilai $F = 7,122782$
- k. Mencari ut^* dengan cara masing masing ordinat = ($ut\text{-jus} \times F$) maka didapat nilai ut^*
- l. Mencari nilai $ut\text{-r}$ dengan cara masing-masing ordinat = ($ut\text{-1} \times F$) maka didapat nilai dari $ut\text{-r}$
- m. Mencari nilai akhir atau $ut\text{-2}$ dengan cara masing masing ordinat = ($ut\text{-r} \times (\text{luas das}/3600) \Sigma ut\text{-r} \times 1000$), maka didapat nilai $ut\text{-2}$
- n. Jika volume $ut\text{-2}$ belum sama dengan volume $ut\text{-awal}$, maka coba-coba ini dilakukan sampai mendapatkan hasil yang relatif sama (toleransi 4%)

Tabel 20: Perhitungan Hidrograf Satuan metode Collins (coba-coba 1)

Jam Ke	Ut Awal	Hujan Efektif			Q Limpasan (Model)	Q Terukur	Q Terukur - Q Limpasan	(8) / Reff Max	Ut Jus	F x Ut Jus	Ut-1*	Ut-2
		0.39	0.69	4.79								
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
0	0.000				0.000	0.000	0.000	0.000	0	0.000	0	0
1	4.528	0.000			0.000	114.802	114.802	23.988	11.2961	95.855	10.583	10.453
2	4.528	1.747	0.000		1.747	132.632	130.885	27.349	12.8786	109.283	11.998	11.851
3	4.528	1.747	3.105		4.852	83.680	78.828	16.471	7.75637	65.818	7.416	7.325
4	4.528	1.747	3.105		4.852	71.910	67.058	14.012	6.59826	55.991	6.380	6.302
5	4.528	1.747	3.105		4.852	74.894	70.042	14.635	6.89189	58.482	6.643	6.561
6	4.528	1.747	3.105		4.852	62.831	57.979	12.115	5.70494	48.410	5.581	5.512
7	4.528	1.747	3.105		4.852	52.536	47.684	9.964	4.69192	39.814	4.675	4.617
8	4.528	1.747	3.105		4.852	43.694	38.842	8.116	3.82191	32.432	3.896	3.849
9	4.528	1.747	3.105		4.852	36.505	31.653	6.614	3.11457	26.429	3.264	3.224
10	4.528	1.747	3.105		4.852	32.602	27.750	5.798	2.73051	23.170	2.920	2.884
11	4.528	1.747	3.105		4.852	29.223	24.371	5.092	2.39804	20.349	2.623	2.590
12	4.528	1.747	3.105		4.852	24.923	20.071	4.194	1.97495	16.759	2.244	2.217
13	4.528	1.747	3.105		4.852	21.653	16.801	3.511	1.65319	14.028	1.956	1.932
14	4.528	1.747	3.105		4.852	19.236	14.384	3.006	1.41538	12.010	1.743	1.722

Lanjutan Tabel 20: Perhitungan Hidrograf Satuan metode Collins (coba-coba 1)

Jam Ke	Ut Awal	Hujan Efektif			Q Limpasan (Model)	Q Terukur	Q Terukur - Q Limpasan	(8) / Reff Max	Ut Jus	F x Ut Jus	Ut-1*	Ut-2
		0.39	0.69	4.79								
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
15	4.528	1.747	3.105		4.852	16.831	11.979	2.503	1.17873	10.002	1.532	1.513
16	4.528	1.747	3.105		4.852	14.338	9.487	1.982	0.93346	7.921	1.312	1.296
17	4.528	1.747	3.105		4.852	12.790	7.938	1.659	0.78108	6.628	1.176	1.162
18	4.528	1.747	3.105		4.852	9.630	4.778	0.998	0.47011	3.989	0.898	0.887
19	4.528	1.747	3.105		4.852	8.198	3.346	0.699	0.32922	2.794	0.772	0.762
20	0.000	1.747	3.105		4.852	6.598	1.746	0.365	0.17183	1.458	0.154	0.152
21	0.000	0.000	3.105		3.105	4.918	1.813	0.379	0.17842	1.514	0.160	0.158
	86.025			Σ RU	92.184		782.241	163.450			77.9241	76.969
							Σ (Q - RU)	Σ (Q - RU)/R _{eff}			Σ (Q - RU)/R _{eff}	

Luas Das	=	277.1	Km ²	
Vol. Limp Langsung	=	A . 1 mm hujan		
	=	277090	M ³	
Jumlah Ordinasi Hidrograf (n)	=	19	Jam	(tidak termasuk harga nol pada jam awal dan akhir)
Jumlah Jam hujan Efektif (j)	=	3	Jam	
Jumlah ordinasi hidrograf Satuan (k)	=	19	Jam	

$$\begin{aligned} \text{Lebar dasar Hidrograf (tb)} &= 17 \text{ Jam} \quad (\text{tidak termasuk harga nol pada jam awal dan akhir}) \\ \text{Ut Awal} &= (A. 1 \text{ mm hujan}) / (\text{tb. } 3600 \text{ detik}) \\ &= 4.528 \text{ M}^3/\text{dt}/\text{mm} \\ \text{Faktor Perubah (P)} &= (\text{Luas DAS}/3600) / \Sigma(Q-RU) / \text{Reff Max} \\ &= 0.471 \\ \text{Faktor Kalibrasi (F)} &= \Sigma (Q-RU) / RU = 8.486 \quad q = 0.988 \end{aligned}$$

Tabel 21: Perhitungan Hidrograf Satuan metode Collins (coba-coba 7)

Jam Ke	Ut Awal	Hujan Efektif			Q Limpasan (Model)	Q Terukur	Q Terukur - Q Limpasan	(8) / Reff Max	Ut Jus	F x Ut Jus	Ut-1*	Ut-2
		0.39	0.69	4.79								
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
0	0.000				0.000	0.000	0.000	0.000	0	0.000	0	0
1	11.142	0.000			0.000	114.802	114.802	23.988	11.2961	95.855	11.280	11.142
2	12.455	4.298	0.000		4.298	132.632	128.333	26.815	12.6275	107.153	12.609	12.455
3	6.914	4.805	7.641		12.446	83.680	71.234	14.884	7.00913	59.477	6.999	6.913
4	5.891	2.667	8.541		11.209	71.910	60.701	12.684	5.97276	50.683	5.964	5.891
5	6.587	2.273	4.741		7.014	74.894	67.880	14.184	6.67913	56.677	6.669	6.588
6	5.459	2.541	4.040		6.581	62.831	56.250	11.753	5.53475	46.966	5.527	5.459
7	4.456	2.106	4.518		6.624	52.536	45.912	9.593	4.51757	38.335	4.511	4.456
8	3.710	1.719	3.744		5.463	43.694	38.231	7.988	3.76177	31.921	3.756	3.710
9	3.107	1.431	3.056		4.487	36.505	32.018	6.690	3.15042	26.734	3.146	3.107
10	2.801	1.199	2.545		3.743	32.602	28.859	6.030	2.83958	24.096	2.835	2.801
11	2.524	1.081	2.131		3.211	29.223	26.012	5.435	2.55945	21.719	2.556	2.524
12	2.138	0.974	1.921		2.895	24.923	22.029	4.603	2.16752	18.393	2.164	2.138
13	1.853	0.825	1.731		2.556	21.653	19.097	3.990	1.87908	15.945	1.876	1.853
14	1.655	0.715	1.466		2.181	19.236	17.055	3.564	1.67815	14.240	1.676	1.655

Lanjutan Tabel 21: Perhitungan Hidrograf Satuan metode Collins (coba-coba 7)

Jam Ke	Ut Awal	Hujan Efektif			Q Limpasan (Model)	Q Terukur	Q Terukur - Q Limpasan	(8) / Reff Max	Ut Jus	F x Ut Jus	Ut-1*	Ut-2	
		0.39	0.69	4.79									
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	
15	1.448	0.639	1.271		1.910	16.831	14.922	3.118	1.46822	12.459	1.466	1.448	
16	1.227	0.559	1.135		1.694	14.338	12.645	2.642	1.24419	10.558	1.242	1.227	
17	1.099	0.473	0.993		1.467	12.790	11.323	2.366	1.11417	9.455	1.113	1.099	
18	0.812	0.424	0.842		1.266	9.630	8.364	1.748	0.82298	6.984	0.822	0.812	
19	0.692	0.313	0.754		1.067	8.198	7.131	1.490	0.70164	5.954	0.701	0.692	
20	0.560	0.267	0.557		0.824	6.598	5.774	1.207	0.56818	4.821	0.567	0.560	
21	0.410	0.216	0.475		0.691	4.918	4.228	0.883	0.41597	3.530	0.415	0.410	
76.942		Σ RU			81.626		792.798	165.65649			77.8958	76.942	
							Σ (Q - RU)	Σ (Q - RU)/R _{eff}					Σ (Q - RU)/R _{eff}

$$\text{Luas Das} = 277.1 \text{ Km}^2$$

$$\text{Vol. Limp Langsung} = A \cdot 1 \text{ mm hujan}$$

$$= 277090 \text{ M}^3$$

$$\text{Jumlah Ordinat Hidrograf (n)} = 19 \text{ Jam} \quad (\text{tidak termasuk harga nol pada jam awal dan akhir})$$

$$\text{Jumlah Jam hujan Efektif (j)} = 3 \text{ Jam}$$

Lebar Dasar Hidrograf (tb) = 17 Jam (tidak termasuk harga nol pada jam awal dan akhir)

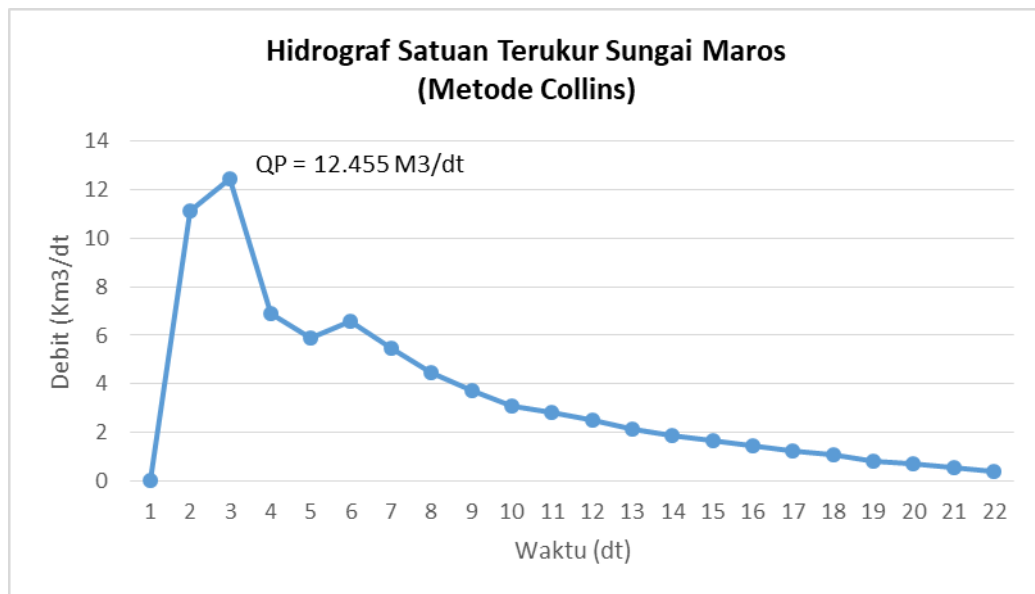
$$\begin{aligned} \text{Ut awal} &= (A \cdot 1\text{mmhujan}) / (\text{tb} \cdot 3600) \\ &= 4.528 \text{ m}^3/\text{dt}/\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Faktor Perubah (P)} &= (\text{Luas DAS} / 3600) / \Sigma(Q-RU) / \text{Reff}_{\text{Maks}} \\ &= 0,4646 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Faktor Kalibrasi} &= \Sigma(Q-RU) / RU \\ &= 9,7126 \quad q = 0,988 \end{aligned}$$

Lebar dasr Hidrograf = 17 Jam (tidak termasuk Harga nol pada jam awal dan akhir)

Perhitungan cara Collins tersebut diatas dilakukan hitungan coba-coba sebanyak tujuh kali sehingga mendapat nilai jumlah Ut awal dan Ut-2 yang sama yaitu 76.942, jadi dengan demikian dapat digambarkan hidrograf satuannya sebagai berikut:



Gambar 18: Grafik Hidrograf Satuan Terukur Metode Collins

9. Analisis Perhitungan

Hidrograf Satuan Sintetik

a. Analisis perhitungan HSS Nakayasu

Dalam proses analisis, terlihat bahwa parameter yang berpengaruh terhadap perubahan waktu mencapai puncak dan debit puncak adalah parameter alpha dan parameter tg, ordinat sebelum mencapai waktu puncak dipengaruhi oleh pangkat dari t/T_p , serta ordinat turunnya dipengaruhi oleh prosentase penurunan hidrograf (0,3 – 0,5) tergantung karakteristik DAS nya. Langkah perhitungannya sebagai berikut :

Data yang dibutuhkan

Luas DAS = 277.09 Km²

Panjang sungai Utama = 30. 51 Km

Ro = 1 mm (Hujan satuan)

$$\alpha = 2$$

Waktu hujan sampai debit puncak (t_g) ; $L > 15$ Km

$$\begin{aligned} T_g &= 0,4 + 0,058 \cdot L \\ &= 2.169958 \end{aligned}$$

Waktu Hujan (t_r)

$$\begin{aligned} T_r &= 0,5 T_g \\ &= 1,085 \text{ Jam} \end{aligned}$$

Waktu Mencapai Puncak (T_p)

$$\begin{aligned} T_p &= T_g + 0,8 T_r \\ &= 3.037 \text{ Jam} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} T_{0,3} &= \alpha \times t_g \\ &= 4,339 \text{ Jam} \end{aligned}$$

$$T_p + T_{0,3} = 7.37657 \text{ Jam}$$

$$T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3} = 13.8853 \text{ Jam}$$

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

$$= 14,278 \text{ M}^3/\text{dts}$$

Bentuk Hidrograf Satuan diberikan oleh persamaan berikut:

a. Pada Kurva Naik ($0 < t < T_p$)

$$\begin{aligned} Q_t &= Q_{\max} (t/T_p)^{2,4} \\ &= 0.835 \text{ M}^3/\text{dt} \end{aligned}$$

b. Pada Kurva Turun Q_{t_1} ($T_p < t < T_p + T_{0,3}$)

$$Q_t = Q_{\max} \cdot 0,3^{(t-T_p/T_{0,3})}$$

$$= 9,198 \text{ M}^3/\text{dt}$$

c. Pada Kurva Turun Qt_2 ($T_p + T_{0,3} < t < T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3}$)

$$Qt = Q_{max} \cdot 0,3 \left(\frac{(t - T_p + 0,5 \cdot T_{0,3})}{(1,5 \cdot T_{0,3})} \right)$$

$$= 3.838 \text{ M}^3/\text{dt}$$

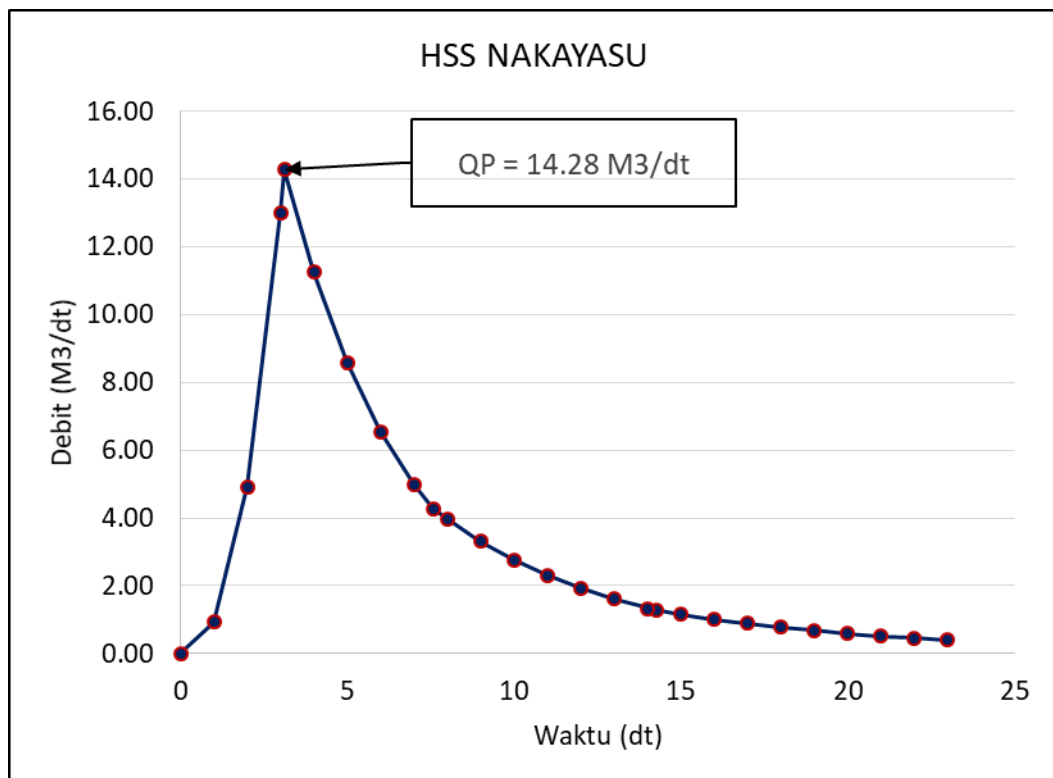
d. Pada Kurva Turun Qt_3 ($t > T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3}$)

$$Qt = Q_{max} \cdot 0,3 \left(\frac{(t - T_p + 0,5 \cdot T_{0,3})}{(2 \cdot T_{0,3})} \right)$$

$$= 1.064 \text{ M}^3/\text{dt}$$

Tabel 22 : Perhitungan Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu

t (Jam)	Q (M ³ /dt)	Ket
0	0.00	
1	0.93	
2	4.92	Qa
3	13.01	
3.1186	14.28	
4	11.25	
5	8.59	
6	6.55	Qt ₁
7	5.00	
7.5738	4.28	
8	3.97	
9	3.31	
10	2.77	
11	2.31	
12	1.93	Qt ₂
13	1.61	
14	1.35	
15	1.12	
14.257	1.29	
16	1.02	
17	0.89	
18	0.77	Qt ₃
19	0.68	



Gambar 19 : Grafik Hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu

b. Hidrograf Satuan Sintetis GAMA I

Analisis dengan dengan parameter yang cukup lengkap diharapkan memberikan hasil yang yang lebih mendekati. Angka-angka empirik yang terdapat pada pada persamaan-persamaan hampir tidak memberikan pengaruh terhadap perambatan hidrograf jika dilakukan trial and error. Hasil perhitungan hidrograf satuan yaitu:

Data yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:

luas DAS (A)	(Data)	277.09 km ²
panjang Sungai Utama (L)	(Data)	31.51 km
panjang Sungai Tingkat 1 (P1)	(Data)	125.90 km

panjang sungai semua Tingkat (PN)	(Data)	314.75 km
panjang Sungai Tingkat 1 (S1)	(Data)	194.00 km
panjang Sungai Semua Tingkat (ST)	(Data)	338.00 km
lebar DAS di Titik 0,25 L dari Outlet (WL)	(Data)	8.98 km
lebar DAS di Titik 0,75 L dari Outlet (WU)	(Data)	11.998 km
luas DAS di Hulu (AU)	(Data)	128.26 km ²
kemiringan Sungai (S)	(Data)	0.002 %
faktor Sumber (SF)	(L1/LN)	0.57
frekuensi Sumber (SN)	(P1/PN)	0.40
faktor Lebar (WF)	(WU/WL)	1.34
luas Relatif DAS sebelah Hulu (RUA)	(AU/A)	0.46 km ²
faktor Simetri (SIM)	(WF x RUA)	0.62
jumlah Pertemuan Sungai (JN)	(Data)	166.00
kepadatan Jaringan Kuras (D)	(LN/A)	1.22

Dari data diatas, dapat dihitung hidrograf satuan sebagai berikut :

- 1) Menghitung waktu puncak (TR)

$$TR = 0,34 \times \left(\frac{L}{100 \times SF} \right)^3 + 1,0665 \text{ SIM} + 1,2775$$

$$= 1.691 \text{ Jam}$$

- 2) Menghitung debit puncak (QP)

$$Q_p = 0,1836 \times A^{0,5886} \times TR^{-0,4008} \times JN^{0,2381}$$

$$= 12,238 \text{ M}^3/\text{dt}$$

- 3) Menghitung waktu dasar (TB)

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

$$= 24,729 \text{ Jam}$$

- 4) Menghitung nilai koreksi resesi (K)

$$5) \quad K = 0,5617 \times A^{0,1798} \times S^{-0,1446} \times SF^{-0,0897} \times D^{0,0452}$$

$$= 4.045$$

- 6) Menghitung aliran dasar (QB)

$$QB = 0,4715 A^{0,6444} \times D^{0,9430}$$

$$= 22.63 \text{ M}^3/\text{dt}$$

- 7) Menghitung indeks Fi (Φ)

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

$$= 10.323 \text{ mm/jam}$$

- 8) Persamaan lengkung turun

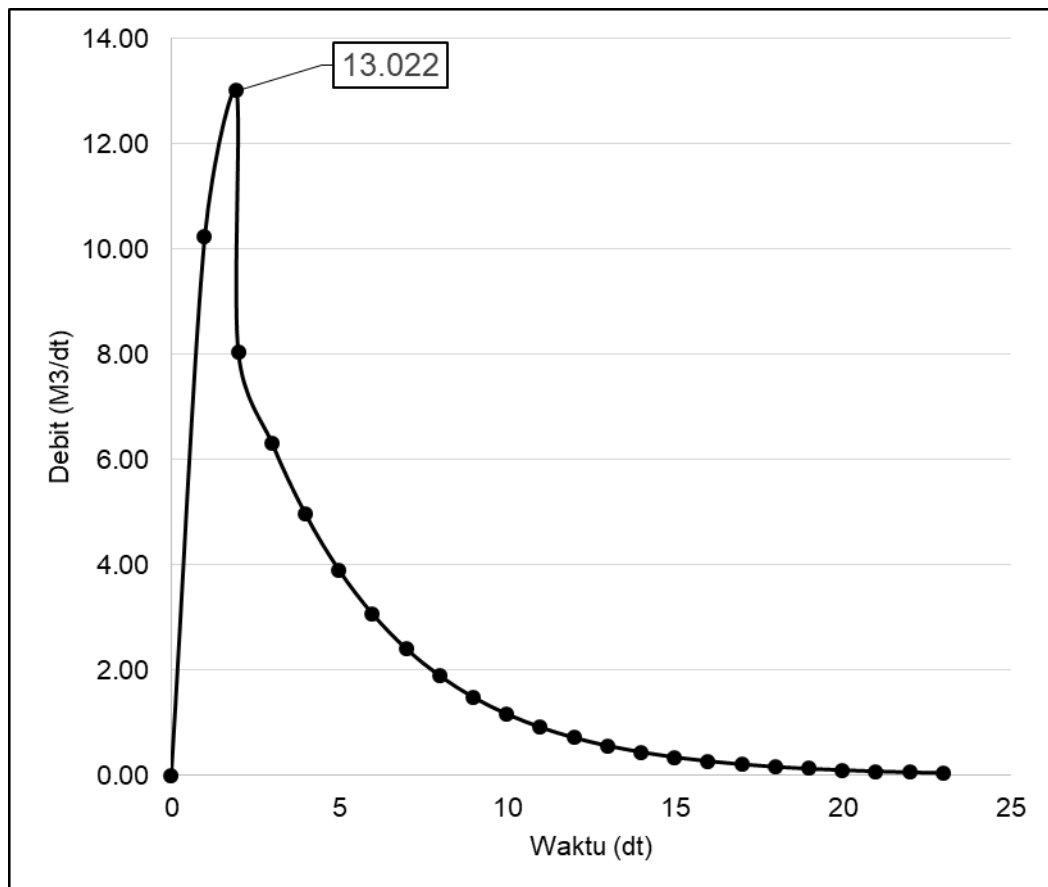
$$Qt = Qp \times e^{-\frac{t}{K}}$$

e = bilangan napir dengan nilai 2,2718

Dengan hasil perhitungan diatas maka dapat dilihat Hidrograf satuan dari HSS GAMA 1 sebagai mana tabel 24, dan grafik hidrograf satuan diunjukkan pada gambar 19 berikut:

Tabel 23 : Perhitungan Hidrograf Satuan Sintetik GAMA 1

t	Qt	Ket
0	0.00	Tr
1	10.24	
1.9393	13.022	Qp
2	8.047	Qt
3	6.325	
4	4.972	
5	3.909	
6	3.073	
7	2.415	
8	1.899	
9	1.492	
10	1.173	
11	0.922	
12	0.725	
13	0.570	
14	0.448	
15	0.352	
16	0.277	
17	0.218	
18	0.171	
19	0.134	
20	0.106	



Gambar 20 : Grafik HSS GAMA I

c. Hidrograf Satuan Sintetik Snyder

Untuk analisis dengan metode snyder terlihat bahwa faktor pengaruh perambatan hidrograf yang dominan adalah koefesien empiris C_t dan C_p . Hasil perhitungan sebagai berikut:

Data yang dibutuhkan

Luas Das (A) = 277.09 Km²

Panjang Sungai (L) = 30.51 Km

Jarak titik berat dengan Outlet (L_c) = 8.32 Km

Koefesien Slope Basin (C_t) = antara 1,1 s/d 1,4

Koefesien karektiristik basin (C_p) = antara 0,15 s/d 0,19

Tinggi hujan (h) = 1 mm

Tenggang waktu dari titik durasi hujan efektif tD ke puncak (tp)

$$\begin{aligned} t_p &= C_t (L \cdot L_c)^n \quad ; n = 0,3 ; C_t = 1,7 \\ &= 1,6529 \text{ Jam} \end{aligned}$$

Debit Maksimum Hidrograf satuan per satuan luas

$$\begin{aligned} q_p &= 275 \times (C_p/t_p) \quad ; C_p = 0,17 \\ &= 28,2824 \text{ M}^3/\text{dt} \end{aligned}$$

Lamanya curah hujan efektif (te)

$$\begin{aligned} t_e &= t_p/5,5 \\ &= 0,301 \text{ Jam} \end{aligned}$$

Waktu mencapai puncak (Tp)

$$\begin{aligned} T_p &= t_p' + 0,5 t_r \\ &= 2.228 \text{ Jam} \end{aligned}$$

Debit Puncak (Qp)

$$\begin{aligned} Q_P &= q_p \times (1/1000) \times A \\ &= 7.8837 \text{ M}^3/\text{dt} \end{aligned}$$

Lengkung Alexeyef

$$\begin{aligned} W &= 1000 \times h \times A \\ &= 227090 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda &= (Q_p \times T_p \times 3600)/W \\ &= 0,147 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X &= t/T_p \\ &= 0,449 \end{aligned}$$

$$Y = 10^{-\alpha \left(\frac{1-X^2}{X} \right)}$$

Dari hasil perhitungan diatas, maka hasil perhitungan hidrograf satuan seperti yang disajikan pada tabel 25 dan grafik hisrograf satuan pada gambar 20.

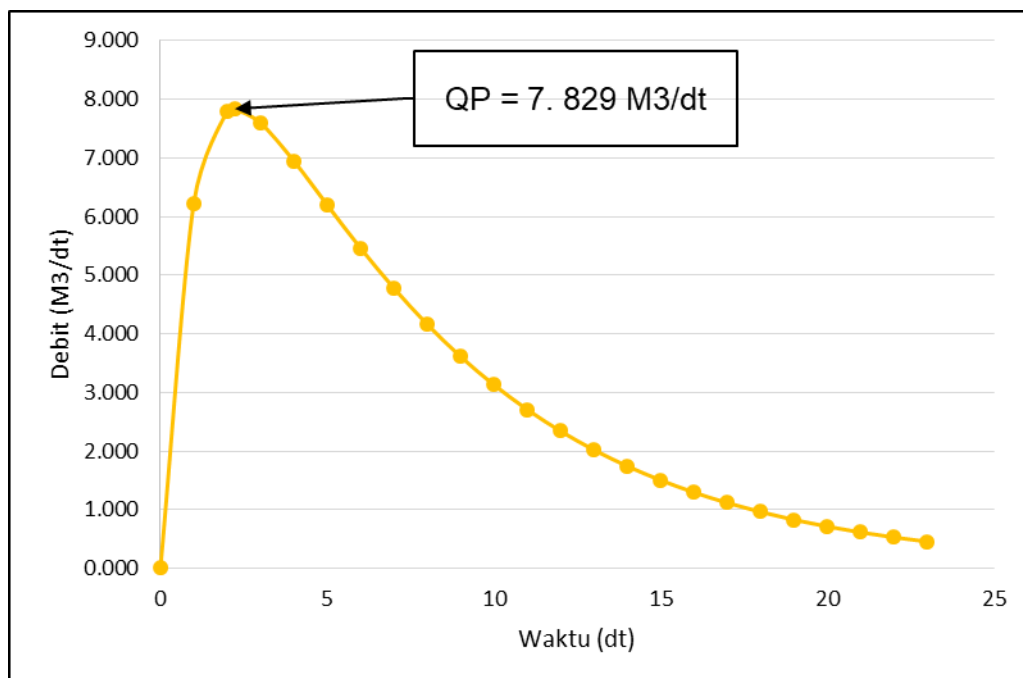
Tabel 24 : Perhitungan Hidrograf Satuan Sintetik Snyder

t (Jam)	X	Y	Q (m3/dt)
(1)	(2)	(3)	(4)
0	0.00	0.0000	0.000
1	0.45	0.7950	6.224
2	0.90	0.9960	7.798
2.23	1.00	1.0000	7.829
3	1.35	0.9704	7.598
4	1.79	0.8879	6.952
5	2.24	0.7923	6.203
6	2.69	0.6981	5.465
7	3.14	0.6107	4.781
8	3.59	0.5318	4.164
9	4.04	0.4618	3.615
10	4.48	0.4001	3.132
11	4.93	0.3461	2.710
12	5.38	0.2991	2.342
13	5.83	0.2583	2.022
14	6.28	0.2228	1.745
15	6.73	0.1921	1.504

Lanjutan Tabel 24 : Perhitungan Hidrograf Satuan Sintetik Snyder

t (Jam)	X	Y	Q (m ³ /dt)
(1)	(2)	(3)	(4)
16	7.18	0.1656	1.297
17	7.62	0.1427	1.117
18	8.07	0.1229	0.962
19	8.52	0.1058	0.829
20	8.97	0.0911	0.713
21	9.42	0.0784	0.614
22	9.87	0.0675	0.528
23	10.31	0.0581	0.455

Sumber : Hasil perhitungan



Gambar 21 : Grafik HSS Snyder

d. Hidrograf Satuan Sintetik SCS (SOIL Conservation Service)

Parameter yang berpengaruh pada proses perambatan hidrograf satuan sintetik metode SCS ini antara lain T_p yang dipengaruhi oleh T_r dan t_p dan α , dimana masing-masing parameter tersebut berpengaruh terhadap waktu mencapai puncak t_p , Q_P dan sisi turun. Untuk menggambarkan grafik hidrograf satuan maka dilakukan perhitungan sebagai berikut:

Data yang dibutuhkan

Luas DAS (A) = 277,09 Km²

Panjang sungai utama (L) = 30.15 Km

Kemiringan rerata sungai (S) = 0,002 %

Beda tinggi titik terjauh (ΔH) = 609,5 m

Koefesien C = 2.08

R_o = 1 mm

1) Waktu Konsentrasi (T_c)

$$\begin{aligned} T_c &= 0,869 \times (L^3/\Delta H)^{0,385} \\ &= 3,8136 \text{ Jam} \end{aligned}$$

2) Curah Hujan Efektif (t_r)

$$\begin{aligned} t_r &= 0,133 \times T_c \\ &= 0,5072 \text{ Jam} \end{aligned}$$

3) Tenggang waktu dari titik berat hujan eff sampau debit puncak (t_p)

$$t_p = 0,6 \times T_c = 2,2882 \text{ Jam}$$

4) Waktu mencapai Puncak (T_p)

$$\begin{aligned} T_p &= 0,5 \times t_r + t_p \\ &= 2,5418 \text{ Jam} \end{aligned}$$

5) Debit puncak persatuan lebar (q_p)

$$\begin{aligned} q_p &= 2,75 \times (C/t_p) \\ &= 2,4998 \text{ m}^3/\text{dt}/\text{Km} \end{aligned}$$

6) Debit Puncak total (QP)

$$\begin{aligned} QP &= (q_p \times A \times R_o)/100 \\ &= 5,6768 \text{ M}^3/\text{dt} \end{aligned}$$

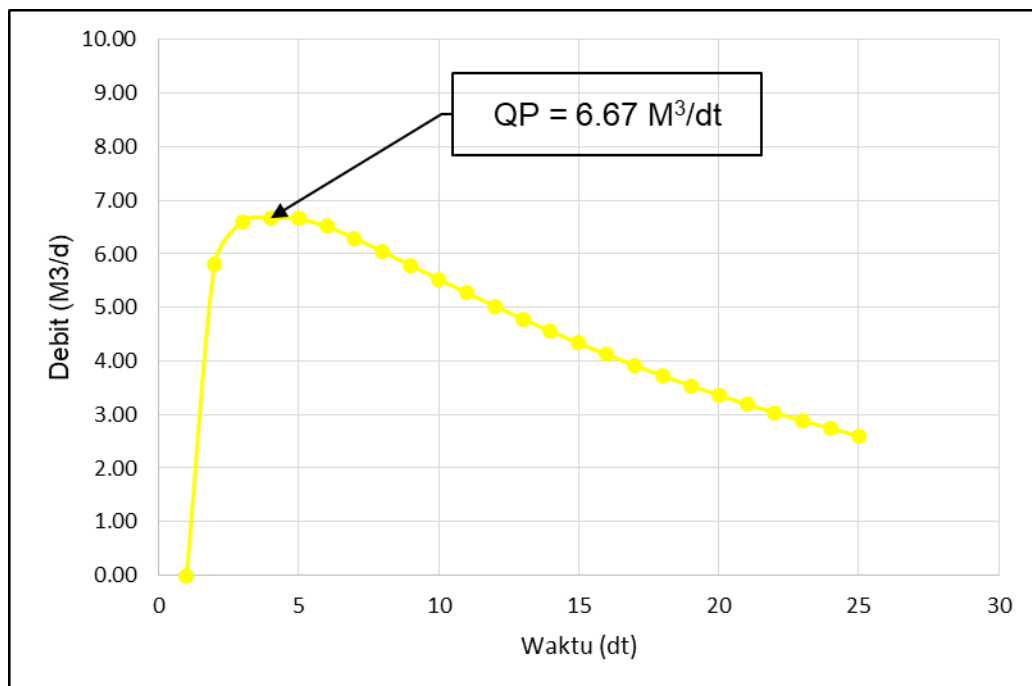
7) Lengkung Aexeyef

$$\begin{aligned} \lambda &= (QP \times T_p)/h \times A \quad ; h = \text{tinggi hujan } 1 \text{ mm} \\ &= 0,0635 \\ a &= 1,32 \times \lambda^2 + 0,5\lambda + 0,045 \\ &= 0,059 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas, maka dapat dihitung rambatan debit tiap waktu. Hasilnya dapat dilihat pada tabel 26 dan gambar 21.

Tabel 25: Perhitungan Hidrograf Satuan Sintetik Soil Conservation Service (SCS)

t (Jam)	X	Y	Q (m ³ /dt)
(1)	(2)	(3)	(4)
0	0.00	0.00	0.00
1	0.38	0.87	5.80
2	0.76	0.99	6.60
2.64	1.00	1.00	6.67
3	1.14	1.00	6.66
4	1.52	0.98	6.51
5	1.90	0.94	6.30
6	2.27	0.91	6.05
7	2.65	0.87	5.79
8	3.03	0.83	5.53
9	3.41	0.79	5.28
10	3.79	0.75	5.03
11	4.17	0.72	4.79
12	4.55	0.68	4.56
13	4.93	0.65	4.33
14	5.31	0.62	4.12
15	5.69	0.59	3.92
16	6.06	0.56	3.73
17	6.44	0.53	3.54
18	6.82	0.50	3.36
19	7.20	0.48	3.20
20	7.58	0.46	3.04
21	7.96	0.43	2.88
22	8.34	0.41	2.74
23	8.72	0.39	2.60



Gambar 22 : Grafik HSS Soli Conservation Service (SCS)

e. Hidrograf Satuan Sintetik ITB

Hidrograf satuan Sintetik ITB sangat sederhana dalam keperluan data hali ini disebabkan kita hanya memerlukan Luas DAS dan Panjang Sungai, berikut langkah penyelesaiannya:

Kebutuhan data

Luas Areal (A) = 277.09 Km²

Panjang sungai utama (L) = 31,5 Km

Tinggi hujan = 1 mm

Durasi hujan (Tr) = 1 Jam

1) Menghitung waktu puncak (TP) dan waktu dasar (Tb)

Koefesien Waktu (Ct) = 0,95

2) Time Lag (tl)

$$tl = Ct \cdot 0,8122 L0,6$$

$$= 6.11 \text{ Jam}$$

3) Waktu Puncak (Tp)

$$Tp = tp + 0,5 Tr$$

$$= 6.61 \text{ Jam}$$

4) Waktu dasar (Tb)

$$Tb/Tp = 20$$

$$TB = 138,723 \text{ Jam}$$

5) Menghitung Debit Puncak (QP)

$$\text{Koefesien puncak} = 1$$

$$\text{Alpha (a)} = 2.4$$

$$\text{Betha (b)} = 1$$

$$\text{Luas HSS tak berdimensi} = 1.298$$

$$\text{Debit Puncak (QP)} = 8,548 \text{ M3/dt}$$

$$\text{Volume Hujan pada DAS} = 277090.00 \text{ M3}$$

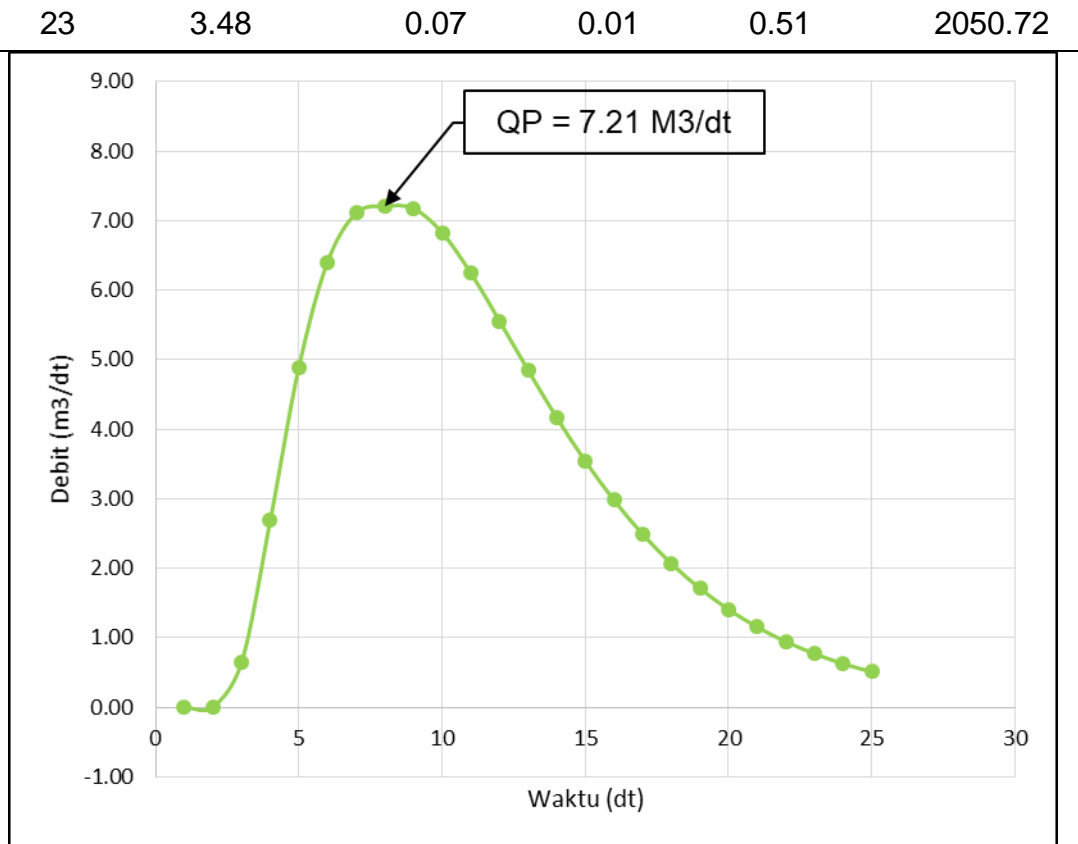
$$\text{Volume Hujan HSS berdimensi} = 277090.00 \text{ M3}$$

$$\text{Tinggi limpasan (DRO)} = 1$$

Dari hasil perhitungan diatas, maka dapat digambarkan rambatan debit setiap waktu, seperti yang disajikan pada tabel 29 sedangkan grafik rambatan debit tiap waktu dapat diligat pada gambar 21.

Tabel 26: Tabel Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) ITB

T (Jam)	HSS Tak Berdimensi			HSS Berdimensi	
	$t = T/T_p$	$q = Q/Q_p$	A	$Q = q \times Q_p$	V (M ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.15	0.00	0.00	0.01	10.21
2	0.30	0.09	0.01	0.64	1171.01
3	0.45	0.37	0.03	2.69	5995.98
4	0.60	0.68	0.08	4.89	13645.54
5	0.76	0.89	0.12	6.41	20343.47
6	0.91	0.99	0.14	7.11	24329.44
6.61	1.00	1.00	0.09	7.21	15835.20
7	1.06	1.00	0.06	7.18	9988.13
8	1.21	0.95	0.15	6.83	25210.31
9	1.36	0.87	0.14	6.25	23538.52
10	1.51	0.77	0.12	5.56	21254.83
11	1.66	0.67	0.11	4.85	18739.88
12	1.81	0.58	0.09	4.17	16233.76
13	1.97	0.49	0.08	3.54	13875.82
14	2.12	0.41	0.07	2.98	11737.68
15	2.27	0.35	0.06	2.49	9847.54
16	2.42	0.29	0.05	2.07	8207.12
17	2.57	0.24	0.04	1.71	6802.96
18	2.72	0.20	0.03	1.41	5613.76
19	2.87	0.16	0.03	1.16	4615.06
20	3.02	0.13	0.02	0.95	3781.98
21	3.17	0.11	0.02	0.77	3090.89
22	3.33	0.09	0.01	0.63	2520.19



Gambar 2 : Grafik Hidrograf Satuan Sintesis (HSS) ITB

7. Uji Penyimpangan Ordinat

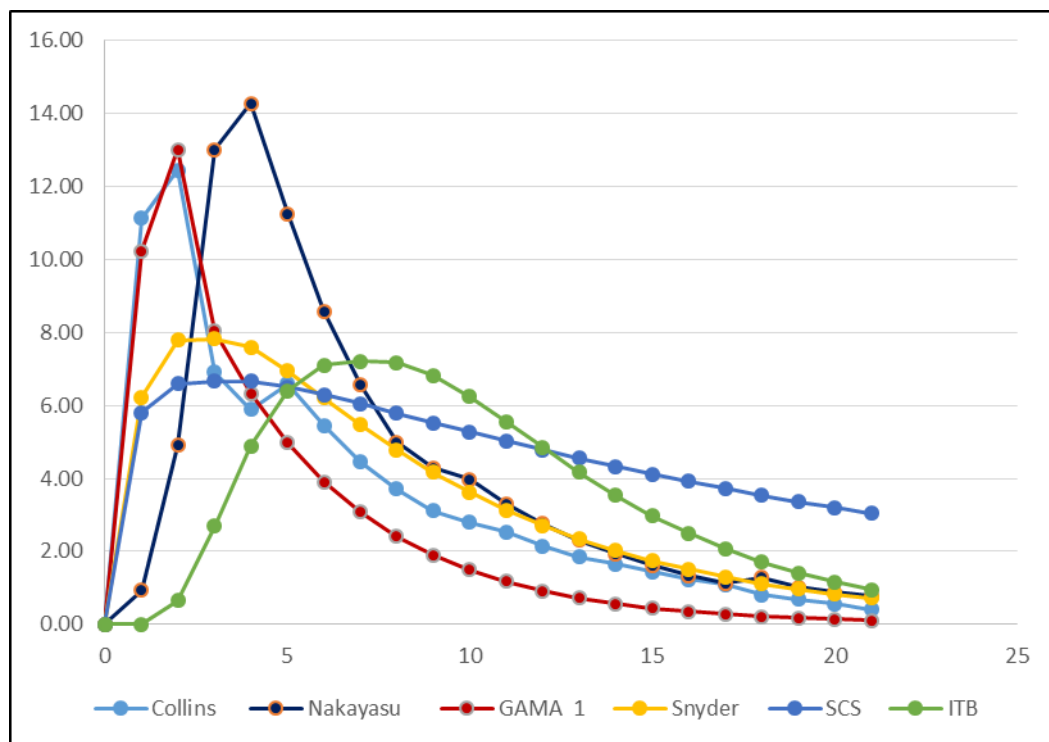
Setelah melakukan perhitungan debit puncak setia metode yang ada, maka dilakukan uji penyimpangan. Adapun hasil perhitungan uji penyimpangan tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel 27: Hasil perhitungan Hidrograf Satuan Terukur dan Hidrograf Satuan Sintetik Sebelum Kalibrasi

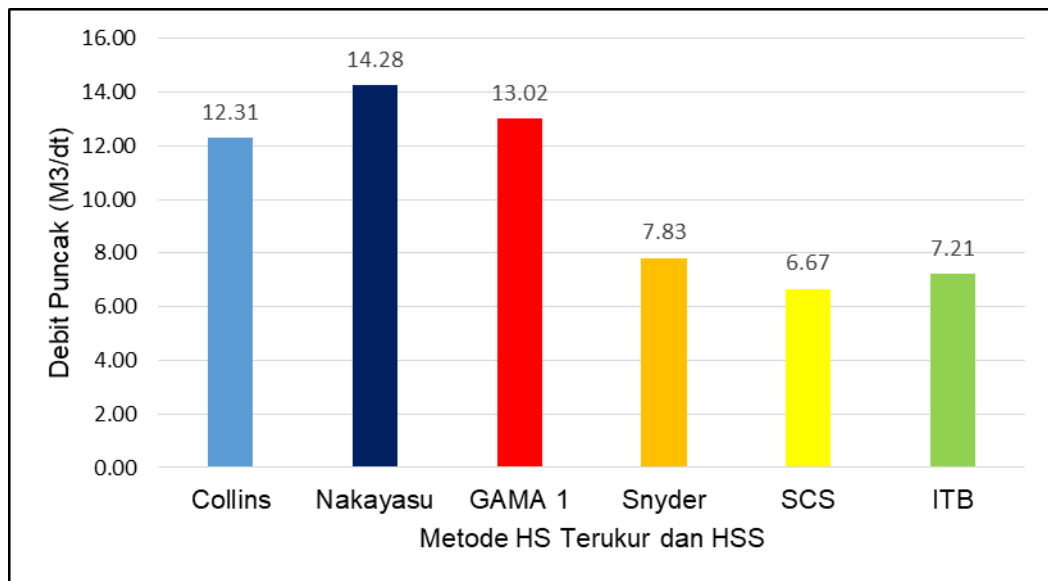
Waktu (Jam)	HS Collins (M ³ /dt)	Metode Hidrograf Satuan Sintetik (HSS)				
		Nakayasu Q (M ³ /dt)	GAMA 1 Q (M ³ /dt)	Snyder Q (M ³ /dt)	SCS Q (M ³ /dt)	ITB Q (M ³ /dt)
		Collins	Nakayasu	GAMA 1	Snyder	SCS
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	11.01	0.93	10.24	6.22	5.80	0.01
2	12.31	4.92	13.02	7.80	6.60	0.64
3	6.85	13.01	8.05	7.83	6.67	2.69
4	5.83	14.28	6.33	7.60	6.66	4.89
5	6.52	11.25	4.97	6.95	6.51	6.41
6	5.40	8.59	3.91	6.20	6.30	7.11
7	4.41	6.55	3.07	5.47	6.05	7.21
8	3.67	5.00	2.42	4.78	5.79	7.18
9	3.07	4.28	1.90	4.16	5.53	6.83
10	2.77	3.97	1.49	3.62	5.28	6.25
11	2.50	3.31	1.17	3.13	5.03	5.56
12	2.12	2.77	0.92	2.71	4.79	4.85
13	1.83	2.31	0.72	2.34	4.56	4.17
14	1.64	1.93	0.57	2.02	4.33	3.54
15	1.43	1.61	0.45	1.74	4.12	2.98
16	1.21	1.35	0.35	1.50	3.92	2.49
17	1.09	1.12	0.28	1.30	3.73	2.07
18	0.80	1.29	0.22	1.12	3.54	1.71
19	0.68	1.02	0.17	0.96	3.36	1.41
20	0.55	0.89	0.13	0.83	3.20	1.16
21	0.41	0.77	0.11	0.71	3.04	0.95

Tabel 28: Hasil Penyimpangan Debit Puncak Metode HSS terhadap Metode HS Terukur Sebelum Dikalibrasi

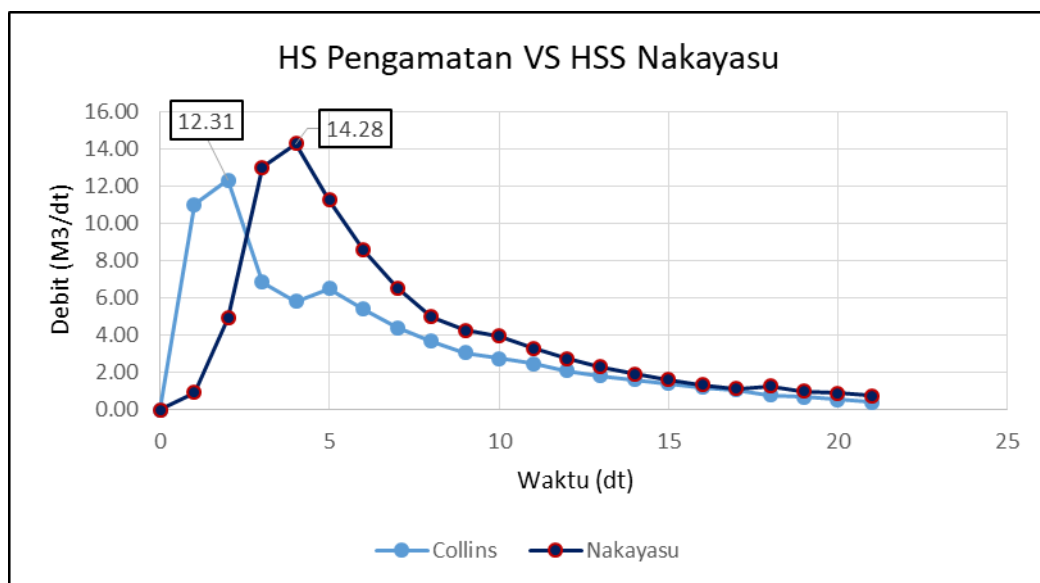
No	HS Terukur Dan HSS	QP HS Terukur dan HSS Q (M ³ /dt)	Δ Qp M ³ /dt)	Penyimpangan (%)
1	Collins	12.45		
2	Nakayasu	14.28	1.82	14.64
3	GAMA 1	13.02	0.57	4.55
4	Snyder	7.83	4.63	37.14
5	SCS	6.67	5.78	46.42
6	ITB	7.21	5.24	42.10



Gambar 24: Perbandingan Debit Puncak HS Terukurcollins VS Hidrograf Satuan Sintetik Sebelum Kalibrasi

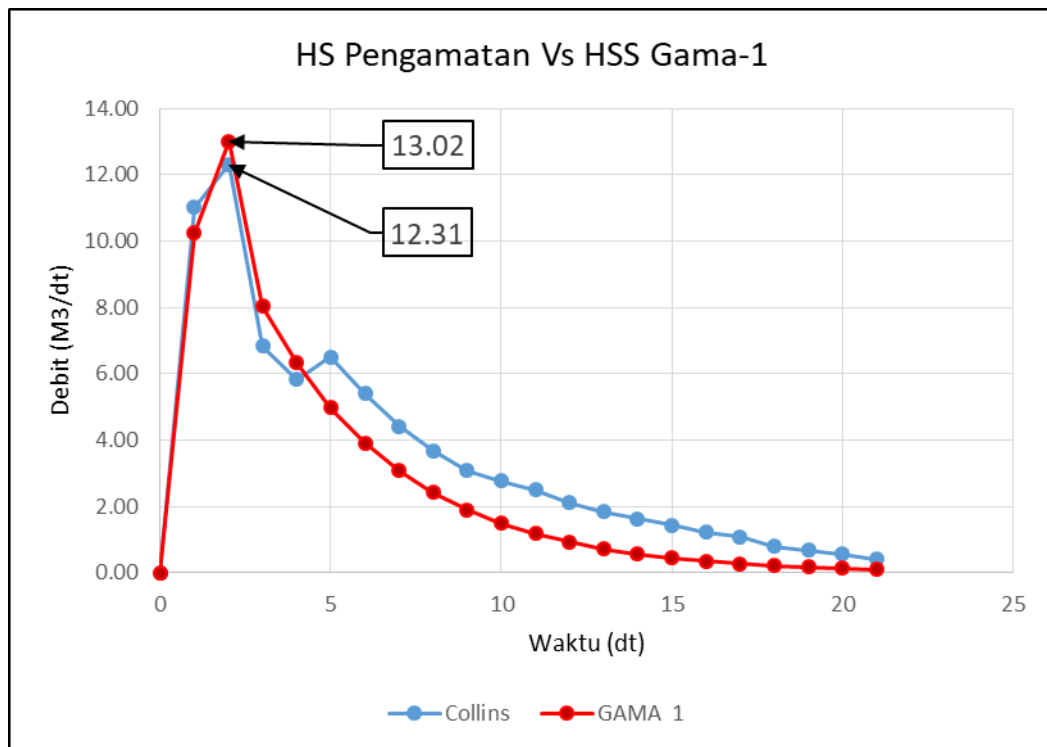


Gambar 25: Grafik Debit puncak HS Terukur dan HSS Sebelum Dikalibrasi



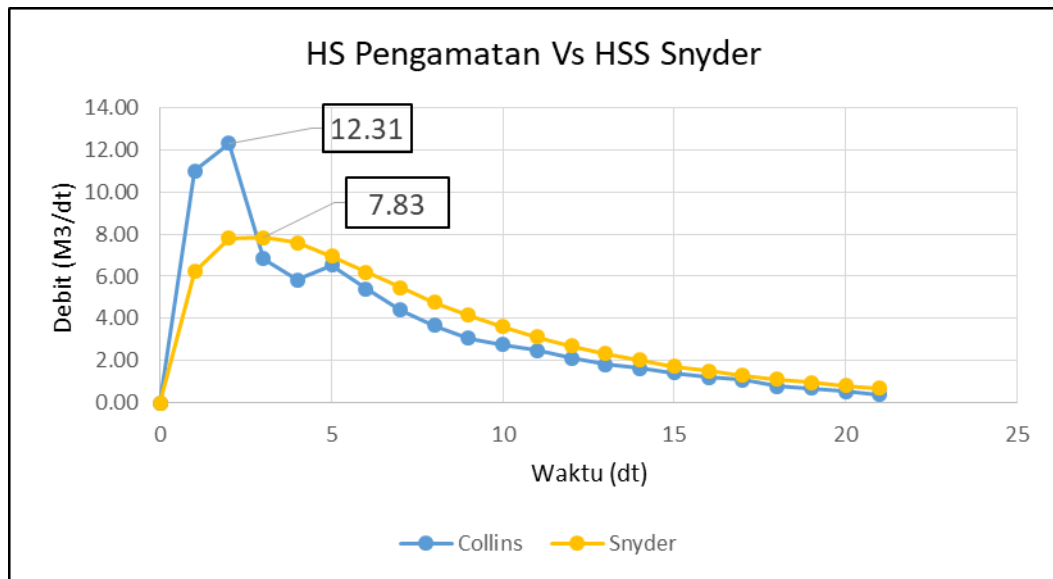
Gambar 26: Debit Puncak HS Pengamatan collins VS HSS Nakayasu

Dari gambar grafik tersebut diatas dapat dilihat bahwa debit puncak antara HS pengamatan sebesar 12,31 M³/dt lebih rendah dibanding HSS antara HS pengamatan sebesar 12,31 M³/dt lebih rendah dibanding HSS nakayasu sebesar 14,28 M³/dt. Ini menunjukkan bahwa penyimpangan HSS nakayasu terjadi sebesar 15.97 %



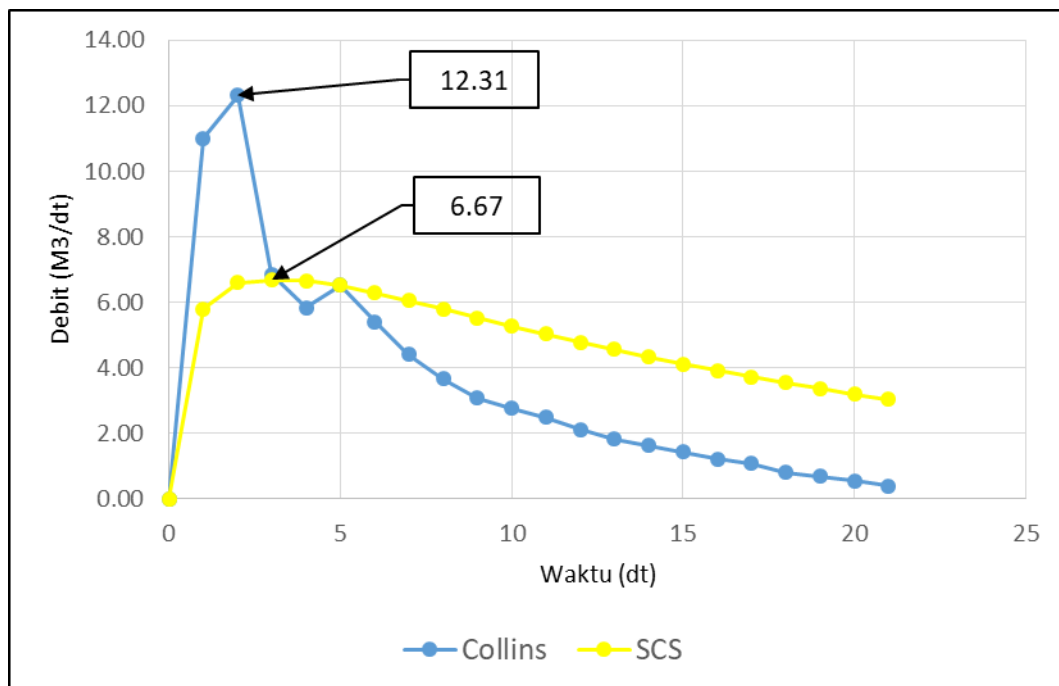
Gambar 26: Debit Puncak HS Pengamatan collins VS HSS GAMA-1

Dari gambar grafik tersebut diatas diketahui bahwa debit puncak antara HS pengamatan sebesar 12,31 M3/dt lebih rendah dibanding HSS GAMA-1 sebesar 13,02 M3/dt. Ini menunjukkan bahwa penyimpangan HSS GAMA-1 terjadi sebesar 5,77 %, namun jika diperhatikan rambatan debit persatuan waktu untuk metode GAMA-1, maka akan terlihat pola rambatan tidak jauh berbeda dengan Hidrograf Satuan terukur.



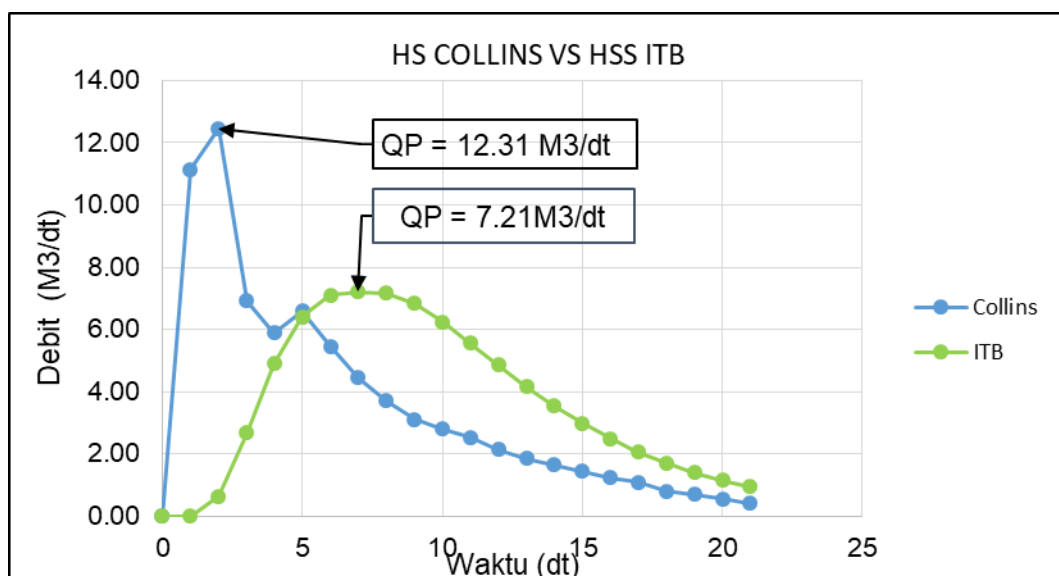
Gambar 28: Debit Puncak HS Terukur collins VS HSS Snyder

Berbeda dengan grafik terdahulu, grafik tersebut diatas diketahui bahwa debit puncak antara HS pengamatan sebesar 12,31 M³/dt lebih besar dibanding HSS Snyder sebesar 7,83 M³/dt. Ini menunjukkan bahwa penyimpangan HSS Snyder terjadi sebesar 36.41 %



Gambar 29: Debit Puncak HS Pengamatan collins VS HSS SCS

Grafik tersebut diatas memperlihatkan debit puncak antara HS pengamatan sebesar 12,31 M³/dt lebih besar dibanding HSS SCS sebesar 6,67 M³/dt. Ini menunjukkan bahwa penyimpangan HSS SCS terjadi sebesar 45,80 %



Gambar 30: Debit Puncak HS Pengamatan collins VS HSS ITB

Grafik tersebut diatas memperlihatkan debit puncak antara HS pengamatan sebesar 12,31 M³/dt lebih besar dibanding HSS ITB sebesar 7,21 M³/dt. Ini menunjukkan bahwa penyimpangan HSS SCS terjadi sebesar 41,43 %

8. Analisis Kalibrasi dan Modifikasi Formulasi

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, terlihat bahwa beberapa metode memperlihatkan penyimpangan yang cukup besar yaitu lebih besar dari 15% (HSS Snyder, HSS SCS, HSS ITB), sehingga diputuskan untuk tidak menggunakan metode tersebut pada daerah kajian.

Sedangkan metode yang memiliki penyimpangan yang relatif kecil yakni kurang dari 15 % (HSS Nakayasu dan HSS GAMA-1) dianggap cocok untuk diterapkan pada daerah kajian. Agar hidrograf metode HSS Nakayasu dan GAMA-1 lebih mendekati bentuk hidrograf satuan terukur (HS Collins) maka dilakukan kalibrasi terhadap kedua metode tersebut.

Untuk metode HSS Nakayasu, terlihat bahwa parameter yang berpengaruh terhadap perubahan waktu mencapai puncak dan debit puncak adalah parameter α dan parameter t_g , ordinat sebelum mencapai puncak dipengaruhi oleh pangkat dari t/T_p , serta ordinat turunnya dipengaruhi oleh prosentase penuruna hidrograf (0.3 – 0.5). Untuk mendapatkan bentuk hidrograf HSS Nakayasu yang mendekati

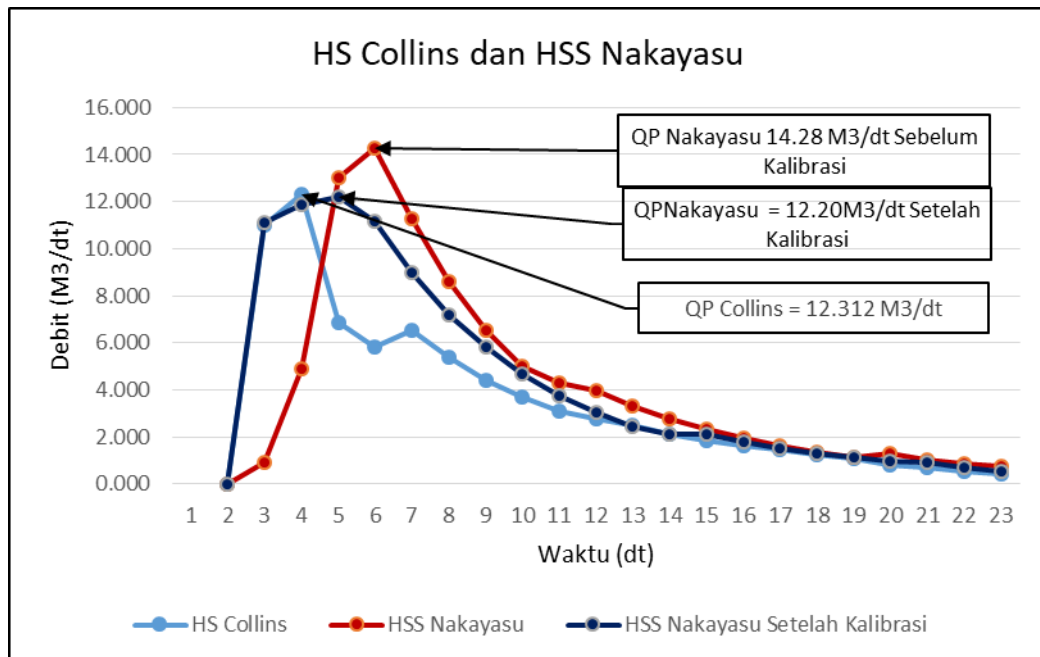
hidrograf satuan terukur, maka dilakukan kalibrasi pada masing-masing parameter yang dimaksud. Dimana perubahan tersebut dapat dilihat pada tabel 30 dan hasil debit dari perubahan tersebut ditunjukkan pada tabel 31 berikut:

Tabel 29: Perbandingan parameter asal dan hasil kalibrasi HSS Nakayasu

Parameter Asal	Hasil Kalibrasi
$\alpha = 2 - 3$	$\alpha = 2.96$
$tg = 0,4 + 0,058 L$	$tg = 0.65 + 0.0379 L$
$Qa = Qp. (t/Tp)^{2,4}$	$Qa = Qp. (t/Tp)^{0,1}$
$Qd_1 = Q. 0,3^{(t-Tp/0,3)}$	$Qd_1 = Q. 0,25^{(t-Tp/0,3)}$
$Qd_2 = Q. 0,3^{(t-Tp+0,5.T_{0,3}/1,5.T_{0,3})}$	$Qd_2 = Q. 0,3^{(t-Tp+0,5.T_{0,3}/1,5.T_{0,3})}$
$Qd_3 = Q. 0,3^{(t-Tp+1,5.T_{0,3}/2.T_{0,3})}$	$Qd_3 = Q. 0,3^{(t-Tp+1,5.T_{0,3}/2.T_{0,3})}$

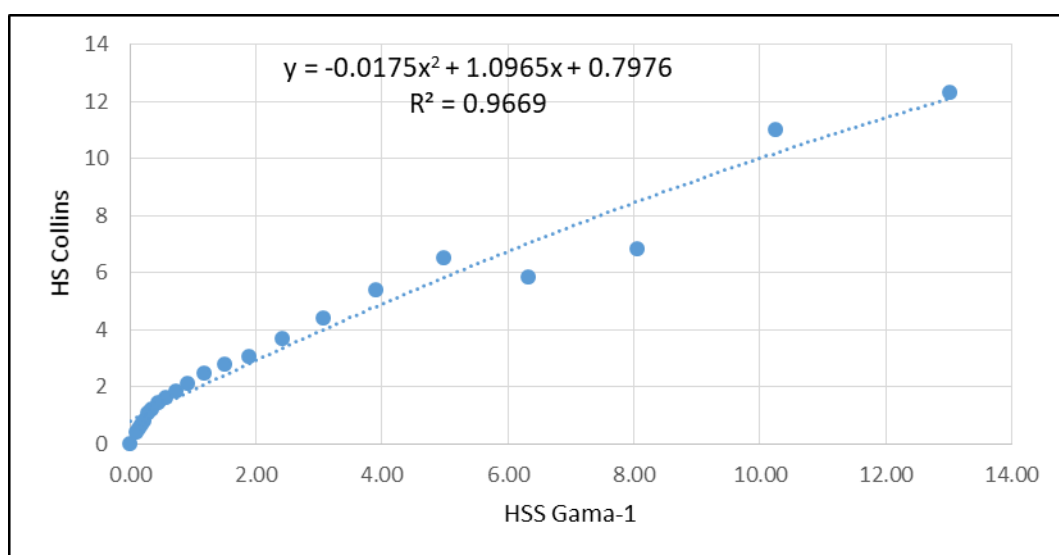
Tabel 30: Hasil perhitungan Hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu sebelum dan sesudah kalibrasi

Jam Ke	HS Collins	HSS Nakayasu	HSS Nakayasu Setelah Kalibrasi
0	0.000	0.00	0.00
1	11.010	0.93	11.10
2	12.312	4.92	11.90
3	6.845	13.01	12.20
4	5.833	14.28	11.14
5	6.516	11.25	8.96
6	5.401	8.59	7.21
7	4.410	6.55	5.80
8	3.672	5.00	4.67
9	3.075	4.28	3.75
10	2.771	3.97	3.02
11	2.498	3.31	2.43
12	2.115	2.77	2.09
13	1.834	2.31	2.11
14	1.638	1.93	1.80
15	1.433	1.61	1.54
16	1.214	1.35	1.31
17	1.087	1.12	1.12
18	0.803	1.29	0.96
19	0.685	1.02	0.90
20	0.555	0.89	0.71
21	0.406	0.77	0.55



Gambar 31: Debit Puncak HS Terukur collins VS HSS Nakayasu Sebelum dan Sesudah Kalibrasi

Sedangkan untuk metode HSS GAMA-1 cara melakukan kalibrasi pada penelitian ini dengan menggunakan trendline sehingga diperoleh koefisien pengali $y = -0.0175x^2 + 1.0965x + 0.7976$, seperti yang ditunjukkan pada gambar grafik 31 berikut:

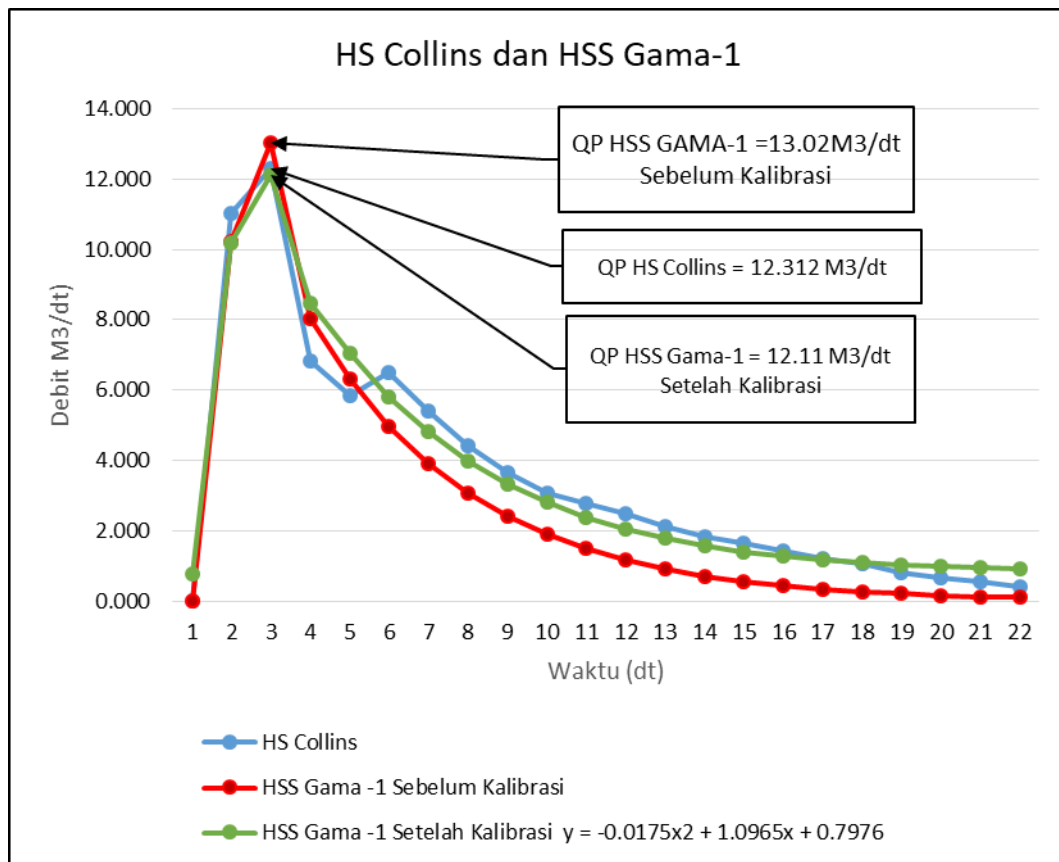


Gambar 32: Trendline HSS GAMA 1 terhadap Metode Collins

Dari formula diatas diperoleh nilai kalibrasi metode GAMA 1 seperti pada tabel 32 berikut:

Tabel 31: Bentuk hidrograf HSS GAMA-1 setelah dikalibrasi

Jam Ke	HS Collins	HSS Gama -1 Sebelum Kalibrasi	HSS Gama -1 Setelah Kalibrasi $y = -0.0175x^2 + 1.0965x + 0.7976$
0	0.000	0.00	0.80
1	11.010	10.24	10.19
2	12.312	13.02	12.11
3	6.845	8.05	8.49
4	5.833	6.33	7.03
5	6.516	4.97	5.82
6	5.401	3.91	4.82
7	4.410	3.07	4.00
8	3.672	2.42	3.34
9	3.075	1.90	2.82
10	2.771	1.49	2.40
11	2.498	1.17	2.06
12	2.115	0.92	1.79
13	1.834	0.72	1.58
14	1.638	0.57	1.42
15	1.433	0.45	1.29
16	1.214	0.35	1.18
17	1.087	0.28	1.10
18	0.803	0.22	1.04
19	0.685	0.17	0.98
20	0.555	0.13	0.94
21	0.406	0.11	0.91



Gambar 33: Perbandingan Debit Puncak HS Terukur collins VS Hidrograf Satuan Sintetik GAMA-1 sebelum dan sesudah kalibrasi

Tabel 32: Hasil perhitungan Hidrograf Satuan Terukur dan Hidrograf Satuan Sintetik Setelah Kalibrasi

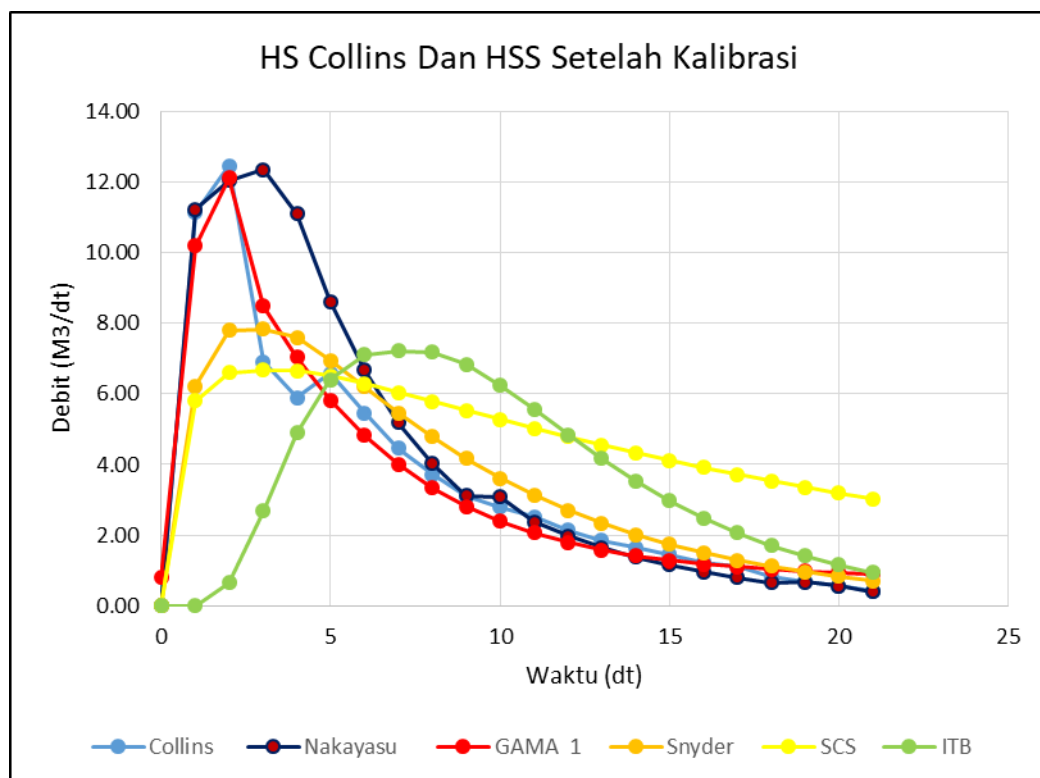
Waktu (Jam)	HS Collins (M ³ /dt)	Metode Hidrograf Satuan Sintetik (HSS)				
		Nakayasu	GAMA 1	Snyder	SCS	ITB
		Q (M ³ /dt)	Q (M ³ /dt)	Q (M ³ /dt)	Q (M ³ /dt)	Q (M ³ /dt)
Collins	Nakayasu	GAMA 1	Snyder	SCS	ITB	
0	0.00	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00
1	11.01	11.10	10.19	6.22	5.80	0.01
2	12.31	11.90	12.11	7.80	6.60	0.64
3	6.85	12.20	8.49	7.83	6.67	2.69
4	5.83	11.14	7.03	7.60	6.66	4.89
5	6.52	8.96	5.82	6.95	6.51	6.41
6	5.40	7.21	4.82	6.20	6.30	7.11
7	4.41	5.80	4.00	5.47	6.05	7.21
8	3.67	4.67	3.34	4.78	5.79	7.18
9	3.07	3.75	2.82	4.16	5.53	6.83
10	2.77	3.02	2.40	3.62	5.28	6.25
11	2.50	2.43	2.06	3.13	5.03	5.56
12	2.12	2.09	1.79	2.71	4.79	4.85
13	1.83	2.11	1.58	2.34	4.56	4.17
14	1.64	1.80	1.42	2.02	4.33	3.54
15	1.43	1.54	1.29	1.74	4.12	2.98
16	1.21	1.31	1.18	1.50	3.92	2.49
17	1.09	1.12	1.10	1.30	3.73	2.07
18	0.80	0.96	1.04	1.12	3.54	1.71
19	0.68	0.90	0.98	0.96	3.36	1.41
20	0.55	0.71	0.94	0.83	3.20	1.16
21	0.41	0.55	0.91	0.71	3.04	0.95

Sumber: Hasil Perhitungan

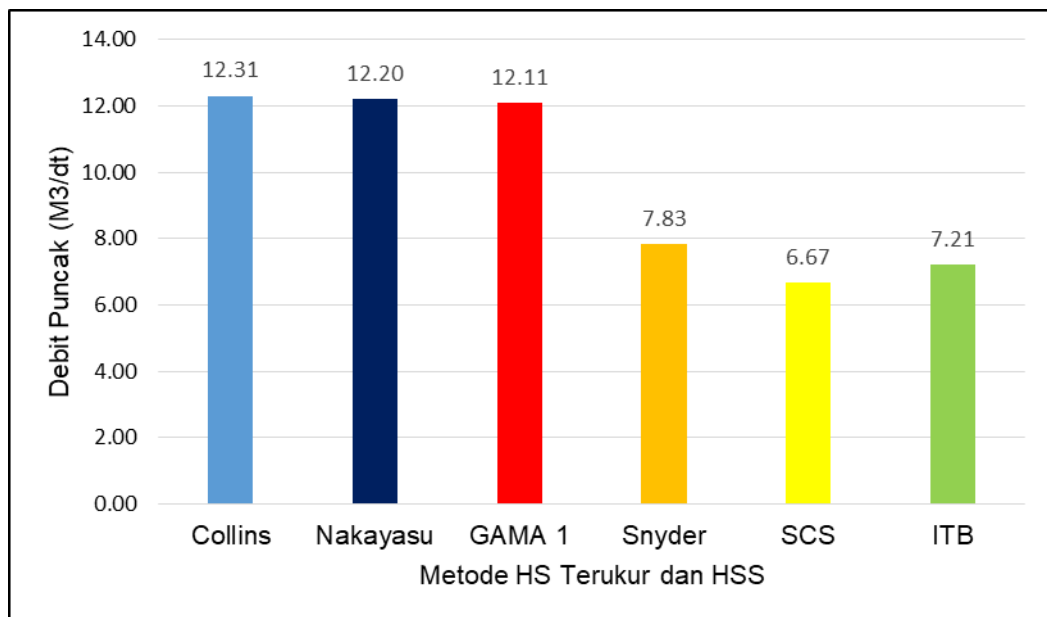
Tabel 33: Presentase hasil Hidrograf Satuan dan Hidrograf Satuan Sintetis Setelah dikalibrasi

No	HS Terukur Dan HSS	QP HS Terukur dan HSS Q (M ³ /dt)	ΔQ_p M ³ /dt)	Penyimpangan (%)
1	Collins	12.31		
2	Nakayasu	12.20	0.11	0.9
3	GAMA 1	12.11	0.20	1.7
4	Snyder	7.83	4.48	36.4
5	SCS	6.67	5.64	45.8
6	ITB	7.21	5.10	41.4

Sumber: Hasil Perhitungan.



Gambar 34: Perbandingan Debit Puncak HS Terukur collins VS Hidrograf Satuan Sintetis sesudah Kalibrasi



Gambar 35: Grafik Debit puncak HS Terukur dan HSS Setelah Dikalibrasi

Setelah melakukan kalibrasi, terlihat kedua metode HSS Nakayasu dan HSS GAMA-1 semakin mendekati debit puncak metode HS Terukur demikian pula dengan pola rambatan debit, sehingga dapat disimpulkan bahwa kedua metode tersebut memiliki tingkat keakuratan yang lebih baik bila diterapkan di Daerah Aliran Sungai Maros.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan pada DAS Maros, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Setelah dilakukan perhitungan hidrograf satuan terukur (HS Collis) dan melakukan perbandingan terhadap hidrograf satuan sintetik (HSS) maka bentuk hidrograf yang paling mendekati HS terukur adalah HSS GAMA-1 dan HSS Nakayasu dengan penyimpangan kurang dari 15 %.
2. Untuk menggunakan formula GAMA-1 pada DAS Maros agar lebih mendekati bentuk hidrograf satuan terukur maka dibutuhkan koefisien pengali dengan formula $y = -0.0175x^2 + 1.0965x + 0.7976$ sedangkan untuk metode HSS Nakayasu parameter alpha (α) yang berpengaruh terhadap Q_p dikalibrasi menjadi 3 (parameter asal 2 - 3) dan waktu mencapai puncak (t_g) parameter asal adalah $0,65 + 0,058 L$, dikalibrasi menjadi $0,65 + 0,0379 L$, sedangkan untuk waktu ordinat mencapai puncak $Q_a = Q_p \cdot (t/T_p)^{2,4}$ dikalibrasi menjadi $Q_a = Q_p \cdot (t/T_p)^{0,1}$ dan untuk lengkung turun pada metode Nakayasu tersebut memiliki parameter asal sebagai $Q_{d1} = Q_{Max} \cdot 0,3^{(t-T_p/0,3)}$, $Q_{d2} = Q_{Max} \cdot 0,3^{(t-T_p+0,5 \cdot T_0/3/1,5 \cdot T_0/3)}$, $Q_{d3} = Q_{Max} \cdot 0,3^{(t-T_p+1,5 \cdot T_0/3/2 \cdot T_0/3)}$ dikalibrasi menjadi $Q_{d1} = Q_{Max} \cdot 0,3^{(t-T_p/0,3)}$, $Q_{d2} = Q_{Max} \cdot 0,25^{(t-T_p+0,5 \cdot T_0/3/1,5 \cdot T_0/3)}$, $Q_{d3} = Q_{Max} \cdot 0,25^{(t-T_p+1,5 \cdot T_0/3/2 \cdot T_0/3)}$
3. Untuk metode HSS Snyder, Soil Conservation Service (SCS), serta ITB, tidak dapat diterapkan pada daerah kajian mengingat penyimpangan debit terhadap debit HS Terukur (Metode Collins) sangat besar yaitu lebih dari 15%.

B. SARAN

Dari beberapa kesimpulan hasil penelitian diatas maka disarankan sebagai berikut:

1. Penelitian ini dititik beratkan pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Maros Tompo bulu, sehingga dianggap tidak mewakili Wilayah Sungai (WS) di Sulawesi Selatan untuk itu diharapkan pada penelitaian selanjutnya, agar daerah wilayah sungai di sulawesi selatan dapat terwakilkan, sebaiknya kajian dilakukan kajian pada lokasi DAS yang mewakili empat wilayah sungai yang ada di sulawesi selatan (WS Jeneberang, WS Saddang, WS Walanae Cenranae, WS Pompengan Larona)
2. Agar hidrograf satuan (HSS) Snyder, Soil Consevation Service (SCS) serta HSS ITB dapat diterapkan di daerah kajian, maka perlu dilakukan kalibrasi terhadap parameter-parameter yang berpengaruh terhada setiap metode HSS yang ada agar dapat mendekati hidrograf satuan pengamatan (HS Collins).

DAFTAR PUSTAKA

- Amaltia Gunawan,. 2007, *Kajian Unjuk Kerja Metode Hidrograf Satuan Sintetik Untuk Penetapan Banjir Rancangan Pada DAS di Pulau Jawa (Studi Kasus DAS Cimanuk Hulu)*, Jurnal Dinamika Rekayasa, Unsoed Purwokerto,
(<http://dinarek.unsoed.ac.id/jurnal/index.php/dinarek/article/view/120>, diakses 8 September 2017)
- Hadisusanto, N., 2010, *Aplikasi Hidrologi*, Malang: penerbit Jogja Mediautama
- Indarto., 2016, *Hidrologi, Metode Analisis dan Tool untuk Interpretasi Hidrograf Aliran Sungai* Jakarta: penerbit Bumi Asara.
- Kamiana. I Made., 2010, *Teknik Perhitungan Debit Rencana Bangunan Air*, Palangkaraya: Penerbit Graha Ilmu Yogyakarta
- Limantara, ML., 2010, *Hidrologi Praktis*, cetakan pertama Bandung: penerbit Lubuk Agung
- Maricar, F., Sri Harto,Br., 2001, *Analisa Kepekaan Hidrograf Satuan Sintetik Gama I Dalam Penentuan Debit Banjir Rancangan*, Jurnal Forum Teknik Jilid 25 No.3
(http://etd.repository.ugm.ac.id/index.php?mod=penelitian_detail&ub=PenelitianDetail&act=view&typ=html&buku_id=6815, diakses 8 September 2017)
- Natakusumah, D.K., Hatmoko, W., Harlan, D., 2010, *Prosedur Umum Perhitungan Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) untuk Perhitungan Banjir Rencana. Studi Kasus Penerapan HSS ITB-1 dan HSS ITB-2 dalam Penentuan Debit Banjir untuk Perencanaan Pelimpah Bendungan Besar*. Bali: Seminar Nasional Bendungan Besar.
(<https://multisite.itb.ac.id/wp-content/uploads/sites/8/2011/04/6.-Dantje-K.N-Vol.18-No.3.pdf>, diakses 8 September 2017)
- Natakusumah, D.K., Hatmoko, W., Harlan, D., 2010, *Prosedur Umum Perhitungan Hidrograf Satuan Sintetis dengan Cara ITB dan Beberapa Contoh Penerapannya*, Jurnal Teknik sipil
(<http://journals.itb.ac.id/index.php/jts/article/view/2806>, diakses 8 September 2017)

- Rahayu, S. dkk. 2009. *Monitoring Air di Daerah Aliran Sungai*. World Agroforestry Center ICRAF Asia Tenggara: Bogor.
- Rakhim A., 1998. *Analisis Hidrograf Satuan Untuk menghitung Debit Banjir Rancangan (Studi Kasus Sungai di DAS Jeneberang, Sulawesi Selatan)*, Tesis Jurusan Teknik Pengairan Universitas Brawijaya.
- Siswoyo H., *Pengembangan Model Hidrograf Satuan Sintetis Snyder Untuk Daerah Aliran Sungai Di Jawa Timur*, Jurnal Jurusan Pengairan Universitas Brawijaya <http://jurnalpengairan.ub.ac.id/index.php/jtp/article/view/119>, diakses tanggal 7 September 2017)
- Soewarno., 1995, *Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data Jilid I*, Bandung: Penerbit Nova.
- Sosrodarsono, S., Takeda, K., 1976, *Hidrologi Untuk Pengairan*, Jakarta: penerbit Pradnyna Paramita
- Sosrodarsono, S., Takeda, K., 2002, *Bendungan Tipe Urugan*, Cetakan ke 5 Jakarta: penerbit Pradnyna Paramita
- Sri Harto, Br., 1993, *Analisis Hidrologi*, Jakarta: penerbit PT Gramedia Pustaka Utama.
- Sutapa, I Wayan, 2006, *Studi Pengaruh dan Hubungan Variabel DAS Terhadap Parameter Hidrograf Satuan Sintetik, Studi Kasus Sungai Salungan, Taopa dan Batui Di Sulawesi Tengah*, Jurnal Smartek Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu (<http://jurnal.untad.ac.id/jurnal/index.php/SMARTEK/article/viewFile/442/379>, diakses 7 September 2017)
- Suripin. 2003. *Sistem Drainase Perkotaan Yang Berkelanjutan*, Yogyakarta: Penerbit Andi Offset.
- Triatmodjo, B., 2008, *Hidrologi Terapan*, Yogyakarta: Penerbit Beta Offset.
- Vera Wim Andiese., 2012, *Pengujian Hidrograf Satuan Sintetik Gama I dalam Analisis Debit Banjir Rancangan DAS Bangga* Jurnal Majalah Ilmiah Mektek, Universitas Tadulako Palu. (<http://jurnal.untad.ac.id/jurnal/index.php/Mektek/article/download/1027/822>, diakses 8 September 2017)
- Wilson, E.M., 1993, *Hidrologi Teknik*, Edisi ke Empat. Bandung: Penerbit ITB Bandung.

Lampran 1

Tabel 1. Curah hujan rata-rata Maks harian yang terjadi pada hari yang sama

No	Tanggal Kejadian	Tahun	Srasium			Rata-rata Thiesen	Hujan Max
			Pucak 0.18	Tamalayan g 0.62	Batu Bassi 0.20		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(7)	(8)	(9)
1	06-Nov	1989	223.00	34.00	26.00	66.96	98.20
	06-Mar		77.00	98.00	50.00	84.46	
	05-May		133.00	82.00	116.00	98.20	
2	12-Jan	1990	214.00	140.00	117.00	148.89	148.89
	12-Jan		214.00	140.00	117.00	148.89	
	26-Jan		145.00	84.00	124.00	103.24	
3	16-Dec	1991	121.00	111.00	91.00	108.79	141.56
	22-Dec		94.00	170.00	98.00	141.56	
	20-Dec		109.00	95.00	122.00	103.01	
4	27-Nov	1992	136.00	18.00	35.00	43.02	158.07
	11-Feb		107.00	148.00	235.00	158.07	
	11-Feb		107.00	148.00	235.00	158.07	
5	28-Jan	1993	206.00	120.00	70.00	125.63	125.63
	28-Jan		206.00	120.00	70.00	125.63	
	20-Feb		65.00	21.00	91.00	43.19	
6	03-Feb	1994	82.00	35.00	75.00	51.68	66.85
	21-Dec		20.00	70.00	36.00	53.99	
	23-Dec		82.00	38.00	141.00	66.85	
7	23-Jan	1995	63.00	63.00	72.00	64.82	122.28
	26-Jan		17.00	155.00	118.00	122.28	
	26-Jan		17.00	155.00	118.00	122.28	
8	10-Jan	1996	69.00	7.00	125.00	42.17	85.28
	31-Oct		7.00	130.00	20.00	85.28	
	10-Jan		69.00	7.00	125.00	42.17	
9	23-Jan	1997	87.00	13.00	109.00	45.93	111.57
	25-Dec		43.00	120.00	148.00	111.57	
	25-Dec		43.00	120.00	148.00	111.57	
10	19-Feb	1998	100.00	9.00	24.00	28.68	57.02
	26-Dec			82.00	0.00	50.44	
	28-Nov		8.00	45.00	138.00	57.02	
11	02-Jan	1999	94.00	0.00	3.00	17.80	121.11
	22-Jan		90.00	135.00	107.00	121.11	
	27-Feb		8.00	24.00	155.00	47.53	
12	01-Jan	2000	76.00	5.00	130.00	43.23	130.28
	24-Jan		73.00	174.00	49.00	130.28	
	21-Feb		70.00	25.00	165.00	61.51	
13	19-Jan	2001	90.00	35.00	21.00	42.23	133.61

	07-Feb		15.00	175.00	115.00	133.61	
	03-Jan		16.00	15.00	123.00	37.00	
	14-Feb		89.00	0.00	4.00	17.09	
14	10-Nov	2002	10.00	93.00	22.00	63.48	74.76
	30-Mar		57.00	55.00	151.00	74.76	
	05-Feb		200.00	73.00	210.00	123.90	
15	05-Feb	2003	200.00	73.00	210.00	123.90	123.90
	05-Feb		200.00	73.00	210.00	123.90	
	30-Jan		178.00	36.00	9.00	56.52	
16	15-Jan	2004	19.00	112.00	16.00	75.60	75.60
	26-Feb		9.00	24.00	129.00	42.46	
	04-Mar		208.00	190.00	106.00	176.33	
17	02-Mar	2005	45.00	73.00	8.00	54.75	176.33
	01-Dec		15.00	11.00	161.00	42.03	
	01-Jan		1745.0	8.00	63.00	336.84	
18	30-Apr	2006		35.00		21.53	336.84
	29-Dec		21.00	8.00	154.00	39.87	
	19-Jan		165.00	3.00	14.00	34.85	
19	17-Dec	2007	29.00	64.00	118.00	68.50	68.50
	22-Dec		140.00	12.00	136.00	60.46	
	09-Mar		94.00	2.00	59.00	30.34	
20	04-Mar	2008	53.00	335.00	80.00	231.91	231.91
	07-Feb			11.00	164.00	39.89	
	20-Dec		119.00	21.00	184.00	71.85	
21	04-Nov	2009	0.00	150.00	11.00	94.49	94.49
	20-Dec		119.00	21.00	184.00	71.85	
	30-Mar		210.00	31.00	2.00	57.89	
22	29-Dec	2010	100.00	107.00	9.00	85.93	85.93
	29-Mar		104.00	41.00	165.00	77.57	
	01-Feb		135.00	23.00	158.00	70.75	
23	01-Jan	2011	30.00	185.00	124.00	144.33	144.33
	01-Feb		135.00	23.00	158.00	70.75	
	13-Dec		190.00	31.00	53.00	64.53	
24	26-Oct	2012	44.00	125.00	27.00	90.39	90.39
	05-Feb		15.00	0.00	126.00	28.19	
	19-May		189.00	12.00	4.00	42.76	
25	03-Feb	2013	93.00	125.00	50.00	104.00	104.00
	10-Dec		50.00	26.00	123.00	49.98	
	27-Jan		151.00	13.00	25.00	40.67	
26	29-Nov	2014	51.00	71.00	6.00	54.21	54.21
	10-Apr		28.00	0.00	94.00	24.11	
	20-Feb		98.00	0.00	6.00	19.14	
27	12-Mar	2015	25.00	71.00	32.00	54.71	63.38
	27-Dec		13.00	0.00	302.00	63.38	

Sumber: Balai wilayah Sungai Jeneberang

Lampiran 2

Tabel 2. Nilai kritis (D_{cr}) untuk uji Smirnov-Kolmogorov

n	$\alpha = 0,20$	$\alpha = 0,10$	$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,02$	$\alpha = 0,01$
1	0,900	0,950	0,975	0,990	0,995
2	0,684	0,776	0,842	0,900	0,929
3	0,565	0,636	0,708	0,783	0,829
4	0,493	0,565	0,624	0,689	0,734
5	0,447	0,509	0,563	0,627	0,669
6	0,410	0,468	0,519	0,577	0,617
7	0,381	0,436	0,483	0,538	0,576
8	0,359	0,410	0,454	0,507	0,542
9	0,339	0,387	0,430	0,480	0,513
10	0,323	0,369	0,409	0,457	0,486
11	0,308	0,352	0,391	0,437	0,468
12	0,296	0,338	0,375	0,419	0,449
13	0,285	0,325	0,361	0,404	0,432
14	0,275	0,314	0,349	0,390	0,418
15	0,266	0,304	0,338	0,377	0,404
16	0,258	0,295	0,327	0,366	0,392
17	0,250	0,286	0,318	0,355	0,381
18	0,244	0,279	0,309	0,346	0,371
19	0,237	0,271	0,301	0,337	0,361
20	0,232	0,265	0,294	0,329	0,352
21	0,226	0,259	0,287	0,321	0,344
22	0,221	0,253	0,281	0,314	0,337
23	0,216	0,247	0,275	0,307	0,330
24	0,212	0,242	0,269	0,301	0,323
25	0,208	0,238	0,264	0,295	0,317
26	0,204	0,233	0,259	0,290	0,311
27	0,200	0,229	0,254	0,284	0,305
28	0,197	0,225	0,250	0,279	0,300
29	0,193	0,221	0,246	0,275	0,295
30	0,190	0,218	0,242	0,270	0,290
35	0,177	0,202	0,224	0,251	0,269
40	0,165	0,189	0,210	0,235	0,252
45	0,156	0,179	0,198	0,222	0,238
50	0,148	0,170	0,188	0,211	0,226
55	0,142	0,162	0,180	0,201	0,216
60	0,136	0,155	0,172	0,193	0,207
65	0,131	0,149	0,166	0,185	0,199
70	0,126	0,144	0,160	0,179	0,192
75	0,122	0,139	0,154	0,173	0,185
80	0,118	0,135	0,150	0,167	0,179
85	0,114	0,131	0,145	0,162	0,174
90	0,111	0,127	0,141	0,158	0,169
95	0,108	0,124	0,137	0,154	0,165
100	0,106	0,121	0,134	0,150	0,161

Pendekatan

n	$1,07/\sqrt{n}$	$1,22/\sqrt{n}$	$1,35/\sqrt{n}$	$1,52/\sqrt{n}$	$1,63/\sqrt{n}$
200	0,076	0,086	0,096	0,107	0,115

Sumber: <https://luk.staff.ugm.ac.id/stat/ks/Kolmogorov-SmirnovTable.pdf>

Lampiran 3

Tabel 3. Nilai X^2_{cr} untuk uji Chi-Square

Degrass of freedom	Probability of a deviation grether th: X^2				
	0,20	0,10	0,05	0,01	0,001
1	1,642	2,706	3,841	6,635	10,827
2	3,219	4,605	5,991	9,210	13,815
3	4,642	6,251	7,815	11,345	16,268
4	5,989	7,779	9,488	13,277	18,465
6	8,558	10,645	12,592	16,812	22,547
7	9,803	12,017	14,067	18,475	24,322
8	11,030	13,362	15,507	20,090	26,125
9	12,242	14,684	16,919	21,666	27,877
10	13,442	15,987	18,307	23,209	29,588
11	14,631	17,275	19,675	24,725	31,264
12	15,812	18,549	21,026	26,217	32,909
13	16,985	19,812	22,362	27,688	34,528
14	18,151	21,064	23,685	29,141	36,123
15	19,311	22,307	24,996	30,578	37,697
16	20,465	23,542	26,296	32,000	39,252
17	21,615	24,769	27,587	33,409	40,790
18	22,760	25,989	28,869	34,805	42,312
19	23,900	27,204	30,144	36,191	43,820
20	25,038	28,412	31,410	37,566	45,315

Sumber: soewarno, 1995

Lampiran 4:

Tabel 4: Harga Reduced Standard Variate (Y_t) Sebagai fungsi periode ulang

Tr (Tahun)	Reduced Variate	Tr (Tahun)	Reduced Variate
1	-2,00	25	3,1985
2	0,3665	50	3,9019
5	1,4999	100	4,6001
10	2,2502	200	5,2958
20	2,9707	1000	6,9190

Sumber: soewarno, 1995

Lampiran 5:

Tabel 5. Hubungan reduksi varian rata-rata (Y_n) dengan jumlah data untuk metode Gumbel

N	y_n	n	y_n	n	y_n	n	y_n
10	0,4952	34	0,5396	58	0,5515	82	0,5672
11	0,4996	35	0,5402	59	0,5518	83	0,5574
12	0,5035	36	0,5410	60	0,5521	84	0,5576
13	0,5070	37	0,5418	61	0,5524	85	0,5578
14	0,5100	38	0,5424	62	0,5527	86	0,5580
15	0,5128	39	0,5430	63	0,5530	87	0,5581
16	0,5157	40	0,5436	64	0,5533	88	0,5583
17	0,5181	41	0,5442	65	0,5535	89	0,5585
18	0,5202	42	0,5448	66	0,5538	90	0,5586
19	0,5220	43	0,5453	67	0,5540	91	0,5587
20	0,5236	44	0,5458	68	0,5543	92	0,5589
21	0,5252	45	0,5463	69	0,5545	93	0,5591
22	0,5268	46	0,5468	70	0,5548	94	0,5592
23	0,5283	47	0,5473	71	0,5550	95	0,5593
24	0,5296	48	0,5477	72	0,5552	96	0,5595
25	0,5309	49	0,5481	73	0,5555	97	0,5596
26	0,5320	50	0,5485	74	0,5557	98	0,5598
27	0,5332	51	0,5489	75	0,5559	99	0,5599
28	0,5343	52	0,5493	76	0,5561	100	0,5600
29	0,5353	53	0,5497	77	0,5563		
30	0,5362	54	0,5501	78	0,5565		
31	0,5371	55	0,5504	79	0,5567		
32	0,5380	56	0,5508	80	0,5569		
33	0,5388	57	0,5511	81	0,5570		

Sumber: soewarno, 1995

Lampiran 6:

Tabel 6. Hubungan antara Deviasi Standar (S_n) dan Reduksi Data dengan Jumlah Data (n)

N	S_n	n	S_n	n	S_n	n	S_n
10	0,9496	33	1,1226	56	1,1696	79	1,1930
11	0,9676	34	1,1255	57	1,1708	80	1,1938
12	0,9833	35	1,12865	58	1,1721	81	1,1945
13	0,9971	36	1,1313	59	1,1734	82	1,1953
14	1,0095	37	1,1339	60	1,1747	83	1,1959
15	1,0206	38	1,1363	61	1,1759	84	1,1967
16	1,0316	39	1,1388	62	1,1770	85	1,1973
17	1,0411	40	1,1413	63	1,1782	86	1,1987
18	1,0493	41	1,1436	64	1,1793	87	1,1987
19	1,0565	42	1,1458	65	1,1803	88	1,1994
20	1,0628	43	1,1480	66	1,1814	89	1,2001
21	1,0696	44	1,1499	67	1,1824	90	1,2007
22	1,0754	45	1,1519	68	1,1834	91	1,2013
23	1,0811	46	1,1538	69	1,1844	92	1,2020
24	1,0864	47	1,1557	70	1,1854	93	1,2026
25	1,0915	48	1,1574	71	1,1854	94	1,2032
26	1,0861	49	1,1590	72	1,1873	95	1,2038
27	1,1004	50	1,1607	73	1,1881	96	1,2044
28	1,1047	51	1,1623	74	1,1890	97	1,2049
29	1,1086	52	1,1638	75	1,1898	98	1,2055
30	1,1124	53	1,1658	76	1,1906	99	1,2060
31	1,1159	54	1,1667	77	1,1915	100	1,2065
32	1,1193	55	1,1681	78	1,1923		

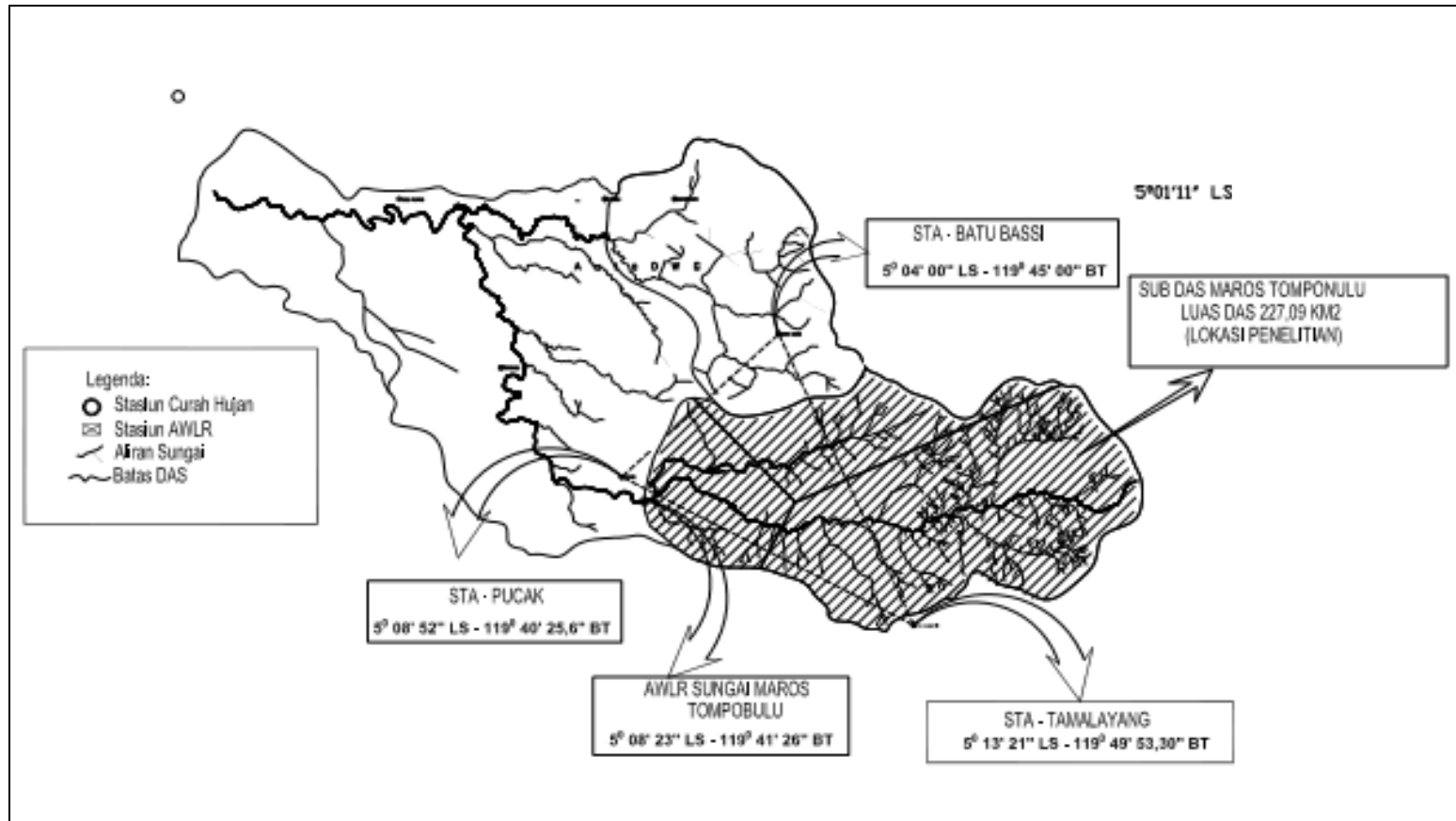
Sumber: soewarno, 1995

Tabel 7 : Harga K Untuk distribusi Log Pearson Type III

Koef Penyimpangan (CS)	Peluang (%)								
	99.01	50	20	10	5	4	2	1	0.5
	Return Period ; Tr (Tahun)								
	1.01	2	5	10	20	25	50	100	200
1.0	-1.5580	-0.1640	0.758	1.340	1.809	2.043	2.542	3.022	3.489
0.9	-1.6600	-0.1480	0.769	1.339	1.792	2.018	2.498	2.957	3.401
0.8	-1.7730	-0.1320	0.780	1.336	1.774	1.993	2.453	2.891	3.312
0.7	-1.8060	-0.1160	0.790	1.333	1.756	1.967	2.407	2.824	3.223
0.6	-1.8800	-0.0990	0.800	1.328	1.735	1.939	2.359	2.755	3.132
0.5	-1.9550	-0.0830	0.803	1.323	1.714	1.910	2.231	2.686	3.041
0.4	-2.0290	-0.0660	0.816	1.317	1.692	1.880	2.261	2.615	2.949
0.3	-2.1040	-0.0500	0.824	1.309	1.669	1.849	2.211	2.544	2.856
0.2	-2.1780	-0.0330	0.830	1.301	1.646	1.818	2.159	2.472	2.763
0.1	-2.2520	-0.0170	0.836	1.292	1.621	1.785	2.107	2.400	2.670
0.0	-2.3260	0.0000	0.842	1.282	1.595	1.751	2.054	2.326	2.576
-0.01	-2.4000	0.0170	0.846	1.270	1.567	1.716	2.000	2.252	2.482
-0.02	-2.4720	0.0330	0.850	1.258	1.539	1.680	1.945	2.178	2.388
-0.03	-2.5440	0.0500	0.853	1.245	1.510	1.643	1.890	2.104	2.294
-0.04	-2.6150	0.0660	0.855	1.231	1.481	1.606	1.834	2.029	2.201
-0.05	-2.6860	0.0830	0.856	1.216	1.450	1.567	1.777	1.955	2.108
-0.06	-2.7550	0.0990	0.857	1.200	1.419	1.528	1.720	1.880	2.016
-0.07	-2.8240	0.1160	0.857	1.183	1.386	1.488	1.663	1.806	1.926
-0.08	-2.8910	0.1320	0.856	1.166	1.354	1.448	1.606	1.733	1.837
-0.09	-2.9570	0.1480	0.854	1.147	1.120	1.107	1.549	1.660	1.749
-1.0	-3.0220	0.1640	0.852	1.128	1.287	1.366	1.492	1.588	1.664
-1.1	-3.0220	0.1800	0.848	1.107	1.252	1.324	1.435	1.518	1.581
-1.2	-3.1490	0.1950	0.844	1.086	1.217	1.282	1.379	1.449	1.501
-1.3	-3.2110	0.2100	0.838	1.064	1.181	1.240	1.324	1.383	1.424
-1.4	-3.2710	0.2250	0.832	1.041	1.146	1.198	1.270	1.318	1.351
-1.5	-3.3300	0.2400	0.825	1.018	1.386	1.570	1.217	1.256	1.282
-1.6	-3.3880	0.2540	0.817	0.994	1.075	1.116	1.166	1.197	1.216
-1.7	-3.4440	0.2680	0.808	0.970	1.040	1.075	1.116	1.140	1.155
-1.8	-3.4990	0.2820	0.799	0.945	1.005	1.035	1.069	1.087	1.097
-1.9	-3.5530	0.2940	0.788	0.920	0.971	0.996	1.023	1.037	1.044
-2.0	-3.0650	0.3070	0.777	0.895	0.938	0.959	0.980	0.990	0.995
-2.1	-3.6560	0.3190	0.765	0.869	0.905	0.923	0.939	0.946	0.949
-2.2	-3.7050	0.3300	0.752	0.844	0.873	0.888	0.900	0.905	0.907
-2.3	-3.7530	0.3410	0.739	0.819	0.843	0.855	0.864	0.867	0.869
-2.4	-3.8000	0.3510	0.725	0.795	0.814	0.823	0.830	0.832	0.833
-2.5	-3.8450	0.3600	0.711	0.771	0.786	0.793	0.798	0.799	0.800
-2.6	-3.8890	0.3680	0.696	0.747	0.758	0.764	0.768	0.769	0.769
-2.7	-3.9320	0.3760	0.681	0.724	0.733	0.738	0.740	0.740	0.741
-2.8	-3.9730	0.3840	0.666	0.702	0.709	0.712	0.714	0.714	0.714
-2.9	-4.0130	0.3900	0.651	0.681	0.682	0.683	0.689	0.690	0.690
-3.0	-4.0510	0.3960	0.636	0.660	0.664	0.666	0.666	0.667	0.667

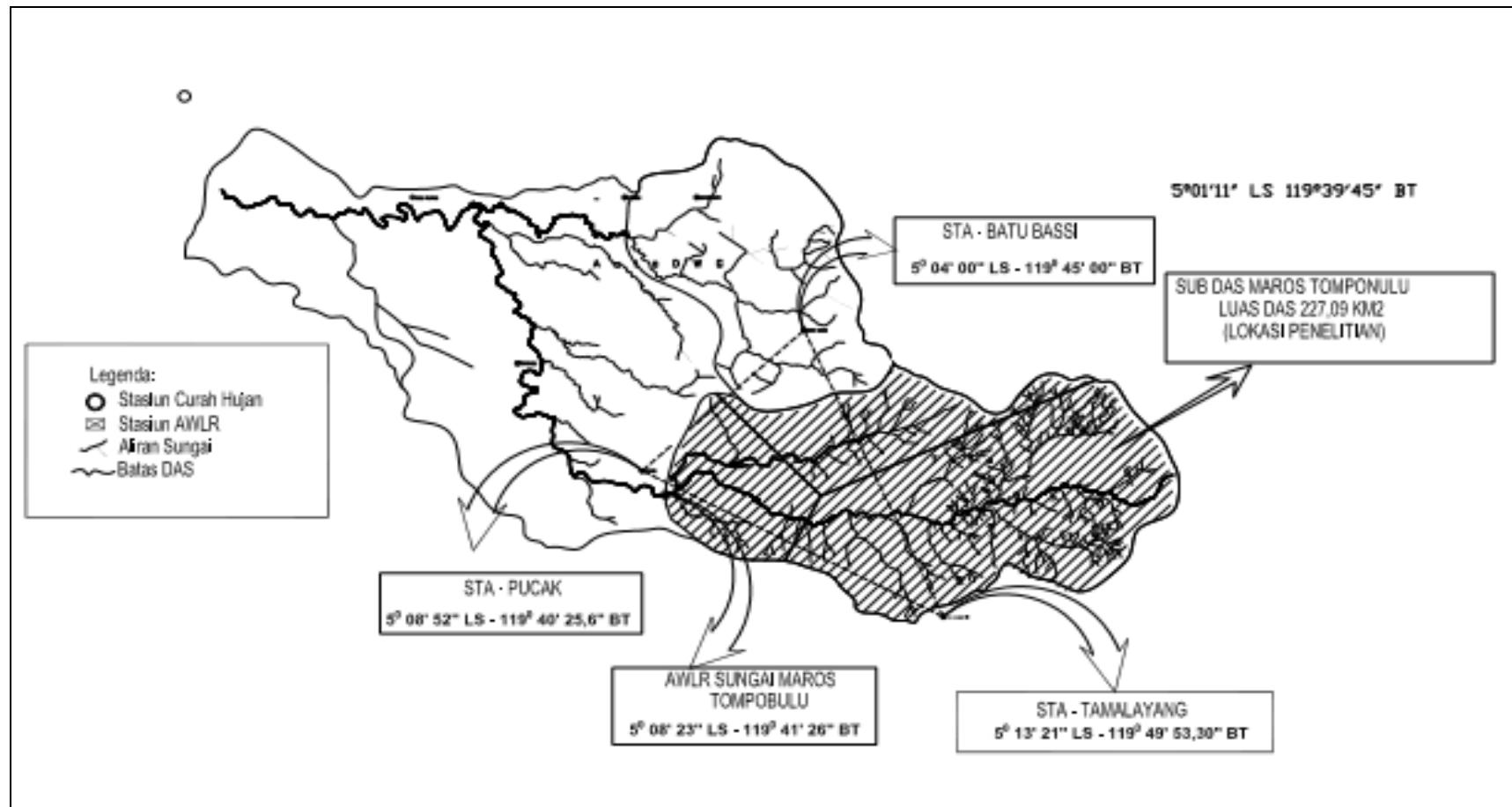
Sumber: soewarno, 1995

Lampiran 8:



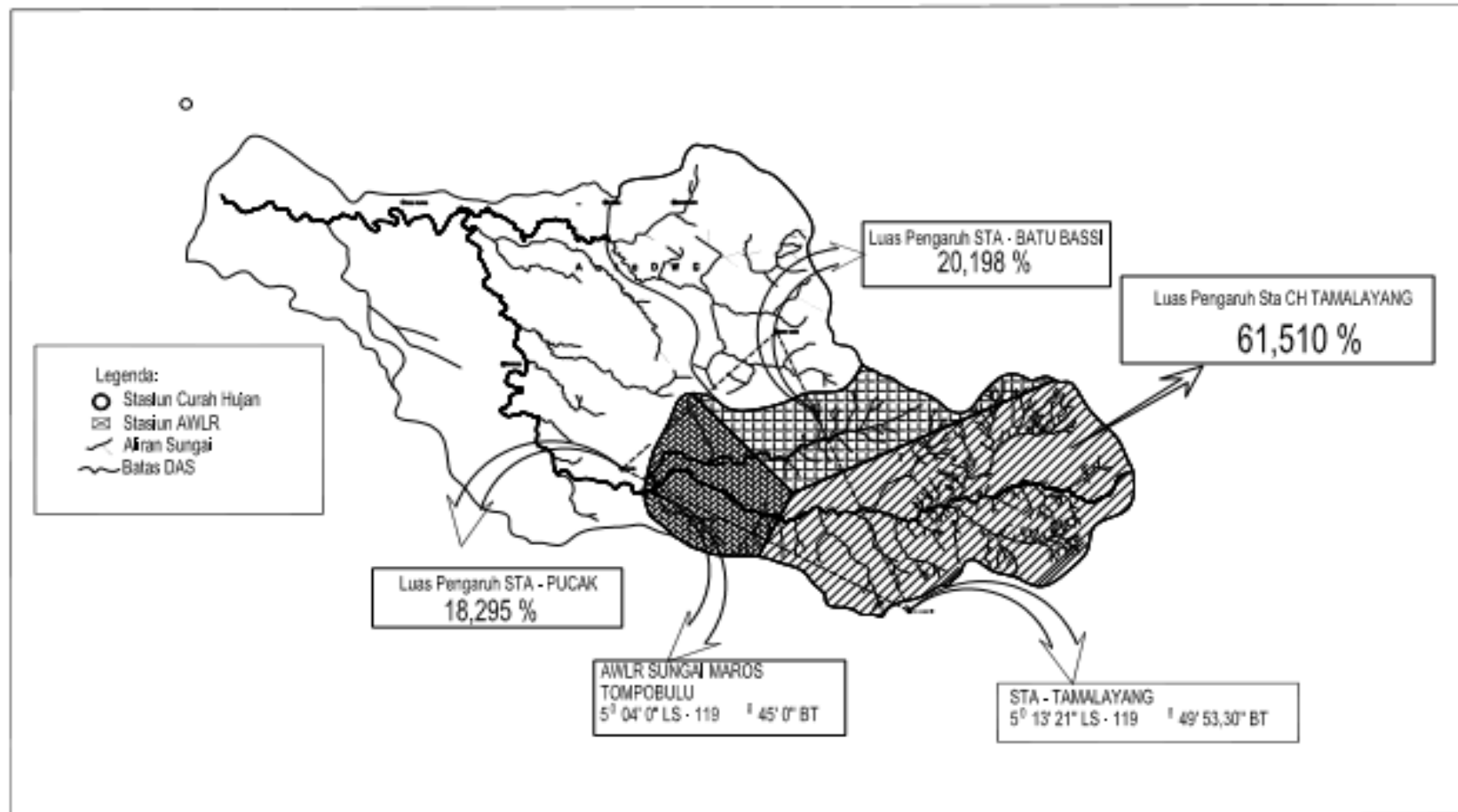
Gambar 1: Letak stasiun Curah hujan dan AWLR Sungai Maros

Lampiran 9:



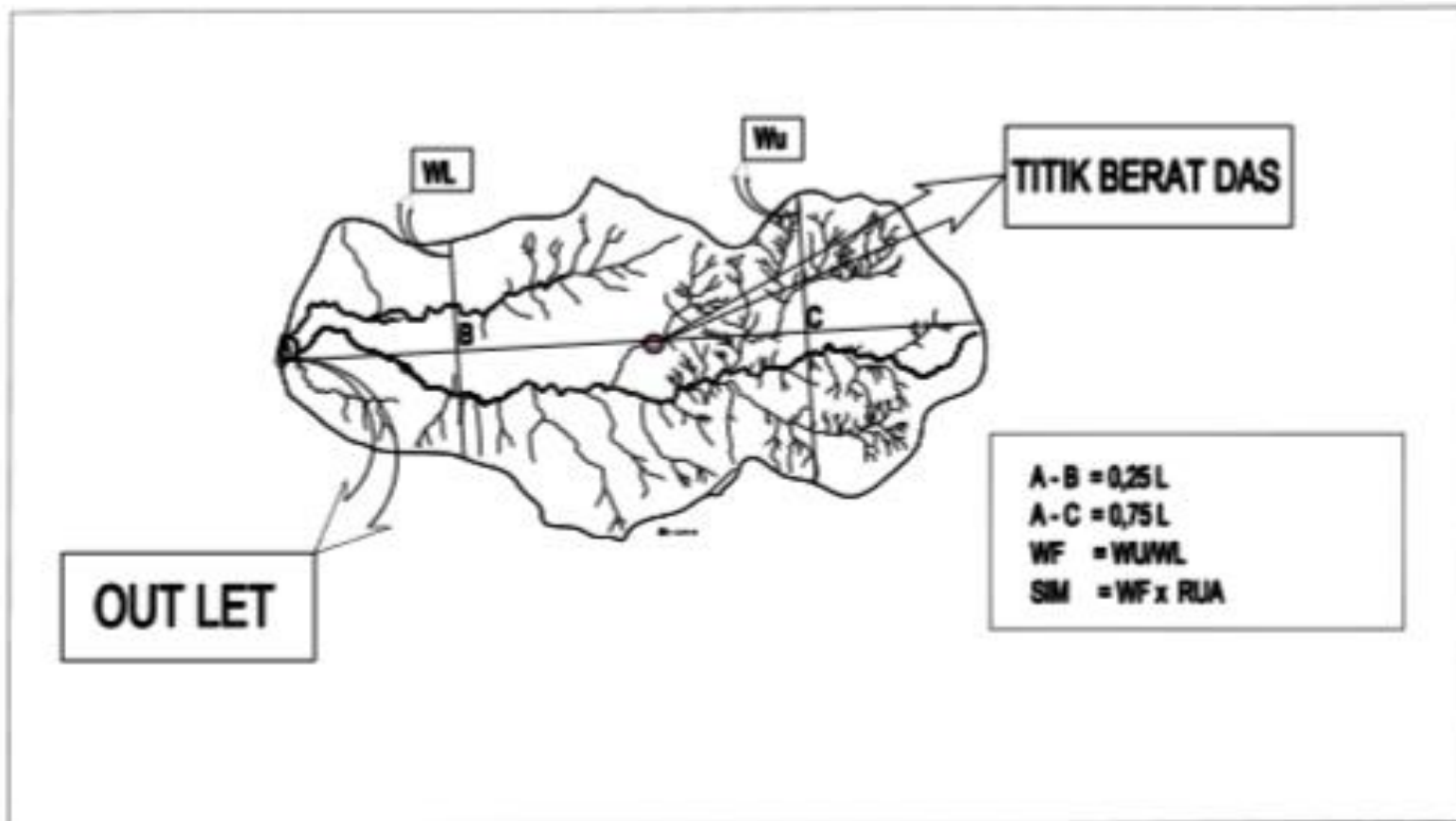
Gambar 2: Lokasi Daerah Studi DAS Maros

Lampiran 10:



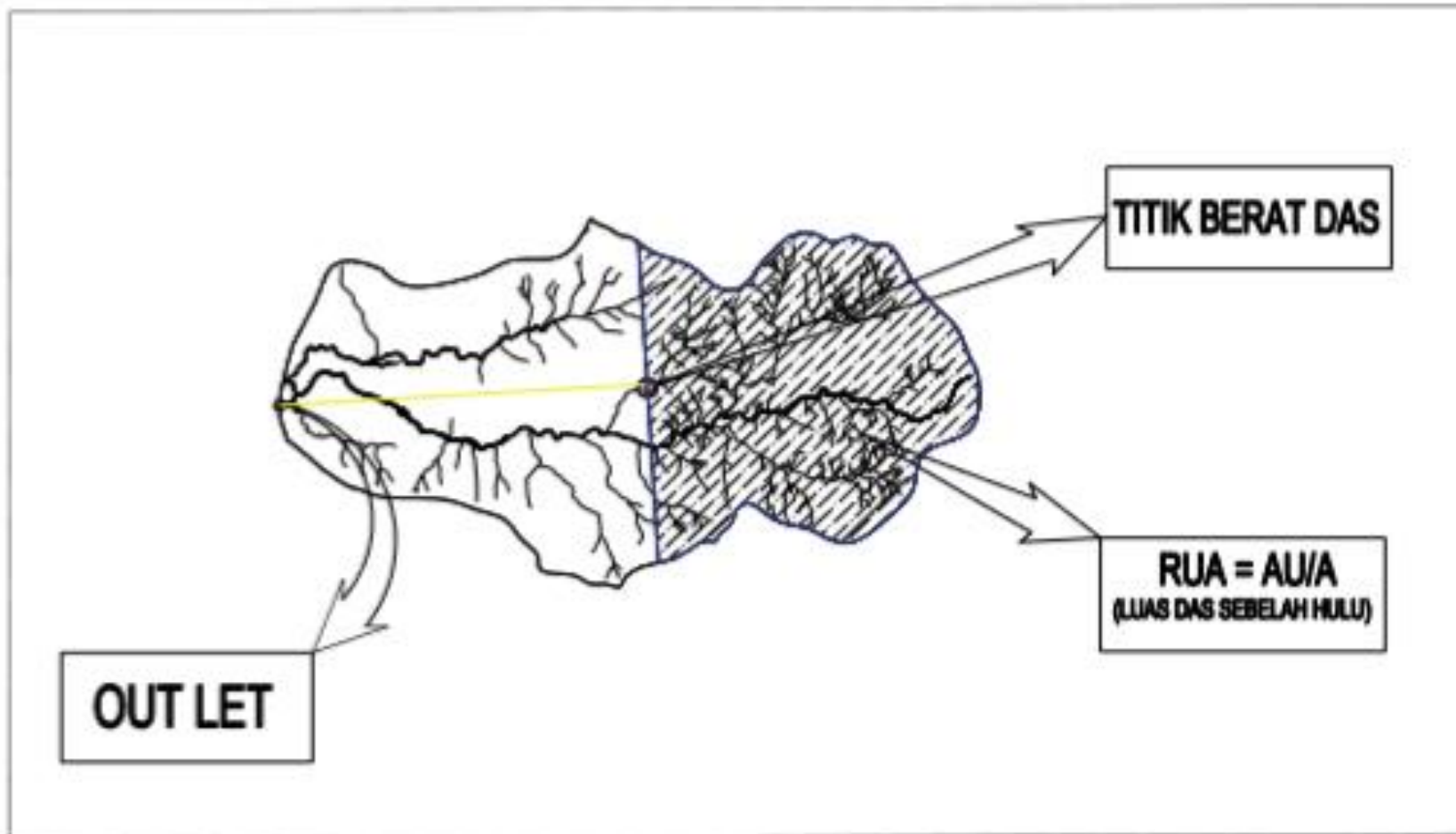
Gambar 3: Sketsa Poligon Thiessen

Lampiran 11:



Gambar 4: Sketsa Penentuan WL dan WU

Lampiran 12:



Gambar 5: Sketsa Penentuan RUA