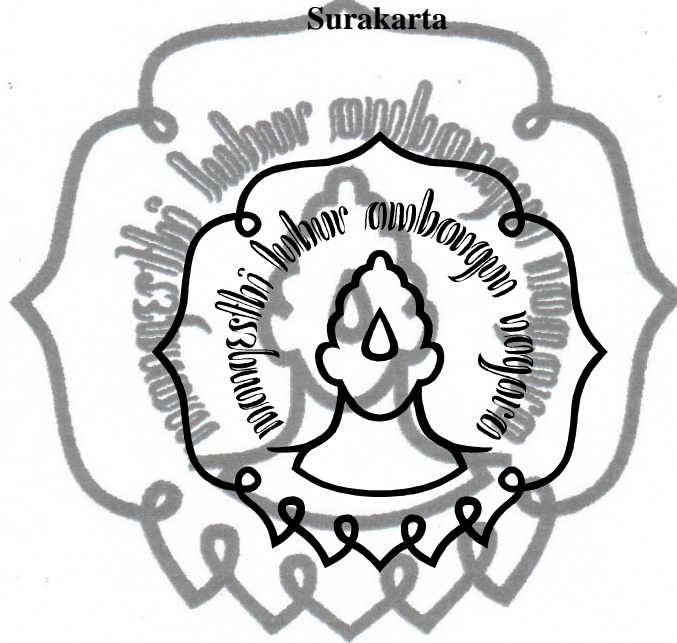


**ANALISIS BANJIR TAHUNAN DAERAH ALIRAN SUNGAI
BENGAWAN SOLO HULU
SUB DAS BENGAWAN SOLO HULU 3**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Sebagai Syarat Untuk Memperoleh Gelar Ahli Madya
Pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Sebelas Maret
Surakarta**



Disusun Oleh :

AYU PRAWESTI NOVA
NIM. I8709004

**PROGRAM DIPLOMA III
JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA
2012**

commit to user

MOTTO

- “Hai orang-orang yang beriman, mintalah pertolongan (kepada Allah) dengan Sabar dan Shalat, sesungguhnya Allah beserta orang-orang yang sabar” (**Albaqoroh : I53**)
- Sesungguhnya jalan kebahagiaan berada di depan anda. Carilah ia melalui ilmu, amal shalih, dan akhlaq yang utama. Jadilah anda seorang yang bersikap sederhana dalam semua urusan, niscaya anda akan peroleh kebahagiaan (**DR. Aidh Bin Abdullah Al-Qarni**).
- Semangat, usaha dan doa adalah tiga unsur menuju kesuksesan. (Anonim)

PERSEMBAHAN

Ya Allah dengan mengharap ridho dan Hidayah Mu ingin ku persembahkan Tugas Akhir ini kepada :

1. Allah SWT yang selalu memberikan kesempatan, petunjuk dan Hidayah Nya dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
2. Kedua orang tuaku Bapak Bambang Sugiharto, S.H. dan ibuk Lugi Atmain yang senantiasa menyayangi, memberikan semua yang bisa kalian berikan. Mengajarkan si ayu banyak hal, terimakasih atas semua doa, dukungan, semangat dan selalu menjadi motifasi dalam hidup si ayu. Terimakasih berulang kalipun tetap tidak cukup. .Love u so much. . .
3. Adik-adiku tersayang Wulandari Dyah Pitaloka dan Sadewa Rama Bistara yang turut mendoakan dan memberi semangat mbak ayu. Meskipun kalian sering ngebantah nasehat mbak ayu, tapi mbak ayu selalu ada untuk kalian. Terimakasih ya. . .
4. Keluarga om Taufik Oktavianto, S.H. dan bulek Rini Pangestuti yang senantiasa mengajarkan kedisiplinan, kemandirian, sehingga menjadikan mbak ayu semakin dewasa dan bisa mengerti arti kehidupan yang sebenarnya. . .
5. Teman-teman Sipil Infrastruktur Perkotaan angkatan 2009, yang semula kita ber 28 dan sekarang kita tinggal ber 20 (Adit, Fridud (Frida), Andrew, Mas Cahyo (Cahyo), Diella, Alm. Kodok (Eko), Rizal, Himawan, Novi, Joni, Lindul (Linda), Oyik (Orien), Tia, Ara, Putri, Rijul (Rima), Icha, Mbokdhe (Kiki), Bo (Rusdi).

commit to user

6. Teman-teman seperjuangan Sipil Infrastruktur Perkotaan 2009 kelompok TA Fridud (frida), mas cahyo (cahyo), himaho (himawan), bang joni (joni), lindul (linda), oyik (orien), putri, rijul (rima) yang selalu saling membantu dan saling mendukung dalam suka maupun duka dalam mengerjakan Tugas Akhir ini. . .
7. Teman-teman Sipil Gedung dan Transportasi serta Adik-adik tingkat Infrastruktur Perkotaan yang selalu memberi dukungan dan semangatnya untuk saya. Terima kasih. . .
8. Teman-teman SMA N I Tayu, khususnya IPA I (bolo kurowo), wika dan endah yang selalu memberikan semangatnya disaat mbak ayu lagi kumat galaauu. Terimakasih untuk semua nasehat, dukungan dan persahabatan ini. . .
9. Semua pihak yang selalu mendukung dan memberi semangat dalam penyelesaian Tugas Akhir ini yang tidak bisa saya sebutkan semua, terimakasih. . .

Semoga Allah memberikan karunia dan Ridho Nya pada Kalian semua.

Amin. . .

ABSTRAK

Ayu Prawesti Nova, 2012. *Analisis Banjir Tahunan Daerah Aliran Sungai Bengawan Solo Hulu Sub DAS Bengawan Solo Hulu 3*. Tugas Akhir, Program Diploma III Teknik Sipil Infrastruktur Perkotaan, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Hujan bisa menyebabkan bencana banjir yang bisa mengganggu kegiatan manusia. Banjir adalah suatu kondisi di mana tidak tertampungnya air dalam saluran pembuang atau terhambatnya aliran air di dalam saluran pembuang, sehingga meluap menggenangi daerah sekitarnya. Sungai Bengawan Solo merupakan sungai terbesar di Pulau Jawa.

Sub DAS Bengawan Solo Hulu 3 merupakan Daerah Aliran Sungai Bengawan Solo. Analisis banjir tahunan untuk mengetahui besarnya debit banjir tahunan menggunakan Metode Nakayasu. Data curah hujan yang di gunakan selama tahun 1999-2011 dari stasiun pencatat hujan Watugede dan Baturetno. Analisis banjir tahunan berdasarkan periode ulang 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 1000 th akan dibandingkan dengan debit banjir 2 harian tahunan dan debit banjir 2 harian bulanan. Sehingga akan lebih memudahkan untuk melakukan sosialisai terhadap resiko terjadinya banjir bagi penduduk yang tinggal di wilayah Wonogiri yang dilewati oleh sungai bengawan solo.

Dari hasil analisis dan perhitungan pola distribusi hujan di Daerah Aliran Sungai Bengawan Solo Hulu Sub DAS Bengawan Solo Hulu 3 mengikuti pola distribusi hujan Log Person Type III. Hasil perhitungan debit banjir Periode ulang sebagai berikut : $Q_2 = 181,518 \text{ m}^3/\text{dt}$, $Q_5 = 242,498 \text{ m}^3/\text{dt}$, $Q_{10} = 283,109 \text{ m}^3/\text{dt}$, $Q_{20} = 316,534 \text{ m}^3/\text{dt}$, $Q_{50} = 373,369 \text{ m}^3/\text{dt}$, $Q_{100} = 412,425 \text{ m}^3/\text{dt}$, $Q_{200} = 452,013 \text{ m}^3/\text{dt}$, $Q_{1000} = 546,683 \text{ m}^3/\text{dt}$ dengan menggunakan metode Nakayasu. Potensi banjir tahunan berdasarkan hujan 2 harian maksimum tahunan pada tahun 1999, 2001, 2003-2004, 2006, 2009-2011 berpotensi banjir Q_2 . Tahun 2000 berpotensi banjir Q_5 . Tahun 2007 berpotensi banjir Q_{10} . Potensi banjir bulanan berdasarkan hujan 2 harian maksimum bulanan pada kurun analisis tahun 1999-2011, bulan Januari-April dan November berpotensi banjir Q_2 . Bulan Desember berpotensi banjir Q_{10} .

Kata kunci : Potensi Banjir, Periode Ulang

ABSTRACT

Ayu Prawesti Nova, 2012. *An Analysis on Annual Flood in Bengawan Solo Hulu 3 Sub River Flow Area (Sub-DAS) of Bengawan Solo Hulu River Flow Area*. Final Project, Diploma III Urban Infrastructure Civil Engineering Study Program, Civil Engineering Department of Engineering Faculty of Surakarta Sebelas Maret University.

Rain can result in flood disaster leading to disturbing human activity. Flood is a condition in which the water is not accommodated in the sewage channel or the blockage of water flow in the sewage channel, so that it overflows and inundates the area surrounding. The Bengawan Solo River is the largest river in Java Island.

Bengawan Solo Hulu Sub DAS is Bengawan Solo River Flow Area. The analysis on annual flood aims to find out the flow rate of annual flood using Nakayasu Method. The data of rainfall used was the one for 1999-2011 period in Watugede and Baturetno rain recorder station. The annual flood analysis based on repeated periods 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 1000 years would be compared with the flow rate of 2 daily annually floods and the flow rate of 2 daily monthly floods. Thus, it would facilitate the socialization about the flood occurrence for the people living in Wonogiri area passed through by Bengawan Solo River.

From the result of analysis and calculation it could be found that rain distribution pattern in Bengawan Solo Hulu 3 Sub River Flow Area (Sub-DAS) of Bengawan Solo Hulu River Flow Area followed Type III of Log Person rain distribution pattern. The results of flood flow rate calculation for repeated period were as follows: $Q_2 = 181.518 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_5 = 242.498 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{10} = 283.109 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{20} = 316.534 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{50} = 373.369 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{100} = 412.425 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{200} = 452.013 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{1000} = 546.683 \text{ m}^3/\text{s}$ using Nakayasu. The annual flood potential based on 2 annual maximum daily rains in 1999, 2001, 2003-2004, 2006, 2009-2011 potentially experienced flood Q_2 , in 2000 Q_2 and in 2007 Q_{10} . The monthly flood potential based on 2 annual maximum monthly rains during 1999-2011 period was Q_2 in January-April and November, and Q_{10} in December.

Keywords: Flood Potential, Repeated Period

KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan Rahmat dan hidayah-Nya, Sholawat dan Salam teruntuk makhluk Illahi, Muhammad SAW, yang dengan perjuangannya telah dapat mengantarkan umat pilihan terakhir untuk semua umat manusia demi menuju Ridho-Nya. Maka penulis sangat bersyukur karna telah dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini sesuai dengan yang diharapkan.

Laporan Tugas Akhir ini yang berjudul, “Analisis Banjir Tahunan Daerah Aliran Sungai Bengawan Solo Hulu Sub DAS Bengawan Solo Hulu 3”, ini penulis susun untuk memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Ahli Madya pada program D3 Teknik Sipil Infrastruktur Perkotaan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Penyusunan laporan Tugas Akhir ini tidak dapat terwujud tanpa adanya bimbingan, arahan dan bantuan dari berbagai pihak. Maka dari itu dalam kesempatan ini pula penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Dr.Ir.Rr.Rintis Hadiani, MT. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, Teman-teman D-III Teknik Sipil Infrastruktur Perkotaan 2009 dan semua pihak yang telah membantu terselesaikannya Tugas Akhir dan Laporan Tugas Akhir ini.

Penulis hanya dapat mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas semua bantuan yang telah diberikan, semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan Rahmat dan Hidayah-Nya kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini.

Akhir kata, penulis berharap semoga laporan hasil Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis pada khususnya dan pembaca pada umumnya, Amiin.

Surakarta, Juli 2012

Penulis

commit to user

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
ABSTRAK	vii
KATAPENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR NOTASI	xv
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan Penelitian.....	3
1.5. Manfaat Penulisan.....	3
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	
2.1. Tinjauan Pustaka..	4
2.1.1. Umum	4
2.1.2. Hujan	5
2.2. Landasan Teori	6
2.2.1. Daerah Aliran Sungai.....	6
2.2.2. Kualitas Data Hujan.....	6
2.2.3. Analisis Curah Hujan Harian Maksimum.....	9
2.2.4. Analisis Konsistensi/Kepanggahan.....	10
2.2.5. Perhitungan Hujan Daerah.....	12

2.2.6. Perhitungan Parameter Statistik.....	15
2.2.7. Pemilihan Distribusi Hujan.....	18
2.2.8 Uji Kecocokan Distribusi Hujan.....	19
2.2.9 Perhitungan Hujan Periode Ulang.....	21
2.2.10 Perhitungan Hidrograf Satuan.....	24

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Jenis Penelitian.....	27
3.2. Lokasi Penelitian	27
3.3. Data Yang Dibutuhkan.....	28
3.4. Alat Yang Digunakan.....	29
3.5. Langkah-langkah Penelitian.....	29
3.5.1. Mengumpulkan Data dan Informasi.....	29
3.5.2. Mengolah Data.....	29
3.5.3. Penyusunan Laporan.....	30
3.6. Diagram Alir Tahapan Penelitian.....	30

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengumpulan Data.....	32
4.2. Uji Kepanggahan Data Hujan.....	33
4.2.1. Uji Kepanggahan Metode RAPS.....	33
4.3. Perhitungan Hujan Daerah Harian maksimum.....	35
4.4. Perhitungan Parameter Statistik.....	38
4.4.1. Parameter Statistik	38
4.4.2. Pengujian Jenis Distribusi.....	39
4.5. Perhitungan Hujan Periode Ulang.....	41
4.6. Perhitungan Hidrograf Satuan Nakayasu.....	43
4.6.1. Distribusi Hujan Nakayasu 4 Jam-Jaman.....	43
4.6.2. Perhitungan debit Banjir Periode Ulang.....	47
4.7. Debit Banjir 2 Harian Tahunan Maksimum.....	49
4.7.1. Distribusi Hujan Tadasi Tanimoto 8 jam-jaman.....	49
4.7.2. Distribusi Hujan Nakayasu.....	52
4.8. Debit Banjir 2 harian Bulanan.....	58

4.8.1. Penentuan Hujan Daerah.....	58
4.8.2. Analisis Frekuensi Log Person Type III.....	60
4.8.3. Perhitungan Hidrograf Satuan Nakayasu.....	61

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan.....	68
5.2. Saran.....	69

PENUTUP	xvii
DAFTAR PUSTAKA	xviii
LAMPIRAN	xix



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Nilai kritik Q dan R	11
Tabel 2.2. Tabel Pemilihan Jenis Distribusi.....	18
Tabel 2.3. <i>Coefficient of Skewness log Person Type III</i> (<i>Asimetri Coeffisient-Positive</i>).....	22
Tabel 2.4. <i>Coefficient of Skewness log Person Type III</i> (<i>Asimetri Coeffisient-Negative</i>).....	23
Tabel 2.5. Distribusi hujan Nakasayu.....	25
Tabel 2.6. Distribusi hujan Tadashi Tanimoto	26
Tabel 4.1. Data Hujan Tahunan Stasiun Hujan di Sub DAS Bengawan Solo Hulu	32
Tabel 4.2. Uji Kepanggahan pada Stasiun Pencatat Hujan Baturetno.....	34
Tabel 4.3. Hasil Uji Kepanggahan Das Bengawan Solo Hulu	34
Tabel 4.4. Data Hujan Harian Maksimum Tahunan Das Bengawan Solo Hulu di tinjau dari Stasiun Baturetno	35
Tabel 4.5. Hujan Daerah Harian Maksimum Tahunan dengan acuan terbesar Stasiun Baturetno	37
Tabel 4.6. Hujan Daerah Harian Maksimum Tahunan dengan acuan terbesar Stasiun Watugede	37
Tabel 4.7. Hujan Daerah Harian Maksimum Tahunan	38
Tabel 4.8. Hasil Pemilihan Jenis Distribusi.....	39
Tabel 4.9. Tabel Probabilitas Curah Hujan (Metode Log Person Type III)	40
Tabel 4.10. Perhitungan Uji Chi Kuadrat DAS Bengawan Solo Hulu Log Person Type III	40
Tabel 4.11. Tabel Perhitungan parameter logaritma data hujandaerah.....	41
Tabel 4.12. Tabel perhitungan hujan periode ulang Log Person Type III	42
Tabel 4.13. Tabel persentase sebaran hujan 4 jaman	42
Tabel 4.14. Tabel hasil perhitungan hujan efektif Jam-jaman Periode Ulang	43
Tabel 4.15. Tabel hasil perhitungan hidrograf satuan Nakayasu	43
Tabel 4.16. Tabel hasil perhitungan debit kala ulang 2 tahun.....	47

Tabel 4.17. Tabel rekapitulasi perhitungan debit banjir tahunan berdasarkan hujan daerah harian maksimum tahunan.....	48
Tabel 4.18. Data Hujan 2 harian Maksimum Tahunan DAS Bengawan Solo Hulu di tinjau dari Stasiun Baturetno	49
Tabel 4.19. Hujan Daerah Harian Maksimum Tahunan dengan acuan Terbesar Stasiun Baturetno.....	50
Tabel 4.20. Hujan Daerah Harian Maksimum Tahunan dengan acuan Terbesar Stasiun Watugede.....	50
Tabel 4.21. Tabel Perhitungan parameter logaritma data hujan daerah.....	51
Tabel 4.22. Hasil Hujan Efektif Jam-Jaman 2 Harian	52
Tabel 4.23. Tabel hasil perhitungan hidrograf satuan Nakayasu 2 harian	52
Tabel 4.24. Tabel hasil perhitungan debit 2 harian tahun 1999	55
Tabel 4.25. Tabel Rekapitulasi Perhitungan Debit Banjir hujan 2 harian	57
Tabel 4.26. Hujan Daerah dengan acuan terbesar Stasiun Baturetno Bulan Januari.....	58
Tabel 4.27. Hujan Daerah dengan acuan terbesar Stasiun Watugede Bulan Januari.....	59
Tabel 4.28. Tabel Rekapitulasi Hujan Daerah Maksimum Bulanan.....	59
Tabel 4.29. Tabel Perhitungan Parameter Logaritma Data Hujan Daerah.....	60
Tabel 4.30. Hasil Perhitungan Hujan Efektif Bulanan dari Hujan Daerah 2 Harian	61
Tabel 4.31. Tabel Hasil Perhitungan Hidrograf Satuan Nakayasu Bulanan.....	61
Tabel 4.32. Tabel Perhitungan Debit Banjir Bulanan.....	65
Tabel 4.33. Tabel Rekapitulasi Debit Banjir Bulanan.....	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Poligon Thiessen	14
Gambar 2.2. Isohyet.....	14
Gambar 2.3. Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu.....	26
Gambar 3.1. DAS Wongiri Hulu.....	28
Gambar 3.2. Sub DAS Bengawan Solo Hulu 3.....	28
Gambar 3.3. Diagram Alir Penelitian.....	31
Gambar 4.1. Poligon Thiessen Sub DAS Bengawan Solo Hulu 3.....	36
Gambar 4.2. Grafik Hidrograf Satuan Nakayasu.....	46
Gambar 4.3. Grafik Hidrograf Satuan Metode Nakayasu.....	48
Gambar 4.4. Grafik Perbandingan Debit Banjir 2 harian dengan Debit Banjir Tahunan Maksimum.....	57
Gambar 4.5. Grafik Perbandingan Debit Banjir 2 harian Bulanan dengan Debit Banjir Tahunan Maksimum.....	67

DAFTAR NOTASI

Notasi	Arti Notasi	Satuan
Y_i	data hujan ke- i	mm/hari
Y	data hujan rerata $-I$	mm/hari
n	jumlah data	
\bar{P}	hujan wilayah	mm
P_N	hujan masing-masing stasiun pencatat hujan	mm
A_w	luas wilayah	Km ²
A_N	luas masing-masing poligon	Km ²
N	jumlah stasiun pencatat hujan	
p	hujan rerata kawasan	mm
p_1, p_2, \dots, p_n	hujan di stasiun 1, 2, 3..., n	mm
A_1, A_2, \dots, A_n	luas daerah yang mewakili stasiun 1, 2, 3..., n	Km ²
$\text{Log}X_t$	Logaritma curah hujan dalam periode ulang T tahun	mm
$\log X$	Jumlah pengamatan	
C_s	koefisien kemencengan	
S_x	Standar Deviasi	
X_i	Curah hujan minimum	
X	Curah hujan rata-rata	
χ^2	nilai Chi-Kuadrat terhitung	
E_f	frekuensi (banyak pengamatan)	
O_f	frekuensi yang terbaca pada kelas yang sama	
N	jumlah sub kelompok dalam satu grup	
DK	derajat kebebasan	
K	banyaknya kelas	
α	banyaknya keterikatan (banyaknya parameter)	
$\text{Log}X_t$	Logaritma curah hujan dalam periode ulang T tahun	mm
$\log X$	Jumlah pengamatan	
Q_p	debit puncak banjir	m ³ /dt
A	luas DAS	km ²
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	jam
T_r	satuan waktu dari curah hujan	jam
α	koefisien karakteristik DAS	
L	panjang sungai utama	km
I	intensitas hujan	mm/menit
C	koefisien thiessen	
d	tinggi hujan	mm



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Musim hujan menjadi musim yang banyak membawa manfaat bagi kehidupan manusia. Namun belakangan ini musim hujan menyebabkan bencana banjir sehingga mengganggu kegiatan manusia. Banjir tahunan yang terjadi di beberapa daerah cukup meresahkan penduduk. Terlebih jika tidak ada penanganan lebih lanjut, setidaknya untuk melakukan analisis terhadap banjir tahunan yang akan terjadi di suatu daerah. Menanggapi kondisi ini, kita perlu memahami kembali teori siklus air yang menguraikan bagaimana proses perputaran air di bumi.

Dalam siklus hidrologi volume air yang mengalir di permukaan bumi ditentukan oleh tingkat curah hujan dan tingkat peresapan air ke dalam tanah. Siklus hidrologi ini dipengaruhi oleh beberapa peristiwa salah satu diantaranya adalah banjir. Banjir adalah suatu kondisi di mana tidak tertampungnya air dalam saluran pembuang (palung sungai) atau terhambatnya aliran air di dalam saluran pembuang, sehingga meluap menggenangi daerah (dataran banjir) sekitarnya (Suripin, 2004).

Sungai Bengawan Solo menjadi sumber air yang penting bagi sebagian penduduk di daerah Jawa Tengah dan Jawa Timur. Khususnya bagi penduduk di daerah Wonogiri yang merupakan daerah aliran sungai Bengawan Solo. Ketika musim banjir datang, daerah tersebut yang akan terkena dampaknya. Oleh karena itu penting untuk mengkaji karakteristik banjir tahunan yang terjadi di wilayah sungai Bengawan Solo. Analisis banjir tahunan ini akan dilakukan di Daerah Aliran Sungai Bengawan Solo Hulu Sub DAS Bengawan Solo Hulu 3.

Penelitian ini akan membahas besarnya debit banjir tahunan yang kemungkinan terjadi di Daerah Aliran Sungai Bengawan Solo Sub DAS Bengawan Solo Hulu 3 dari data hujan di setiap stasiun pencatat hujan terdekat. Hal ini bertujuan agar pengendalian banjir di wilayah tersebut lebih pasti dan akurat. Dari data hujan stasiun Batureto dan Watugede selama 13 tahun yaitu dari tahun 1999-2011, bisa dilakukan analisis banjir tahunan yang di sebabkan oleh hujan harian, hujan 2 harian dan hujan bulanan maksimum tahunan. Debit banjir dengan periode ulang 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 1000 th akan dibandingkan dengan debit banjir 2 tahunan dan debit banjir bulanan. Sehingga akan lebih memudahkan untuk melakukan sosialisai terhadap resiko terjadinya banjir bagi penduduk yang tinggal di wilayah Wonogiri yang dilewati oleh sungai bengawan solo.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana menghitung pola distribusi hujan di Daerah Aliran Sungai Bengawan Solo Sub DAS Bengawan Solo Hulu 3?
2. Bagaimana menghitung banjir di Daerah Aliran Sungai Bengawan Solo Sub DAS Bengawan Solo Hulu 3 dengan periode ulang?
3. Bagaimana menghitung potensi banjir di Daerah Aliran Sungai Bengawan Solo Sub DAS Bengawan Solo Hulu 3?

1.3 Batasan Masalah

Agar studi ini dapat lebih mengarah pada permasalahan yang ditinjau maka perlu diberikan batasan-batasan sebagai berikut:

1. Lokasi penelitian adalah Daerah Aliran Sungai Bengawan Solo Sub DAS Bengawan Solo Hulu 3.
2. Penelitian hanya membahas analisis banjir tahunan di Daerah Aliran Sungai Bengawan Solo Sub DAS Bengawan Solo Hulu 3.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang diperoleh dari penulisan Tugas Akhir ini adalah:

1. Mengetahui pola distribusi hujan di Daerah Aliran Sungai Bengawan Solo Sub DAS Bengawan Solo Hulu 3.
2. Mengetahui banjir rencana dengan periode ulang di Daerah Aliran Sungai Bengawan Solo Sub DAS Bengawan Solo Hulu 3.
3. Mengetahui potensi banjir di Daerah Aliran Sungai Bengawan Solo Sub DAS Bengawan Solo Hulu 3.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah :

1. Manfaat bagi ilmuwan adalah memberikan informasi keilmuan dalam bidang teknik sipil khususnya hidrologi yaitu mengenai analisis banjir tahunan di Daerah Aliran Sungai Bengawan Solo Sub DAS Bengawan Solo Hulu 3.
2. Manfaat bagi praktisi adalah memberikan informasi tentang perhitungan hujan daerah dan banjir dengan periode ulang.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

2.1.1 Umum

Pengendalian banjir menjadi permasalahan yang cukup kompleks. Dimensi rekayasanya melibatkan banyak disiplin ilmu teknik antara lain: hidrologi, hidrolika, erosi DAS, teknik sungai, morfologi dan sedimentasi sungai, rekayasa sistem pengendalian banjir, sistem drainase kota dan bangunan air. Di samping itu suksesnya program pengendalian banjir juga tergantung dari aspek lainnya yang menyangkut sosial, ekonomi, lingkungan, institusi dan hukum.

Pengendalian banjir merupakan bagian dari pengelolaan sumber daya air yang lebih spesifik. Untuk mengendalikan debit banjir umumnya melalui dam – dam pengendali banjir, atau peningkatan sistem pembawa (sungai, drainase) dan pencegahan hal –hal yang berpotensi merusak dengan cara mengelola tata guna lahan dan daerah banjir / *flood plains* (PSDA Terpadu, 2008).

Data debit atau aliran sungai merupakan informasi yang paling penting bagi pengelola sumberdaya air. Debit puncak (banjir) diperlukan untuk merancang bangunan pengendali banjir. Sementara data debit aliran kecil diperlukan untuk perencanaan alokasi (pemanfaatan) air untuk berbagai macam keperluan, terutama pada musim kemarau panjang. Debit aliran rata-rata tahunan dapat memberikan gambaran potensi sumberdaya air yang dapat dimanfaatkan dari suatu daerah aliran sungai.

2.1.2 Hujan

Hujan menjadi sumber dari semua air yang mengalir di sungai maupun di bawah permukaan tanah. Jumlah dan variasi debit sungai tergantung pada jumlah, intensitas dan distribusi hujan. Terdapat hubungan antara debit sungai dan curah hujan yang jatuh di DAS yang bersangkutan. Apabila data pencatatan debit tidak ada, data pencatatan hujan dapat digunakan untuk memperkirakan debit aliran (Bambang Triatmodjo, 2008).

Hujan merupakan komponen masukan yang paling penting dalam proses analisis hidrologi, karena kedalaman curah hujan (*rainfall depth*) yang turun dalam suatu DAS akan dialihragamkan menjadi aliran di sungai, baik melalui limpasan permukaan (*surface runoff*), aliran antara (*interflow, sub-surface runoff*), maupun sebagai aliran air tanah (*groundwater flow*) (Sri Harto, 1993).

Karakteristik hujan yang perlu ditinjau dalam analisis dan perencanaan hidrologi meliputi:

1. Intensitas (I) adalah tinggi air persatuan waktu yaitu laju hujan, misalnya mm/menit, mm/jam, atau mm/hari.
2. Lama waktu (t), adalah durasi atau panjang waktu di mana hujan turun dalam menit atau jam.
3. Tinggi hujan (d), adalah jumlah atau kedalaman hujan yang terjadi selma durasi hujan dan dinyatakan dalam ketebalan air di atas permukaan datar dalam mm.
4. Frekuensi adalah frekuensi kejadian dan biasanya dinyatakan dengan kala ulang (*return periode*) T, misalnya sekali dalam 2 tahun.
5. Luas adalah luas geografi daerah sebaran hujan (C.D.Soemarto, 1986).
6. Periode ulang (*Return Period*) adalah waktu hipotesa dimana hujan dengan suatu besaran tertentu akan disamai/dilampaui.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Daerah Aliran Sungai (DAS)

Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan daerah di mana semua airnya mengalir ke dalam suatu sungai yang dimaksudkan. Daerah ini umumnya dibatasi oleh batas topografi, yang berarti ditetapkan berdasar aliran air permukaan. Batas ini tidak ditetapkan berdasar air bawah tanah karena permukaan air tanah selalu berubah sesuai dengan musim dan tingkat kegiatan pemakaian.

Nama sebuah DAS ditandai dengan nama sungai yang bersangkutan dan dibatasi oleh titik kontrol, yang umumnya merupakan stasiun hidrometri. Memperhatikan hal tersebut berarti sebuah DAS dapat merupakan bagian dari DAS lain. Dalam sebuah DAS kemudian dibagi dalam area yang lebih kecil menjadi sub DAS. Penentuan batas-batas sub DAS berdasarkan kontur, jalan dan rel KA yang ada di lapangan untuk menentukan arah aliran air. Dari peta topografi, ditetapkan titik-titik tertinggi di sekeliling sungai utama (*main stream*) yang dimaksudkan, dan masing-masing titik tersebut dihubungkan satu dengan lainnya sehingga membentuk garis utuh yang bertemu ujung pangkalnya. Garis tersebut merupakan batas DAS di titik kontrol tertentu (*Sri Harto, 1993*).

2.2.2 Kualitas Data Hujan

Secara umum ketersediaan data iklim di Indonesia dibatasi oleh penyebaran stasiun, lama dan panjang data hasil pengamatan, jenis data yang tersedia serta kualitas dan kelengkapan data.

Berdasarkan data hujan yang diperoleh dapat dilakukan berbagai macam pengamatan analisis banjir tahunan, yaitu: analisis konsistensi data hujan, perhitungan statistik dan kesesuaian distribusi, analisis curah hujan maksimum, hujan berpeluang maksimum (*Probabilit Maximum Precipitation*), hujan daerah, curah hujan periode ulang, analisis hujan efektif, perhitungan hidrograf satuan, analisis banjir rencana.

2.2.2.1 Seri Data Hidrologi

Data yang digunakan dalam analisis frekuensi dapat dibedakan menjadi dua tipe berikut ini (Bambang Triatmodjo, 2008):

1. *Partial duration series*

Metode ini biasa digunakan untuk jumlah data hujan yang kurang dari 10 tahun data runtut waktu. *Partial duration series* yang juga disebut POT (*peaks over threshold*) adalah rangkaian data debit banjir/hujan yang besarnya di atas suatu nilai batas tertentu. Dengan demikian dalam satu tahun bisa terdapat lebih dari satu data yang digunakan dalam analisis. Dari setiap tahun data diperoleh 2 sampai 5 data tertinggi.

2. *Annual maximum series*

Metode ini digunakan apabila tersedia data debit atau hujan minimal 10 tahun runtut waktu. Tipe ini adalah dengan memilih satu data maksimum setiap tahun. Dalam satu tahun hanya ada satu data. Dengan cara ini, data terbesar kedua dalam suatu tahun yang mungkin lebih dari data maksimum pada tahun yang lain tidak diperhitungkan.

Kualitas data sangat menentukan hasil analisis yang dilakukan. Panjang data tersedia juga mempunyai peranan yang cukup besar. (Sri harto, 1986) mendapatkan bahwa perbedaan panjang data yang dipergunakan dalam analisis memberikan penyimpangan yang cukup berarti terhadap perkiraan hujan dengan kala ulang tertentu. Khusus untuk analisis frekuensi data hujan, pengambilan data hendaknya dilakukan dengan prosedur yang benar. Data hujan yang dimaksudkan dalam analisis adalah data hujan rata-rata DAS, sedangkan data yang diketahui adalah data hujan dari masing-masing stasiun hujan. Dalam praktik analisis frekuensi dijumpai lima cara penyiapan data.

- 1) Data hujan DAS diperoleh dengan menghitung hujan rata-rata setiap hari sepanjang data yang tersedia. Bila terjadi data 10 tahun, berarti hitungan hujan rata-rata kawasan diulang sebanyak $10 \times 365 = 3650$ kali. Cara ini yang terbaik, tetapi waktu penyiapan data yang panjang.

commit to user

- 2) Pendekatan yang dapat dilakukan untuk menggantikan cara pertama dilakukan seperti berikut ini:
- a. Dalam satu tahun tertentu, untuk stasiun I dicari hujan maksimum tahunnya. Selanjutnya dicari hujan harian pada stasiun-stasiun lain pada hari kejadian yang sama dalam tahun yang sama dan kemudian dihitung hujan rata-rata DAS. Masih dalam tahun yang sama, dicari hujan harian untuk stasiun-stasiun lain dicari dan dirata-ratakan. Demikian selanjutnya sehingga dalam tahun itu akan terdapat N buah data hujan rata-rata DAS.
 - b. Untuk tahun berikutnya cara yang sama dilakukan sampai seluruh data yang tersedia.
- 3) Cara ketiga dengan menggunakan data pada salah satu stasiun (data maksimum) dan mengalikan data tersebut dengan koefisien reduksi.
- 4) Cara penyiapan data lain adalah dengan mencari hujan-hujan maksimum harian setiap stasiun dalam satu tahun, kemudian dirata-ratakan untuk mendapatkan hujan DAS. Cara ini tidak dapat dijelaskan arti fisiknya, karena perata-rataan hujan dilakukan atas hujan masing-masing stasiun pada hari yang berbeda.
- 5) Cara lain yaitu dengan analisis frekuensi data hujan setiap stasiun sepanjang data yang tersedia. Hasil analisis frekuensi tersebut selanjutnya dirata-ratakan sebagai hujan rata-rata DAS.

Dalam kaitan penyiapan data di atas hanya cara yang pertama dan kedua yang dianjurkan untuk digunakan.

2.2.2.2 Pengukuran Hujan

Di Indonesia, data hujan ditakar dan dikumpulkan oleh beberapa instansi terkait seperti Dinas Pengairan, Dinas Pertanian dan Badan Meteorologi dan Geofisika. Hujan di suatu daerah bisa diukur di beberapa titik yang ditetapkan dengan menggunakan alat pengukur hujan. Alat pengukur hujan dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu:

1. Alat penakar hujan manual (*manual raingauge*)

Penakar hujan manual adalah alat ukur yang banyak digunakan di Indonesia. Alat ini ditempatkan di tempat terbuka yang tidak dipengaruhi pohon maupun gedung di sekitarnya. Biasanya pembacaan pada pagi hari, sehingga hujan tercatat adalah hujan yang terjadi selama satu hari sebelumnya, yang disebut sebagai hujan harian. Dengan alat ini tidak dapat diketahui ederasan hujan (intensitas) hujan, durasi (lama waktu) hujan dan kapan terjadinya. Alat penakar hujan manual mencatat data hujan harian yang bermanfaat untuk sektor pertanian dan perkebunan. Data hujan harian yang diperoleh terkadang sering kosong akibat alat pengukur yang rusak atau karena pemalsuan data karena alat pengukur tidak diamati petugas.

2. Alat pengukur hujan otomatis (*automatic raingauge*)

Alat ini mengukur hujan secara kontinyu sehingga dapat diketahui intensitas hujan dan lama waktu hujan. Ada beberapa macam alat penakar hujan otomatis yaitu alat penakar hujan jenis pelampung, alat penakar hujan jenis rimba jungkit, dan alat penakar hujan jenis timbangan. Alat ukur otomatis yang pencatatan datanya lebih rinci, yaitu dalam bentuk grafik untuk mempermudah pembacaan. Sayangnya penakar otomatis ini jarang ditemukan di Indonesia karena biaya pengadaannya besar dan Indonesia memiliki kendala dalam pengoperasiannya sebab kurang dapat menjaga keberlangsungan dan pemeliharaan alat.

2.2.3 Analisis Curah Hujan Harian Maksimum

Perhitungan data hujan maksimum harian rata-rata DAS harus dilakukan secara benar untuk analisis frekuensi data hujan. Dalam praktik sering kita jumpai perhitungan yang kurang pas, yaitu dengan cara mencari hujan maksimum harian setiap pos hujan dalam satu tahun, kemudian dirata-ratakan untuk mendapatkan hujan DAS. Cara ini tidak logis karena rata-rata hujan dilakukan dari masing-masing pos hujan yang terjadi pada hari yang berlainan. Hasilnya akan jauh menyimpang dari hasil yang seharusnya.

Metode/cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan hujan maksimum harian rata-rata DAS adalah sebagai berikut :

commit to user

1. Tentukan hujan maksimum harian pada tahun tertentu di salah satu pos hujan,
2. Cari besarnya curah hujan pada tanggal-bulan-tahun yang sama untuk pos hujan yang lain,
3. Hitung hujan DAS dengan salah satu cara yang dipilih,
4. Tentukan hujan maksimum harian (seperti langkah 1) pada tahun yang sama untuk pos hujan yang lain,
5. Ulangi langkah 2 dan 3 setiap tahun.

Dari hasil rata-rata yang diperoleh (sesuai dengan jumlah pos hujan) dipilih yang tertinggi setiap tahun. Data hujan yang terpilih setiap tahun merupakan hujan maksimum harian DAS untuk tahun yang bersangkutan (Suripin, 2004).

2.2.4 Analisis Konsistensi/ Kepanggahan

Perubahan lokasi stasiun hujan atau perubahan prosedur pengukuran dapat memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap jumlah hujan yang terukur, sehingga dapat menyebabkan teradanya kesalahan.

Data yang diperoleh dari alat pencatat bisa jadi tidak pangkah karena alat pernah rusak, alat pernah pindah tempat, lokasi alat terganggu, atau terdapat data tidak sah. Konsistensi dari pencatatan hujan diperiksa dengan metode kurva massa ganda (*double mass curve*). Metode ini membandingkan hujan tahunan kumulatif di stasiun y terhadap stasiun referensi x . Stasiun referensi biasanya adalah nilai rerata dari beberapa stasiun di dekatnya. Nilai kumulatif tersebut digambarkan pada sistem koordinat kartesian x - y , dan kurva yang berbentuk diperiksa untuk melihat perubahan kemiringan. Apabila garis yang terbentuk lurus berarti pencatatan di stasiun y adalah konsisten. Apabila kemiringan kurva patah/berubah, berarti pencatatan di stasiun y tidak konsisten dan perlu koreksi. Koreksi dilakukan dengan mengalikan data setelah kurva berubah dengan perbandingan kemiringan setelah dan sebelum kurva patah.

Dan untuk individual stasiun (*stand alone station*) dengan cara RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*) (Sri Harto, 2000). Metode ini berdasarkan data curah hujan setempat, dimana data curah hujan yang tersedia di sekitar lokasi proyek sangat terbatas. Bila Q/\sqrt{n} yang didapat lebih kecil dari nilai kritik untuk tahun

commut to user

dan *confidence level* yang sesuai, maka data dinyatakan pangkah. Uji kepanggaan dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan-persamaan berikut:

$$S_k^* = \sum_{i=1}^k Y_i - Y, \text{ dengan } k = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2.1)$$

$$S_0^* = 0 \quad (2.2)$$

$$S_k^{**} = \frac{S_k^*}{D_y}, \text{ dengan } k = 0, 1, 2, 3, \dots, n \quad (2.3)$$

$$D_y^2 = \frac{\sum (Y_i - \bar{Y})^2}{n} \quad (2.4)$$

dengan:

Y_i = data hujan ke- i ,
 Y = data hujan rerata- i ,
 D_y = deviasi standar,
 n = jumlah data,

Untuk uji kepanggaan digunakan cara statistik:

$$Q = \max S_k^{**}, 0 \leq k \leq n, \text{ atau} \quad (2.5)$$

$$R = \max S_k^{**} - \min S_k^{**}, \text{ dengan } 0 \leq k \leq n \quad (2.6)$$

Nilai kritik Q dan R ditunjukan dalam tabel 2.1

Tabel 2.1 Nilai kritik Q dan R

n	Q/\sqrt{n}			R/\sqrt{n}		
	0.9	0.95	0.99	0.9	0.95	0.99
10	1.05	1.14	1.29	1.21	1.28	1.38
20	1.1	1.22	1.42	1.34	1.43	1.6
30	1.12	1.24	1.46	1.4	1.5	1.7
40	1.13	1.26	1.5	1.42	1.53	1.74
50	1.14	1.27	1.52	1.44	1.55	1.78
100	1.17	1.29	1.52	1.5	1.62	1.86
∞	1.22	1.36	1.63	1.62	1.75	2

Sumber: Mamok suprapto, 2008

2.2.5 Perhitungan Hujan Daerah

Data hujan yang tercatat disetiap stasiun penakar hujan adalah tinggi hujan disekitar stasiun tersebut atau biasa disebut sebagai *Point Rainfall*. Karena stasiun penakar hujan tersebar di daerah aliran maka banyak data tinggi hujan yang diperoleh yang besarnya tidak sama. Di dalam analisa hidrologi diperlukan data hujan rerata di daerah aliran (*catchment area*) yang kadang- kadang dihubungkan dengan besarnya aliran yang terjadi.

$$\bar{P} = \frac{1}{A_w} \sum_{N=1}^N A_N \cdot P_N \quad (2.7)$$

dengan:

- \bar{P} = hujan wilayah (mm),
- P_N = hujan masing-masing stasiun pencatat hujan (mm),
- A_w = luas wilayah (Km²),
- A_N = luas masing-masing poligon (Km²),
- N = jumlah stasiun pencatat hujan.

Data curah hujan yang dipakai untuk perhitungan debit banjir adalah hujan yang terjadi pada daerah aliran sungai pada waktu yang sama. Curah hujan yang diperlukan untuk penyusunan suatu rancangan pemanfaatan air dan rancangan pengendalian banjir adalah curah hujan rata-rata di seluruh daerah yang bersangkutan, bukan curah hujan pada suatu titik tertentu. Curah hujan ini disebut curah hujan area dan dinyatakan dalam mm (*Sosrodarsono, 2003*).

Berikut metode perhitungan curah hujan area dari pengamatan curah hujan di beberapa titik :

1. Metode Rata-Rata Aljabar

Adalah metode yang paling sederhana dalam perhitungan hujan rerata pada suatu daerah. Pengukuran curah hujan di stasiun hujan dalam waktu yang bersamaan kemudian dijumlahkan dan dibagi dengan jumlah stasiun. Stasiun hujan yang digunakan dalam hitungan adalah yang berada di dalam DAS, akan tetapi stasiun di luar DAS yang masih berdekatan juga bisa diperhitungkan (*Bambang Triatmojo, 2008*).

Metode ini memberikan hasil yang baik apabila:

- 1) Stasiun hujan tersebar secara merata pada seluruh DAS dalam jumlah yang cukup.
- 2) Distribusi hujan relatif merata pada seluruh DAS.

Hujan rerata pada seluruh DAS diberikan oleh bentuk berikut:

$$\bar{p} = \frac{p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n}{n} \quad (2.8)$$

Dengan:

p = hujan rerata kawasan,
 p_1, p_2, \dots, p_n = hujan di stasiun 1, 2, 3..., n ,
 n = jumlah stasiun.

2. Metode Poligon Thiessen

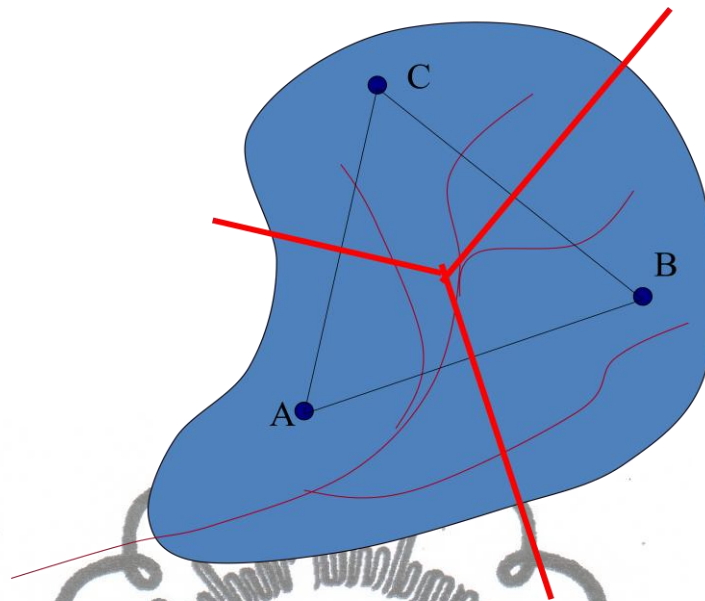
Metode perhitungan berdasarkan rata-rata timbang (*weighted average*). Metode ini memberikan proporsi luasan daerah pengaruh stasiun hujan untuk mengakomodasi ketidakseragaman jarak. Daerah pengaruh dibentuk dengan menggambarkan garis-garis sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung antara dua stasiun hujan terdekat. Metode ini didasarkan pada asumsi bahwa variasi hujan antara stasiun hujan yang satu dengan lainnya adalah linear dan stasiun hujannya dianggap dapat mewakili kawasan terdekat (*Suripin, 2004*).

Hujan rata-rata DAS dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\bar{p} = \frac{A_1 p_1 + A_2 p_2 + \dots + A_n p_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2.9)$$

Dengan:

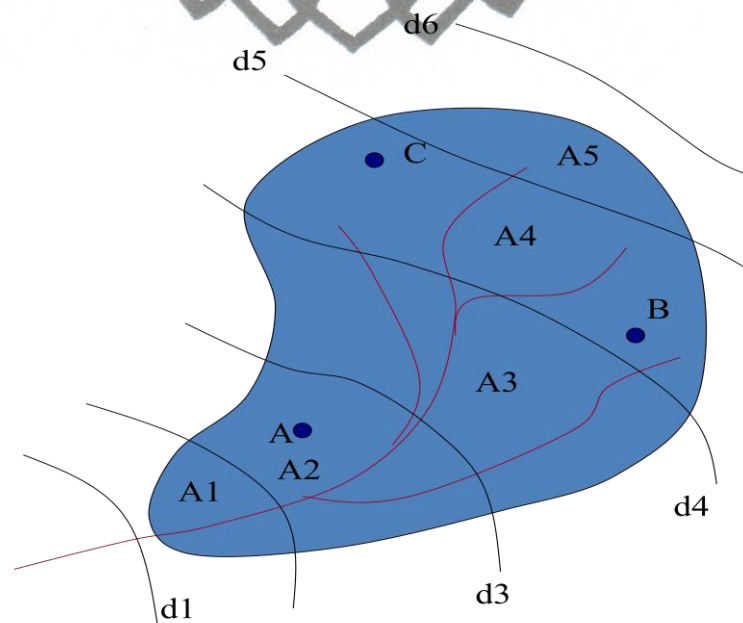
p = hujan rerata kawasan,
 p_1, p_2, \dots, p_n = hujan di stasiun 1, 2, 3..., n ,
 A_1, A_2, \dots, A_n = luas daerah yang mewakili stasiun 1, 2, 3..., n .



Gambar 2.1 Poligon Thiessen

3. Metode Isohyet

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 rerata dari kedua garis isohyet tersebut.



Gambar 2.2 Isohyet

commit to user

2.2.6 Perhitungan Parameter Statistik

Analisis data hujan digunakan untuk menentukan besarnya hujan rencana. Analisis ini meliputi beberapa tahapan perhitungan yaitu perhitungan hujan wilayah daerah aliran sungai (DAS) diikuti dengan analisis frekuensi dan lengkung intensitas hujan. Hujan rancangan untuk daerah yang ditinjau sebagai masukan model hujan aliran untuk perancangan debit rancangan, dapat diperkirakan dengan analisis frekuensi terhadap rangkaian data hujan.

Tujuan dari analisis frekuensi data hidrologi adalah untuk mencari hubungan antara besarnya kejadian ekstrim terhadap frekuensi kejadian dengan menggunakan distribusi probabilitas. Analisis frekuensi dapat diterapkan untuk data debit sungai atau data hujan. Data yang digunakan adalah data debit atau hujan maksimum tahunan, yaitu data terbesar yang terjadi selama satu tahun.

Analisis frekuensi diperlukan seri data hujan yang diperoleh dari pos penakar hujan, baik yang manual atau otomatis. Analisis frekuensi ini didasarkan pada sifat statistik data kejadian yang telah lalu untuk memperoleh probabilitas besaran hujan di masa yang akan datang. Dengan anggapan bahwa statistik kejadian hujan yang akan datang masih sama dengan sifat statistik kejadian hujan masa lalu.

1. Distribusi Normal

Distribusi normal atau kurva normal disebut juga distribusi Gauss. Distribusi ini mempunyai *probability density function* sebagai berikut:

$$P(X) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad -\infty \leq x \leq \infty \quad (2.10)$$

dengan:

- $P(X)$ = fungsi densiti peluang normal (ordinat kurva normal),
- X = variabel acak kontinu,
- μ = rata-rata ilai X ,
- σ = simpangan baku dari nilai X .

Rumus yang umum digunakan untuk distribusi normal adalah:

$$X_T = X + K_T S \quad (2.11)$$

commit to user

dengan:

X_T = perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang T-tahunan,
 X = nilai rata-rata hitung sampel,
 S = deviasi standar nilai sampel,
 K_T = faktor frekuensi, merupakan fungsi dari peluang atau periode ulang dan tipe model matematik distribusi peluang yang digunakan untuk analisis peluang (Suripin, 2008).

Sifat-sifat distribusi normal adalah koefisien kemelencengan (skewness) sama dengan nol $C_s \approx 0$ dan nilai koefisien kurtosis mendekati tiga $C_k \approx 3$ (Jayadi, 2000). Selain itu terdapat sifat-sifat distribusi frekuensi kumulatif berikut ini:

$$P(X - s) = 15,87\%$$

$$P(X) = 50\%$$

$$P(X + s) = 84,14\%$$

2. Distribusi Lognormal

Distribusi lognormal digunakan apabila nilai-nilai dari variabel random tidak mengikuti distribusi normal, tetapi nilai logaritmanya memenuhi distribusi normal. Sifat-sifat distribusi lognormal sebagai berikut:

Kofisien kemelencengan : $C_s = Cv^3 + 3Cv$

Koefisien kurtosis : $C_k = Cv^8 + 6Cv^6 + 15Cv^4 + 16Cv^2 + 3$

3. Distribusi gumbel

$$\text{Rumus: } X_t = X + \frac{Y_t - Y_n}{S_n} \times S_x \quad (2.12)$$

Di mana :

X_t = curah hujan rencana dalam periode ulang T tahun (mm),
 X = curah hujan rata-rata hasil pengamatan (mm),
 Y_t = *reduced variabel*, parameter Gumbel untuk periode T tahun,
 Y_n = *reduced mean*, merupakan fungsi dari banyaknya data (n),
 S_n = *reduced standar deviasi*, merupakan fungsi dari banyaknya data (n),
 S_x = standar deviasi,
 X_i = curah hujan maksimum (mm),
 n = lamanya pengamatan.

Distribusi Gumbel mempunyai sifat:

Koefisien kemelencengan : $C_s = 1,1396$

Koefisien kurtosis : $C_k = 5,4002$

4. Distribusi Log Person III

Salah satu distribusi dari serangkaian distribusi yang dikembangkan Person yaitu menjadi perhatian ahli sumberdaya air adalah Log Person Type III. Tiga parameter penting yaitu harga rata-rata, simpangan baku dan koefisien kemelencengan. Jika koefisien kemencengan sama dengan nol, distribusi kembali ke distribusi Log Normal.

Berikut ini langkah-langkah penggunaan distribusi Log Person type III:

1) Ubah data ke dalam bentuk logaritmis, $X = \log X$.

2) Hitung harga rata-rata:

$$\log X = \frac{\sum_{i=1}^n \log X_i}{n} \quad (2.13)$$

3) Hitung harga simpangan baku:

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n \log X_i - \log X}{n-1}^2 \cdot 0.5 \quad (2.14)$$

4) Hitung koefisien kemelencengan:

$$C_s = \frac{n}{n-1} \frac{\sum_{i=1}^n \log X_i - \log X}{n-2} \frac{1}{s^2} \quad (2.15)$$

5) Logaritma debit dengan waktu balik yang dikehendaki dengan rumus:

$$\log X_t = \log X + G \cdot s \quad (2.16)$$

$$G = \frac{n}{n-1} \frac{\log X_t - \log X}{n-2} \frac{1}{s^3} \quad (2.17)$$

dengan:

$\log X_t$ = Logaritma curah hujan dalam periode ulang T tahun (mm),

$\log X$ = Jumlah pengamatan,

n = Jumlah data,

C_s = koefisien kemencengan.

Syarat pemilihan jenis distribusi dapat dilihat pada Tabel 2.2 sebagai berikut:

Tabel 2.2 Tabel Pemilihan Jenis Distribusi

No.	Jenis Distribusi	Syarat
1.	Normal	Cs=0 Ck=0
2.	Log Normal	Cs (ln x) = Cv ³ +3Cv Ck(ln x) = Cv ⁸ +6Cv ⁶ +15Cv ⁴ +16Cv ² +3
3.	Log Person Tipe III	Jika semua syarat tidak terpenuhi
4.	Gumbel	Cs= 1,14 Ck= 5,4

2.2.7 Pemilihan Distribusi Hujan

Analisis frekuensi untuk pemilihan distribusi hujan yang sesuai untuk daerah yang ditinjau dapat dilakukan dengan metoda yang biasa digunakan di Indonesia, yaitu metode moment. Dengan menghitung parameter statistik seperti nilai rata-rata, standar deviasi, koefisien skewness, koefisien variasi, koefisien kurtosis dari data yang ada serta diikuti dengan uji statistik maka distribusi probabilitas hujan yang sesuai dapat ditentukan. Beberapa parameter yang berkaitan dengan analisis data yang meliputi:

1. Rata-rata

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2.18)$$

2. Standar Deviasi

Ukuran sebaran yang paling banyak digunakan adalah deviasi standar. Apabila penyebaran sangat besar terhadap nilai rata-rata maka nilai S akan besar, akan tetapi apabila penyebaran data sangat kecil terhadap nilai rata-rata maka nilai Sx akan kecil.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (2.19)$$

commit to user

dengan:

S_x = Standar Deviasi,
 X_i = Curah hujan minimum,
 X = Curah hujan rata-rata,
 n = lamanya pengamatan.

3. Koefisien Skewness (C_s)

Kemencengan (*skewness*) adalah ukuran asimetri atau penyimpangan kesimetrian suatu distribusi. Rumus kemencengan adalah:

$$C_s = \frac{n}{n-1} \frac{1}{n-2} \frac{1}{S^3} \sum_{i=1}^n x_i - X^3 \quad (2.20)$$

4. Koefisien Variasi (C_v)

Koefisien variasi adalah nilai perbandingan antara deviasi standar dengan nilai rata-rata hitung dari suatu distribusi. Koefisien variasi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$C_v = \frac{S}{X} \quad (2.21)$$

5. Koefisien Kurtosis (C_k)

Kurtosis merupakan kepuncakan (*peakedness*) distribusi. Biasanya hal ini dibandingkan dengan distribusi normal yang mempunyai $C_k = 3$ dinamakan *mesokurtik*, $C_k < 3$ berpuncak tajam dinamakan *leptokurtik*, sedangkan $C_k > 3$ berpuncak datar dinamakan *platikurtik*.

$$C_k = \frac{n^2}{n-1} \frac{1}{n-2} \frac{1}{n-3} \frac{1}{S^4} \sum_{i=1}^n x_i - X^4 \quad (2.22)$$

dengan:

n = panjang data,
 X = tinggi hujan rata-rata,
 S = standar deviasi.

2.2.8 Uji Kecocokan Distribusi Hujan

Diperlukan pengujian parameter untuk menguji kecocokan (*the goodness of fit test*) distribusi frekuensi sampel data terhadap fungsi distribusi peluang yang diperkirakan dapat menggambarkan atau mewakili distribusi frekuensi tersebut.

Pengujian parameter yang sering dipakai adalah Chi-Kuadrat dan Smirnov Kolmogorov.

1. Uji Chi-Kuadrat

Uji Chi-Kuadrat menggunakan nilai χ^2 yang dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(Of - Ef)^2}{Ef} \quad (2.23)$$

Dengan:

- χ^2 = nilai Chi-Kuadrat terhitung,
- Ef = frekuensi (banyak pengamatan) yang diharapkan sesuai dengan pembagian kelasnya,
- Of = frekuensi yang terbaca pada kelas yang sama,
- N = jumlah sub kelompok dalam satu grup.

Nilai χ^2 yang diperoleh harus lebih kecil dari nilai χ^2_{cr} (Chi-Kuadrat kritik), untuk satu derajat nyata tertentu yang diambil 5%.

Derajat kebebasan dihitung dengan persamaan:

$$DK = K - (\alpha + 1) \quad (2.24)$$

Dengan:

- DK = derajat kebebasan,
- K = banyaknya kelas,
- α = banyaknya keterikatan (banyaknya parameter), untuk uji Chi-Kuadrat adalah 2.

Nilai χ^2_{cr} diperoleh dari tabel nilai chi-Kuadrat kritik. Disarankan agar banyaknya kelas tidak kurang dari 5 dan frekuensi absolut tiap kelas tidak kurang dari 5 pula.

2. Uji Smirnov Kolmogorov

Uji kecocokan Smirnov kolmogorov juga disebut uji kecocokan non parametrik karena pengujinya tidak menggunakan fungsi didtribusi tertentu, namun dengan memperhatikan kurva dan penggambaran data pada kertas probabilitas. Dari gambar dapat diketahui jarak penyimpangan setiap titik data terhadap kurva. Jarak

commit to user

penyimpangan terbesar merupakan nilai Δ_{maks} dengann kemungkinan didapat nilai lebih kecil dari nilai Δ_{kritik} , maka jenis distribusi yang dipilih dapat digunakan.

2.2.9 Perhitungan Hujan Periode Ulang

Perhitungan hujan periode ulang menggunakan distribusi Log Person Type III. Tiga parameter penting yang perlu di perhatikan adalah harga rata-rata, simpangan baku dan koefisien kemelencengan. Jika koefisien kemencengan sama dengan nol, distribusi kembali ke distribusi Log Normal.

Berikut ini langkah-langkah penggunaan distribusi Log Person type III:

- 1) Ubah data ke dalam bentuk logaritmis, $X = \log X$.

- 2) Hitung harga rata-rata:

$$\log X = \frac{\sum_{i=1}^n \log X_i}{n} \quad (2.25)$$

- 3) Hitung harga simpangan baku:

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n \log X_i - \log X^2}{n-1}^{0.5} \quad (2.26)$$

- 4) Hitung koefisien kemelencengan:

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n \log X_i - \log X}{n-1} \frac{1}{n-2} \frac{1}{S^2} \quad (2.27)$$

- 5) Logaritma debit dengan waktu balik yang dikehendaki dengan rumus:

$$\log X_t = \log X + G \cdot s \quad (2.28)$$

$$G = \frac{\sum_{i=1}^n \log X_t - \log X^3}{n-1} \frac{1}{n-2} \frac{1}{S^3} \quad (2.29)$$

dengan:

$\log X_t$ = Logaritma curah hujan dalam periode ulang T tahun (mm),

$\log X$ = Jumlah pengamatan,

n = Jumlah data,

C_s = koefisien kemencengan.

Nilai-nilai G dapat diambil dari tabel 2.2 untuk nilai C_s positif dan tabel 2.3 untuk nilai C_s negative. Jadi dengan nilai C_s yang dihitung dan waktu balik yang dikehendaki maka G dapat diketahui.

Tabel 2.3. *Coefficient of Skewness Log Pearson type III (Asimetri Coefficient - Positive)*

Year	1.001	1.0526	1.111	1.25	2	5	10	20	25	50	100	200	1000
Z	99	95	90	80	50	20	10		4	2	1	0.5	0.1
Cs													
3.0	-0.667	-0.665	-0.660	-0.636	-0.396	0.420	1.180	1.912	2.278	3.152	4.051	4.970	7.150
2.9	-0.690	-0.688	-0.681	-0.651	-0.390	0.440	1.195	1.912	2.270	3.134	4.013	4.909	7.030
2.8	-0.714	-0.711	-0.702	-0.666	-0.384	0.460	1.210	1.920	2.275	3.114	3.973	4.847	6.920
2.7	-0.740	-0.736	-0.724	-0.681	-0.376	0.479	1.224	1.923	2.272	3.093	3.932	4.783	6.790
2.6	-0.769	-0.762	-0.747	-0.696	-0.368	0.499	1.238	1.924	2.267	3.071	3.889	4.718	6.670
2.5	-0.799	-0.790	-0.771	-0.711	-0.360	0.518	1.250	1.925	2.262	3.048	3.845	4.652	6.550
2.4	-0.832	-0.819	-0.795	-0.725	-0.351	0.537	1.262	1.925	2.256	3.023	3.800	4.581	6.420
2.3	-0.867	-0.850	-0.819	-0.739	-0.341	0.555	1.274	1.923	2.248	2.997	3.753	4.515	6.300
2.2	-0.905	-0.882	-0.844	-0.752	-0.330	0.574	1.284	1.921	2.240	2.970	3.705	4.444	6.170
2.1	-0.946	-0.914	-0.869	-0.765	-0.319	0.592	1.294	1.918	2.230	2.912	3.656	4.372	6.040
2.0	-0.990	-0.949	-0.895	-0.777	-0.307	0.609	1.302	1.913	2.219	2.912	3.605	4.298	5.910
1.9	-1.037	-0.984	-0.920	-0.788	-0.294	0.627	1.310	1.908	2.207	2.881	3.553	4.223	5.780
1.8	-1.087	-1.020	-0.945	-0.799	-0.282	0.643	1.318	1.901	2.193	2.848	3.499	4.147	5.640
1.7	-1.140	-1.056	-0.970	-0.808	-0.268	0.660	1.324	1.894	2.179	2.815	3.444	4.069	5.510
1.6	-1.197	-1.093	-0.994	-0.817	-0.254	0.675	1.329	1.885	2.163	2.780	3.388	3.990	5.370
1.5	-1.256	-1.131	-1.018	-0.825	-0.240	0.690	1.333	1.875	2.146	2.743	3.330	3.910	5.230
1.4	-1.310	-1.168	-1.041	-0.832	-0.225	0.705	1.337	1.864	2.128	2.706	3.271	3.828	5.100
1.3	-1.383	-1.206	-1.064	-0.838	-0.210	0.719	1.339	1.852	2.108	2.666	3.211	3.745	4.960
1.2	-1.449	-1.243	-1.086	-0.844	-0.195	0.732	1.340	1.838	2.087	2.626	3.149	3.661	4.810
1.1	-1.518	-1.280	-1.107	-0.848	-0.180	0.745	1.341	1.824	2.066	2.585	3.087	3.575	4.670
1.0	-1.588	-1.317	-1.128	-0.852	-0.164	0.758	1.340	1.809	2.043	2.542	3.022	3.489	4.530
0.9	-1.660	-1.353	-1.147	-0.854	-0.148	0.769	1.339	1.792	2.018	2.498	2.957	3.401	4.390
0.8	-1.733	-1.388	-1.166	-0.856	-0.132	0.780	1.336	1.774	1.993	2.453	2.891	3.312	4.240
0.7	-1.806	-1.423	-1.183	-0.857	-0.116	0.790	1.333	1.756	1.967	2.407	2.824	3.223	4.100
0.6	-1.880	-1.458	-1.200	-0.857	-0.099	0.800	1.328	1.735	1.939	2.359	2.755	3.132	3.960
0.5	-1.955	-1.491	-1.216	-0.856	-0.083	0.808	1.323	1.714	1.910	2.311	2.686	3.041	3.810
0.4	-2.029	-1.524	-1.231	-0.855	-0.066	0.816	1.317	1.692	1.880	2.261	2.615	2.949	3.670
0.3	-2.104	-1.555	-1.245	-0.853	-0.050	0.824	1.309	1.669	1.849	2.211	2.544	2.856	3.520
0.2	-2.178	-1.586	-1.258	-0.850	-0.033	0.830	1.301	1.646	1.818	2.159	2.472	2.763	3.380
0.1	-2.252	-1.616	-1.270	-0.846	-0.017	0.836	1.292	1.621	1.785	2.107	2.400	2.670	3.230
0.0	-2.326	-1.645	-1.282	-0.842	0.000	0.842	1.282	1.595	1.751	2.054	2.326	2.576	3.090

commit to user

Tabel 2.4. *Coefficient of Skewness Log Pearson type III (Asimetri Coefficient - Negative)*

Year	1.001	1.0526	1.111	1.25	2	5	10	20	25	50	100	200	1000
Z	99	95	90	80	50	20	10		4	2	1	0.5	0.1
Cs													
0.0	-2.326	-1.645	-1.282	-0.842	0.000	0.842	1.282	1.595	1.751	2.054	2.326	2.576	3.090
-0.1	-2.400	-1.673	-1.292	-0.836	0.017	0.846	1.270	1.567	1.716	2.000	2.252	2.482	2.950
-0.2	-2.472	-1.700	-1.301	-0.830	0.033	0.850	1.258	1.539	1.680	1.954	2.178	2.380	2.810
-0.3	-2.544	-1.726	-1.309	-0.824	0.050	0.853	1.245	1.510	1.643	1.890	2.104	2.294	2.670
-0.4	-2.615	-1.750	-1.317	-0.816	0.066	0.855	1.231	1.481	1.606	1.834	2.029	2.201	2.530
-0.5	-2.686	-1.774	-1.323	-0.808	0.083	0.856	1.216	1.450	1.567	1.777	1.955	2.108	2.400
-0.6	-2.755	-1.797	-1.328	-0.800	0.099	0.857	1.200	1.419	1.528	1.720	1.880	2.016	2.270
-0.7	-2.824	-1.819	-1.333	-0.790	0.116	0.857	1.183	1.386	1.488	1.663	1.806	1.926	2.140
-0.8	-2.891	-1.839	-1.336	-0.780	0.132	0.856	1.166	1.354	1.448	1.606	1.733	1.837	2.020
-0.9	-2.957	-1.858	-1.339	-0.769	0.148	0.854	1.147	1.320	1.407	1.549	1.660	1.749	1.900
-1.0	-3.020	-1.877	-1.340	-0.758	0.164	0.852	1.128	1.287	1.366	1.492	1.588	1.664	1.790
-1.1	-3.087	-1.894	-1.341	-0.745	0.180	0.848	1.107	1.252	1.324	1.435	1.518	1.581	1.680
-1.2	-3.149	-1.910	-1.340	-0.732	0.195	0.844	1.086	1.217	1.282	1.379	1.449	1.501	1.580
-1.3	-3.211	-1.925	-1.339	-0.719	0.210	0.838	1.064	1.181	1.240	1.324	1.383	1.424	1.480
-1.4	-3.271	-1.938	-1.337	-0.705	0.225	0.832	1.041	1.146	1.198	1.270	1.318	1.351	1.390
-1.5	-3.330	-1.951	-1.333	-0.690	0.240	0.825	1.018	1.111	1.157	1.217	1.256	1.282	1.310
-1.6	-3.388	-1.962	-1.329	-0.675	0.254	0.817	0.994	1.075	1.116	1.166	1.197	1.216	1.240
-1.7	-3.444	-1.972	-1.324	-0.660	0.268	0.808	0.970	1.040	1.075	1.116	1.140	1.155	1.170
-1.8	-3.499	-1.981	-1.318	-0.643	0.282	0.799	0.945	1.005	1.035	1.096	1.097	1.097	1.110
-1.9	-3.553	-1.989	-1.310	-0.627	0.294	0.788	0.920	0.971	0.996	1.023	1.037	1.044	1.050
-2.0	-3.605	-1.996	-1.302	-0.609	0.307	0.777	0.895	0.936	0.956	0.980	0.990	0.995	1.000
-2.1	-3.656	-2.001	-1.294	-0.592	0.319	0.765	0.869	0.905	0.923	0.939	0.946	0.949	0.950
-2.2	-3.705	-2.006	-1.284	-0.574	0.330	0.752	0.844	0.873	0.888	0.900	0.905	0.907	0.910
-2.3	-3.753	-2.009	-1.274	-0.555	0.341	0.739	0.819	0.843	0.855	0.864	0.867	0.869	0.870
-2.4	-3.800	-2.010	-1.262	-0.537	0.351	0.725	0.795	0.814	0.823	0.830	0.832	0.833	0.833
-2.5	-3.845	-2.012	-1.250	-0.518	0.360	0.711	0.771	0.786	0.793	0.798	0.799	0.800	0.800
-2.6	-3.889	-2.013	-1.238	-0.499	0.368	0.696	0.747	0.758	0.764	0.768	0.769	0.769	0.770
-2.7	-3.932	-2.012	-1.224	-0.479	0.376	0.681	0.724	0.733	0.738	0.740	0.740	0.741	0.740
-2.8	-3.973	-2.010	-1.210	-0.460	0.384	0.666	0.702	0.709	0.712	0.714	0.714	0.714	0.714
-2.9	-4.013	-2.007	-1.195	-0.440	0.390	0.651	0.681	0.682	0.683	0.689	0.690	0.690	0.690
-3.0	-4.051	-2.003	-1.180	-0.420	0.396	0.636	0.660	0.664	0.666	0.666	0.667	0.667	0.670

commit to user

2.2.10 Perhitungan Hidrograf Satuan

2.2.10.1 Hidrograf Satuan

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

Hidrograf satuan merupakan model sederhana yang menyatakan respon DAS terhadap hujan. Tujuan dari hidrograf satuan adalah untuk memperkirakan hubungan antara hujan efektif dan aliran permukaan.

Suatu sistem DAS mempunyai sifat khas yang menyatakan respon DAS terhadap suatu masukan tertentu yang berdasarkan pada tiga prinsip (*Sherman, 1932*).

Ketiga prinsip tersebut adalah:

1. 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.
2. Untuk hujan efektif berintensitas seragam pada suatu daerah aliran tertentu, intensitas hujan yang berbeda tetapi memiliki durasi sama akan menghasilkan hidrograf limpasan dimana ordinatnya pada sembarang waktu memiliki proporsi yang sama dengan proporsi intensitas hujan efektifnya. Ordinat hidrograf satuan sebanding dengan volume hujan efektif yang menimbulkannya.
3. Prinsip superposisi dipakai pada hidrograf yang dihasilkan oleh hujan efektif berintensitas seragam yang memiliki periode-periode yang berdekatan dan atau tersendiri.

Penggunaan hidrograf satuan lebih banyak memberikan hasil yang memuaskan untuk berbagai kondisi. Sehingga, teori hidrograf satuan banyak dipakai dalam menentukan debit banjir atau banjir rencana.

commit to user

2.2.10.2 Hidrograf Satuan Sintesis

Jika di suatu daerah tidak tersedia data hidrologi maka untuk menurunkan hidrograf satuan, perlu dibuat hidrograf satuan sintetis yang didasarkan pada karakteristik fisik dari DAS.

1. Metode Nakayasu

Hidrograf satuan sintesis Nakayasu dikembangkan berdasarkan beberapa sungai di Jepang (Soemarto, 1987).

$$Q_p = \frac{1}{3,6} \left(\frac{AR_e}{0,3T_p + T_{0,3}} \right) \quad (2.30)$$

$$T_p = t_g + 0,8T_r \quad (2.31)$$

$$t_g = 0,4 + 0,058L \quad \text{untuk } L > 15 \text{ km} \quad (2.32)$$

$$t_g = 0,21L^{0,7} \quad \text{untuk } L < 15 \text{ km} \quad (2.33)$$

$$t_{0,3} = \alpha t_g \quad (2.34)$$

$$t_r = 0,5t_g \text{ sampai } t_g \quad (2.35)$$

Dengan:

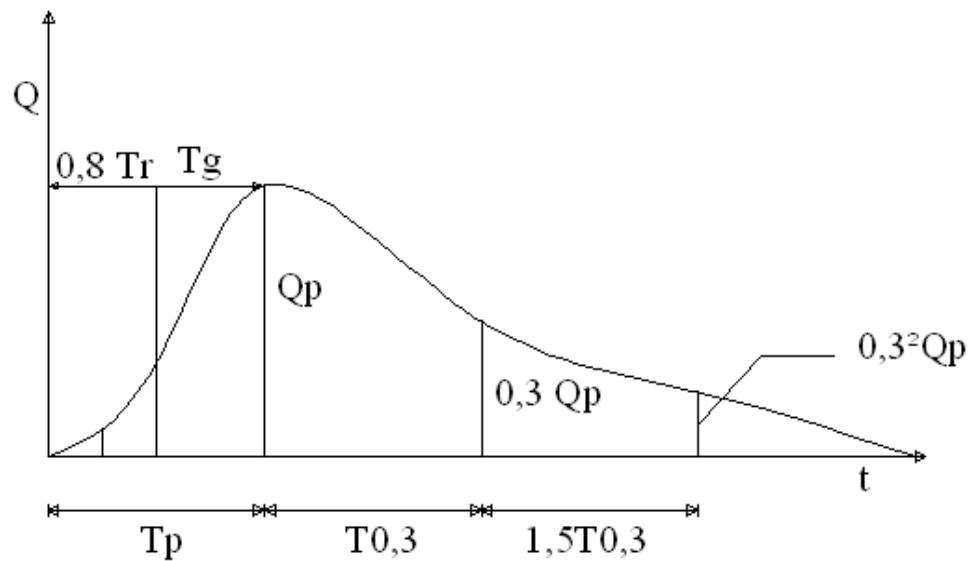
- Q_p = debit puncak banjir,
- A = luas DAS (km^2),
- R_e = curah hujan efektif (1 mm),
- T_p = waktu dari permulaan banjir sampai puncak hidrograf banjir (jam),
- $T_{0,3}$ = waktu dari puncak banjir sampai 0,3 kali debit puncak banjir (jam),
- t_g = waktu konsentrasi (jam),
- T_r = satuan waktu dari curah hujan (jam),
- α = koefisien karakteristik DAS biasanya diambil 2,
- L = panjang sungi utama (km).

Distribusi hujan Nakayasu merupakan hasil analisis dengan memanfaatkan data hujan 4 jam-jaman.

Tabel 2.5 Distribusi hujan Nakasayu

T	1	2	3	4
	0,4050	0,3125	0,1475	0,1350

Sumber : Sobriyah (2003)



Gambar 2.3 Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu

Bentuk hidrograf satuan diberikan oleh persamaan berikut:

- 1) Pada kurva naik ($0 < t < T_p$)

$$Q_t = Q_p \left(\frac{t}{T_p} \right)^{2,4} \quad (2.36)$$

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

$$Q_r = Q_p \times 0,3^{(t-T_p)/T_{0,3}} \quad (2.37)$$

- 3) Pada kurva turun $T_p + T_{0,3} < t < T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3}$

$$Q_t = Q_p \times 0,3^{(t-T_p + 0,5T_{0,3})/(1,5T_{0,3})} \quad (2.38)$$

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

$$Q_t = Q_p \times 0,3^{(t-T_p + 1,5T_{0,3})/(2T_{0,3})} \quad (2.39)$$

2.2.10.3 Metode Tadashi Tanimoto

Merupakan hasil analisis dengan memanfaatkan data hujan jam-jaman yang ada di pulau Jawa dengan menggunakan lama hujan 8 (delapan) jam. Model agihan tersebut seperti yang ditunjukkan dalam tabel 2.4

Tabel 2.6 Distribusi hujan Tadashi Tanimoto

Waktu (jam ke-)	1	2	3	4	5	6	7	8
% distribusi hujan	26	50	17	13	7	5,5	4	3,5
% distribusi hujan kumulatif	26	50	67	80	87	92,5	96,5	100

Sumber: Mamok Suprpto, 2000

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

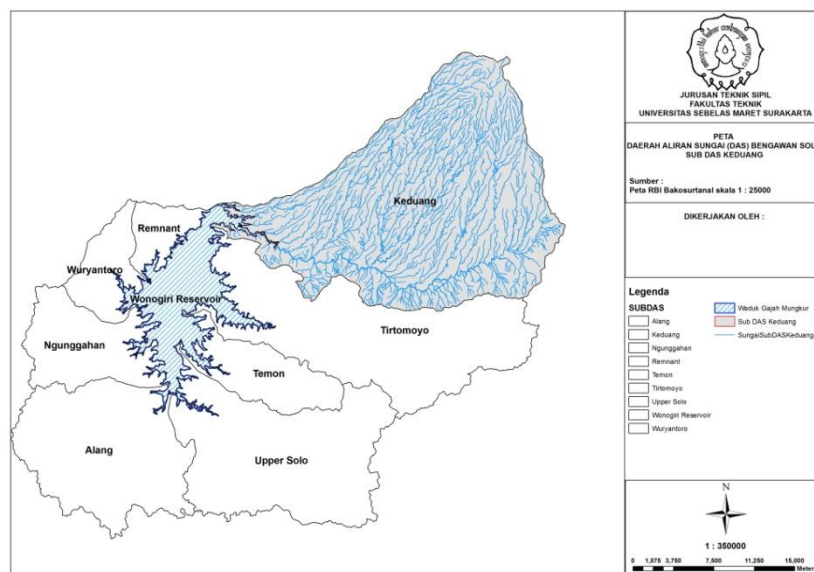
Metode Penelitian yang dipakai adalah metode deskriptif kuantitatif. Bertujuan menggambarkan dan mengungkapkan suatu masalah, keadaan, peristiwa, sebagaimana adanya atau mengungkap fakta secara lebih mendalam mengenai analisis banjir tahunan.

Penelitian diskriptif adalah penelitian yang berusaha menggambarkan kegiatan penelitian. Penelitian diskriptif ini juga disebut penelitian pra eksperimen karena dalam penelitian ini dilakukan eksplorasi, menggambarkan, dengan tujuan untuk dapat menerangkan dan memprediksi terhadap suatu gejala yang berlaku atas dasar data yang diperoleh di lapangan (Sukardi, 2009).

Sedangkan penelitian kuantitatif adalah penelitian ilmiah yang sistematis terhadap bagian-bagian dan fenomena serta hubungan-hubungannya. Tujuan penelitian kuantitatif adalah mengembangkan dan menggunakan model-model matematis, teoro-teori dan hipotesis yang berkaitan dengan fenomena alam.

3.2 Lokasi Penelitian

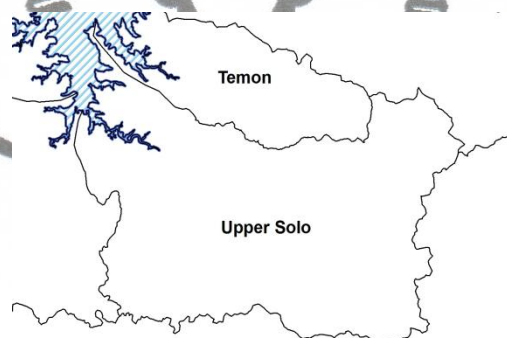
Lokasi penelitian adalah Daerah Aliran Sungai Bengawan Solo hulu Sub DAS Bengawan Hulu 3 yang terletak di Kabupaten Wonogiri, Jawa Tengah.



Sumber: *The Study on Counter for Sedimentation in the Wonogiri Multipurpose Dam*(2007)

Gambar 3.1 DAS Wongiri Hulu 3

Sub Das Bengawan Solo hulu 3 ditunjukkan dalam Gambar 3.2 di bawah ini:



Gambar 3.2 DAS Bengawan Solo Hulu

3.3 Data yang Dibutuhkan

Dalam penelitian ini, penulis menggunakan sumber data sekunder. Sumber yang tidak langsung memberikan data kepada pengumpul data, misalnya lewat orang lain atau dokumen (Sugiyono, 2009). Data sekunder yang penulis peroleh yaitu berupa data hujan harian Sta. Baturentno dan Sta. Watugede tahun 1999-2011.

Data yang dibutuhkan adalah:

1. Peta DAS beserta lokasi stasiun hujan di Daerah Aliran Sungai Bengawan Solo Sub DAS Bengawan Solo Hulu 3
2. Peta batas DAS untuk Sub DAS Bengawan Solo Hulu 3.
3. Data sekunder, yaitu data hujan dari stasiun pengukur hujan selama 13 tahun dari tahun 1999-2011 di Sub DAS Bengawan Solo Hulu 3.

3.4 Alat yang Digunakan

Alat bantu yang digunakan dalam kajian ini adalah perangkat lunak:

1. Program Microsoft Excel atau terapan untuk pengolahan data hujan.
2. Program Auto CAD untuk pengolahan peta DAS.

3.5 Langkah-langkah Penelitian

3.5.1 Mengumpulkan Data dan Informasi

1. Tahap persiapan

Tahap dimaksudkan untuk mempermudah jalannya penelitian, seperti pengumpulan data, analisis, dan penyusunan laporan.

Tahap persiapan meliputi:

- a. Studi Pustaka

Studi pustaka dimaksudkan untuk mendapatkan arahan dan wawasan sehingga mempermudah dalam pengumpulan data, analisis data maupun dalam penyusunan hasil penelitian.

2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan data pencatatan curah hujan yang dimiliki oleh kantor DPU kota Wonogiri.

3.5.2 Mengolah Data

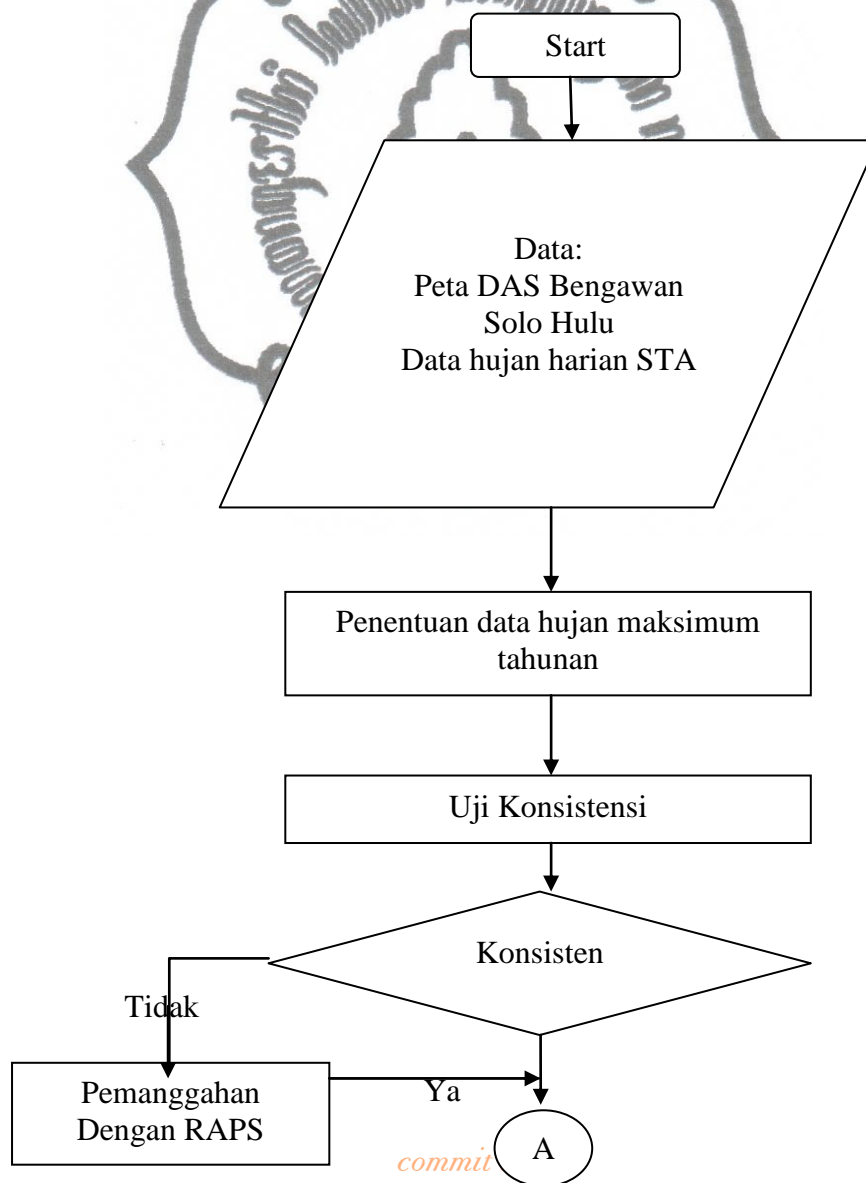
Setelah mendapatkan data yang diperlukan, langkah selanjutnya adalah pengolahan data tersebut. Pada tahap pengolahan atau menganalisis data dilakukan dengan menghitung data yang ada dengan rumus yang sesuai.

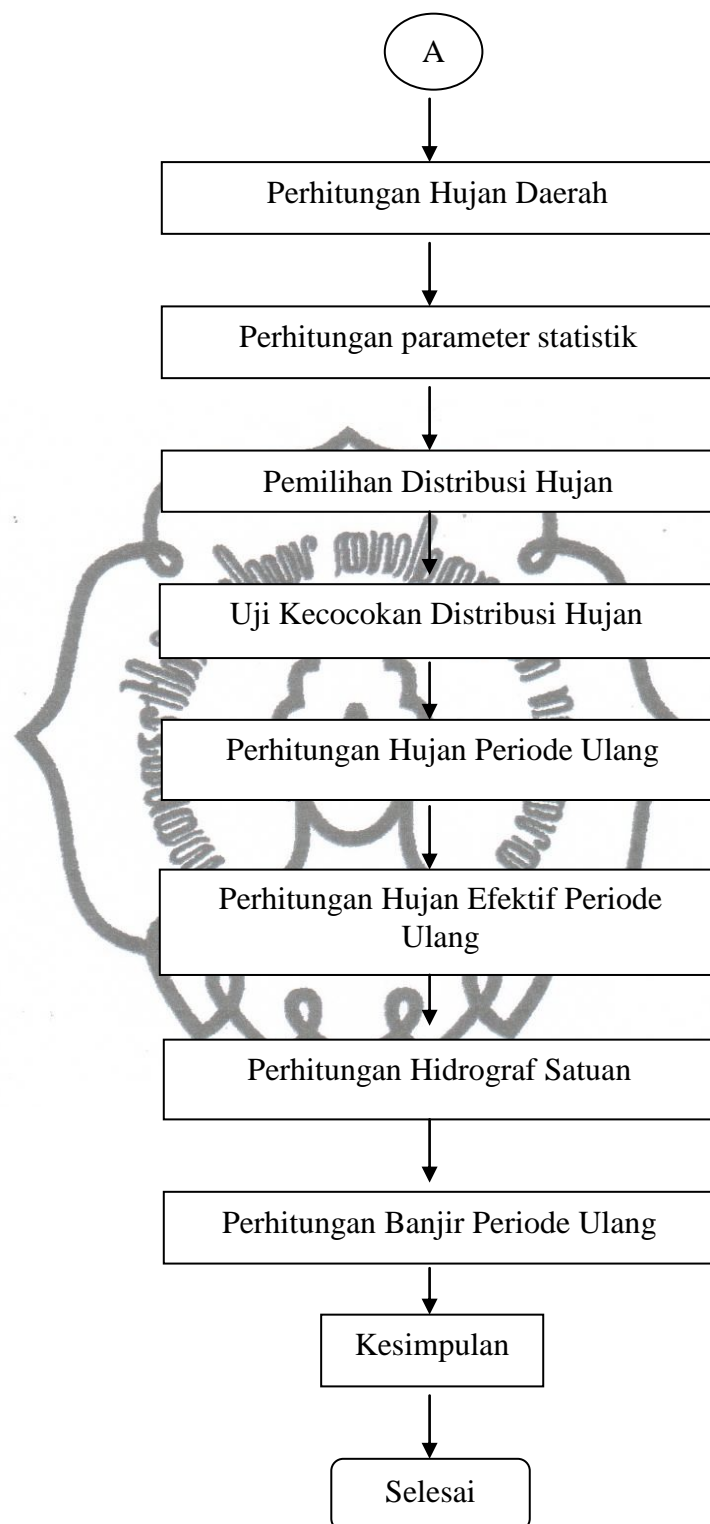
Hasil dari suatu pengolahan data digunakan kembali sebagai data untuk menganalisis yang lainnya dan berlanjut seterusnya sampai mendapatkan hasil akhir tentang analisis banjir tahunan di Daerah Aliran Sungai Bengawan Solo Sub DAS Bengawan Solo Hulu 3.

3.5.3 Penyusunan Laporan

Seluruh data sekunder yang telah terkumpul kemudian diolah atau dianalisis untuk mendapatkan hasil akhir yang dapat menganalisis Banjir Tahunan di Daerah Aliran Sungai Bengawan Solo Sub DAS Bengawan Solo Hulu 3.

3.6 Diagram Alir Tahapan Penelitian





Gambar 3.3 Diagram Alir Proses Penelitian Banjir Tahunan DAS Bengawan Solo
Hulu di Sub DAS Bengawan Solo Hulu 3

commit to user

BAB 4

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengumpulan Data

Analisis dan pembahasan dalam penelitian Analisis Banjir Tahunan Daerah Aliran Sungai (DAS) Bengawan Solo Hulu Sub DAS Bengawan Solo Hulu 3, menggunakan data berupa data curah hujan dari tahun 1999-2011 sebagai data awal. Data curah hujan diperoleh dari Perusahaan Umum Jasa Tirta 1 dan Dinas Pengairan, Energi dan Sumber Daya Mineral Kabupaten Wonogiri.

Penelitian ini menggunakan dua stasiun hujan yaitu stasiun hujan Baturetno dan stasiun hujan Watugede. Data hujan tahunan Sub DAS Bengawan Solo Hulu3 adalah komulatif data hujan dalam setahun, dapat di lihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data Hujan Tahunan Stasiun Hujan Sub DAS Bengawan Solo Hulu 3

Tahun	Curah Hujan Tahunan (i) mm/tahun	
	Baturetno	Watugede
1999	2159	2667
2000	1625	2477
2001	1437	2010
2002	430	647
2003	1042	347
2004	825	868
2005	671	1061
2006	1235	1867
2007	500	530
2008	927	1198
2009	845	2407
2010	2014	1911
2011	1600	3720

Sumber : Dinas Pengairan Wonogiri

commit to user

4.2 Uji Kepenggahan Data Hujan

Setelah memperoleh data hujan maksimum harian tahunan, perlu dilakukan pengujian validitas data hujan. Pengujian validitas data hujan bisa dilakukan menggunakan metode *Rescaled Adjusted Sums (RAPS)*.

4.2.1 Uji Kepenggahan Metode *RAPS*

Contoh perhitungan untuk stasiun hujan Baturetno tahun 1999 adalah:

- Hujan (i) tahun 1999 = 2159 mm
- Hujan (i) rerata 13 tahun = (jumlah hujan 13 tahun : jumlah data hujan)

$$= \frac{15310}{13} = 1177,692 \text{ mm}$$
- Sk^* = $2159 - 1177,692 = 981,308$
- Kum Sk^* = $0,000 + 981,308 = 981,308$
- Sk^{**} = (Kum Sk^* : Standar Deviasi)

$$= \frac{981,308}{555,481} = 1,767$$
- Kum Sk^{**} = $0,000 + 1,767 = 1,767$

Hasil Uji Kepenggahan untuk stasiun hujan Baturetno dengan cara *RAPS (Rescaled Adjusted Sums)* dapat di lihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Uji Kepanggahan pada Stasiun Pencatat Hujan Baturetno

Tahun	i (mm)	Sk*	Kum Sk*	Sk**	Kum	Absolut
1999	2159	981,308	981,308	1,767	1,767	1,767
2000	1625	447,308	1428,615	0,805	2,572	2,572
2001	1437	259,308	1687,923	0,467	3,039	3,039
2002	430	-747,692	940,231	-1,346	1,693	1,693
2003	1042	-135,692	804,538	-0,244	1,448	1,448
2004	825	-352,692	451,846	-0,635	0,813	0,813
2005	671	-506,692	-54,846	-0,912	-0,099	0,099
2006	1235	57,308	2,462	0,103	0,004	0,004
2007	500	-677,692	-675,231	-1,220	-1,216	1,216
2008	927	-250,692	-925,923	-0,451	-1,667	1,667
2009	845	-332,692	-1258,615	-0,599	-2,266	2,266
2010	2014	836,308	-422,308	1,506	-0,760	0,760
2011	1600	422,308	0,000	0,760	0,000	0,000
Jumlah	15310					
Rerata	1177,692					
SD	555,481					
N	13					
Q Abs Maks Abs	3,039	<	Nilai Kritik	Keterangan		
(Q/√n)	0,843		1,164	Panggah		

Nilai Q_{RAPS} hit (maks) di stasiun Baturetno terdapat pada tahun 2001 dengan nilai Q Absolut adalah 3,039 dan nilai Q/\sqrt{n} sebesar 0,843. Untuk selanjutnya nilai Q/\sqrt{n} akan dibandingkan dengan nilai kritik yang terdapat 2.1 dengan $n = 13$ (dilakukan interpolasi terlebih dahulu) dan *Confidence Interval* 95%. Hasil dari perbandingan adalah Q_{RAPS} hit (maks) < Q_{RAPS} kritik yang berarti stasiun Baturetno panggah.

Tabel 4.3 hasil Uji Kepanggahan Das Bengawan Solo Hulu

No	Nama STA Pencatat Hujan	Q Abs Maks	Q/√n	Nilai Kritik Q	Keterangan
1	Baturetno	3,039	0,843	<1,164	Panggah
2	Watugede	3,036	0,842	<1,164	Panggah

commit to user

4.3 Perhitungan Hujan Daerah Harian maksimum

Untuk menentukan hujan harian maksimum tiap stasiun dalam tahun yang sama diambil hujan maksimum tahunan tiap stasiun. Langkah selanjutnya adalah mencari hujan harian pada stasiun-stasiun yang lain pada hari kejadian yang sama dalam tahun yang sama.

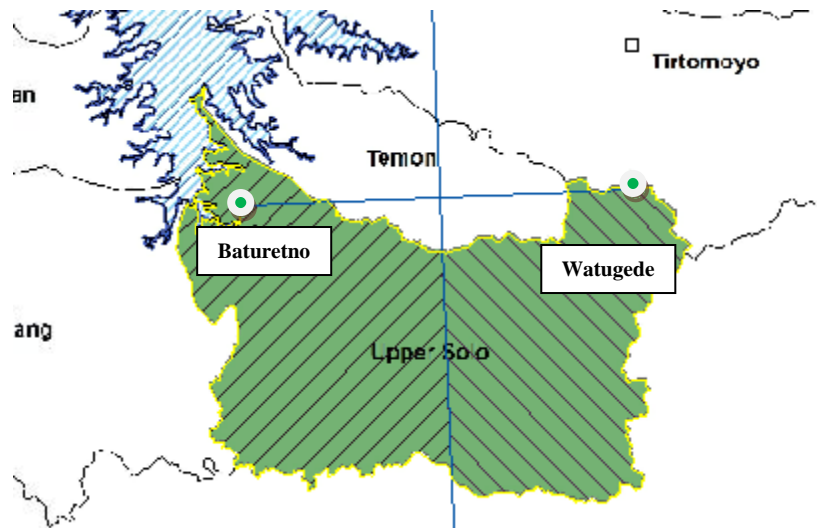
Tabel 4.4 Data Hujan Harian Maksimum Tahunan Sub DAS Bengawan Solo Hulu3 di tinjau dari Stasiun Baturetno

Tahun	Baturetno (mm)	Tanggal	Watugede (mm)
1999	78	17Januari	0
2000	73	22Februari	0
2001	53	19November	0
2002	96	18November	5
2003	110	27Februari	50
2004	94	19Februari	0
2005	56	12Februari	18
2006	123	20Desember	26
2007	163	26Desember	87
2008	69	02Februari	0
2009	73	29November	46
2010	87	15September	0
2011	67	25Januari	57

Sumber: Dinas Pengairan Kabupaten Wonogiri

Dari data hujan harian maksimum tahunan akan dihitung hujan daerah diDAS Bengawan Solo Hulu menggunakan metode Poligon Thiessen.

Poligon Thiessen DAS Bengawan Solo Hulu dengan 2 Stasiun hujan dapat di lihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Poligon Thiessen DAS Bengawan Solo Hulu dengan 2 Stasiun hujan

Dari Poligon Thiessen yang sudah dibuat selanjutnya dihitung luas masing-masing wilayah dengan menggunakan program AutoCAD.

Hasilnya adalah sebagai berikut:

- Luas DAS Bengawan Solo Hulu = 205,529 km²
- Luas poligon stasiun hujan Baturetno = 110,752 km²
- Luas poligon stasiun hujan Watugede = 94,777 km²
- Koefisien Thiessen Baturetno = $110,752 / 205,529$
= 0,539
- Koefisien Thiessen Watugede = $94,777 / 205,529$
= 0,461

Contoh perhitungan hujan daerah harian maksimum tahun 2007 adalah:

- Hujan daerah tahun 2007 = $(163 \times 0,539) + (87 \times 0,461)$
= 127,964

commit to user

Tabel 4.5 Hujan Daerah Harian Maksimum Tahunan dengan acuan terbesar
Stasiun Baturetno

Tahun	Baturetno (mm)	Tanggal	Watugede (mm)	Hujan Daerah(mm)
1999	78	17-Jan	0	42,042
2000	73	22-Feb	0	39,347
2001	53	19-Nop	0	28,567
2002	96	18-Nop	5	54,049
2003	110	27-Feb	50	82,340
2004	94	19-Feb	0	50,666
2005	56	12-Feb	18	38,482
2006	123	20-Des	26	78,283
2007	163	26-Des	87	127,964
2008	69	02-Feb	0	37,191
2009	73	29-Nop	46	60,553
2010	87	15-Sep	0	46,893
2011	67	25-Jan	57	62,390

Tabel 4.6 Hujan Daerah Harian Maksimum Tahunan dengan acuan terbesar
Stasiun Watugede

Tahun	Watugede	Tanggal	Baturetno	Hujan Daerah
1999	143	23-Nop	3	67,540
2000	143	07-Apr	52	93,951
2001	109	17-Jan	26	64,263
2002	67	10-Mei	29	46,518
2003	50	27-Feb	110	82,340
2004	55	21-Feb	33	43,142
2005	85	06-Mar	0	39,185
2006	87	30-Agus	0	40,107
2007	87	26-Des	163	127,964
2008	68	04-Feb	0	31,348
2009	98	12-Feb	0	45,178
2010	97	17-Mar	59	76,518
2011	97	09-Jan	3	46,334

Dari hujan daerah yang ditinjau dari stasiun Baturetno dan stasiun Watugede, kemudian dipilih hujan daerah terbesar untuk di analisis menggunakan uji parameter statistik.

commit to user

Tabel 4.7 Hujan Daerah Harian Maksimum Tahunan

Tahun	Hujan Daerah Maks (mm)
1999	67,540
2000	93,951
2001	64,263
2002	54,049
2003	82,340
2004	50,666
2005	39,185
2006	78,283
2007	127,964
2008	37,191
2009	60,553
2010	76,518
2011	62,390

4.4 Perhitungan Parameter Statistik

4.4.1 Parameter Statistik

Setelah di hitung besarnya hujan daerah harian maksimum tahunan, dilakukan uji kesesuaian distribusi. Dengan menghitung parameter statistik seperti nilai rata-rata, standar deviasi (S), koefisien variasi (Cv), koefisien skewness (Cs), dan koefisien kurtosis (Ck) dari data yang ada serta diikuti dengan uji statistik maka distribusi probabilitas hujan yang sesuai dapat ditentukan.

Hasil perhitungan untuk menentukan jenis distribusi dan nilai S, Cv, Cs dan Ck dari data normal adalah:

- Rerata (X) = $894,893/13 = 68,838$
- S = $\frac{7019,644}{13-1}^{0,5} = 24,186$
- Cv = $\frac{24,186}{68,838} = 0,351$
- Cs = $\frac{13}{13-1} \frac{13}{13-2} \frac{158354,631}{24,186^3} = 1,102$
- Ck = $\frac{13^2}{13-1} \frac{13^2}{13-2} \frac{14603660,354}{24,186^3} = 5,464$

commit to user

Hasil dispersi data logaritma normal adalah:

- Rerata (X) = $54,315/13 = 4,178$
- S = $\frac{1,384}{13-1}^{0,5} = 0,340$
- Cv = $\frac{0,340}{4,178} = 0,351$
- Cs = $\frac{13}{13-1} \frac{13-2}{13-2} \frac{0,340^3}{0,340^3} 0,044 = 0,110$
- Ck = $\frac{13^2}{13-1} \frac{13-2}{13-2} \frac{13-3}{13-3} \frac{0,340^3}{0,340^3} 0,401 = 3,861$

Dari hasil perhitungan maka jenis distribusi data yang digunakan adalah Log Person Type III.

Tabel 4.8 Hasil Pemilihan Jenis Distribusi

Jenis Distribusi	Syarat	Hasil Perhitungan	Keputusan
Normal	Cs = 0 Ck = 3	Cs = 1,10 Ck = 5,46	No No
Log Normal	Cv3+3Cv Cs(lnx)=0 Cv8+6Cv6+15Cv4+16Cv2+3 Ck(lnx)=3	Cs = 0,11 Ck = 3,86	No No
Pearson III	Cs > 0 Ck = 1,5 Cs ² + 3	Cs = 1,10 Ck = 5,46	yes No
Log Pearson III	Jika semua syarat tidak terpenuhi	Cs = 0,11 Ck = 3,86	Yes Yes
Gumbell	Cs = 1,14 Ck = 5,4	Cs = 1,10 Ck = 5,46	No No

4.4.2 Pengujian Jenis Distribusi

Diperlukan pengujian parameter untuk menguji kecocokan (*the goodness of fit test*) distribusi frekuensi sampel data terhadap fungsi distribusi peluang yang diperkirakan dapat menggambarkan atau mewakili distribusi frekuensi tersebut.

Tabel 4.9 Tabel Probabilitas Curah Hujan (Metode Log Person Type III)

No	X (mm)	Sn (%)	Log Xi	G	Pr	P (x)	[Sn (x) - P (x)]
1	37,18	7,14	1,570	-1,656	95,296	4,704	2,439
2	39,20	14,29	1,593	-1,500	103,698	-3,698	17,984
3	50,65	21,43	1,705	-0,745	76,337	23,663	2,235
4	54,04	28,57	1,733	-0,555	69,437	30,563	1,992
5	60,55	35,71	1,782	-0,220	57,294	42,706	6,992
6	62,39	42,86	1,795	-0,132	54,101	45,899	3,042
7	64,27	50,00	1,808	-0,044	50,895	49,105	0,895
8	67,56	57,14	1,830	0,103	45,739	54,261	2,881
9	76,52	64,29	1,884	0,470	27,996	72,004	7,718
10	78,27	71,43	1,894	0,536	11,733	88,267	16,838
11	82,33	78,57	1,916	0,685	10,813	89,187	10,616
12	93,96	85,71	1,973	1,074	8,409	91,591	5,877
13	127,95	92,86	2,107	1,984	2,793	97,207	4,350
Xr =			1,815				
SD =			0,147				
Cs =			0,109				

Tingkat signifikasi yang dipakai adalah 5 %. Perhitungan yang dilakukan dengan uji chi kuadrat adalah:

- Jumlah kelas $= 1 + 3,22 \log(13) = 4,59 \approx 5$
- Derajat kebebasan $= 2$
- Δ kritis $= 5,991$
- Frekuensi harapan $= 2,6$

Tabel 4.10 Perhitungan Uji Chi Kuadrat DAS Bengawan Solo Hulu
Log Person Type III

No	Probability (P)	Expected Frequency (Ef)	Ovserved Frequency (Of)	Ef - Of	(Ef - Of) ²
1	0,00 < P ≤ 20,00	2,6	1	1,6	2,56
2	20,00 < P ≤ 40,00	2,6	2	0,6	0,36
3	40,00 < P ≤ 60,00	2,6	4	-1,4	1,96
4	60,00 < P ≤ 80,00	2,6	1	1,6	2,56
5	80,00 < P ≤ 100,00	2,6	4	-1,4	1,96
Jumlah			12		9,40

Uji Chi Kuadrat dari tabel 4.10 menghasilkan $x^2 = 9,40$ dan nilai $x^2_{kritis} = 5,991$, maka $x^2 > x^2_{kritis}$ sehingga ijo Chi Kuadrat diterima.

commit to user

4.5 Perhitungan Hujan Periode Ulang

Perhitungan parameter statistik data menghasilkan bahwa distribusi hujan yang dipakai adalah Log Person Type III. Data masukan dalam perhitungan ini adalah hujan daerah maksimum dari kedua stasiun hujan.

Tabel 4.11 Tabel Perhitungan parameter logaritma data hujan daerah

Tahun	R ₂₄ Max	ln X	ln X-ln Xi	(ln X-ln Xi) ²	(ln X-ln Xi) ³
1999	67,540	4,213	0,035	0,001	0,000
2000	93,951	4,543	0,365	0,133	0,048
2001	64,263	4,163	-0,015	0,000	0,000
2002	54,049	3,990	-0,188	0,035	-0,007
2003	82,340	4,411	0,233	0,054	0,013
2004	50,666	3,925	-0,253	0,064	-0,016
2005	39,185	3,668	-0,510	0,260	-0,133
2006	78,283	4,360	0,182	0,033	0,006
2007	127,964	4,852	0,674	0,454	0,306
2008	37,191	3,616	-0,562	0,316	-0,178
2009	60,553	4,104	-0,075	0,006	0,000
2010	76,518	4,338	0,159	0,025	0,004
2011	62,390	4,133	-0,045	0,002	0,000
Jumlah	894,893	54,315	0,000	1,384	0,044

- $S = \frac{1,384}{13-1}^{0,5} = 0,340$
- $\ln X_i = 54,315 / 13 = 4,178$
- $C_s = \frac{13}{13-1} \frac{13-2}{13-2} \frac{0,044}{0,340^3} = 0,110$

Koefisien distribusi Log Person Type III (G) ditentukan dari hasil perhitungan koefisien kemelencengan. Nilai koefisien kemelencengan 0,110 sehingga akan diperoleh nilai G yang sesuai.

Log Person Type III :

- $\log X_n = \ln X_i + (G \times S)$

Hujan periode ulang 2 tahunan :

- $\log X_2 = 4,178 + (-0,017 \times 0,340)$
 $= 4,172$
- $R_t = 2,718 \times 4,172 = 64,839 \text{ mm/hari}$
commit to user

Tabel 4.12 Tabel perhitungan hujan periode ulang Log Person Type III

T	G	G.S	$\ln X_i + G.S$	Rt (mm/hr)
2	-0,017	-0,006	4,172	64,839
5	0,836	0,284	4,462	86,620
10	1,292	0,439	4,617	101,125
20	1,621	0,550	4,728	113,063
50	2,107	0,715	4,894	133,363
100	2,400	0,815	4,993	147,313
200	2,670	0,907	5,085	161,457
1000	3,230	1,097	5,275	195,269

Contoh Perhitungan hujan efektif periode ulang 2 tahun Log Person III:

- Hujan efektif = Hujan 2 tahun x koefisien aliran
 $= 64,839 \times 0,396$
 $= 25,676$

Koefisien aliran = 0,396 (Wahyu Utomo, 2008).

Dalam penelitian di DAS Bengawan Solo, analisis Log Person Type III menggunakan persentase sebaran hujan 4 jaman (Sobriyah, 2003).

Tabel 4.13 Tabel persentase sebaran hujan 4 jaman

Waktu (jam ke-)	1	2	3	4
Persentase sebaran	0,4050	0,3125	0,1475	0,1350

Sumber: (Sobriyah, 2003)

- Hujan efektifjam-jaman periode ulang
 $= \text{Hujan 2 tahun} \times \text{presentasi sebaran jam ke 1} \times \text{koefisien aliran}$
 $= 64,839 \times 0,4050 \times 0,396$
 $= 10,399$

Hasil perhitungan hujan efektif jam-jama periode ulang dapat di lihat dalam Tabel 4.14 Tabel hasil perhitungan hujan efektif jam-jaman periode ulang.

Tabel 4.14 Tabel hasil perhitungan hujan efektif jam-jaman periode ulang

Hujan Kala Ulang (T)	1	2	3	4
2	10,399	8,024	3,787	3,466
5	13,892	10,719	5,059	4,631
10	16,218	12,514	5,907	5,406
20	18,133	13,992	6,604	6,044
50	21,389	16,504	7,790	7,130
100	23,626	18,230	8,605	7,875
200	25,894	19,980	9,431	8,631
1000	31,317	24,165	11,406	10,439

4.6 Perhitungan Hidrograf Satuan Nakayasu

4.6.1 Distribusi Hujan Nakayasu 4 jam-jaman

Data DAS Bengawan Solo Hulu :

Luas Daerah Aliran Sungai (DAS) = 205, 53 km²

Panjang Sungai (L) = 27,30 km

Tabel 4.15 Tabel hasil perhitungan hidrograf satuan Nakayasu

t	Qt	Ket	Q Kumulatif (m3/dt)	Kontrol	UH Koreksi
0	0,000		0,000	0,000	0,000
1	0,534	Qa	0,534	1923,942	0,432
2	2,821		2,821	10154,625	2,281
3	7,464		7,464	26870,944	6,036
3,570	11,332		11,332	40793,939	9,163
4	9,946	Q1	9,946	35806,888	8,043
5	7,343		7,343	26433,389	5,938
6	5,420		5,420	19513,677	4,383
7	4,002		4,002	14405,401	3,236
7,537	3,400		3,400	12238,872	2,749
8	3,096	Q2	3,096	11144,444	2,503
9	2,529		2,529	9102,958	2,045
10	2,065		2,065	7435,441	1,670
11	1,687		1,687	6073,386	1,364
12	1,378		1,378	4960,838	1,114
13	1,126		1,126	4052,092	0,910
13,487	1,020		1,020	3671,840	0,825

Bersambung di halaman berikutnya.

Sambung halaman sebelumnya.

14	0,944		0,944	3396,807	0,763
15	0,811		0,811	2918,529	0,656
16	0,697		0,697	2507,593	0,563
17	0,598		0,598	2154,519	0,484
18	0,514	Q3	0,514	1851,158	0,416
19	0,442		0,442	1590,510	0,357
20	0,380		0,380	1366,563	0,307
21	0,326		0,326	1174,148	0,264
22	0,280		0,280	1008,825	0,227
23	0,241		0,241	866,780	0,195
24	0,207		0,207	744,736	0,167

Hasil perhitungan hidrograf satuan Nakayasu adalah:

- Menghitung waktu konsentrasi (T_g)

$$T_g = 0,40 + 0,058 L \quad (\text{untuk } L > 15 \text{ km})$$

$$= 0,21 L^{0,70} \quad (\text{untuk } L < 15 \text{ km})$$

$$= 1,983 \text{ jam}$$

- Menghitung koefisien alpha (α)

$$\alpha = 1/T_g \times 0,47 (A.L)^{0,25}$$

$$= 1,065 \text{ diambil } 2$$

- Menentukan satuan waktu yang digunakan (t_r)

$$T_r = (0,5 - 1) T_g$$

$$= 1,983$$

- Menghitung wktu puncak (T_p)

$$T_p = T_g + 0,80 t_r$$

$$= 3,570 \text{ jam, diambil } 4 \text{ jam}$$

- Menghitung waktu resesi ($T_{0,3}$)

$$T_{0,3} = \alpha \times T_g$$

$$= 3,967 \text{ jam, diambil } 4 \text{ jam}$$

$$1,5T_{0,3} = 1,5 \times 1,5T_{0,3}$$

$$= 5,950 \text{ jam, diambil } 6 \text{ jam}$$

commit to user

- Mengitung Debit puncak (Q_p)

$$Q_p = 1/3,6 \times A.R_e \times 1/(0,3 T_p + T_{0,3})$$

$$= 11,333 \text{ m}^3/\text{dt}$$
- $T_p + T_{0,3} = 7,537 \text{ jam} \approx 8 \text{ jam}$
- $T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3} = 13,487 \text{ jam} \approx 14 \text{ jam}$

Contoh perhitungan unit hidrograf satuan Nakayasu mengikuti interval sebagai berikut:

- Pada kurva naik : $0 < t < T_p$
 Perhitungan pada jam ke 2 :

$$Q = 11,333 \times \left(\frac{2}{3,570} \right)^{2,4} = 2,821$$
- Pada kurva turun :
 Selang nilai : $T_p < t < (T_p + T_{0,3})$
 Perhitungan pada jam ke 5:

$$Q = 11,333 \times 0,3^{\left(\frac{5-3,570}{3,967} \right)} = 7,343$$
 Selang nilai : $(T_p + T_{0,3}) < t < (T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3})$
 Perhitungan pada jam ke 10:

$$Q = 11,333 \times 0,3^{\left(\frac{10-3,570 + 0,5 \times 3,967}{1,5 \times 3,967} \right)} = 2,065$$
 Selang nilai : $t > (T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3})$
 Perhitungan pada jam ke 20:

$$Q = 11,333 \times 0,3^{\left(\frac{20-3,570 + 1,5 \times 3,967}{2 \times 3,967} \right)} = 0,380$$

Unit hidrograf yang dihasilkan harus dibagi dengan faktor koreksi untuk menjadikan unit hidrograf per satu milimeter. Faktor koreksi unit hidrograf yaitu perbandingan antara jumlah volume dengan luas DAS. Contoh perhitungan koreksi unit hidrograf satuan Nakayasu pada jam ke 5 adalah:

commit to user

- Kontrol :

$$V_{\text{tot}} = \sum \text{kontrol} \times 3600 \text{ (m}^3\text{)} = 254162,844 \text{ m}^3 = 2,5416 \times 10^{14} \text{ mm}^3$$

$$\text{Luas} = \text{Luas DAS} = 2,0553 \times 10^{14} \text{ mm}^2$$

$$V_{\text{total}} / \text{Luas} = 2,5416 \times 10^{14} / 2,0553 \times 10^{14} = 1,237 \text{ mm}$$

Hujan harusnya 1 mm perlu di koreksi = $1 / (V_{\text{tot}} / \text{Luas}) \times Q_{\text{kom}}$

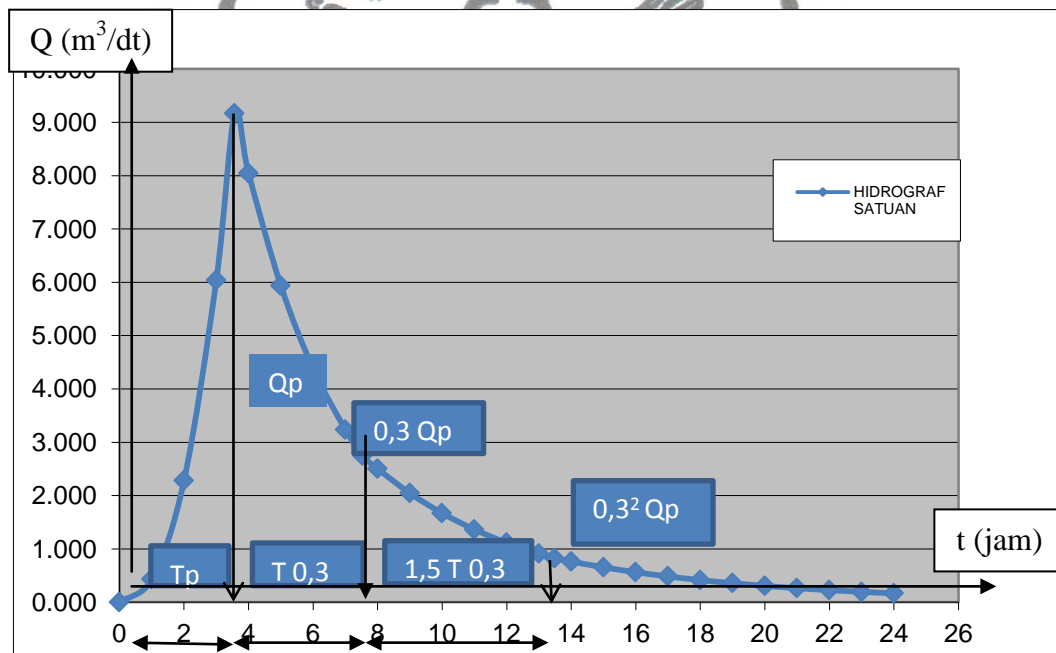
- Kontrol Koreksi :

$$V_{\text{tot}} = \sum \text{UH Koreksi} \times 3600 \text{ (m}^3\text{)} = 205529,752 \text{ m}^3 = 2,0553 \times 10^{14} \text{ mm}^3$$

$$\text{Luas} = \text{Luas DAS} = 2,0553 \times 10^{14} \text{ mm}^2$$

$$V_{\text{total}} / \text{Luas} = 2,0553 \times 10^{14} / 2,0553 \times 10^{14} = 1,00 \text{ mm}$$

- Unit hidrograf terkoreksi = $(1 / 1,237) \times 7,343$
 $= 5,938 \text{ mm}^3 / \text{hari}$



Gambar 4.2 Grafik Hidrograf Satuan Nakayasu

Q_p merupakan debit puncak banjir yang terjadi pada saat waktu puncak (T_p) di jam ke $3,47 \approx 4$. Kemudian waktu dari puncak banjir turun sampai 0,3 kali debit puncak banjir.

4.6.2 Perhitungan Debit Banjir Periode Ulang

Untuk mengetahui debit banjir periode ulang yang disebabkan oleh hujan harian tahunan maksimum. Hujan harian tersebut bisa berpotensi menimbulkan banjir di kala ulang berapa, sehingga bisa menjadi sebuah antisipasi terhadap resiko bencana banjir. Oleh karena itu, diperlukan analisis terhadap banjir tahunan periode ulang 2, 5, 10, 20, 50, 100 tahun di DAS Bengawan Solo Hulu.

Tabel 4.16 Tabel hasil perhitungan debit kala ulang 2 tahun

Waktu (jam)	UH m ³ /det	1 10,399	2 8,024	3 3,787	4 3,466	Q m ³ /det
0	0,000	0,000				0,000
1	0,432	4,494	0,000			4,494
2	2,281	23,719	3,468	0,000		27,187
3	6,036	62,765	18,302	1,637		82,704
3,570	9,163	95,287	48,430	8,638	0,000	152,355
4	8,043	83,638	73,524	22,859	1,498	181,518
5	5,938	61,743	64,535	34,703	7,906	168,888
6	4,383	45,580	47,641	30,461	20,922	144,604
7	3,236	33,648	35,170	22,487	31,762	123,067
7,537	2,74917	28,588	25,963	16,600	27,879	99,030
8	2,503	26,031	22,058	12,255	20,581	80,925
9	2,045	21,263	20,086	10,412	15,193	66,953
10	1,670	17,368	16,406	9,481	11,216	54,471
11	1,364	14,186	13,401	7,744	9,529	44,860
12	1,114	11,588	10,946	6,325	8,677	37,536
13	0,910	9,465	8,941	5,167	7,088	30,660
13,487	0,825	8,577	7,303	4,220	5,789	25,889
14	0,763	7,934	6,618	3,447	4,729	22,728
15	0,656	6,817	6,122	3,124	3,863	19,925
16	0,563	5,857	5,260	2,890	3,155	17,162
17	0,484	5,033	4,519	2,483	2,859	14,894
18	0,416	4,324	3,883	2,133	2,645	12,985
19	0,357	3,715	3,336	1,833	2,272	11,157
20	0,307	3,192	2,867	1,575	1,952	9,586
21	0,264	2,743	2,463	1,353	1,678	8,236
22	0,227	2,356	2,116	1,163	1,441	7,076
23	0,195	2,025	1,818	0,999	1,238	6,080
24	0,167	1,740	1,562	0,858	1,064	5,224

Debit banjir periode ulang 2 tahunan sebesar 181,518 m³/dt.

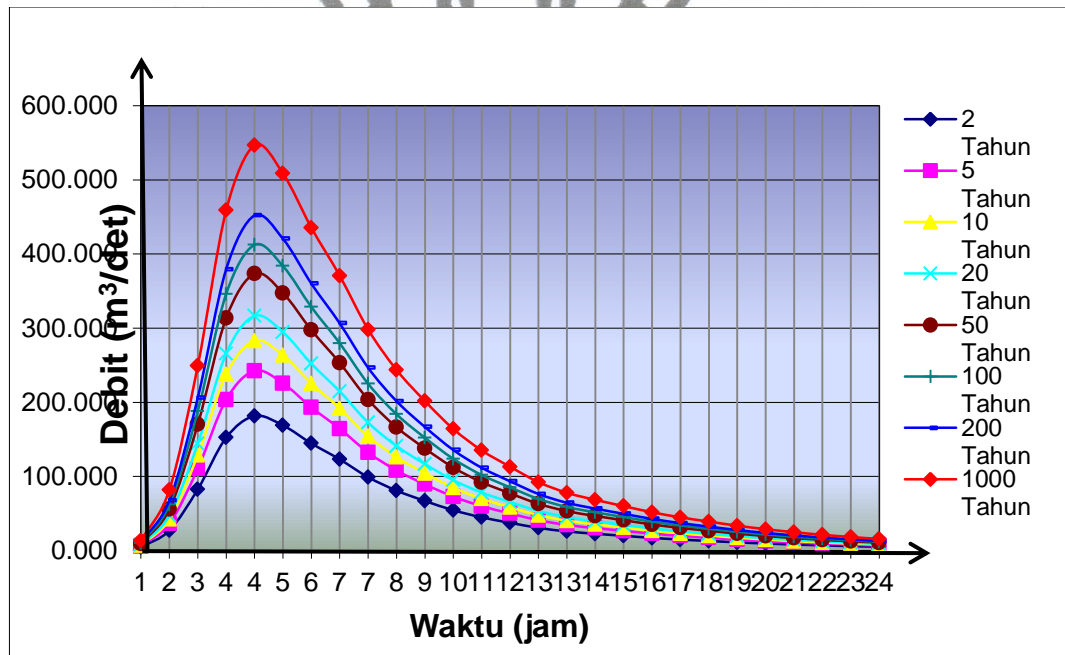
Contoh perhitungan debit periode ulang 2 tahun seperti berikut ini:

- Debit banjir 2 tahunan di jam ke 4 =
 $(UH \text{ jam ke } 4 \times \text{sebaran hujan jam } 1) + (UH \text{ jam ke } 3,57 \times \text{sebaran hujan jam } 2) + (UH \text{ jam ke } 3 \times \text{sebaran hujan jam } 3) + (UH \text{ jam ke } 1 \times \text{sebaran hujan jam } 4)$
 $= (8,043 \times 10,399) + (9,163 \times 8,024) + (6,036 \times 3,787) + (0,432 \times 3,466)$
 $= 181,518 \text{ m}^3/\text{det}$

Hasil perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran B.

Tabel 4.17 Tabel rekapitulasi perhitungan debit banjir tahunan berdasarkan hujan daerah harian maksimum tahunan

Kala Ulang	Debit Banjir m^3/det
2 Tahun	181,518
5 Tahun	242,498
10 Tahun	283,109
20 Tahun	316,534
50 Tahun	373,369
100 Tahun	412,425
200 Tahun	452,013
1000 Tahun	546,683



Gambar 4.3 Grafik Hidrograf Satuan Metode Nakayasu

Grafik Hidrograf Satuan Metode Nakayasu diatas menunjukkan hubungan antara debit banjir periode ulang dengan waktu puncak. Dari semua periode ulang, debit banjir terbesar terjadi di jam ke 4 yang disebut dengan waktu puncak. Besarnya debit banjir tiap periode ulang bisa di lihat melalui grafik tersebut.

4.7 Debit Banjir Hujan 2 Harian Tahunan Maksimum

4.7.1 Distribusi Hujan Tadashi Tanimoto 8 jam-jaman

Perhitungan ini digunakan untuk mengetahui apakah banjir tahunan dari hujan 2 harian berpotensi menimbulkan banjir di periode ulang berapa tahunan dari debit banjir tahunan. Perhitungan debit banjir periode ulang berdasarkan hujan daerah 2 harian maksimum tahunan menggunakan distribusi hujan Tadashi Tanimoto.

Tabel 4.18 Data Hujan 2 harian Maksimum Tahunan SubDAS Bengawan Solo Hulu 3 di tinjau dari Stasiun Baturetno

Tahun	Baturetno	Tanggal	Watugede
1999	118	22-23 Jan	0
2000	117	2-3 Feb	47
2001	95	19-20 Des	0
2002	54	15-16 Des	0
2003	121	27-28 Feb	0
2004	64	4-5 Mar	31
2005	91	10-11 Feb	0
2006	131	9-10 Juni	0
2007	178	26-27 Des	98
2008	100	1-2 feb	0
2009	87	2-3 Feb	71
2010	99	7-8 Des	0
2011	108	14-15 Feb	0

Tabel 4.19 Hujan Daerah Harian Maksimum Tahunan dengan acuan terbesar
Stasiun Baturetno

Tahun	Baturetno	Tanggal	Watugede	Hujan Daerah
1999	118	22-23 Jan	0	63,602
2000	117	2-3 Feb	47	84,73
2001	95	19-20 Des	0	51,205
2002	54	15-16 Des	0	29,106
2003	121	27-28 Feb	0	65,219
2004	64	4-5 Mar	31	48,787
2005	91	10-11 Feb	0	49,049
2006	131	9-10 Juni	0	70,609
2007	178	26-27 Des	98	141,12
2008	100	1-2 feb	0	53,9
2009	87	2-3 Feb	71	79,624
2010	99	7-8 Des	0	53,361
2011	108	14-15 Feb	0	58,212

Tabel 4.20 Hujan Daerah Harian Maksimum Tahunan dengan acuan terbesar
Stasiun Watugede

Tahun	Watugede	Tanggal	Baturetno	Hujan Daerah
1999	175	10-11 Des	0	80,675
2000	152	7-8 April	68	106,724
2001	161	17-18 Jan	36	93,625
2002	90	19-20 Nov	0	41,490
2003	55	18-19 Feb	97	77,638
2004	107	21-22 Feb	39	70,348
2005	107	6-7 Mar	0	49,327
2006	127	30-31 Agust	0	58,547
2007	98	26-27 Des	178	141,120
2008	124	3-4 Feb	0	57,164
2009	141	19-20 Mei	0	65,001
2010	190	17-18 Mar	0	87,590
2011	150	6-7 Mei	0	69,150

Proses perhitungan hujan daerah dari hujan 2 harian maksimum tahunan sama seperti dalam perhitungan hujan harian maksimum tahunan. Di pilih hujan daerah maksimum dari kedua stasiun hujan.

commit to user

Tabel 4.21 Tabel Perhitungan parameter logaritma data hujan daerah

Tahun	R_{24} Max	$\ln X$	$\ln X - \ln X_i$	$(\ln X - \ln X_i)^2$	$(\ln X - \ln X_i)^3$
1999	80,699	4,391	4,391	19,278	84,646
2000	106,735	4,67	4,67	21,812	101,871
2001	93,642	4,539	4,539	20,607	93,544
2002	41,502	3,726	3,726	13,881	51,718
2003	77,632	4,352	4,352	18,94	82,426
2004	70,357	4,254	4,254	18,093	76,96
2005	49,342	3,899	3,899	15,2	59,263
2006	70,591	4,257	4,257	18,121	77,14
2007	141,109	4,95	4,95	24,498	121,253
2008	57,181	4,046	4,046	16,372	66,244
2009	79,622	4,377	4,377	19,161	83,872
2010	87,616	4,473	4,473	20,007	89,492
2011	69,17	4,237	4,237	17,949	76,04
Jumlah	1025,199	56,17	56,17	243,919	1064,47

Contoh perhitungan hujan efektif 2 harian.

- Hujan daerah 2 harian x koefisien limpasan
 $= 80,699 \times 0,396$ (Wahyu Utomo, 2008)
 $= 31,957$

Analisis hujan daerah 2 harian menggunakan distribusi hujan Tadasi Tanimoto dengan memanfaatkan data hujan jam-jaman yang ada di pulau Jawa dengan menggunakan lama hujan 8 (delapan) jam.

Waktu (jam ke-)	1	2	3	4	5	6	7	8
Persentase sebaran	0,260	0,240	0,170	0,130	0,070	0,055	0,040	0,035

Sumber : Arif Santoso (2005)

Untuk mengetahui hujan efektif jam-jaman digunakan perkalian antara hujan efektif dengan % distribusi Tadasi Tanimoto.

- Hujan daerah 2 harian x presentase sebaran x koefisien limpasan
 $= 80,699 \times 0,260 \times 0,396$ (Wahyu Utomo, 2008)
 $= 8,309$

commit to user

Tabel 4.22 Hujan Efektif Jam-Jaman 2 Harian tahun 1999 (mm/2hari)

Tahun	1	2	3	4	5	6	7	8
1999	8,309	7,670	5,433	4,154	2,237	1,758	1,278	1,118

Perhitungan selengkapnya bisa di lihat dalam lampiran B.

4.7.2 Distribusi Hujan Nakayasu

Perhitungan Hidrograf Satuan Nakayasu tahunan hujan 2 harian menggunakan rumus yang sama dengan perhitungan Hidrograf Satuan Nakayasu hujan daerah maksimum tahunan. Yang membedakan adalah perhitunga Unit Hidrograf, dengan waktu hujan selama 48 jam yang menggunakan distribusi sebaran hujan 8 jaman (Tadasi Tanimoto).

Data DAS Bengawan Solo Hulu :

Luas Daerah Aliran Sungai (DAS) = 205, 53 km²

Panjang Sungai (L) = 27,30 km

Tabel 2.23 Tabel hasil perhitungan hidrograf satuan Nakayasu 2 harian

t	Qt	Ket	Q Komulatif (m3/dt)	Kontrol	UH Koreksi
0	0		0	0	0
1	0,534	Qa	0,534	1923,942	0,425
2	2,821		2,821	10154,63	2,242
3	7,464		7,464	26870,94	5,933
3,57	11,332		11,332	40793,94	9,007
4	9,946		9,946	35806,89	7,906
5	7,343	Q1	7,343	26433,39	5,836
6	5,42		5,42	19513,68	4,308
7	4,002		4,002	14405,4	3,18
7,537	3,4		3,4	12238,87	2,702
8	3,096		3,096	11144,44	2,46
9	2,529	Q2	2,529	9102,958	2,01
10	2,065		2,065	7435,441	1,642
11	1,687		1,687	6073,386	1,341
12	1,378		1,378	4960,838	1,095
13	1,126		1,126	4052,092	0,895
13,487	1,02		1,02	3671,84	0,811
14	0,944		0,944	3396,807	0,75

Bersambung di halaman berikutnya.

Sambungan halaman sebelumnya.

15	0,811	0,811	2918,529	0,644
16	0,697	0,697	2507,593	0,554
17	0,598	0,598	2154,519	0,476
18	0,514	0,514	1851,158	0,409
19	0,442	0,442	1590,51	0,351
20	0,38	0,38	1366,563	0,302

Hasil perhitungan hidrograf satuan Nakayasu adalah:

- Menghitung waktu konsentrasi (T_g)

$$T_g = 0,40 + 0,058 L \quad (\text{untuk } L > 15 \text{ km})$$

$$= 0,21 L^{0,70} \quad (\text{untuk } L < 15 \text{ km})$$

$$= 1,983 \text{ jam}$$

- Menghitung koefisien alpha (α)

$$\alpha = 1/T_g \times 0,47 (A.L)^{0,25}$$

$$= 1,065 \text{ diambil } 2$$

- Menentukan satuan waktu yang digunakan (t_r)

$$T_r = (0,5 - 1) T_g$$

$$= 1,983$$

- Menghitung waktu puncak (T_p)

$$T_p = T_g + 0,80 t_r$$

$$= 3,570 \text{ jam, diambil } 4 \text{ jam}$$

- Menghitung waktu resesi ($T_{0,3}$)

$$T_{0,3} = \alpha \times T_g$$

$$= 3,967 \text{ jam, diambil } 4 \text{ jam}$$

$$1,5T_{0,3} = 1,5 \times 1,5T_{0,3}$$

$$= 5,950 \text{ jam, diambil } 6 \text{ jam}$$

- Menghitung Debit puncak (Q_p)

$$Q_p = 1/3,6 \times A.R_e \times 1/(0,3 T_p + T_{0,3})$$

$$= 11,333 \text{ m}^3/\text{dt}$$

- $T_p + T_{0,3} = 7,537 \text{ jam} \approx 8 \text{ jam}$

- $T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3} = 13,487 \text{ jam} \approx 14 \text{ jam}$

commit to user

Contoh perhitungan unit hidrograf satuan Nakayasu mengikuti interval sebagai berikut:

- Pada kurva naik : $0 < t < T_p$

Perhitungan pada jam ke 2 :

$$Q = 11,333 \times \left(\frac{2}{3,570} \right)^{2,4} = 2,821$$

- Pada kurva turun :

Selang nilai : $T_p < t < (T_p + T_{0,3})$

Perhitungan pada jam ke 5:

$$Q = 11,333 \times 0,3^{\left(\frac{5-3,570}{3,967} \right)} = 7,343$$

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

Perhitungan pada jam ke 10:

$$Q = 11,333 \times 0,3^{\left(\frac{10-3,570+0,5 \times 3,967}{1,5 \times 3,967} \right)} = 2,065$$

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

Perhitungan pada jam ke 20:

$$Q = 11,333 \times 0,3^{\left(\frac{20-3,570+1,5 \times 3,967}{2 \times 3,967} \right)} = 0,380$$

Perhitungan unit hidrograf satuan Nakayasu selengkapnya dapat di lihat di lampiran B.

Unit hidrograf yang dihasilkan harus dibagi dengan faktor koreksi untuk menjadikan unit hidrograf per satu milimeter. Faktor koreksi unit hidrograf yaitu perbandingan antara jumlah volume dengan luas DAS. Contoh perhitungan koreksi unit hidrograf satuan Nakayasu pada jam ke 5 adalah:

- Kontrol :

$$V_{tot} = \sum \text{kontrol} \times 3600 = 258588,292 \text{ m}^3 = 2,5859 \times 10^{14} \text{ m}^3$$

$$\text{Luas} = \text{Luas DAS} = 2,0553 \times 10^{14} \text{ mm}^2$$

$$V_{\text{total}} / \text{Luas} = 2,5859 \times 10^{14} / 2,0553 \times 10^{14} = 1,258 \text{ mm}$$

Hujan harusnya 1 mm perlu di koreksi = $1 / (V_{tot} / \text{Luas}) \times Q_{kom}$

- Koreksi :

$$V_{\text{tot}} = \sum UH \text{ Koreksi} \times 3600 = 205529,752 \text{ m}^3 = 2,0553 \times 10^{14} \text{ m}^3$$

$$\text{Luas} = \text{Luas DAS} = 2,0553 \times 10^{14} \text{ mm}^2$$

$$V \text{ total} / \text{Luas} = 2,0553 \times 10^{14} / 2,0553 \times 10^{14} = 1 \text{ mm}$$

- Unit hidrograf terkoreksi = $(1/1,258) \times 7,343$
 $= 5,836 \text{ mm}^3/\text{hari}$

Hasil perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran B-26.

Unit hidrograf satuan Nakayasu yang diperoleh dikalikan dengan faktor sebaran hujan.

Tabel 4.24 Tabel hasil perhitungan debit 2 harian tahun 1999

Waktu (jam)	UH m ³ /det	1 8,309	2 7,67	3 5,433	4 4,154	5 2,237	6 1,758	7 1,278	8 1,118	Q m ³ /det
0	0	0								0
1	0,425	3,529	0							3,529
2	2,242	18,628	3,258	0						21,886
3	5,933	49,293	17,195	2,308						68,795
3,57	9,007	74,833	45,501	12,18	0					132,514
4	7,906	65,685	69,077	32,23	1,765	0				168,756
5	5,836	48,49	60,632	48,929	9,314	0,95	0			168,316
6	4,308	35,796	44,76	42,948	24,646	5,015	0,747	0		153,912
7	3,18	26,426	33,043	31,705	37,417	13,271	3,941	0,543		146,345
7,537	2,702	22,451	24,393	23,405	32,842	20,147	10,427	2,866	0	136,532
8	2,46	20,444	20,724	17,278	24,245	17,684	15,83	7,583	0,475	124,264
9	2,01	16,699	18,871	14,68	17,898	13,055	13,895	11,513	2,508	109,118
10	1,642	13,64	15,414	13,367	13,213	9,637	10,257	10,105	6,636	92,27
11	1,341	11,141	12,591	10,918	11,226	7,115	7,572	7,46	10,074	78,096
12	1,095	9,1	10,284	8,918	10,222	6,045	5,59	5,507	8,842	64,508
13	0,895	7,433	8,4	7,285	8,349	5,504	4,749	4,065	6,527	52,314
13,49	0,811	6,736	6,861	5,95	6,82	4,496	4,325	3,454	4,819	43,46
14	0,75	6,231	6,218	4,86	5,571	3,672	3,532	3,145	3,557	36,787
15	0,644	5,354	5,752	4,404	4,55	3	2,885	2,569	3,022	31,536
16	0,554	4,6	4,942	4,074	3,717	2,45	2,357	2,098	2,752	26,99
17	0,476	3,952	4,246	3,501	3,368	2,001	1,925	1,714	2,248	22,955
18	0,409	3,396	3,648	3,008	3,116	1,813	1,572	1,4	1,836	19,789
19	0,351	2,918	3,135	2,584	2,677	1,678	1,425	1,144	1,5	17,059
20	0,302	2,507	2,693	2,22	2,3	1,441	1,318	1,036	1,225	14,741
21	0,259	2,154	2,314	1,908	1,976	1,238	1,133	0,959	1,001	12,682

Sambungan dari halaman sebelumnya.

Sambungan dari halaman sebelumnya.

22	0,223	1,851	1,988	1,639	1,698	1,064	0,973	0,824	0,907	10,943
23	0,191	1,59	1,708	1,408	1,459	0,914	0,836	0,708	0,839	9,462
24	0,164	1,366	1,468	1,21	1,253	0,786	0,718	0,608	0,721	8,13
25	0,141	1,174	1,261	1,04	1,077	0,675	0,617	0,522	0,619	6,985
26	0,121	1,009	1,084	0,893	0,925	0,58	0,53	0,449	0,532	6,002
27	0,104	0,867	0,931	0,767	0,795	0,498	0,456	0,386	0,457	5,157
28	0,09	0,745	0,8	0,659	0,683	0,428	0,391	0,331	0,393	4,431
29	0,077	0,64	0,687	0,567	0,587	0,368	0,336	0,285	0,337	3,807
30	0,066	0,55	0,59	0,487	0,504	0,316	0,289	0,245	0,29	3,271
31	0,057	0,472	0,507	0,418	0,433	0,272	0,248	0,21	0,249	2,81
32	0,049	0,406	0,436	0,359	0,372	0,233	0,213	0,181	0,214	2,415
33	0,042	0,349	0,375	0,309	0,32	0,2	0,183	0,155	0,184	2,075
34	0,036	0,3	0,322	0,265	0,275	0,172	0,157	0,133	0,158	1,782
35	0,031	0,257	0,276	0,228	0,236	0,148	0,135	0,115	0,136	1,531

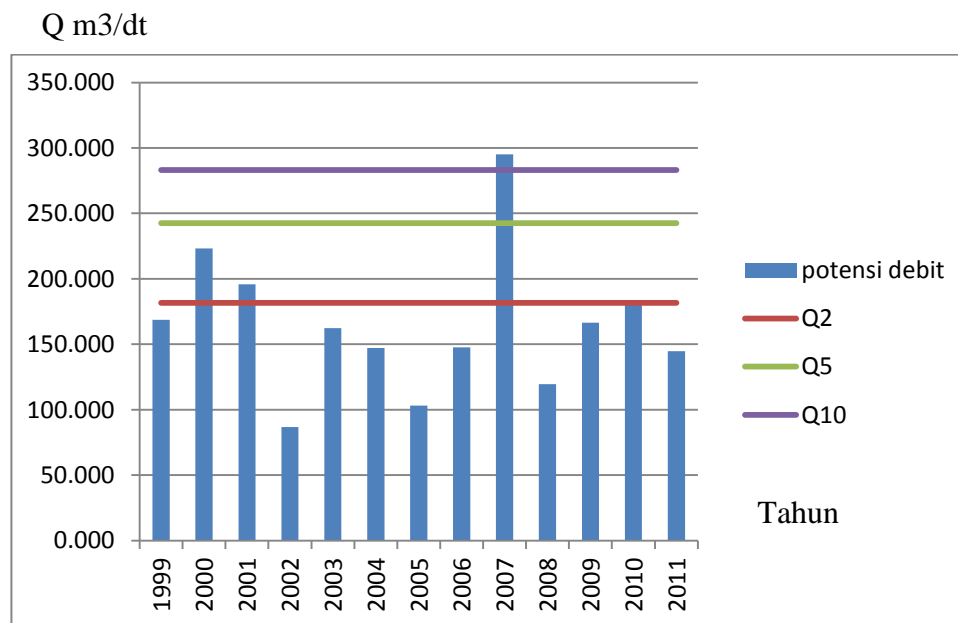
Debit banjir maksimum dari hujan 2 harian tahunan maksimum tahun 1999 adalah 168,756 m³/dt.

Contoh perhitungan debit hujan 2 harian tahun 1999 seperti berikut ini:

- Debit banjir 2 harian tahun 1999 di jam ke 4 =
 $(UH \text{ jam ke } 4 \times \text{sebaran hujan jam } 1) + (UH \text{ jam ke } 3,57 \times \text{sebaran hujan jam } 2) + (UH \text{ jam ke } 3 \times \text{sebaran hujan jam } 3) + (UH \text{ jam ke } 1 \times \text{sebaran hujan jam } 4) + (UH \text{ jam ke } 0 \times \text{sebaran hujan jam } 5)$
 $= (7,906 \times 8,309) + (9,007 \times 7,670) + (5,933 \times 5,433) + (0,425 \times 4,154) + (0 \times 2,237)$
 $= 124,264 \text{ m}^3/\text{det}$

Hasil perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran B-28.

Setelah diperoleh debit banjir tahunan berdasarkan hujan 2 harian maksimum tahunan, kemudian dibandingkan dengan debit banjir Q2, Q5 dan Q10.



Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Debit Banjir 2 Harian Tahunan dengan Banjir Periode Ulang

Grafik di atas menunjukkan bahwa pada tahun 1999, 2001, 2003-2004, 2006, 2009-2011 berpotensi banjir Q2. Tahun 2000 berpotensi banjir Q5. Dan tahun 2007 berpotensi banjir Q10.

Tabel 4.25 Tabel Rekapitulasi Perhitungan Debit Banjir hujan 2 harian

Tahun	Debit (m ³ /dt)	Kesimpulan
1999	168,756	Mendekati banjir 2 tahunan
2000	223,204	Mendekati banjir 5 tahunan
2001	195,823	Mendekati banjir 2 tahunan
2002	86,789	Tidak menimbulkan banjir
2003	162,344	Mendekati banjir 2 tahunan
2004	147,130	Mendekati banjir 2 tahunan
2005	103,182	Tidak menimbulkan banjir
2006	147,619	Mendekati banjir 2 tahunan
2007	295,085	Mendekati banjir 10 tahunan
2008	119,576	Tidak menimbulkan banjir
2009	166,504	Mendekati banjir 2 tahunan
2010	183,221	Mendekati banjir 2 tahunan
2011	144,648	Mendekati banjir 2 tahunan

4.8 Debit Banjir 2 Harian Bulanan

Distribusi hujan untuk debit rencana 2 harian bulanan menggunakan distribusi Tadashi Tanimoto. Hujan rerata dihitung menggunakan penjumlahan 2 hari berturut-turut di setiap bulannya pada 13 tahun dan diambil rata-rata hujan wilayahnya.

4.8.1 Penentuan Hujan Daerah

Penentuan hujan daerah 2 harian menggunakan penjumlahan curah hujan 2 harian dari tiap bulan pada 13 tahun berturut-turut dan dipilih yang terbesar, lalu dikali dengan koefisien thiessen setelah itu ke 13 curah hujan dirata-rata maka curah hujan rata-rata tersebut telah mewakili hujan daerah bulanan untuk 2 hari.

Contoh perhitungan curah hujan 2 harian bulan Januari stasiun Baturetno tahun 1999 adalah:

Pada tanggal 22-23 terjadi hujan maksimum 2 harian maka:

$$R_{22} = 40 \text{ mm/hari}$$

$$R_{23} = 78 \text{ mm/hari}$$

$$\begin{aligned} R_{\text{maks Januari}} &= 40 + 78 \\ &= 118 \text{ mm/2hari} \end{aligned}$$

Kemudian untuk tanggal yang sama di cari R_{maks} Januari di stasiun Watugede dan di hitung hujan daerahnya.

Tabel 4.26 Hujan Daerah dengan acuan terbesar Stasiun Baturetno bulan Januari

Tahun	Baturetno	Tanggal	Watugede	Hujan Daerah
1999	118	22sd23	0	63,586
2000	95	20sd21	0	51,192
2001	60	16sd17	0	32,332
2002	0	-	0	0
2003	0	-	0	0
2004	51	5sd6	0	27,482
2005	75	23sd24	0	40,415
2006	0	-	0	0
2007	0	-	0	0
2008	59	3sd4	29	45,166

Bersambung di halaman berikutnya.

commit to user

Sambungan halaman sebelumnya.

2009	77	26sd27	39	59,477
2010	63	8sd9	0	33,948
2011	87	2sd3	82	84,694

Tabel 4.27 Hujan Daerah dengan acuan terbesar Stasiun Watugede bulan Januari

Tahun	Watugede	Tanggal	Baturetno	Hujan Daerah
1999	120	3sd4	67	91,440
2000	71	21sd22	0	32,741
2001	161	17sd18	36	93,642
2002	0	-	0	0,000
2003	0	-	0	0,000
2004	0	-	0	0,000
2005	50	16sd17	0	23,057
2006	38	4sd5	0	17,523
2007	0	-	0	0,000
2008	45	26sd27	0	20,751
2009	67	8sd9	0	30,896
2010	0	-	0	0,000
2011	130	8sd9	61	92,818

Kemudian dipilih hujan daerah terbesar tiap bulan. hujan daerah terbesar yang akan didistribusikan dengan distribusi hujan Tadasi Tanimoto.

Tabel 4.28 Tabel Rekapitulasi Hujan Daerah Maksimum Bulanan

Bulan	R24 (mm/2h)
Januari	93,642
Februari	106,394
Maret	93,373
april	106,735
Mei	69,170
Juni	70,591
Juli	8,622
Agustus	58,564
September	50,653
Oktober	45,652
November	103,103
Desember	141,109

commit to user

4.8.2 Analisis Frekuensi Log Person

Tabel 4.29 Tabel Perhitungan parameter logaritma data hujan daerah

Bulan	R ₂₄ Max	ln X	ln X-ln Xi	(ln X-ln Xi) ²	(ln X-ln Xi) ³
Januari	93,6420	4,539	0,334	0,112	0,037
Februari	106,3939	4,667	0,462	0,213	0,099
Maret	93,3730	4,537	0,331	0,110	0,036
april	106,7355	4,670	0,465	0,216	0,101
Mei	69,1704	4,237	0,031	0,001	0,000
Juni	70,5911	4,257	0,052	0,003	0,000
Juli	8,6218	2,154	-2,051	4,206	-8,627
Agustus	58,5643	4,070	-0,135	0,018	-0,002
September	50,6532	3,925	-0,280	0,079	-0,022
Oktober	45,6525	3,821	-0,384	0,148	-0,057
November	103,1032	4,636	0,430	0,185	0,080
Desember	141,1091	4,950	0,744	0,554	0,412
Jumlah	947,610	50,463	0,000	5,845	-7,943

Contoh perhitungan hujan efektif 2 harian bulanan.

- Hujan daerah 2 harian bulanan x koefisien limpasan
 $= 93,6420 \times 0,396$ (Wahyu Utomo, 2008)
 $= 37,082$

Analisis hujan daerah 2 harian bulanan menggunakan distribusi hujan Tadasi Tanimoto dengan memanfaatkan data hujan jam-jaman yang ada di pulau Jawa dengan menggunakan lama hujan 8 (delapan) jam.

Waktu (jam ke-)	1	2	3	4	5	6	7	8
Persentase sebaran	0,260	0,240	0,170	0,130	0,070	0,055	0,040	0,035

Sumber : Arif Santoso (2005)

Untuk mengetahui hujan efektif jam-jaman digunakan perkalian antara hujan efektif dengan % distribusi Tadasi Tanimoto.

- Hujan daerah 2 harian bulanan x presentase sebaran x koefisien limpasan
 $= 37,082 \times 0,260 \times 0,396$ (Wahyu Utomo, 2008)
 $= 9,641$

commit to user

Tabel 4.30 Tabel Perhitungan Hujan Efektif Jam-jaman Hujan 2 Harian Bulanan

BULAN	1	2	3	4	5	6	7	8
Januari	9,641	8,900	6,304	4,821	2,596	2,040	1,483	1,298
Februari	10,954	10,112	7,162	5,477	2,949	2,317	1,685	1,475
Maret	9,614	8,874	6,286	4,807	2,588	2,034	1,479	1,294
april	10,989	10,144	7,185	5,495	2,959	2,325	1,691	1,479
Mei	7,122	6,574	4,657	3,561	1,917	1,507	1,096	0,959
Juni	7,268	6,709	4,752	3,634	1,957	1,537	1,118	0,978
Juli	0,888	0,819	0,580	0,444	0,239	0,188	0,137	0,119
Agustus	6,030	5,566	3,943	3,015	1,623	1,276	0,928	0,812
September	5,215	4,814	3,410	2,608	1,404	1,103	0,802	0,702
Oktober	4,700	4,339	3,073	2,350	1,265	0,994	0,723	0,633
November	10,616	9,799	6,941	5,308	2,858	2,246	1,633	1,429
Desember	14,529	13,411	9,499	7,264	3,912	3,073	2,235	1,956

4.8.3 Perhitungan Hidrograf Nakayasu

Perhitungan Unit hidrograf yang dihasilkan harus dibagi dengan faktor koreksi untuk menjadikan unit hidrograf per satu milimeter. Faktor koreksi unit hidrograf yaitu perbandingan antara jumlah volume dengan luas DAS.

Tabel 4.31 Tabel hasil perhitungan hidrograf satuan Nakayasu bulanan

t	Qt	Ket	Q Komulatif (m ³ /dt)	Kontrol	UH Koreksi
0	0	Qa	0	0	0
1	0,534		0,534	1923,942	0,425
2	2,821		2,821	10154,63	2,242
3	7,464		7,464	26870,94	5,933
3,57	11,332		11,332	40793,94	9,007
4	9,946	Q1	9,946	35806,89	7,906
5	7,343		7,343	26433,39	5,836
6	5,42		5,42	19513,68	4,308
7	4,002		4,002	14405,4	3,18
7,537	3,4		3,4	12238,87	2,702
8	3,096		3,096	11144,44	2,46
9	2,529		2,529	9102,958	2,01
10	2,065		2,065	7435,441	1,642

Bersambung di halaman berikutnya.

Sambungan dari halaman sebelumnya.

11	1,687	Q2	1,687	6073,386	1,341
12	1,378		1,378	4960,838	1,095
13	1,126		1,126	4052,092	0,895
13,49	1,02		1,02	3671,84	0,811
14	0,944		0,944	3396,807	0,75
15	0,811		0,811	2918,529	0,644
16	0,697		0,697	2507,593	0,554
17	0,598		0,598	2154,519	0,476
18	0,514		0,514	1851,158	0,409
19	0,442		0,442	1590,51	0,351
20	0,38		0,38	1366,563	0,302
21	0,326		0,326	1174,148	0,259
22	0,28		0,28	1008,825	0,223
23	0,241		0,241	866,78	0,191
24	0,207		0,207	744,736	0,164
25	0,178		0,178	639,875	0,141
26	0,153		0,153	549,779	0,121
27	0,131		0,131	472,369	0,104
28	0,113		0,113	405,859	0,09
29	0,097		0,097	348,713	0,077
30	0,083		0,083	299,613	0,066
31	0,072		0,072	257,427	0,057
32	0,061	Q3	0,061	221,181	0,049
33	0,053		0,053	190,038	0,042
34	0,045		0,045	163,28	0,036
35	0,039		0,039	140,29	0,031
36	0,033		0,033	120,537	0,027
37	0,029		0,029	103,565	0,023
38	0,025		0,025	88,983	0,02
39	0,021		0,021	76,454	0,017
40	0,018		0,018	65,689	0,015
41	0,016		0,016	56,44	0,012
42	0,013		0,013	48,493	0,011
43	0,012		0,012	41,665	0,009
44	0,01		0,01	35,798	0,008
45	0,009		0,009	30,758	0,007
46	0,007		0,007	26,427	0,006
47	0,006		0,006	22,706	0,005
48	0,005		0,005	19,509	0,004

commit to user

Hasil perhitungan hidrograf satuan Nakayasu adalah:

- Menghitung waktu konsentrasi (T_g)

$$T_g = 0,40 + 0,058 L \quad (\text{untuk } L > 15 \text{ km})$$

$$= 0,21 L^{0,70} \quad (\text{untuk } L < 15 \text{ km})$$

$$= 1,983 \text{ jam}$$

- Menghitung koefisien alpha (α)

$$\alpha = 1/T_g \times 0,47 (A.L)^{0,25}$$

$$= 1,065 \text{ diambil } 2$$

- Menentukan satuan waktu yang digunakan (t_r)

$$T_r = (0,5 - 1) T_g$$

$$= 1,983$$

- Menghitung wktu puncak (T_p)

$$T_p = T_g + 0,80 t_r$$

$$= 3,570 \text{ jam, diambil } 4 \text{ jam}$$

- Menghitung waktu resesi ($T_{0,3}$)

$$T_{0,3} = \alpha \times T_g$$

$$= 3,967 \text{ jam, diambil } 4 \text{ jam}$$

$$1,5T_{0,3} = 1,5 \times 1,5T_{0,3}$$

$$= 5,950 \text{ jam, diambil } 6 \text{ jam}$$

- Mengitung Debit puncak (Q_p)

$$Q_p = 1/3,6 \times A.R_e \times 1/(0,3 T_p + T_{0,3})$$

$$= 11,333 \text{ m}^3/\text{dt}$$

- $T_p + T_{0,3} = 7,537 \text{ jam} \approx 8 \text{ jam}$

- $T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3} = 13,487 \text{ jam} \approx 14 \text{ jam}$

Contoh perhitungan unit hidrograf satuan Nakayasu mengikuti interval sebagai berikut:

- Pada kurva naik : $0 < t < T_p$

Perhitungan pada jam ke 2 :

$$Q = 11,333 \times \left(\frac{2}{3,570} \right)^{2,4} = 2,821$$

commit to user

- Pada kurva turun :

Selang nilai : $T_p < t < (T_p + T_{0,3})$

Perhitungan pada jam ke 5:

$$Q = 11,333 \times 0,3^{\left(\frac{5-3,570}{3,967}\right)} = 7,343$$

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

Perhitungan pada jam ke 10:

$$Q = 11,333 \times 0,3^{\left(\frac{10-3,570 + 0,5 \times 3,967}{1,5 \times 3,967}\right)} = 2,065$$

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

Perhitungan pada jam ke 20:

$$Q = 11,333 \times 0,3^{\left(\frac{20-3,570 + 0,5 \times 3,967}{2 \times 3,967}\right)} = 0,380$$

Contoh perhitungan koreksi unit hidrograf satuan Nakayasu pada jam ke 5 adalah:

- Kontrol :

$$V_{tot} = \sum \text{kontrol} \times 3600 = 258588,292 \text{ m}^3 = 2,58588 \times 10^{14} \text{ m}^3$$

$$\text{Luas} = \text{Luas DAS} = 2,0553 \times 10^{14} \text{ mm}^2$$

$$V_{\text{total}} / \text{Luas} = 2,58588 \times 10^{14} / 2,0553 \times 10^{14} = 1,258 \text{ mm}$$

$$\text{Hujan harusnya } 1 \text{ mm perlu di koreksi} = 1 / (V_{\text{tot}} / \text{Luas}) \times Q_{\text{kom}}$$

- Koreksi :

$$V_{tot} = \sum \text{UH Koreksi} \times 3600 = 205529,752 \text{ m}^3 = 2,0553 \times 10^{14} \text{ m}^3$$

$$\text{Luas} = \text{Luas DAS} = 2,0553 \times 10^{14} \text{ mm}^2$$

$$V_{\text{total}} / \text{Luas} = 2,0553 \times 10^{14} / 2,0553 \times 10^{14} = 1 \text{ mm}$$

- Unit hidrograf terkoreksi = $(1/1,258) \times 7,343$
 $= 5,836 \text{ mm}^3/\text{hari}$

Hasil perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran B-83.

Unit hidrograf satuan Nakayasu yang diperoleh dikalikan dengan faktor sebaran hujan 8 jaman yang sudah dikali dengan koefisien limpasan.

Contoh perhitungan debit bulan Januari dari hujan 2 harian maksimum tahunan.

- Debit banjir bulan Januari di jam ke 4 =

$$\begin{aligned}
 & (\text{UH jam ke 4} \times \text{sebaran hujan jam 1}) + (\text{UH jam ke 3,57} \times \text{sebaran hujan jam 2}) + (\text{UH jam ke 3} \times \text{sebaran hujan jam 3}) + (\text{UH jam ke 1} \times \text{sebaran hujan jam 4}) + (\text{UH jam ke 0} \times \text{sebaran hujan jam 5}) \\
 &= (7,906 \times 3,949) + (9,007 \times 3,645) + (5,933 \times 2,582) + (0,425 \times 1,975) \\
 &+ (0 \times 1,063) \\
 &= 80,212 \text{ m}^3/\text{det}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran B8.84.

Tabel 4.32 Tabel Perhitungan Debit Banjir 2 Harian Bulanan Januari

Waktu (jam)	UH m ³ /det	1 9,641	2 8,900	3 6,304	4 4,821	5 2,596	6 2,040	7 1,483	8 1,298	Q m ³ /det
0	0,000	0,000								0,000
1	0,425	4,095	0,000							4,095
2	2,242	21,616	3,780	0,000						25,396
3	5,933	57,199	19,953	2,678						79,829
3,570	9,007	86,836	52,799	14,133	0,000					153,768
4	7,906	76,220	80,156	37,399	2,048	0,000				195,823
5	5,836	56,267	70,357	56,777	10,808	1,103	0,000			195,312
6	4,308	41,538	51,939	49,836	28,599	5,820	0,866	0,000		178,598
7	3,180	30,664	38,342	36,790	43,418	15,400	4,573	0,630		169,817
7,537	2,702	26,052	28,305	27,159	38,110	23,379	12,100	3,325	0,000	158,431
8	2,460	23,723	24,048	20,050	28,134	20,521	18,369	8,800	0,551	144,195
9	2,010	19,377	21,898	17,034	20,769	15,149	16,123	13,359	2,910	126,619
10	1,642	15,827	17,886	15,511	15,332	11,183	11,903	11,726	7,700	107,069
11	1,341	12,928	14,610	12,670	13,026	8,256	8,787	8,656	11,689	90,622
12	1,095	10,560	11,934	10,349	11,861	7,014	6,487	6,390	10,260	74,855
13	0,895	8,625	9,748	8,453	9,688	6,387	5,511	4,718	7,574	60,704
13,487	0,811	7,816	7,962	6,905	7,914	5,217	5,018	4,008	5,592	50,431
14	0,750	7,231	7,215	5,640	6,464	4,261	4,099	3,650	4,128	42,687
15	0,644	6,213	6,674	5,110	5,280	3,481	3,348	2,981	3,507	36,594
16	0,554	5,338	5,735	4,728	4,313	2,843	2,735	2,435	3,193	31,319
17	0,476	4,586	4,927	4,062	3,908	2,322	2,234	1,989	2,608	26,637
18	0,409	3,940	4,233	3,490	3,615	2,104	1,825	1,625	2,131	22,963
19	0,351	3,386	3,637	2,999	3,106	1,947	1,653	1,327	1,740	19,795
20	0,302	2,909	3,125	2,576	2,669	1,673	1,530	1,202	1,422	17,106
21	0,259	2,499	2,685	2,214	2,293	1,437	1,314	1,112	1,161	14,716
22	0,223	2,147	2,307	1,902	1,970	1,235	1,129	0,956	1,052	12,699

Bersambung di halaman berikutnya.

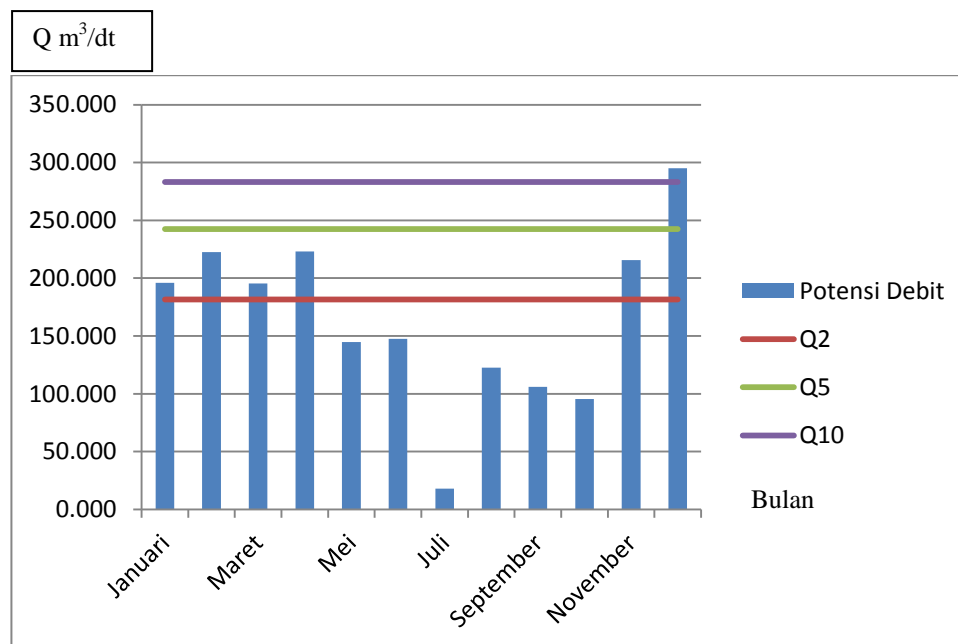
Sambungan halaman sebelumnya.

23	0,191	1,845	1,982	1,634	1,693	1,061	0,970	0,821	0,973	10,980
24	0,164	1,585	1,703	1,404	1,454	0,912	0,834	0,706	0,836	9,434
25	0,141	1,362	1,463	1,206	1,250	0,783	0,716	0,606	0,719	8,106
26	0,121	1,170	1,257	1,037	1,074	0,673	0,615	0,521	0,617	6,964
27	0,104	1,006	1,080	0,891	0,923	0,578	0,529	0,448	0,530	5,984
28	0,090	0,864	0,928	0,765	0,793	0,497	0,454	0,385	0,456	5,141
29	0,077	0,742	0,797	0,657	0,681	0,427	0,390	0,330	0,392	4,417
30	0,066	0,638	0,685	0,565	0,585	0,367	0,335	0,284	0,336	3,795
31	0,057	0,548	0,589	0,485	0,503	0,315	0,288	0,244	0,289	3,261
32	0,049	0,471	0,506	0,417	0,432	0,271	0,248	0,210	0,248	2,802
33	0,042	0,405	0,435	0,358	0,371	0,233	0,213	0,180	0,213	2,407
34	0,036	0,348	0,373	0,308	0,319	0,200	0,183	0,155	0,183	2,068
35	0,031	0,299	0,321	0,264	0,274	0,172	0,157	0,133	0,158	1,777
36	0,027	0,257	0,276	0,227	0,235	0,148	0,135	0,114	0,135	1,527
37	0,023	0,220	0,237	0,195	0,202	0,127	0,116	0,098	0,116	1,312
38	0,020	0,189	0,203	0,168	0,174	0,109	0,100	0,084	0,100	1,127
39	0,017	0,163	0,175	0,144	0,149	0,094	0,086	0,072	0,086	0,968
40	0,015	0,140	0,150	0,124	0,128	0,080	0,074	0,062	0,074	0,832
41	0,012	0,120	0,129	0,106	0,110	0,069	0,063	0,053	0,063	0,715
42	0,011	0,103	0,111	0,091	0,095	0,059	0,054	0,046	0,054	0,614
43	0,009	0,089	0,095	0,079	0,081	0,051	0,047	0,039	0,047	0,528
44	0,008	0,076	0,082	0,067	0,070	0,044	0,040	0,034	0,040	0,453
45	0,007	0,065	0,070	0,058	0,060	0,038	0,034	0,029	0,035	0,390
46	0,006	0,056	0,060	0,050	0,052	0,032	0,030	0,025	0,030	0,335
47	0,005	0,048	0,052	0,043	0,044	0,028	0,025	0,022	0,025	0,288
48	0,004	0,042	0,045	0,037	0,038	0,024	0,022	0,018	0,022	0,247

Debit maksimum bulan Januari dari hujan 2 harian bulanan adalah $195,823 \text{ m}^3/\text{dt}$.

Hasil perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran B8.84.

Setelah diperoleh debit banjir bulanan maksimum tahunan, kemudian dibandingkan dengan debit banjir Q2, Q5 dan Q10.



Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Banjir Bulanan Maksimum Tahunan dengan Banjir Tahunan Periode Ulang

Grafik di atas menunjukkan bahwa pada bulan Januari-April dan bulan November berpotensi banjir Q2. Sedangkan bulan Desember berpotensi banjir Q10.

Tabel 4.33 Tabel Rekapitulasi Debit Banjir 2 Harian Bulanan

Bulan	Debit m³/dt
Januari	195,823
Februari	222,489
Maret	195,260
April	223,204
Mei	144,648
Juni	147,619
Juli	18,030
Agustus	122,469
September	105,925
Oktober	95,468
November	215,608
Desember	295,085

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

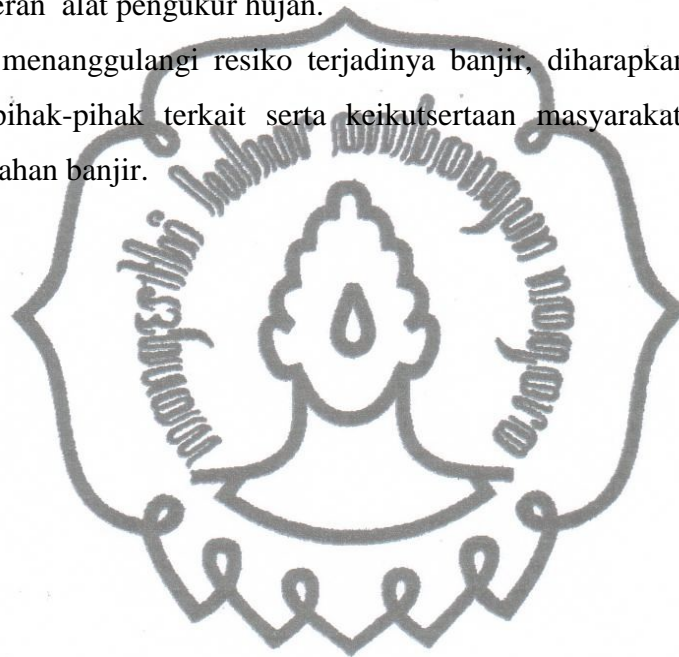
Dari hasil analisis dan perhitungan banjir tahunan Daerah Aliran Sungai Bengawan Solo Hulu di Sub DAS Bengawan Solo Hulu 3 dapat ditarik kesimpulan :

1. Dari hasil analisis dan perhitungan pola distribusi hujan di Daerah Aliran Sungai Bengawan Solo Hulu Sub DAS Bengawan Solo Hulu 3 mengikuti pola distribusi hujan Log Person Type III.
2. Hasil perhitungan debit banjir Periode ulang sebagai berikut : $Q_2 = 181,518 \text{ m}^3/\text{dt}$, $Q_5 = 242,498 \text{ m}^3/\text{dt}$, $Q_{10} = 283,109 \text{ m}^3/\text{dt}$, $Q_{20} = 316,534 \text{ m}^3/\text{dt}$, $Q_{50} = 373,369 \text{ m}^3/\text{dt}$, $Q_{100} = 412,425 \text{ m}^3/\text{dt}$, $Q_{200} = 452,013 \text{ m}^3/\text{dt}$, $Q_{1000} = 546,683 \text{ m}^3/\text{dt}$ dengan menggunakan metode Nakayasu.
3. Potensi banjir tahunan berdasarkan hujan 2 harian maksimum tahunan pada tahun 1999, 2001, 2003-2004, 2006, 2009-2011 berpotensi banjir Q_2 . Tahun 2000 berpotensi banjir Q_5 . Tahun 2007 berpotensi banjir Q_{10} . Potensi banjir bulanan berdasarkan hujan 2 harian maksimum bulanan pada kurun analisis tahun 1999-2011, bulan Januari-April dan November berpotensi banjir Q_2 . Bulan Desember berpotensi banjir Q_{10}

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya dapat diberikan beberapa saran sebagai berikut:

1. Untuk penelitian selanjutnya diperlukan data yang lebih lengkap dari stasiun pencatat hujan. Untuk memperoleh data hujan yang lengkap dan akurat diperlukan adanya alat pencatat hujan dengan kondisi yang masih bagus. Dilakukan pemeriksaan berkala agar tidak terjadi kerusakan ataupun pergeseran alat pengukur hujan.
2. Untuk menanggulangi resiko terjadinya banjir, diharapkan ada kerja sama antar pihak-pihak terkait serta keikutsertaan masyarakat dalam kegiatan pencegahan banjir.

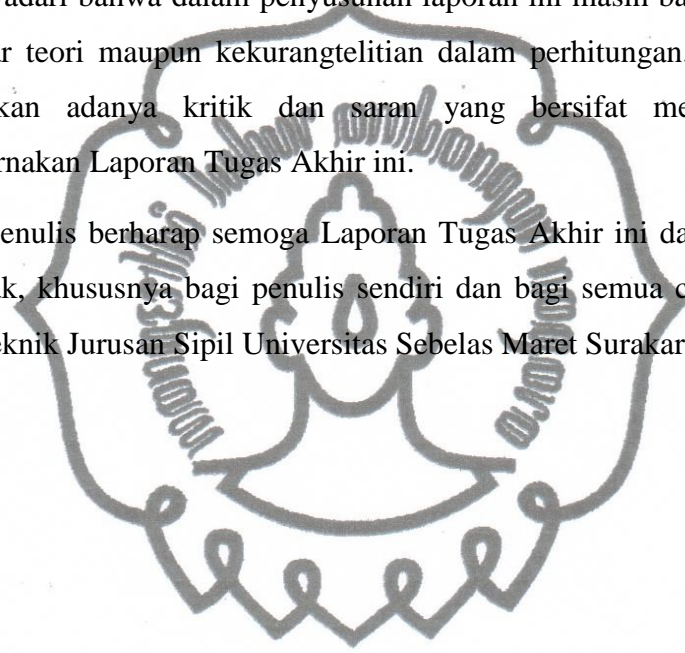


PENUTUP

Puji syukur kami panjatkan kehadiran ALLAH SWT atas rahmat dan berkat-NYA sehingga kami dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini dengan baik. Kami juga mengucapkan terima kasih kepada teman-teman dan semua pihak yang telah membantu terselesaikannya Tugas Akhir ini.

Kami menyadari bahwa dalam penyusunan laporan ini masih banyak kekurangan dalam dasar teori maupun kekurangtelitian dalam perhitungan. Untuk itu kami mengharapkan adanya kritik dan saran yang bersifat membangun untuk menyempurnakan Laporan Tugas Akhir ini.

Akhirnya penulis berharap semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat berguna bagi semua pihak, khususnya bagi penulis sendiri dan bagi semua civitas akademika Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sebelas Maret Surakarta.



DAFTAR PUSTAKA

- Agung B. Supangat dan Sukresno, 2009, *Studi Pebelusuran Perjalanan Air Banjir di Sungai Bengawan Solo*. Balai Penelitian Kehutanan. Surakarta.
- Bambang Triatmodjo, 2008, *Hidrologi Terapan*. Beta Offset, Yogyakarta.
- C.D. Soemarto, 1986, *Hidrologi Teknik*. Usaha Nasional, Surabaya.
- Limantara, Lily Montarcih, 2008. *Hidrologi Dasar*. CV Citra. Malang.
- Mamok Suprpto, 2000, *Hidrologi*. Surakarta: Jurusan Teknik Sipil FT UNS.
- Pramono Hadi, 2006, *Pemahaman Karakteristik Hujan Sebagai Dasar Pemilihan Model Hidrologi*. Fakultas Geografi UGM, Yogyakarta
- Sri Harto, 1993, *Analisis Hidrologi*, Gramedia Pustaka Utaman. Jakarta.
- Suripin, 2004, *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Suyono Sosrodarsono dan Kensaku Takeda, 1976. *Hidrologi Untuk Pengairan*. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Wahyu Utomo, 2012. *Skripsi Model Penelusuran Banjir Daerah Aliran Sungai Bengawan Solo Hulu 3 dengan menggunakan Gelombang Dinamis*. Universitas Negeri Sebelas Maret. Surakarta.
- Yunie, Wiyasari. 2010. *Skripsi Pola Distribusi Hujan Jam-Jaman di Sub DAS Temon dan Wuryantoro*. Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.