

EVALUASI KAPASITAS KALI BORO SURAKARTA

Capacity Evaluation of Kali Boro Surakarta

SKRIPSI

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana
Pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Sebelas Maret
Surakarta



Disusun Oleh :

RIBUR ARITONANG

I 1110038

JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SEBELAS MARET

SURAKARTA

commit to user
2012

ABSTRAK

Ribur Aritonang, 2012, Evaluasi Kapasitas Kali Boro Surakarta. Skripsi, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.

DAS Kali Boro termasuk bagian daerah pengaliran Bengawan Solo, yang mempunyai luas 143,83 Ha dan panjang Kali Boro adalah 1.475,50 m. Curah hujan harian maksimum yang memiliki kecenderungan naik pada 15 (lima belas) Tahun terakhir di DAS Bengawan Solo Hulu, banyaknya pemukiman warga yang masuk ke badan sungai dan pengaruh tata guna lahan menyebabkan limpasan air permukaan tinggi dan genangan air di DAS Kali Boro.

Penelitian yang dilakukan menggunakan metode *Deskriptif Evaluatif*, dimana objek penelitian ini adalah DAS Kali Boro. Penelitian ini untuk mengetahui Kapasitas Kali Boro dengan bantuan *software HEC-RAS* versi 4.1.0 dengan menggunakan debit rancangan yang didapat dari analisis metode Rasional. Data hujan yang digunakan dalam analisis hidrologi yaitu Tahun 1990 – 2011 dari Stasiun Pencatat Hujan Mojolaban, Ngemplak dan Grogol. Selanjutnya, dilakukan evaluasi volume tampung Kali Boro terhadap volume air rencana yang terjadi selama durasi hujan jika pintu air Pucang Sawit di hilir Kali Boro ditutup.

Hasil penelitian ini didapatkan debit rancangan dengan Kala Ulang 2, 5, 10, 25 dan 50 Tahun berturut – turut sebesar $5,966 \text{ m}^3/\text{dt}$, $7,195 \text{ m}^3/\text{dt}$, $7,820 \text{ m}^3/\text{dt}$, $8,459 \text{ m}^3/\text{dt}$ dan $8,852 \text{ m}^3/\text{dt}$. Kapasitas maksimum Kali Boro hasil analisis program *HEC-RAS versi 4.1.0* jika Pintu Air Pucang Sawit dibuka berada pada debit $Q = 10,175 \text{ m}^3/\text{dt}$. Volume tampung Kali Boro pada saat pintu air Pucang Sawit ditutup sebesar $12.720,60 \text{ m}^3$, sedangkan Volume air rencana untuk Kala Ulang 2, 5, 10, 25 dan 50 Tahun berturut – turut sebesar $55.494,21 \text{ m}^3$, $66.930,87 \text{ m}^3$, $72.744,90 \text{ m}^3$, $78.691,34 \text{ m}^3$ dan $82.348,53 \text{ m}^3$. Dari perbandingan volume tersebut, Kali Boro tidak mampu menampung keseluruhan volume air selama hujan yang terjadi jika pintu air Pucang Sawit ditutup.

Kata kunci : Sistem Drainase, Debit rencana, Kapasitas saluran, Volume Saluran.

ABSTRACT

Ribur Aritonang, 2012, Capacity Evaluation of Kali Boro Surakarta. Thesis, Civil Engineering Department of Surakarta Sebelas Maret University.

Kali Boro Watershed is a flow area of Bengawan Solo, it is about 143,83 Ha and 1.475,50 meters long. The maximum daily rainfall have a tendency up in last 15 (fifteen) years in Bengawan Solo Hulu Watershed, many residential areas into the body of the river and the influence of land-use layout causing high surface water runoff and water stagnation in the Kali Boro Watershed.

This research uses a descriptive evaluative method, and the object of this research is the Kali Boro Watershed. This research to find out the capacity of Kali Boro with the help of HEC-RAS software version 4.1.0 with design discharge from Rational method analysis. Rainfall data used in the analysis of the hydrological is year 1990 – 2011 from Mojolaban rainfall station, Ngemplak and Grogol. Furthermore, evaluation of Kali Boro volume capacity againts the plan water volume that occurred during the rainfall duration if Pucang Sawit floodgates in Boro Kali downstream closed.

The result of this research gets a discharge plan with 2, 5, 10, 25, 50 years of time periods respectively by 5,966 m³/dt, 7,195 m³/dt, 7,820 m³/dt, 8,459 m³/dt and 8,852 m³/dt. The maximum capacity of Kali Boro from HEC-RAS software version 4.1.0 analysis if Pucang Sawit floodgates opened at $Q = 10,175 \text{ m}^3/\text{dt}$ level. Capacity volume of Kali Boro at the time Pucang Sawit floodgates closed at 12.720,60 m³, while the plan water volume for 2, 5, 10, 25 and 50 years of time periods respectively by 55.494,21 m³, 66.930,87 m³, 72.744,90 m³, 78.691,34 m³ and 82.348,53 m³. From the comparison of volume, Kali Boro are not able to accommodate the entire volume of water during rainfall that occurs if Pucang Sawit floodgates closed.

Keywords: Drainage System, Discharge Planning, Channel Capacity, Channel Volume.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
MOTTO	iv
PERSEMBAHAN	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR NOTASI	xvi
 BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Manfaat Penelitian	4
 BAB 2 LANDASAN TEORI	
2.1. Tinjauan Pustaka	5
2.1.1. Sistem Drainase	5
2.2. Landasan Teori	6
2.2.1. Umum	6
2.2.2. Siklus Hidrologi	7

2.2.3.	Presipitasi	7
2.2.4.	Tata Guna Lahan	10
2.2.5.	Kondisi Sistem Drainase	10
2.2.6.	Pengukuran Hujan	10
2.2.7.	Kualitas Data Hujan	11
2.2.8.	Analisis Hujan Titik menjadi Hujan Wilayah	11
2.2.9.	Karakteristik DAS	14
2.2.10.	Hujan Rerata Kawasan	15
2.2.11.	Analisis Frekuensi	15
2.2.12.	Hujan rencana	19
2.2.13.	Intensitas Hujan	19
2.2.14.	Waktu Konsentrasi	20
2.2.15.	Metode Rasional	21
2.2.16.	Model Hidraulik Sungai	25
2.2.17.	Komponen Aliran dan Persamaan dalam <i>HEC-RAS</i>	26
2.2.18.	Persamaan Dasar Dalam <i>HEC-RAS</i>	27

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1.	Jenis Penelitian	29
3.2.	Lokasi Penelitian	29
3.3.	Foto Kondisi Riil Kali Boro	30
3.4.	Langkah Penelitian	30
3.4.1.	Pengumpulan Data	30
3.4.2.	Analisis Data	31
3.5.	Bagan Alir Tahapan Penelitian	32

BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1.	Data Hujan	33
4.2.	Menghitung Hujan Wilayah	34
4.2.1.	Poligon Thiessen	34

4.2.2. Analisis Frekuensi	35
4.2.3. Penentuan Pola Distribusi	38
4.3. Hujan Rancangan	42
4.4. Debit Rencana	43
4.4.1. Intensitas Hujan	43
4.4.2. Debit Rencana dengan Metode Rasional	44
4.5. Menghitung Kapasitas Kali Boro	47
4.5.1. Penggambaran Geometri Sungai	48
4.5.2. Memasukkan Data Aliran (<i>flow</i>) Sungai	49
4.5.3. Memasukkan Nilai Syarat Batas Aliran	50
4.5.4. Hitungan Profil Aliran Permanen (<i>Steady flow</i>)	51
4.5.5. Interpretasi Hasil Hitungan <i>HEC-RAS</i>	51
4.6. Volume Tampung Saluran	54
 BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan	59
5.2. Saran	60
 DAFTAR PUSTAKA	
 LAMPIRAN	

BAB 1

PENDAHULUAN

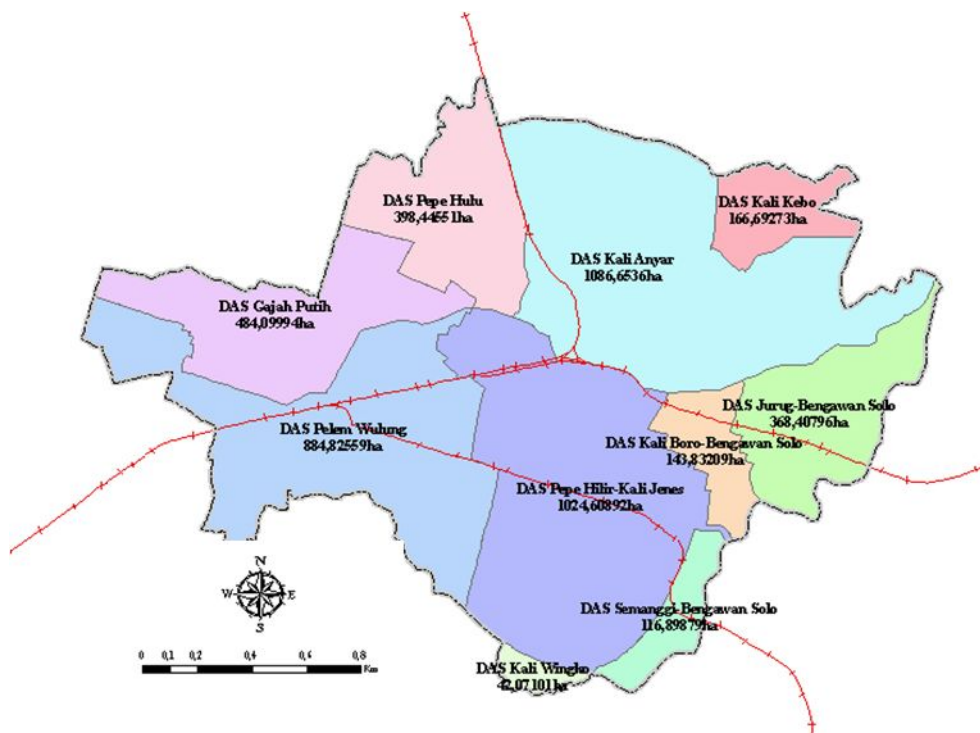
1.1 Latar Belakang Masalah

Sistem drainase di wilayah Kota Surakarta pada mulanya dibangun untuk kepentingan Kraton dan selanjutnya dikembangkan sebagai sistem drainase kota. Jaringan drainase di Surakarta dibedakan menjadi dua bagian yaitu drainase alam dan drainase kota. Drainase alam merupakan sungai - sungai yang melintas di tengah kota seperti Kali Sumber, Kali Pepe, dan Kali Anyar, yang berfungsi sebagai penampung pengaliran drainase kota dan air hujan yang diteruskan ke laut melalui Sungai Bengawan Solo. Drainase kota mengalirkan air permukaan baik berupa genangan akibat air hujan maupun air buangan dari rumah tangga (Pemerintah Kota Surakarta, 2003).

Topografi di bagian selatan Kota Surakarta relatif datar dengan ketinggian +92 m dari permukaan laut dengan kemiringan 0% - 3%, pada bagian utara ketinggian +135 m dari permukaan laut dan dengan permukaan berbukit - bukit. Kedua bagian kawasan ini dipisahkan oleh Kali Anyar. Berdasarkan kondisi geografis ini di sebagian wilayah Kota Surakarta bagian selatan terdapat daerah rawan banjir, sehingga setiap tahun selalu mengalami banjir dan genangan ketika intensitas curah hujan tinggi (Dinas PU Kota Surakarta, 2008).

Kota Surakarta dibagi ke dalam 10 (sepuluh) Daerah Aliran Sungai (DAS) atau jaringan drainase makro, yaitu DAS Pepe Hulu, Kali anyar, Pepe hilir, Gajah Putih, Kali Kebo, Kali Boro, Jurug, Pelem Wulung, Semanggi dan Kali Wingko (Dinas PU Kota Surakarta, 2008). Keseluruhan drainase makro tersebut mengalir saluran Drainase Primer dengan panjang 3,7 Km, Drainase Sekunder dengan panjang 67,5 Km dan Drainase Tersier dengan panjang 455,3 Km. Setiap drainase makro membentuk sistem jaringan yang lebih kecil lagi yang disebut sistem drainase mikro. Pembagian sistem drainase Kota Surakarta dapat dilihat pada Gambar 1.1 berikut :

commit to user



Gambar 1.1 Pembagian Sistem Drainase Kota Surakarta Berdasarkan Daerah Aliran Sungai (Dinas PU Kota Surakarta, 2008)

DAS Kali Boro termasuk bagian daerah pengaliran Bengawan Solo yang mempunyai luas 143,83 Ha dan panjang Kali Boro adalah 1.475,50 meter. Pada DAS Kali Boro terdapat 4 saluran mikro yang bermuara pada Kali Boro yaitu Saluran Belakang PMI, Stasiun Jebres, Jalan Gotong Royong dan Saluran Jagalan. Keseluruhan saluran drainase mikro yang bermuara ke Kali Boro tersebut semuanya perlu dilakukan rehabilitasi saluran, dimana saluran belakang PMI mempunyai tingkat prioritas rehabilitasi tertinggi dengan nilai 27,8% (Rizqy Fajar, 2011).

DAS Kali Boro sering mengalami genangan air jika intensitas hujan cukup tinggi dan durasi hujan yang lama. Indikasi awal penyebab terjadinya genangan pada Kali Boro dikarenakan banyaknya pemukiman warga yang masuk ke badan sungai dan pengaruh tata guna lahan menyebabkan limpasan air permukaan tinggi di DAS Kali Boro.

Dina Nur Febriani (2012) menyatakan bahwa hujan harian maksimum di DAS Bengawan Solo Hulu mempunyai tingkat kecenderungan naik pada 15 (lima belas) tahun terakhir. DAS Kali Boro termasuk bagian daerah pengaliran Bengawan Solo, sehingga perlu dilakukan suatu kajian yang mendetail tentang evaluasi kapasitas Kali Boro dalam menampung hujan yang cenderung naik dan pengaruh tata guna lahan di DAS Kali Boro.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Berapa debit banjir kala ulang 2, 5, 10, 25 dan 50 tahun yang terjadi di DAS Kali Boro ?
2. Berapa kapasitas maksimum Kali Boro ?
3. Apakah Kali Boro mampu menampung banjir kala ulang 2, 5, 10, 25, dan 50 tahun pada saat pintu air Pucang Sawit di Kali Boro harus ditutup dan pompa tidak dapat dioperasikan ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui debit banjir kala ulang 2, 5, 10, 25 dan 50 tahun yang terjadi di DAS Kali Boro.
2. Mengetahui kapasitas maksimum Kali Boro.
3. Mengetahui volume tampung Kali Boro berada dikala ulang berapa tahun pada saat Pintu Air Pucang Sawit di Kali Boro harus ditutup dan pompa tidak dapat dioperasikan.

1.4 Batasan Masalah

Untuk membatasi ruang lingkup penelitian ini, maka diperlukan batasan masalah yaitu sebagai berikut :

1. Analisis dilakukan hanya pada sepanjang Kali Boro tanpa memperhitungkan dampak *backwater* Sungai Bengawan Solo.

2. Data hujan yang digunakan tahun 1990 - 2011 di Stasiun Pencatat Hujan Pabelan, Ngemplak, Grogol dan Mojolaban.
3. Pengolahan Peta DAS menggunakan program *Auto CAD*.
4. Pengolahan Hidrologi menggunakan program *Microsoft Excel*.
5. Program yang digunakan untuk simulasi jaringan adalah program *HEC-RAS versi 4.1.0*.
6. Simulasi dilakukan dengan menggunakan simulasi aliran *steady*.
7. Koefisien Pengaliran (C) DAS Kali Boro menggunakan koefisien pengaliran Kecamatan Jebres, dikarenakan tidak didapatnya data tata guna lahan DAS Kali Boro. DAS Kali Boro merupakan bagian dari Wilayah Kecamatan Jebres.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari hasil penelitian ini diharapkan :

1. Dapat memberikan informasi atau menambah wacana mengenai analisis banjir di Daerah Aliran Sungai (DAS) Kali Boro Surakarta dan diharapkan dapat sebagai pedoman untuk instansi terkait dalam mengambil tindakan dalam mengatasi genangan air yang terjadi di saluran drainase Kali Boro.
2. Dapat digunakan sebagai dasar pengoperasian pintu air Pucang Sawit.

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

2.1.1. Sistem Drainase

Drainase berasal dari bahasa Inggris yaitu *drainage* yang artinya mengalirkan, menguras, membuang atau mengalihkan air. Dalam bidang teknik sipil, drainase dapat didefinisikan sebagai suatu tindakan teknis untuk mengurangi kelebihan air, baik yang berasal dari hujan, rembesan maupun kelebihan air dari suatu kawasan, sehingga fungsi kawasan tidak terganggu.

Penelitian yang dilakukan oleh Siswoko (2002) menunjukkan bahwa sumber terjadinya masalah banjir yang dominan adalah pengaruh kegiatan manusia (*anthropogenic*) baik di dataran banjir maupun di DAS. Masyarakat pemukim belum banyak terlibat untuk menjaga DAS sebagai kawasan retensi akibat keterbatasan pemahaman tentang DAS sebagai zona penyangga (*buffer*) sistem tata air (Tunas, 2004 dalam Iswahyu, 2010).

Rizqi Fajar (2011) dalam penelitiannya di Mikro DAS Kali Boro menyatakan bahwa ada 4 saluran drainase mikro yang bermuara ke Kali Boro yang kesemua saluran tersebut perlu dilakukan rehabilitasi, dimana Saluran Belakang PMI memiliki peringkat tertinggi yaitu 0,278 atau 27,8% dan tingkat persentase saluran lainnya yaitu, Saluran Stasiun Jebres 25%, Saluran Jl. Gotong Royong 24,9% dan Saluran Jagalan 22,3%. Pembahasan yang dilakukan sebatas saluran pengumpul Kali Boro dan data sekunder berupa survey kuisisioner warga sekitar daerah aliran sungai.

Puput Chandra K (2011) menyatakan bahwa saluran-saluran pengumpul yang bermuara ke Kali Anyar mampu menampung debit rancangan untuk intensitas hujan kala ulang 10 tahun, tetapi Permen Pu No: 63/Prt/1993 mengatakan, dataran

commit to user

banjir yang merupakan daerah penguasaan sungai ditetapkan berdasarkan debit banjir sekurang-kurangnya untuk Periode Ulang 50 Tahunan tanpa tanggul.

Dina Nur Febriani (2012) menyatakan bahwa hujan harian maksimum di DAS Bengawan Solo Hulu mempunyai tingkat kecenderungan naik pada 15 (lima belas) tahun terakhir. Dengan demikian ada kecenderungan perubahan debit rencana dalam kapasitas saluran-saluran di sistem jaringan drainase Kota Surakarta.

Mengatasi masalah drainase yang sering menimbulkan banjir di Kota Solo bisa dengan merevitalisasi saluran dengan mengeruk sedimentasi yang ada di setiap saluran drainase sehingga daya tampung drainase bisa lebih optimal, dengan demikian maka kemungkinan air meluap ke permukaan sangat kecil (Yusuf Muttaqien, 2011).

2.2 Landasan Teori

2.2.1. Umum

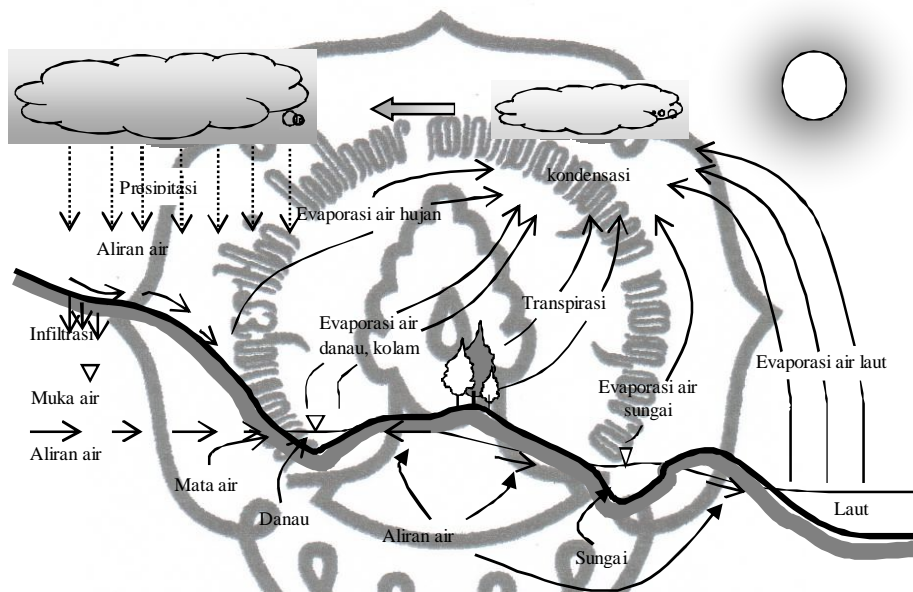
SNI No. 1724-1989-F mendefinisikan hidrologi sebagai ilmu yang mempelajari sistem kejadian air diatas, pada permukaan, dan didalam tanah. Dengan demikian ada empat macam proses dalam daur hidrologi yang digunakan secara umum dan berhubungan dengan analisa hidrologi bagi perencanaan bangunan air, yaitu :

1. *Presipitasi.*
2. *Evaporasi.*
3. *Infiltrasi.*
4. *Surface runoff dan subsurface run off* .

Menurut Suripin (2004 ; 7) drainase mempunyai arti mengalirkan, menguras, membuang, atau mengalihkan air. Secara umum, drainase didefinisikan sebagai serangkaian bangunan air yang berfungsi untuk mengurangi dan/atau membuang kelebihan air dari suatu kawasan atau lahan, sehingga lahan dapat difungsikan secara optimal.

2.2.2. Siklus Hidrologi

Secara keseluruhan jumlah air di planet bumi ini relatif tetap dari masa ke masa. Air di bumi mengalami suatu siklus melalui serangkaian peristiwa yang berlangsung terus – menerus, dimana kita tidak tahu kapan dan dari mana berawalnya dan kapan pula akan berakhir, (Suripin, 2004). Serangkaian peristiwa tersebut dinamakan siklus hidrologi (*hydrologic cycle*).



Gambar 2.1 Siklus Hidrologi (Suripin, 2004)

Dalam kaitannya dengan perencanaan drainase, komponen dalam siklus hidrologi yang terpenting adalah aliran permukaan. Oleh karena itu, komponen inilah yang ditangani secara baik untuk menghindari berbagai bencana, khususnya banjir.

2.2.3. Presipitasi

Menurut Suripin (2004), presipitasi adalah istilah umum untuk menyatakan uap air yang mengkondensasi dan jatuh dari atmosfer ke bumi dalam segala bentuknya dalam rangkaian siklus hidrologi. Jika air yang jatuh berbentuk cair disebut hujan (*rainfall*) dan jika berupa padat disebut salju (*snow*). Menurut Bambang Triadmojo (2009) presipitasi adalah turunnya air hujan dari atmosfer ke permukaan bumi; yang bisa berupa hujan, hujan salju, kabut, embun, dan hujan es. Dalam bagian ini, hanya akan **dibahas** tentang hujan.

Menurut Bambang Triadmodjo (2008) berdasarkan proses terjadinya hujan dibagi menjadi tiga tipe, sebagai berikut :

1. Hujan Konvektif

Di daerah tropis pada musim kemarau udara yang berada di dekat permukaan tanah mengalami pemanasan yang intensif. Pemanasan tersebut menyebabkan rapat massa udara berkurang, sehingga udara basah naik ke atas dan mengalami pendinginan sehingga terjadi kondensasi dan hujan. Hujan yang terjadi karena proses ini disebut hujan konvektif, yang biasanya bersifat setempat, mempunyai intensitas tinggi dan durasi singkat.

2. Hujan siklonik

Jika massa udara panas yang relative ringan bertemu dengan massa udara dingin yang relative berat, maka udara panas tersebut akan bergerak di atas udara dingin. Udara yang bergerak ke atas tersebut mengalami pendinginan sehingga terjadi kondensasi dan terbentuk awan dan hujan. Hujan yang terjadi disebut hujan siklonik, yang mempunyai sifat tidak terlalu lebat dan berlangsung dalam waktu lebih lama.

3. Hujan orografis

Udara lembab yang tertiup angin dan melintasi daerah pegunungan akan naik dan mengalami pendinginan, sehingga terbentuk awan dan hujan. Sisi gunung yang dilalui oleh udara tersebut banyak mendapatkan hujan dan disebut lereng hujan, sedang sisi belakangnya yang dilalui udara kering (uap air telah menjadi hujan di lereng hujan) disebut lereng bayangan hujan. Daerah tersebut tidak permanen dan dapat berubah tergantung musim (arah angin). Hujan ini terjadi di daerah pegunungan (hulu DAS) dan merupakan pemasok air tanah, danau, bendungan, dan sungai.

Dari ketiga jenis tipe hujan, yang banyak terjadi di Indonesia adalah hujan konvektif dan orografis. Jumlah hujan yang jatuh di permukaan bumi dinyatakan dalam kedalaman air (biasanya mm), yang dianggap terdistribusi secara merata pada seluruh daerah tangkapan air. Intensitas hujan adalah jumlah curah hujan dalam suatu satuan waktu, yang biasanya dinyatakan dalam mm/jam. Durasi hujan

adalah waktu yang dihitung dari saat hujan mulai turun sampai berhenti, yang biasanya dinyatakan dalam jam. Data hujan durasi pendek, jam atau menit, dapat diperoleh dari *automatic rainfall recorder*.

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

- Intensitas i , adalah laju hujan = tinggi air persatuan waktu, misalnya mm/menit, mm/jam, atau mm/hari.
- Lama waktu (durasi) t , adalah panjang waktu di mana hujan turun dalam menit atau jam.
- Tinggi hujan d , adalah jumlah atau kedalaman hujan yang terjadi selama durasi hujan dan, dinyatakan dalam ketebalan air di atas permukaan datar, dalam mm.
- Frekuensi adalah frekuensi kejadian dan biasanya dinyatakan dengan kala ulang (*return period*) T , misalnya sekali dalam 2 tahun.
- Luas adalah luas geografis daerah sebaran hujan.

Secara kualitatif, intensitas curah hujan disebut juga derajat curah hujan, sebagaimana diperlihatkan dalam Tabel 2.1

Tabel 2.1 Derajat Curah Hujan dan Intensitas Curah Hujan

Derajat curah Hujan	Intensitas curah Hujan (mm/jam)	Kondisi
Hujan sangat Lemah	<1,20	Tanah agak basah atau dibasahi sedikit
Hujan lemah	1,20 – 3,00	Tanah menjadi basah semuanya, tetapi sulit membuat puddle
Hujan normal	3,00 – 18,00	Dapat dibuat puddle dan bunyi hujan kedengaran
Hujan deras	18,0 – 60,0	Air tergenang diseluruh permukaan tanah dan bunyi keras hujan terdengar berasal dari genangan
Hujan sangat deras	>60,0	Hujan seperti ditumpahkan, sehingga saluran dan drainase meluap

(Sumber : Suripin, 2004)

2.2.4. Tata Guna Lahan

Pengaruh tata guna lahan pada aliran permukaan dinyatakan dalam koefisien aliran permukaan (C), yaitu bilangan yang menunjukkan perbandingan antara besarnya aliran permukaan dan besarnya curah hujan. Angka koefisien aliran permukaan ini merupakan salah satu indikator untuk menentukan kondisi fisik suatu DAS. Nilai C berkisar antara 0 sampai 1. Pada DAS yang masih baik, harga C mendekati nol dan semakin rusak suatu DAS, maka harga C makin mendekati satu. Masalah banjir pada suatu perkotaan juga tidak lepas dari semakin cepat berkurangnya daerah resapan air dalam hal ini perubahan tata guna lahan.

2.2.5. Kondisi Sistem Drainase

Banjir menjadi salah satu permasalahan dalam perkotaan, terutama dalam kota-kota besar di Indonesia. Jika dirunut ke belakang, akar permasalahan banjir di perkotaan berasal dari penambahan penduduk yang sangat cepat. Pertambahan penduduk yang tidak diimbangi dengan penyediaan prasarana dan sarana perkotaan yang memadai mengakibatkan pemanfaatan tata guna lahan yang acak-acakan. Banyak terjadi bangunan pemukiman yang berdiri di atas saluran drainase, sehingga saluran drainase tersebut menjadi terganggu dan tidak berfungsi sebagaimana mestinya.

2.2.6. Pengukuran Hujan

Dalam analisis diperlukan data hujan yang akurat, bukan hanya hujan kumulatif harian, namun juga diperlukan data hujan jam-jaman. Hal ini dikarenakan hujan sangat bervariasi terhadap waktu dan tempat, dan setiap perubahannya berpengaruh terhadap aliran sungai. Hujan di suatu daerah dapat diukur di beberapa titik yang ditetapkan dengan menggunakan alat pencatat hujan, baik berupa alat pencatat hujan manual (*ordinary raingauge*) maupun berupa alat pencatat hujan otomatis (*automatic raingauge*).

2.2.7. Kualitas Data Hujan

Kualitas data hujan sangat beragam tergantung pada alat, pengelola, dan sistem arsip :

1. Kelengkapan Data

Dalam proses pencatatan data hujan terkadang ada data hujan yang hilang. Berdasarkan pengujian yang dilakukan di sejumlah DAS di Pulau Jawa, mengenai data hujan yang hilang jika dilakukan pengisian maka akan mengacaukan perhitungan lain. Hal ini disebabkan karena variabilitas hujan yang tinggi. Oleh sebab itu, disarankan untuk tidak melakukan pengisian data yang hilang (Sri Harto, 1993).

2. Kepangghahan

Data yang diperoleh dari alat pencatat bias jadi tidak pangghahan karena :

- a. Alat pernah rusak
- b. Alat pernah pindah lokasi

2.2.8. Analisis Hujan Titik menjadi Hujan Wilayah

Data hujan yang diperoleh dari alat penakar hujan merupakan hujan titik (*point rainfall*). Mengingat hujan sangat bervariasi terhadap tempat (*space*), maka untuk kawasan yang luas, satu alat penakar hujan belum dapat menggambarkan hujan wilayah tersebut (Suripin, 2004). Dalam hal ini diperlukan hujan kawasan yang diperoleh dari harga rerata curah hujan beberapa stasiun penakar hujan yang ada di dalam atau di sekitar kawasan. Bambang Triatmodjo (2008) menerangkan bahwa ada tiga cara yang digunakan dalam menghitung hujan rerata kawasan, yaitu:

1. Metode rerata aljabar

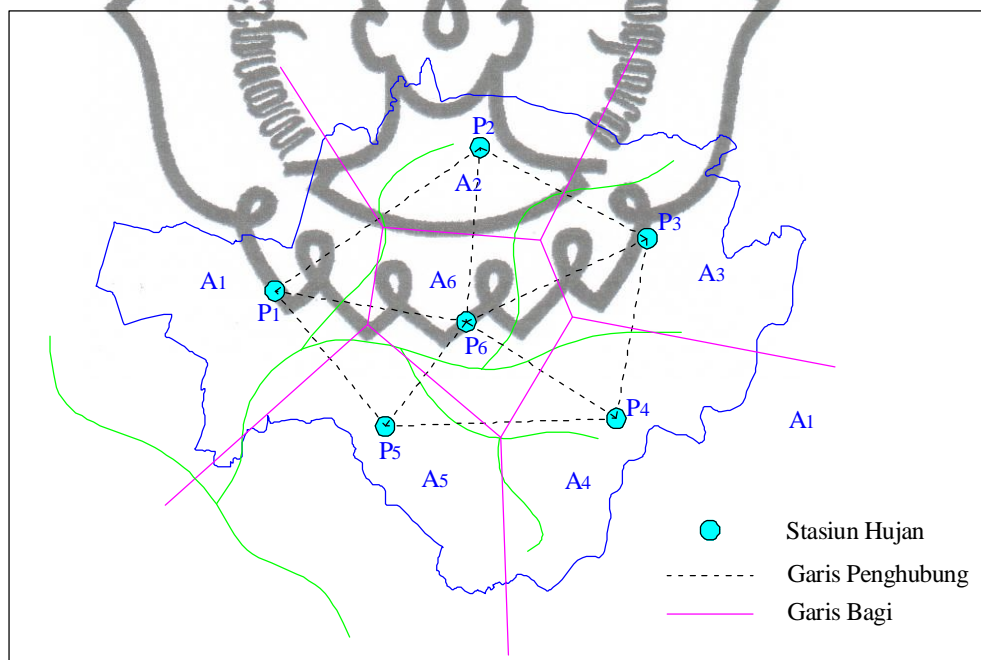
Metode ini paling sederhana dibanding metode lain. Pengukuran yang dilakukan di beberapa stasiun dalam waktu yang bersamaan dijumlahkan kemudian dibagi dengan jumlah stasiun. Stasiun hujan yang digunakan dalam

hitungan biasanya adalah yang berada di dalam DAS. Metode rerata aljabar memberikan hasil yang baik apabila:

- Stasiun hujan tersebar secara merata di DAS dalam jumlah yang cukup,
- Distribusi hujan relatif merata pada seluruh DAS.

2. Metode Thiessen

Metode ini diperoleh dengan membuat poligon yang memotong tegak lurus pada tengah-tengah garis penghubung dua pos penakar hujan. Cara ini berdasarkan rata-rata timbang (*weighted average*). Masing-masing penakar mempunyai daerah pengaruh yang dibentuk dengan menggambarkan garis-garis sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung di antara dua buah pos penakar, Contoh Gambar Poligon Thiessen dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Cara Poligon Thiessen

Misalnya A_1 adalah luas daerah pengaruh pos penakar P_1 , A_2 luas daerah pengaruh pos penakar P_2 dan seterusnya. Jumlah $A_1 + A_2 + \dots + A_n = A$ adalah jumlah luas seluruh areal yang dicari tinggi curah hujan rata-ratanya.

Jika pos penakar 1 menakar tinggi hujan d_1 , pos penakar 2 menakar d_2 , dan pos penakar N menakar d_N , maka :

$$d = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + \dots + d_N}{N} \dots\dots\dots (2.1)$$

Jika $A_i/A = p_i$ merupakan persentase luas pada pos I yang jumlahnya untuk seluruh luas adalah 100%, maka :

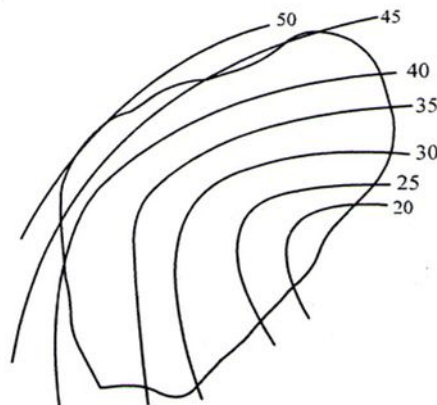
$$d = \sum_{i=1}^N p_i d_i \dots\dots\dots (2.2)$$

Dengan :

- A = luas areal (km²)
- d = tinggi curah hujan rata-rata areal
- $d_1, d_2, d_3, \dots, d_n$ = tinggi curah hujan di pos 1,2,3,....N
- $A_1, A_2, A_3, \dots, A_N$ = luas daerah pengaruh pos 1,2,3,....N

3. Metode Isohyet

Isohyet adalah garis yang menghubungkan titik-titik dengan ketebalan 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. Metode isohyet membutuhkan data yang dapat mendukung disusunnya Isohyet, baik dalam hal jumlah stasiun dan kualitas serta kuantitas data hujan. Contoh gambar dapat dilihat pada Gambar 2.3.



commit to user
Gambar 2.3 Cara Garis Isohyet

Dari ketiga cara tersebut dipilih metode Thiessen karena cara pertama dipandang terlampau kasar hasilnya. Adapun cara yang ketiga tidak didukung oleh data yang tersedia di lapangan.

2.2.9 Karakteristik DAS

Suripin (2004), menyatakan karakteristik DAS yang berpengaruh besar pada aliran permukaan, meliputi : 1) luas dan bentuk DAS, 2) topografi, dan 3) tata guna lahan.

1. Luas dan bentuk DAS

Laju dan volume permukaan aliran akan bertambah dengan bertambahnya luas DAS. Tetapi, apabila aliran permukaan tidak dinyatakan sebagai jumlah total dari DAS, melainkan sebagai laju dan volume persatuan luas, besarnya akan berkurang dengan bertambah luasnya DAS. Bentuk DAS mempunyai pengaruh pada pola aliran dalam sungai. Pengaruh bentuk DAS terhadap aliran permukaan dapat ditunjukkan dengan memperhatikan hidrograf-hidrograf yang terjadi pada dua buah DAS yang bentuknya berbeda namun mempunyai luas yang sama dan intensitas hujan yang sama. Bentuk DAS memanjang dan sempit cenderung menghasilkan laju aliran permukaan yang lebih kecil dibandingkan dengan DAS yang berbentuk melebar atau melingkar.

2. Topografi

Tampakan rupa muka bumi atau topografi seperti kemiringan lahan, keadaan dan kerapatan saluran, dan bentuk cekungan mempunyai pengaruh pada laju dan volume aliran permukaan. DAS dengan kemiringan curam disertai saluran yang rapat akan menghasilkan laju dan volume aliran permukaan yang lebih tinggi dibandingkan dengan DAS yang landai dengan saluran dan adanya cekungan

3. Tata guna lahan

Pengaruh tata guna lahan pada aliran permukaan dinyatakan dalam koefisien aliran permukaan (C), yaitu bilangan yang menunjukkan perbandingan antara besarnya aliran permukaan dan besarnya curah hujan.

2.2.10 Hujan Rerata Kawasan

Curah hujan yang diperlukan untuk penyusunan suatu rancangan pemanfaatan air dan rancangan pengendalian adalah curah hujan rerata diseluruh daerah yang bersangkutan, bukan curah hujan pada suatu titik tertentu (Suyono Sosrodarsono, 1976).

Dalam penelitian ini hujan wilayah diperhitungkan dengan cara Poligon *Thiessen* yang dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i \cdot L_i \quad \dots \dots \dots (2.3)$$

dengan:

- P_i = hujan wilayah (mm),
- P_i = hujan masing-masing stasiun pencatat hujan (mm),
- L_i = luas DAS (km²),
- L_i = luas masing-masing poligon,
- N = jumlah stasiun pencatat hujan.

2.2.11 Analisis Frekuensi

Analisis frekuensi bertujuan untuk mencari hubungan antara besarnya kejadian ekstrim terhadap frekuensi kejadian dengan menggunakan distribusi probabilitas kontinyu. Ada beberapa bentuk fungsi distribusi kontinyu (teoritis) yang sering digunakan dalam analisis frekuensi untuk hidrologi yaitu, distribusi Normal, Log Normal, Gumbel, Pearson, dan log Pearson. Sebelum menganalisis data hujan dengan salah satu distribusi di atas, perlu pendekatan dengan parameter-parameter statistik untuk menentukan distribusi yang tepat digunakan.

Parameter-parameter tersebut meliputi:

a) Rata-rata (\bar{X}) = $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$ (2.4)

b) Simpangan baku (S) = $\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n X_i^2}{n}}$ (2.5)

c) Koefisien variasi (C_v) = $\frac{S}{\bar{X}}$ (2.6)

d) Koefisien skewness (C_s) = $\frac{\sum_{i=1}^n X_i^3}{n^3 \bar{X}^3} - \frac{3 \sum_{i=1}^n X_i^2 \bar{X}}{n^2 \bar{X}^2}$ (2.7)

e) Koefisien ketajaman (C_k) = $\frac{\sum_{i=1}^n X_i^4}{n^4 \bar{X}^4} - \frac{4 \sum_{i=1}^n X_i^3 \bar{X}}{n^3 \bar{X}^3} + \frac{6 \sum_{i=1}^n X_i^2 \bar{X}^2}{n^2 \bar{X}^2} - \frac{3 \sum_{i=1}^n X_i \bar{X}}{n \bar{X}}$ (2.8)

dengan :

- n = banyaknya data atau jumlah kejadian,
- X_i = hujan maksimum harian rata-rata (mm).

a. Distribusi Normal

Persamaan yang dipakai dalam distribusi normal adalah:

$p = \frac{1}{2} \left[1 + \text{erf} \left(\frac{z}{\sqrt{2}} \right) \right]$ (2.9)

$w = \ln \frac{1}{2} \left[1 + \text{erf} \left(\frac{z}{\sqrt{2}} \right) \right]$, $0 < z < 0.5$ (2.10)

$K_T = z = w \left[\frac{2.515517}{1} + \frac{0.802853}{1.432788} w + \frac{0.010328}{0.189269} w^2 + \frac{0.001308}{0.001308} w^3 \right]$ (2.11)

dengan:

- T = kala ulang,
- p = probabilitas,
- K_T = factor frekuensi.

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

$$F^{-1}(0.1587) = 15,87\% \dots\dots\dots (2.12)$$

$$F^{-1}(0.5) = 50\% \dots\dots\dots (2.13)$$

$$F^{-1}(0.8414) = 84,14\% \dots\dots\dots (2.14)$$

b. Distribusi Log Normal

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

Koefisien kemelencengan : $C_s = C_v^3 + 3C_v \dots\dots\dots (2.15)$

Koefisien kurtosis : $C_k = C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3 \dots\dots\dots (2.16)$

Persamaan yang dipakai dalam Log Normal adalah :

Rata-rata , $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \dots\dots\dots (2.17)$

Simpangan baku, $S_y = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \dots\dots\dots (2.18)$

$z = \frac{y - \bar{y}}{S_y} \dots\dots\dots (2.19)$

$y = z S_y + \bar{y} \dots\dots\dots (2.20)$

$y_T = \bar{y} + K_T \cdot S_y \dots\dots\dots (2.21)$

$p = \text{arc ln } y \dots\dots\dots (2.22)$

dengan :

commit to user

$y = \ln p,$

\bar{y} = nilai rerata dari y ,
 S_y = standar deviasi,
 z = probabilitas.

c. Distribusi Gumbel

Persamaan yang dipakai dalam distribusi gumbel adalah:

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \dots\dots\dots (2.23)$$

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n X_i^2}{n} - \bar{y}^2} \dots\dots\dots (2.24)$$

$$p = - \ln \ln \dots\dots\dots (2.25)$$

dengan:

K_T = faktor frekuensi,
 T = kala ulang.

Distribusi gumbel mempunyai sifat :

Koefisien kemelencengan : $C_s = 1,14$

Koefisien kurtosis : $C_k = 5,4$

d. Distribusi Log Pearson III

Distribusi log Pearson III digunakan apabila parameter statistic tidak sesuai dengan model distribusi yang lain. Persamaan yang dipakai adalah:

$$\text{Rata-rata, } \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \dots\dots\dots (2.26)$$

$$\text{Simpangan baku, } S_y = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 - \bar{y}^2} \dots\dots\dots (2.27)$$

$$y_T = \bar{y} + K_T \cdot S_y \dots\dots\dots (2.28)$$

$$p = \text{arc log } y_T \dots\dots\dots (2.29)$$

commit to user

dengan :

- Y_T = nilai logaritmik dari x dengan periode ulang T ,
 = nilai rerata dari ,
 S_y = standar deviasi dari y .
 K_T = faktor frekuensi, yang merupakan fungsi dari probabilitas (atau periode ulang) dan koefisien kemencengan (C_{sy}), yang diberikan pada Lampiran A-3.

Untuk memilih distribusi yang sesuai dengan data yang ada, perlu dilakukan uji statistik. Pengujian kesesuaian distribusi yang sering dilakukan yaitu uji *Smirnov-Kolmogorov*.

a. Uji *Smirnov-Kolmogorov*

Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan data dengan garis teoritis pada kertas probabilitas. Nilai Δ kritis (Δ_{cr} , *Smirnov Kolmogorov Test*) tergantung dari jumlah data (n) dan derajat kegagalan (α). Nilai Δ kritis untuk Uji *Smirnov Kolmogorov* dapat dilihat pada Lampiran A-2.

2.2.12 Hujan rencana

Setelah ditentukan pola distribusi yang sesuai dengan data yang ada dan dipilih jenis distribusi probabilitas hujan yang cocok sesuai dengan hasil uji statistik, maka hujan rencana dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$Y_T = \bar{y} + K_T \cdot S_y \dots\dots\dots (2.30)$$

dengan:

- Y_T = hujan rencana,
 = rerata,
 S_y = standar deviasi,
 K_T = koefisien factor frekuensi sesuai agihan terpilih.

2.2.13 Intensitas Hujan

Dalam perhitungan Q_{maks} dengan menggunakan metode rasional diperlukan data intensitas hujan yaitu tinggi atau kedalaman air hujan per satuan waktu. Sifat umum hujan adalah makin singkat hujan berlangsung intensitasnya cenderung

makin besar dan makin tinggi periode ulangnya makin tinggi pula intensitasnya (Suripin, 2004).

Maka intensitas hujan dapat dihitung dengan rumus modified **Mononobe**, yaitu :

$$I = \frac{R_{24}}{t} \dots\dots\dots (2.31)$$

Dengan :

- I* = intensitas hujan (mm/jam),
- t* = lamanya curah hujan (jam),
- R₂₄* = curah hujan maksimum harian (selama 24 jam) (mm).

Sobriyah (2003) dalam desertasinya menyatakan bahwa hujan efektif pada DAS Bengawan Solo diasumsikan terjadi selama 4 jam dengan persentase hujan sebagaimana dalam Tabel 2.2 berikut :

Tabel 2.2 Persentase Hujan Jam-jaman pada DAS Bengawan Solo

No	Hujan Jam-jaman	Persentase
1	Hujan ke-1	38,70 %
2	Hujan ke-2	32,30 %
3	Hujan ke-3	18,70 %
4	Hujan ke-4	10,30 %

(Sumber : Sobriyah, 2003)

2.2.14 Waktu Konsentrasi

Kirpich (1940) dalam Suripin (2004) mengembangkan rumus dalam memperkirakan waktu konsentrasi, dimana dalam hal ini durasi hujan diasumsikan sama dengan waktu konsentrasi. Rumus waktu konsentrasi tersebut dapat ditulis sebagai berikut:

$$t_c = \frac{0,8}{1000} L^{0,385} \dots\dots\dots (2.32)$$

dengan :

- t_c = waktu konsentrasi (jam),
 L = panjang saluran utama dari hulu sampai penguras (km),
 S = kemiringan rata-rata saluran.

2.2.15 Metode Rasional

Metode ini adalah untuk menentukan laju aliran permukaan puncak. Metode ini sangat simpel dan mudah penggunaannya, namun penggunaannya terbatas untuk DAS-DAS dengan ukuran kecil yaitu kurang dari 300 ha (Goldman et.al, 1986 dalam Suripin, 2004), sedangkan menurut standar PU digunakan dengan DAS yang berukuran < 5000 ha (Lily Montarcih, 2010). Persamaan Metode Rasional dapat ditulis dalam bentuk:

$$Q_p = 0,2778 C \cdot I \cdot A \dots\dots\dots (2.33)$$

dengan :

- Q = laju aliran permukaan (debit) puncak ($m^3/detik$),
 I = intensitas hujan (mm/jam),
 A = luas DAS (km^2),
 C = koefisien aliran permukaan ($0 \leq C \leq 1$).

Dengan nilai koefisien C disajikan dalam Tabel 2.3 berikut:

Tabel 2.3 Nilai Koefisien C untuk Metode Rasional.

Deskripsi lahan/ karakter permukaan	Koefisien aliran, C
Business	
Perkotaan	0,70 – 0,95
Pinggiran	0,50 – 0,70
Perumahan	
Rumah tunggal	0,30 – 0,50
Multiunit, terpisah	0,40 – 0,60
Multiunit, tergabung	0,60 – 0,75
Pekampungan	0,25 – 0,40
Apartemen	0,50 – 0,70
Industri	
Ringan	0,50 – 0,80
Berat	0,60 – 0,90

Tabel 2.3 Nilai Koefisien C untuk Metode Rasional (Lanjutan)

Deskripsi lahan/ karakter permukaan	Koefisien aliran, C
Perkerasan	
Aspal dan beton	0,70 – 0,95
Batu-bata, paving	0,50 – 0,70
Atap	0,75 – 0,95
Halaman, tanah berpasir	
Datar, 2%	0,05 – 0,10
Rata-rata, 2-7%	0,10 – 0,15
Curam, 7%	0,25 – 0,35
Halaman kereta api	0,10 – 0,35
Taman tempat bermain	0,20 – 0,35
Taman, pekuburan	0,10 – 0,25
Hutan	
Datar, 0-5%	0,10 – 0,40
Bergelombang, 5-10%	0,25 – 0,50
Berbukit, 10-30%	0,30 – 0,60

(Sumber: McGuen, 1989 dalam Suripin, 2004)

Tabel 2.3 menggambarkan nilai C untuk penggunaan lahan yang seragam, di mana kondisi ini sangat jarang dijumpai untuk lahan yang relative luas. Jika DAS terdiri dari berbagai macam penggunaan lahan dengan koefisien aliran permukaan yang berbeda, maka C yang dipakai adalah koefisien DAS yang dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$C_{DAS} = \frac{\sum}{\sum} \dots\dots\dots(2.34)$$

dengan :

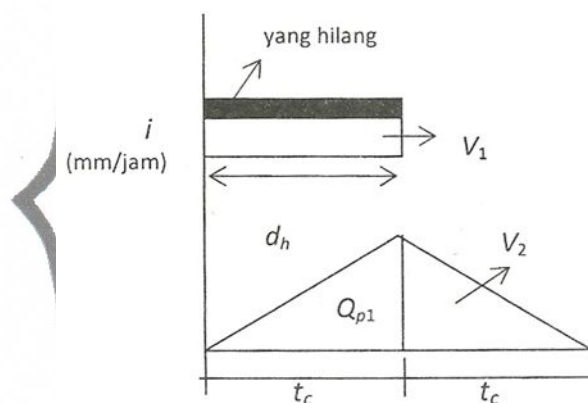
- A_i = luas lahan dengan jenis penutup tanah i,
- C_i = Koefisien aliran permukaan jenis penutup tanah i,
- n = jumlah jenis penutup lahan.

Metode Rasional pada awalnya hanya menghitung debit puncak tanpa memberikan informasi debit aliran dari waktu ke waktu. Pada perkembangannya debit puncak yang terjadi pada waktu ke waktu dapat digambarkan dalam grafik hidrograf rasional (Ponce, 1989 dan Wanielista, 1990 dalam Sobriyah, 2012).

Dibawah ini terdapat 3 Jenis Hidrograf Rasional berdasarkan hubungan antara Waktu Konsentrasi (t_c) dengan Durasi Hujan (d_h), seperti berikut :

a. Hidrograf rasional dengan $t_c = d_h$

Debit puncak (Q_p) yang terjadi berada pada puncak hidrograf segitiga sebagaimana dinyatakan oleh Williams, Pogan dan Mitchi (Wanielista, 1990 dalam Sobriyah, 2012). Hidrograf segitiga ini terjadi apabila waktu konsentrasi (t_c) = durasi hujan (d_h). Contoh gambar hidrograf dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Hidrograf Aliran Tipikal dengan $t_c = d_h$ (Sobriyah, 2012)

Dari Gambar 2.4 diatas dapat dituliskan dalam bentuk :

$$V_1 = C \cdot I \cdot d_h \cdot A$$

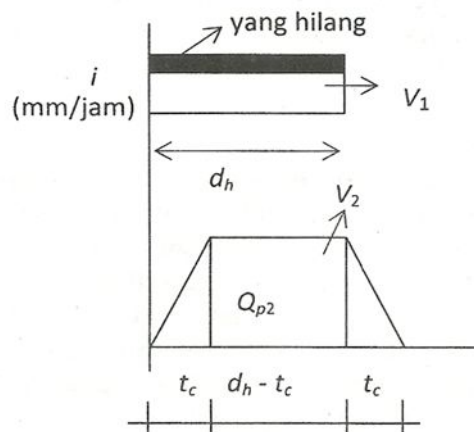
$$V_2 = Q_{p1} \cdot t_c \dots\dots\dots(2.35)$$

$V_1 = V_2$ dan $t_c = d_h$, sehingga persamaan debit puncak (Q_p) dapat dituliskan :

$$Q_{p1} = 0,2778 C \cdot I \cdot A \dots\dots\dots(2.36)$$

b. Hidrograf rasional dengan $t_c < d_h$

Untuk $t_c < d_h$ maka hidrograf alirannya berbentuk trapesium (Singh dan Cruise dalam Wanielista, 1990). Contoh gambar hidrograf dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Hidrograf Aliran Tipikal dengan $t_c < d_h$ (Sobriyah, 2012)

Dari Gambar 2.5 diatas dapat dituliskan dalam bentuk :

$$V_1 = C \cdot I \cdot d_h \cdot A$$

$$V_2 = Q_{p2} \cdot d_h \dots\dots\dots (2.37)$$

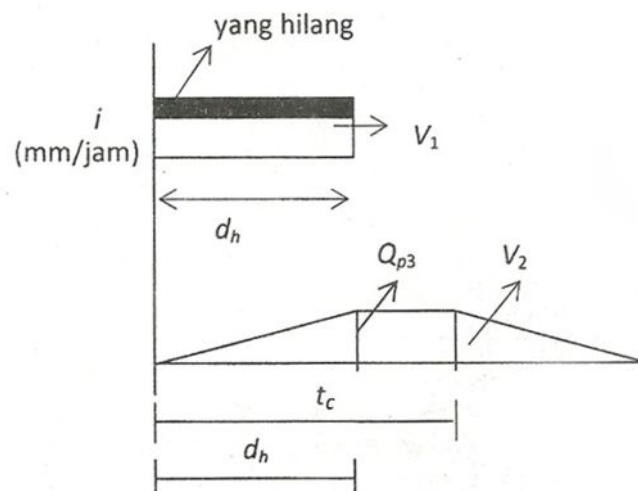
$V_1 = V_2$, sehingga persamaan debit puncak (Q_{p2}) dapat dituliskan :

$$Q_{p2} = 0,2778 C \cdot I \cdot A \dots\dots\dots (2.38)$$

$$Q_{p2} = Q_{p1}$$

c. Hidrograf rasional dengan $t_c > d_h$

Jika $t_c > d_h$ maka hidrograf alirannya berbentuk trapesium tetapi debit puncaknya tidak sama dengan debit puncak pada kondisi yang lain (Sobriyah dan Purwanti,1998 dalam Sobriyah, 2012). Contoh gambar hidrograf dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Hidrograf Aliran Tipikal dengan $t_c > d_h$ (Sobriyah, 2012)

Dari Gambar 2.6 diatas dapat dituliskan dalam bentuk :

$$V_1 = C \cdot I \cdot d_h \cdot A$$

$$V_2 = Q_{p3} \cdot t_c \dots\dots\dots (2.39)$$

$V_1 = V_2$, sehingga persamaan debit puncak (Q_{p2}) dapat dituliskan :

$$Q_{p3} = 0,2778 (d_h/t_c) \cdot C \cdot I \cdot A \dots\dots\dots (2.40)$$

$$Q_{p3} < Q_{p1}$$

2.2.16 Model Hidraulik Sungai

Analisa hidrolika air banjir di sungai dengan berbagai kala ulang dari debit banjir rencana. Analisa hidrolika akan menghitung seberapa jauh kemampuan saluran drainase secara struktural terhadap tinggi muka air banjir dan luapan banjir yang terjadi. Perhitungan analisa hidrolika sungai dalam penulisan ini menggunakan software *Hydrologic Engineering Centre-River Analysis System (HEC-RAS) versi 4.1.0* yang dikembangkan oleh *Hydrologic Engineering Center* milik *U.S Army Corps of Engineers*.

HEC-RAS adalah system perangkat lunak terpadu dirancang untuk penggunaan interaktif dalam lingkungan multi-tugas. Sistem terdiri dari *Graphic User*

Interface (GUI), komponen terpisah analisa hidrolik, penyimpanan data dan kapabilitas manajemen, fasilitas pelaporan dan grafis.

Sistem *HEC-RAS* mempunyai 3 komponen analisa hidrolika satu dimensi untuk :

1. Perhitungan profil permukaan air *steady flow*
2. Simulasi *steady flow* dan *unsteady flow*
3. Perhitungan *transport sedimen* batas yang *movable*.

2.2.17 Komponen Aliran dan Persamaan dalam *HEC-RAS*

Komponen-komponen aliran dalam *HEC-RAS* adalah sebagai berikut ;

1. Aliran Seragam (*Steady flow*)

Komponen pada model ini digunakan untuk menghitung profil muka air pada kondisi aliran Seragam (*steady*). Sistem ini dapat digunakan pada sebuah saluran, jaringan, atau sebuah jaringan besar termasuk saluran dan saluran kecil lainnya. Komponen pada *steady flow* dapat dimodelkan pada kondisi aliran *subkritis*, *superkritis*, dan *system gabungan profil muka air*.

Dasar perhitungan komputer didasarkan pada solusi satu dimensi energi. Energi yang hilang disebabkan oleh gesekan (persamaan Manning) dan penyempitan dan pelebaran (koefisien tambahan dari perubahan dalam tinggi kecepatan). Persamaan Momentum bermanfaat dalam situasi dimana profil muka air mengalami perubahan tiba-tiba. Situasi ini termasuk dengan system perhitungan aliran gabungan (contoh : lompatan air) atau aliran pada jembatan dan perubahan muka air pada pertemuan saluran (arus di persimpangan).

2. Aliran tidak Seragam (*Unsteady flow*)

Komponen untuk aliran tidak langgeng dikembangkan untuk perhitungan aliran *subkritis*. Perhitungan hidrolik untuk *cross-section*, jembatan, gorong-gorong dan struktur hidrolik lainnya yang dikembangkan untuk komponen aliran langgeng digabung dengan perhitungan aliran tidak langgeng. Komponen untuk aliran tidak

langgeng digunakan untuk model tampungan dan hubungan hidrolik dengan tampungan.

3. Profil muka air pada aliran steady

HEC–RAS dapat melakukan perhitungan profil muka air satu dimensi untuk aliran steady berubah lambat laun pada saluran alami dan buatan. Subkritis, superkritis dan sistem gabungan aliran profil muka air dapat dianalisa.

2.2.18 Persamaan Dasar Dalam HEC-RAS

Profil muka air dihitung dari satu potongan melintang ke potongan selanjutnya dengan menyelesaikan persamaan Energi dengan prosedur iterasi disebut metode langkah standar (*standard step*) seperti pada persamaan 2.41.

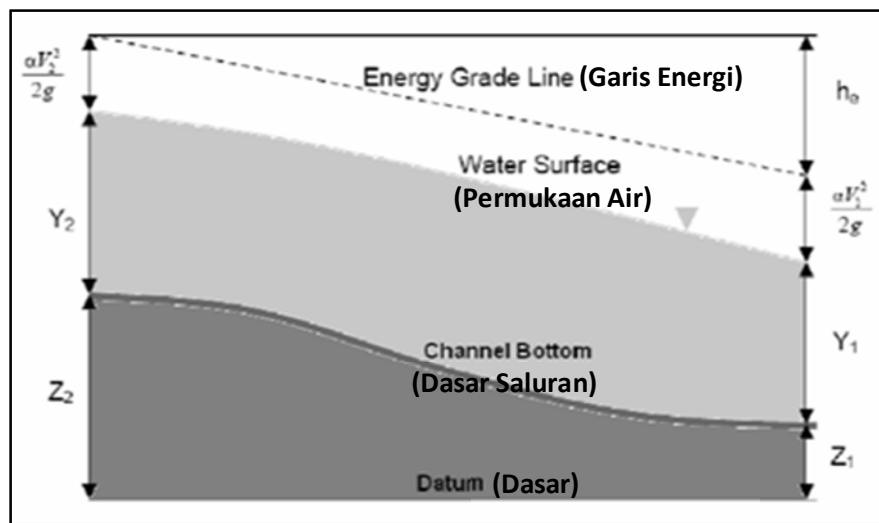
Persamaan energi ditulis sebagai berikut:

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (2.41)$$

Dengan :

- Y_1, Y_2 = kedalaman air di potongan melintang
- Z_1, Z_2 = elevasi invert saluran utama
- V_1, V_2 = kecepatan rata-rata (debit total/luas aliran total)
- α_1, α_2 = koefisien pemberat kecepatan
- g = kecepatan gravitasi
- h_e = kehilangan tinggi energi

Dari persamaaan diatas dapat dilihat dalam bentuk gambar, seperti Gambar Persamaan Energi pada Gambar 2.7 dibawah ini.



Gambar 2.7 Garis Persamaan Energi
(Sumber : HEC-RAS River Analysis System 2005)

Kehilangan tinggi energi (h_e) antara dua potongan melintang terdiri dari kehilangan gesekan dan kehilangan kontraksi atau ekspansi.

Persamaan untuk kehilangan tinggi energi bisa dilihat dari persamaan (2.42).

$$h_e = L\bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \dots \dots \dots (2.42)$$

Dengan :

- L = panjang ruas pemberat debit
- S_f = mewakili kemiringan friksi antara dua bagian
- C = koefisien kehilangan ekspansi atau kontraksi

Jarak panjang ruas pemberat, L, dihitung sebagai:

$$L = \frac{L_{lob}\bar{Q}_{lob} + L_{ch}\bar{Q}_{ch} + L_{rob}\bar{Q}_{rob}}{\bar{Q}_{lob} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rob}} \dots \dots \dots (2.43)$$

Dengan :

- L_{lob} , L_{ch} , L_{rob} = panjang ruang potongan melintang ditentukan untuk aliran di tebing kiri, saluran utama, dan tebing kanan.
- Q_{lob} , Q_{ch} , Q_{rob} = rata-rata aritmetika aliran antara bidang-bidang untuk tebing kiri, saluran utama, dan tebing kanan.

BAB 3

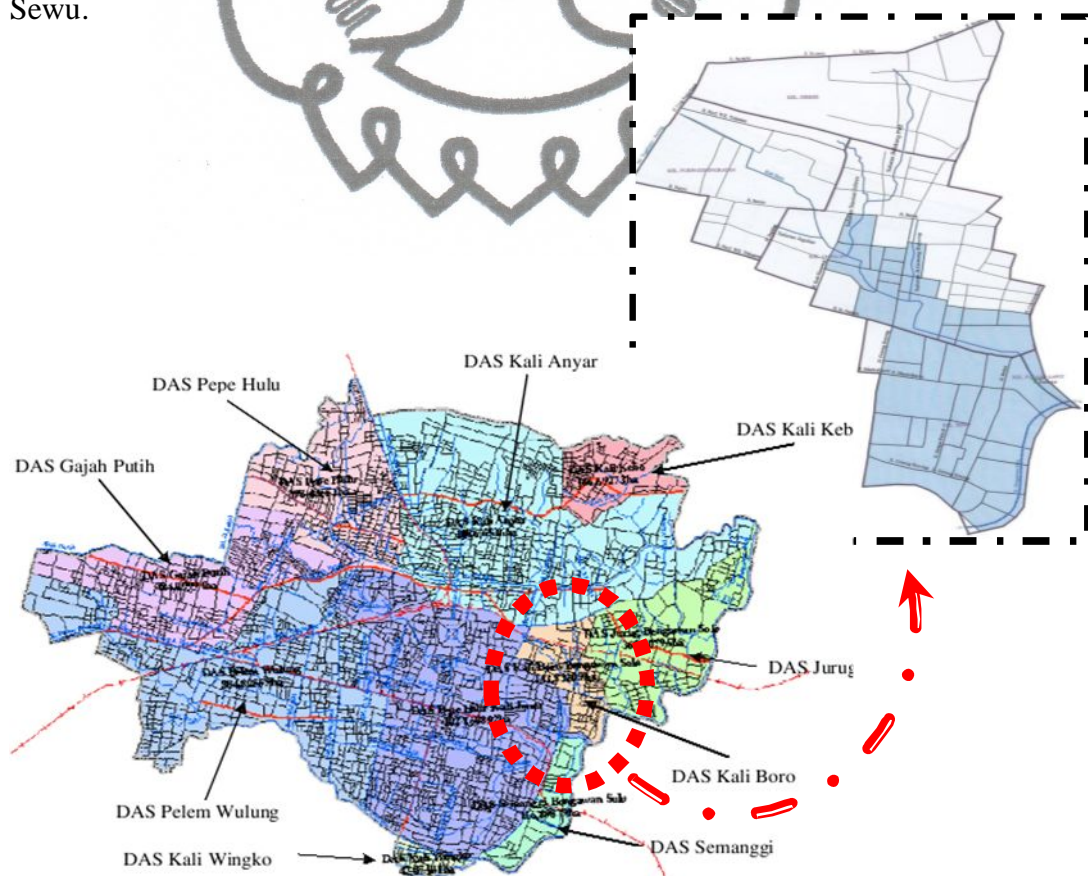
METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode deskriptif evaluatif. Penelitian deskriptif merupakan metode penelitian yang dirancang untuk memperoleh informasi tentang status suatu gejala saat penelitian dilakukan (Furchan, 2004:447), data dianalisis dan dievaluasi untuk memberikan solusi – solusi terbaik dalam menghadapi permasalahan drainase DAS Kali Boro.

3.2 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ialah sepanjang aliran sungai DAS Kali Boro, yang melewati 5 Kelurahan, yakni Jebres, Jagalan, Purwodiningratan, Pucang Sawit dan Kampung Sewu.



Gambar 3.1 Peta Situasi DAS Kali Boro
(Dinas PU Kota Surakarta, 2008)

Kali Boro memiliki 4 Saluran Pengumpul (*collector drain*), yaitu Saluran Jl. Gotong Royong, Saluran Belakang PMI, Saluran Stasiun Jebres dan Saluran Jagalan. DAS Kali Boro mempunyai luas 143,83 Ha, dengan panjang saluran utama 1.475,50 meter. Pemilihan lokasi penelitian dikarenakan seringnya terjadi genangan air bila intensitas hujan cukup tinggi.

3.3 Foto Kondisi Riil Kali Boro

Beberapa foto yang menggambarkan kondisi riil Kali Boro seperti berikut :



Gambar 3.2 Potongan Melintang Saluran pada Sta 0+300,00 m



Gambar 3.3 Pintu Air Pucang Sawit di Hilir Kali Boro

3.4 Langkah Penelitian

3.4.1. Pengumpulan Data

Data-data yang diperlukan didalam penelitian ini antara lain :

1. Data-data Primer berupa Data Geometri Kali Boro (Profil Sungai) yang diperoleh dari Pengukuran di lapangan.
2. Data-data Sekunder berupa Data Curah Hujan yang diperoleh dari Balai Pengelolaan Sumber Daya Air Bengawan Solo Dinas Pengelolaan Sumber Daya Air Propinsi Jawa Tengah, Balai Besar Wilayah Sungai Bengawan Solo.

3. Data-data sekunder lainnya diperoleh melalui Studi Pustaka dan mengumpulkan data atau informasi data sekunder dari berbagai sumber dan instansi terkait, misalnya seperti peta topografi baik secara peta cetak maupun peta digital, peta batas administrasi atau peta wilayah.

3.4.2. Analisis Data

3.4.2.1 Analisis Hidrologi

Analisa hidrologi meliputi :

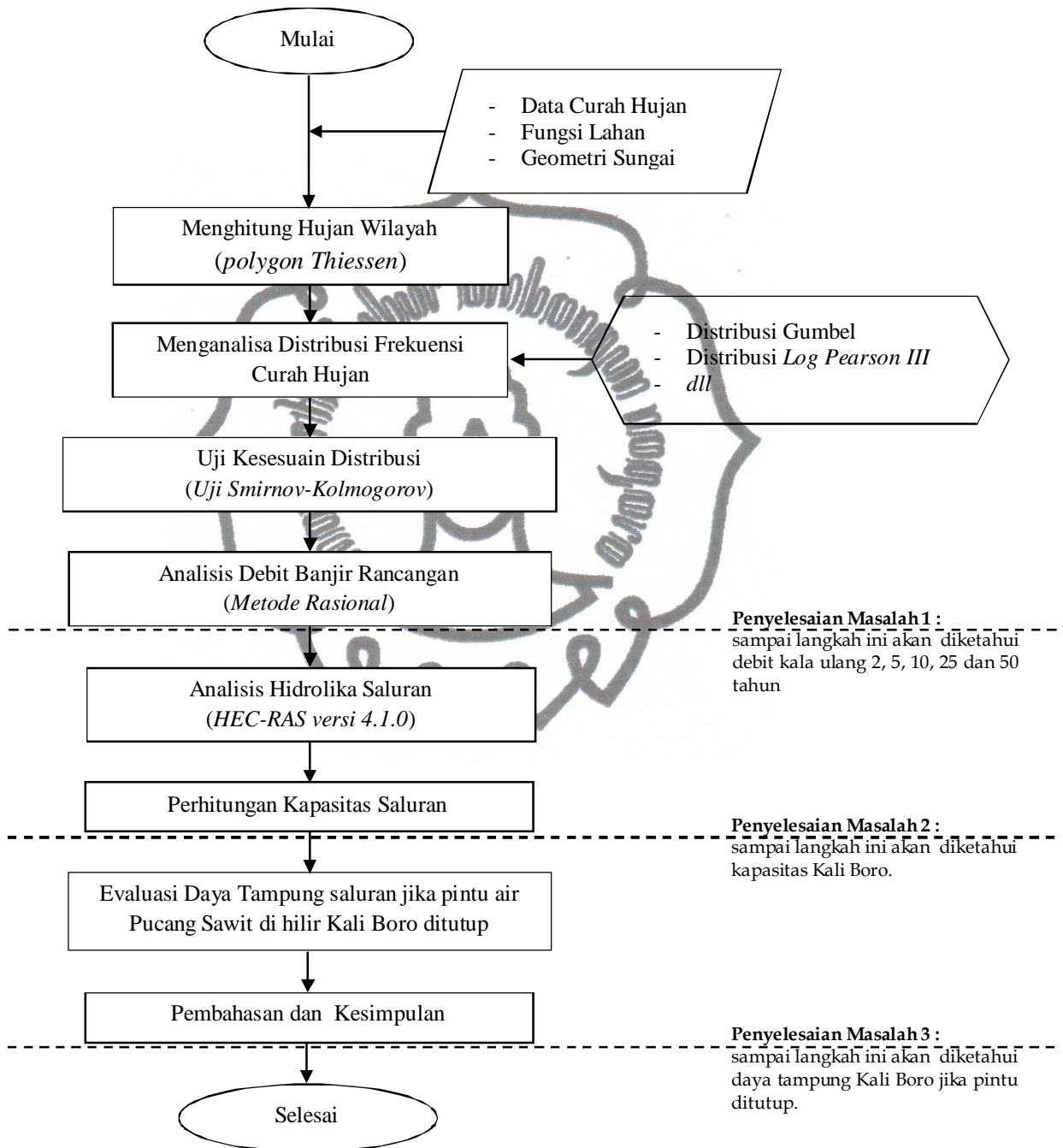
1. Analisa Data Curah Hujan yaitu Tahun 1990 – 2011 untuk Menghitung Hujan Rancangan (R_{24}), Intensitas Hujan (I).
2. Dengan memilih Intensitas Hujan (I), dihitung Debit Rencana dengan Metode Rasional.
3. Menghitung Debit Rancangan Maksimum (Q_{maks}) Kala Ulang 2, 5, 10, 25 dan 50 Tahun dengan Metode Rasional.

3.4.2.2 Analisis Hidrolika

Analisis hidrolika saluran dilakukan dengan *software HEC-RAS* versi 4.1 (*Hydrologic Engineering Center - River Analysis System*) dari *US Army Corps of Engineering* berdasarkan data geometri sungai dan *inflow* berupa debit banjir rencana yang diperoleh pada metode analisis debit banjir. *Output* analisis hidrolika ini berupa elevasi muka air banjir untuk setiap debit rencana. Selanjutnya dilakukan evaluasi mengenai kapasitas maksimum saluran.

3.5 Bagan Alir Tahapan Penelitian

Langkah – langkah penelitian ditunjukkan pada bagan alir di Gambar 3.2 :



Gambar 3.4 Bagan Alir Tahap Penelitian

BAB 4

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hujan

Data hujan yang digunakan dalam analisis hidrologi berasal dari 4 stasiun hujan yaitu Stasiun Hujan Pabelan, Grogol 67 B, Mojolaban 128 D dan Ngemplak 1. Jumlah data hujan dalam penelitian ini yaitu data hujan 22 tahun dari Tahun 1990 – 2011. Data hujan tahunan dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut :

Tabel 4.1 Data Hujan Tahunan

Tahun	Hujan Tahunan (mm/tahun)			
	Pabelan	Grogol 67 B	Mojolaban 128 D	Ngemplak 1
1990	1774,30	1500,00	1855,00	576,00
1991	1977,35	1332,00	1901,00	
1992	2131,65	1339,00	2148,00	2381,00
1993	2414,70			2357,00
1994	2641,41			1607,00
1995	2576,00		1867,00	1763,00
1996	2247,00	1533,00	2068,00	1684,00
1997	1292,00		1402,00	245,00
1998	2953,50		1522,00	2584,00
1999	1834,50			1522,00
2000	1528,00		1788,00	
2001	1398,50		1728,00	
2002	1015,00	1788,00	835,00	
2003	1353,00	113,00	1305,00	
2004	2522,50	388,00	873,00	
2005	2084,00	69,00	899,00	
2006	2239,00		1676,00	
2007	2108,00		3703,00	1623,00
2008	2425,50	1531,00	2494,00	1398,00
2009	2044,50	1632,00	1020,00	1789,50
2010	3136,00	3022,00	877,00	3050,00
2011	2243,00	2127,00	605,00	2143,00

Sumber : Balai Pengelolaan Sumber Daya Air Bengawan Solo

Keterangan :

: Data rusak

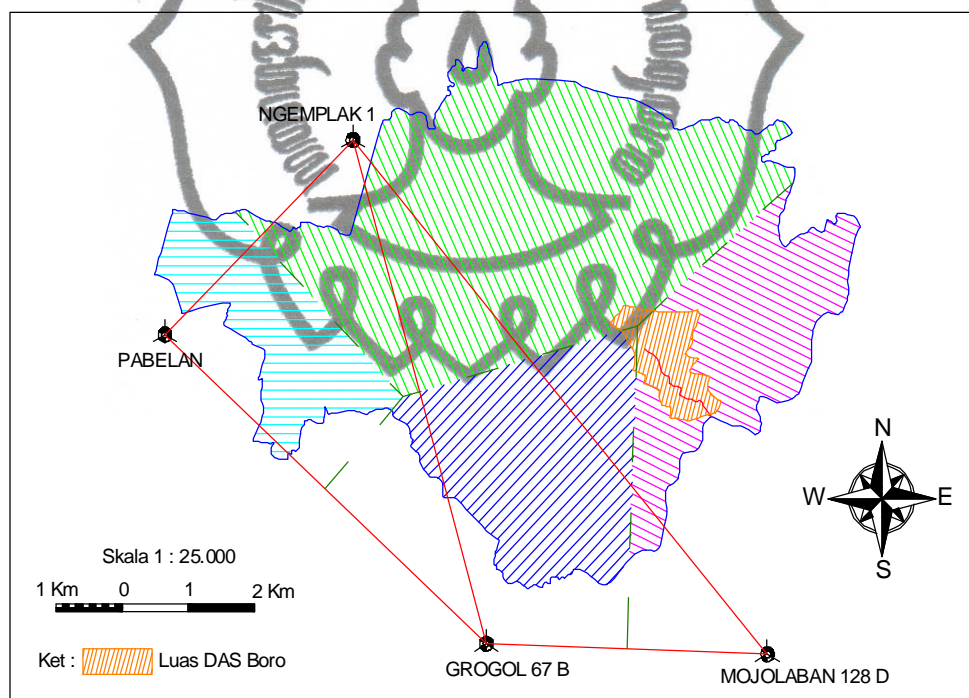
commit to user

Kemudian dari Tabel 4.1 diatas, dilakukan penggambaran letak posisi stasiun hujan terhadap DAS Kali Boro untuk mengetahui seberapa besar pengaruh curah hujan yang dicatat oleh tiap stasiun hujan terhadap DAS Kali Boro.

4.2 Menghitung Hujan Wilayah

4.2.1 Poligon Thiessen

Untuk menentukan hujan wilayah digunakan Metode Poligon Thiessen berdasarkan pengaruh dari 4 (empat) stasiun hujan terhadap luas DAS Kali Boro yaitu Stasiun hujan Pabelan, Stasiun hujan Grogol 67 B, Stasiun hujan Mojolaban 128 D dan Stasiun hujan Ngemplak. Poligon Thiessen dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut:



Gambar 4.1 Poligon Thiessen dengan 4 (empat) stasiun hujan

Dari Poligon Thiessen yang sudah dibuat selanjutnya dapat dihitung masing-masing luas wilayah yang dipengaruhi oleh tiap-tiap stasiun hujan dengan mengplot pada *software AutoCAD 2009*. Hasilnya adalah :

$$\text{Ngemplak 1} = 0,1329 \text{ Km}^2$$

commit to user

Grogol 67-B = 0,0561 Km²

Mojolaban 128-D = 1,2493 Km²

PBS Pabelan = 0 Km² (data hujan tidak mempengaruhi DAS Kali Boro)

Dari luasan Poligon Thiessen diatas didapatkan nilai persentase koefisien Thiessen seperti pada Tabel 4.2 berikut:

Tabel 4.2 Persentase Luasan Poligon Thiessen

Stasiun Hujan	Luas (Km ²)	Koef. Thiessen
Pabelan	0	0
Grogol 67 B	0,0561	0,039
Mojolaban 128 D	1,2493	0,869
Ngemplak 1	0,1329	0,092
Total	1,4383	1

Dari Tabel 4.2 diatas dapat dilihat bahwa curah hujan yang dicatat pada Stasiun Hujan Pabelan tidak mempengaruhi DAS Kali Boro, sehingga data hujan yang dipakai dalam analisa frekuensi yaitu data hujan yang dicatat pada Stasiun Hujan Grogol 67 B, Mojolaban 128 D dan Ngemplak 1.

4.2.2 Analisis Frekuensi

Analisa frekuensi dilakukan untuk mengetahui seberapa besar debit hujan yang terjadi di DAS Kali Boro berdasarkan data curah hujan yang ada selama 22 tahun dari data curah hujan di 3 stasiun hujan. Data-data dari ketiga stasiun yang mempengaruhi tersebut kemudian dianalisa untuk mendapatkan nilai curah hujan maksimum tahunan seperti pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Data Hujan Harian Maksimum Tahunan Masing-masing Stasiun Hujan

Tahun	Stasiun Hujan		
	Grogol 67 B	Mojolaban 128 D	Ngemplak 1
1990	61,00	86,00	91,00
1991	67,00	146,00	
1992	84,00	98,00	142,00
1993			80,00
1994			80,00
1995		91,00	143,00
1996	99,00	99,00	103,00

Tabel 4.3 Data Hujan Harian Maksimum Tahunan Masing-masing Stasiun Hujan (Lanjutan)

Tahun	Stasiun Hujan		
	Grogol 67 B	Mojolaban 128 D	Ngemplak 1
1997		89,00	75,00
1998		109,00	102,00
1999			83,00
2000		93,00	
2001		74,00	
2002	86,00	71,00	
2003	53,00	99,00	
2004	67,00	74,00	
2005	31,00	58,00	
2006		73,00	
2007		78,00	55,00
2008	72,00	67,00	114,00
2009	88,00	56,00	142,00
2010	109,00	31,00	290,00
2011	95,00	39,00	78,00

Sumber : Balai Pengelolaan Sumber Daya Air Bengawan Solo

Keterangan :

 = Data Rusak

Dari Tabel 4.3 diatas bahwa data yang dicatat oleh ketiga stasiun hujan tidak lengkap dari Tahun 1990 hingga Tahun 2011, sehingga perhitungan hujan wilayah berbeda ditiap tahunnya tergantung dari ketersediaan data. Perhitungan hujan wilayah untuk data hujan lengkap diketiga stasiun hujan menggunakan Poligon Thiessen, jika hanya ada 2 (dua) data hujan menggunakan cara rerata aljabar dan jika hanya terdapat 1 (satu) data hujan dari ketiga stasiun hujan maka data hujan tersebut diasumsikan mewakili hujan wilayah yang terjadi di DAS Kali Boro.

Contoh perhitungan untuk mendapatkan hujan wilayah tahunan maksimum cara Poligon Thiessen Tahun 1990 dengan menggunakan Persamaan 2.3, sebagai berikut :

$$P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i$$

$$= \frac{0,0561 + 0,061 + 0,124 + 0,386 + 0,132 + 0,1}{1,4383}$$

$$= 85,49 \text{ mm}$$

Untuk hasil perhitungan yang lain disajikan dalam Tabel 4.4 berikut:

Tabel 4.4 Hujan Harian Maksimum Tahunan Wilayah

No	Tahun	Hujan Harian Maksimum Wilayah (mm)
1	1990	85,49
2	1991	106,50
3	1992	101,52
4	1993	80,00
5	1994	80,00
6	1995	117,00
7	1996	99,37
8	1997	82,00
9	1998	105,50
10	1999	83,00
11	2000	93,00
12	2001	74,00
13	2002	78,50
14	2003	76,00
15	2004	70,50
16	2005	44,50
17	2006	73,00
18	2007	66,50
19	2008	71,54
20	2009	65,19
21	2010	57,97
22	2011	44,79

Dari hasil perhitungan yang diperoleh kemudian menghitung parameter statistik untuk menentukan jenis distribusi yang sesuai dengan data yang ada dengan menggunakan Persamaan 2.4 sampai dengan Persamaan 2.8. Perhitungan parameter statistik selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran A-1. Resume hasil perhitungan tersebut disajikan dalam Tabel 4.5 berikut:

Tabel 4.5 Parameter Statistik Analisis Frekuensi

Parameter	Nilai
Rata-rata, \bar{X}	79,81
Standar deviasi, S	18,80
Koef. Varian, C_v	0,24
Koef. Skewness, C_s	0,02
Koef. Kurtosis, C_k	3,22

4.2.3 Penentuan Pola Distribusi

Untuk distribusi normal disyaratkan bahwa kemungkinan variat yang berada antara $\bar{X} - S$ dan $\bar{X} + S$ adalah 68,27 % dan yang berada antara $\bar{X} - 2S$ dan $\bar{X} + 2S$ adalah 95,44 %

$$\text{Nilai } \bar{X} - S = 61,01$$

$$\text{Nilai } \bar{X} + S = 98,61$$

Dari Tabel 4.4 didapat jumlah data yang lebih kecil dari 61,01 adalah 3 buah sedangkan yang lebih besar dari 98,61 sebanyak 5 buah, sehingga :

$$\text{Banyaknya variat} = \frac{22 - 6}{22} \times 100 \% = 63,64 \% \quad 68,27 \%$$

$$\text{Nilai } \bar{X} - 2S = 42,21$$

$$\text{Nilai } \bar{X} + 2S = 117,41$$

Dari Tabel 4.4 didapat jumlah data yang lebih kecil dari 42,21 adalah 0 buah sedangkan yang lebih besar dari 117,41 sebanyak 0 buah, sehingga :

$$\text{Banyaknya variat} = \frac{22 - 0}{22} \times 100 \% = 100 \%$$

Penentuan jenis distribusi yang sesuai dengan data dilakukan dengan mencocokkan parameter statistik dengan syarat masing-masing jenis distribusi

Tabel 4.6 Parameter Statistik untuk Menentukan Jenis Distribusi

No.	Distribusi	Persyaratan	Hasil Hitungan	Keterangan
1	Normal	$\bar{x} = 68,27 \%$ $\bar{x} - 2s = 95,44 \%$ $C_s = 0$ $C_k = 3$	63,64 % 100 % 0,02 3,22	Tidak Tidak Tidak Tidak
2	Log Normal	$C_s = C_v^3 + 3C_v = 0,17$ $C_k = C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3$ $= 3,05$	-0,66 3,88	Tidak Tidak
3	Pearson III	$C_s > 0$ $C_k = 1,5 C_s^2 + 3 = 3,00$	0,02 3,22	Ya Tidak
4	Gumbel	$C_s = 1,14$ $C_k = 5,4$	0,02 3,22	Tidak Tidak
5	Log Pearson III	Selain dari nilai diatas		Ya

Dari Tabel 4.6 diatas terlihat bahwa parameter statistik dari data tidak ada yang sesuai untuk distribusi normal, log normal dan Gumbel. Hasil di atas menunjukkan data yang ada mengikuti distribusi log Pearson III. Namun untuk lebih meyakinkan dilakukan uji kecocokan dengan uji *Smirnov-Kolmogorov*.

4.2.3.1 Uji *Smirnov-Kolmogorov*

Pengujian dilakukan dengan mengurutkan data kedalaman hujan dari terkecil ke terbesar sehingga didapatkan peluang empiris (P_e). Kemudian dicari Log kedalaman hujan, contoh perhitungan Tahun 2005 :

$$\text{Log } 44,50 = 1,648$$

Mencari nilai G dengan Persamaan :

$$\begin{aligned} G &= (\text{Log } X - L_o \text{ } X) / S_y \\ &= (1,648 - 1,8897) / 0,1089 = - 2,215 \end{aligned}$$

Dari nilai $G = - 2,215$ dan koefisien *skewness*, $C_s = - 0,6639$ maka dengan interpolasi pada Tabel Distribusi Log Pearson III didapat nilai $Pr = 0,966$

Menghitung nilai $P_t(X)$ dengan Persamaan :

$$\begin{aligned} P(X) &= 1 - Pr \\ &= 1 - 0,966 \\ &= 0,034 \end{aligned}$$

Menghitung selisih P_e dan P_t dengan Persamaan

$$\begin{aligned} \Delta_{\text{maks}} &= [P_e - P_t] \\ &= [0,043 - 0,034] \\ &= 0,010 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan data yang lain disajikan pada Tabel 4.7 berikut:

Tabel 4.7 Hasil Uji *Smirnov-Kolmogorov*

Tahun	X	Log X	G	m	Pe (X)	Pr	Px (X)	Δ
								$P_x(X) - P_e(X)$
2005	44,500	1,648	-2,215	1	0,043	0,966	0,034	0,010
2011	44,788	1,651	-2,190	2	0,087	0,965	0,035	0,052
2010	57,974	1,763	-1,161	3	0,130	0,868	0,132	0,001
2009	65,195	1,814	-0,693	4	0,174	0,767	0,233	0,060
2007	66,500	1,823	-0,614	5	0,217	0,740	0,260	0,042

Tabel 4.7 Hasil Uji *Smirnov-Kolmogorov* (Lanjutan)

Tahun	X	Log X	G	m	Pe (X)	Pr	Px (X)	Δ
								$P_x(X) - P_e(X)$
2004	70,500	1,848	-0,381	6	0,261	0,663	0,337	0,076
2008	71,538	1,855	-0,323	7	0,304	0,644	0,356	0,052
2006	73,000	1,863	-0,242	8	0,348	0,617	0,383	0,035
2001	74,000	1,869	-0,188	9	0,391	0,599	0,401	0,010
2003	76,000	1,881	-0,081	10	0,435	0,563	0,437	0,002
2002	78,500	1,895	0,048	11	0,478	0,521	0,479	0,001
1993	80,000	1,903	0,123	12	0,522	0,495	0,505	0,016
1994	80,000	1,903	0,123	13	0,565	0,495	0,505	0,060
1997	82,000	1,914	0,222	14	0,609	0,455	0,545	0,064
1999	83,000	1,919	0,270	15	0,652	0,436	0,564	0,088
1990	85,487	1,932	0,388	16	0,696	0,388	0,612	0,084
2000	93,000	1,968	0,724	17	0,739	0,254	0,746	0,007
1996	99,370	1,997	0,988	18	0,783	0,161	0,839	0,057
1992	101,520	2,007	1,073	19	0,826	0,135	0,865	0,039
1998	105,500	2,023	1,226	20	0,870	0,093	0,907	0,038
1991	106,500	2,027	1,264	21	0,913	0,086	0,914	0,001
1995	117,000	2,068	1,639	22	0,957	0,025	0,975	0,019
Rerata Log X		1,8897						0,0879
Standar Deviasi		0,1089					Δ Maks.	

Uji kecocokan menggunakan derajat kepercayaan 5 % yang artinya hasil dari perhitungan tidak diterima atau diterima dengan kepercayaan 95 %. Dari nilai banyaknya sampel data (N) = 22 dan nilai derajat kepercayaan (α) = 0,05 dengan menggunakan Tabel Nilai Kritik D_o untuk uji *Smirnov-Kolmogorov* yang terdapat pada Lampiran A-2 didapat nilai $D_o = 0,2844$. Dapat dilihat nilai $\Delta_{maks} = 0,0879 < D_o = 0,2844$ sehingga hasil perhitungan distribusi Log Pearson III dapat diterima.

4.3 Hujan Rancangan

Berdasarkan hasil uji distribusi, distribusi terbaik yaitu distribusi Log Pearson III. Hujan maksimum harian rata-rata yang diperoleh kemudian diurutkan dari yang terkecil ke yang terbesar. Dengan menggunakan Persamaan 2.26 dan Persamaan 2.27, didapat hasil berikut:

Tabel 4.8 Nilai – nilai pada Persamaan Distribusi Log Pearson III

No.	Tahun	X_i (mm)	Log X_i	$(\text{Log } X_i - L_o \ X)$	$(\text{Log } X_i - L_o \ X)^2$
1	2005	44,50	1,648	-0,241	0,058
2	2011	44,79	1,651	-0,239	0,057
3	2010	57,97	1,763	-0,126	0,016
4	2009	65,19	1,814	-0,075	0,006
5	2007	66,50	1,823	-0,067	0,004
6	2004	70,50	1,848	-0,041	0,002
7	2008	71,54	1,855	-0,035	0,001
8	2006	73,00	1,863	-0,026	0,001
9	2001	74,00	1,869	-0,020	0,000
10	2003	76,00	1,881	-0,009	0,000
11	2002	78,50	1,895	0,005	0,000
12	1993	80,00	1,903	0,013	0,000
13	1994	80,00	1,903	0,013	0,000
14	1997	82,00	1,914	0,024	0,001
15	1999	83,00	1,919	0,029	0,001
16	1990	85,49	1,932	0,042	0,002
17	2000	93,00	1,968	0,079	0,006
18	1996	99,37	1,997	0,108	0,012
19	1992	101,52	2,007	0,117	0,014
20	1998	105,50	2,023	0,134	0,018
21	1991	106,50	2,027	0,138	0,019
22	1995	117,00	2,068	0,179	0,032
		Jumlah	41,5728	-0,450	0,249
		rata-rata	1,8897		
		Sy	0,1089		
		Cs	-0,6639		

Kemudian dihitung hujan rencana dengan menggunakan Persamaan 2.29 dan Tabel Nilai K Distribusi Log Pearson III untuk mencari K_T yang terdapat pada Lampiran A-3 (Bambang Triatmodjo, 2009). Hasil perhitungan disajikan pada Tabel 4.9 berikut:

commit to user

Tabel 4.9 Hujan Rencana dengan Distribusi Log Pearson III

T		K_T	S_y	Y_T	R_{24} (mm)
2	1,8897	0,1099	0,1089	1,9016	79,733
5	1,8897	0,8570	0,1089	1,9830	96,165
10	1,8897	1,1891	0,1089	2,0192	104,519
20	1,8897	1,4502	0,1089	2,0476	111,592
25	1,8897	1,5024	0,1089	2,0533	113,063
50	1,8897	1,6835	0,1089	2,0730	118,317
100	1,8897	1,8327	0,1089	2,0893	122,826

4.4 Debit Rencana

4.4.1 Intensitas Hujan

Menurut Sobriyah (2003), mengatakan bahwa hujan yang terjadi di DAS Bengawan Solo diasumsikan terjadi selama 4 jam, maka dengan menggunakan Persamaan 2.31 dan Tabel 4.9 dengan $t = 4$ jam, contoh perhitungan Intensitas Hujan dengan Kala Ulang 2 Tahun sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 I_2 &= \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{-0.7} \\
 &= \frac{79,733}{24} \left(\frac{24}{4} \right)^{-0.7} \\
 &= 10,970 \text{ mm/jam} = 3,047 \times 10^{-6} \text{ m/dt}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan untuk Kala Ulang yang lain disajikan pada Tabel 4.10 berikut:

Tabel 4.10 Intensitas Hujan dalam Berbagai Kala Ulang

T	R_{24} (mm)	$\frac{24}{t}$	$\left(\frac{24}{t} \right)^{2/3}$	I (mm/jam)	I (m/dt)
2	79,733	3,322	3,302	10,970	$3,047 \times 10^{-6}$
5	96,165	4,007	3,302	13,230	$3,675 \times 10^{-6}$
10	104,519	4,355	3,302	14,380	$3,994 \times 10^{-6}$
20	111,592	4,650	3,302	15,353	$4,265 \times 10^{-6}$
25	113,063	4,711	3,302	15,555	$4,321 \times 10^{-6}$
50	118,317	4,930	3,302	16,278	$4,522 \times 10^{-6}$
100	122,826	5,118	3,302	16,898	$4,694 \times 10^{-6}$

4.4.2 Debit Rencana dengan Metode Rasional

Kondisi tata guna lahan Kecamatan Jebres Surakarta meliputi, pemukiman, jasa, perusahaan, industri, tanah kosong, tegalan, sawah, kuburan, lapangan olah raga, dan taman yang terlihat pada Tabel 4.11 berikut:

Tabel 4.11 Data Tata Guna Lahan Kecamatan Jebres Surakarta

No	Tata Guna Lahan	Luas A, (Ha)
1	pemukiman	711,82
2	jasa	149,16
3	perusahaan	45,42
4	industri	27,39
5	tanah kosong	45,69
6	tegalan	83,46
7	sawah	19,33
8	kuburan	31,05
9	lap. Olahraga	9,16
10	taman	8,85
11	lain-lain	126,85
Total		1258,18

(Sumber : Diskominfo Surakarta, 2012)

Dari Tabel 4.11 terlihat bahwa Kecamatan Jebres Surakarta terdiri dari berbagai macam penggunaan lahan dengan koefisien aliran permukaan tanah yang berbeda, maka nilai C dapat dihitung dengan Persamaan 2.34 dan Tabel 2.3 seperti berikut:

$$\begin{aligned}
 C_{DAS} &= \frac{\sum}{\sum} \\
 &= \frac{711,82 \cdot 0,5 + 149,16 \cdot 0,8 + 45,42 \cdot 0,8 + 27,39 \cdot 0,65 + 45,69 \cdot 0,3}{1258,18} \\
 &\quad + \frac{83,46 \cdot 0,15 + 19,33 \cdot 0,25 + 31,05 \cdot 0,15}{1258,18} \\
 &\quad + \frac{9,16 \cdot 0,35 + 8,85 \cdot 0,28 + 126,85 \cdot 0,3}{1258,18} \\
 &= 0,484
 \end{aligned}$$

commit to user

Menghitung debit rancangan pada Kali Boro dengan menggunakan Tabel 4.10 dan Persamaan 2.33., contoh perhitungan untuk Kala Ulang 2 Tahun seperti berikut :

$$\begin{aligned}
 Q_{2Tahun} &= 0,002778 C . I . A \\
 &= 0,002778 \times 0,484 \times 10,970 \times 143,830 \\
 &= 2,121 \text{ m}^3/\text{dt}
 \end{aligned}$$

Resume hasil perhitungan disajikan dalam Tabel 4.12 berikut :

Tabel 4.12 Debit Rencana dengan Berbagai Kala Ulang

No	Kala Ulang	Cgab	Intensitas hujan (mm/jam)	Luas, A (Ha)	Debit, Q (m ³ /dt)
1	2	0,484	10,970	143,830	2,121
2	5	0,484	13,230	143,830	2,558
3	10	0,484	14,380	143,830	2,780
4	20	0,484	15,353	143,830	2,968
5	25	0,484	15,555	143,830	3,007
6	50	0,484	16,278	143,830	3,147
7	100	0,484	16,898	143,830	3,267

4.4.2.1 Hidrograf Rasional dengan Pola Distribusi Hujan Jam-jaman

Untuk lebih mengetahui kondisi riil debit yang terjadi pada DAS Kali Boro dilakukan perhitungan dengan pendekatan Metode Distribusi hujan jam-jaman. Menurut Sobriyah (2003), mengatakan bahwa hujan efektif pada DAS Bengawan Solo diasumsikan terjadi selama 4 jam dengan distribusi hujan jam ke-1 sebesar 38,70 % (Tabel 2.2), maka distribusi hujan yang terjadi pada jam ke-1 dengan Kala Ulang 2 Tahun sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 R_{\text{jam ke-1}} &= 38,70 \% \times R_{24} \\
 &= 38,70\% \times 79,733 \\
 &= 30,857 \text{ mm/jam}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan distribusi hujan untuk Kala Ulang yang lain disajikan pada Tabel 4.13 berikut:

Tabel 4.13 Distribusi Hujan Jam – jaman dengan Berbagai Kala Ulang

T	1	2	3	4	R (mm)
	38,70%	32,30%	18,70%	10,30%	
2	30,857	25,754	14,910	8,213	79,733
5	37,216	31,061	17,983	9,905	96,165
10	40,449	33,760	19,545	10,765	104,519
20	43,186	36,044	20,868	11,494	111,592
25	43,755	36,519	21,143	11,645	113,063
50	45,789	38,216	22,125	12,187	118,317
100	47,534	39,673	22,969	12,651	122,826

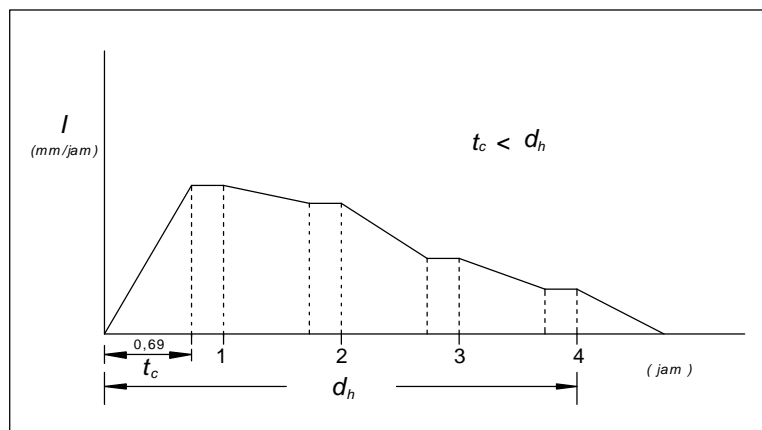
Kemudian dihitung waktu konsentrasi (t_c) dengan Persamaan 2.32., hasil perhitungan t_c dengan $L = 1,4755$ km dan $S = 0,005$ sebagai berikut :

$$t_c = \frac{0,87}{1000} \cdot 0,385$$

$$= \frac{0,87 \cdot 1,4755}{1000} \cdot 0,385$$

$$= 0,69 \text{ jam} < \text{durasi hujan } (d_h) = 4 \text{ jam}$$

Hidrograf aliran yang terjadi seperti gambar dibawah ini :



Gambar 4.2 Hidrograf Aliran Tipikal dengan $t_c < d_h$

Dari Gambar 4.2 dan Persamaan 2.38 maka debit puncak (Q_p) yang terjadi sama dengan debit pada waktu konsentrasinya, contoh perhitungan untuk Kala Ulang 2 Tahun seperti berikut :

$$\begin{aligned}
 Q_{p\ 2Tahun} &= 0,002778 C \cdot I \cdot A \\
 &= 0,002778 \times 0,484 \times 30,857 \times 143,830 \\
 &= 5,966 \text{ m}^3/\text{dt}
 \end{aligned}$$

Resume hasil perhitungan disajikan dalam Tabel 4.14 berikut :

Tabel 4.14 Debit Puncak dengan Berbagai Kala Ulang

No	Kala Ulang	Cgab	Intensitas hujan (mm/jam)	Luas, A (Ha)	Debit, Q_p (m^3/dt)
1	2	0,484	30,857	143,830	5,966
2	5	0,484	37,216	143,830	7,195
3	10	0,484	40,449	143,830	7,820
4	20	0,484	43,186	143,830	8,349
5	25	0,484	43,755	143,830	8,459
6	50	0,484	45,789	143,830	8,852
7	100	0,484	47,534	143,830	9,190

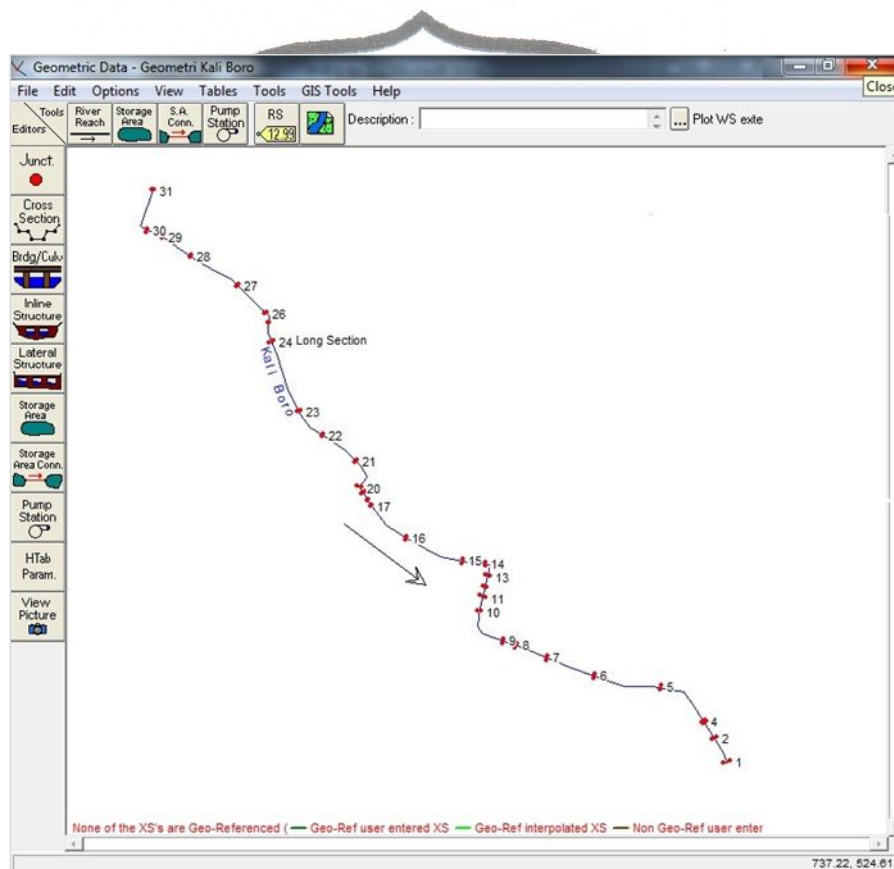
Hasil perhitungan pada Tabel 4.14 lebih besar jika dibandingkan Tabel 4.12, sehingga dipilih hasil perhitungan pada Tabel 4.14 dalam analisis program *HEC-RAS versi 4.1.0* dengan pertimbangan tingkat keamanan lebih tinggi.

4.5 Menghitung Kapasitas Kali Boro

Dalam proses perhitungan kapasitas saluran, dibantu dengan program *HEC-RAS versi 4.1.0*. Penggunaan program ini untuk analisis hidrolika sungai berdasarkan data geometri sungai dan *inflow* berupa debit banjir rencana yang diperoleh pada metode rasional yaitu pada Tabel 4.14. *Output* analisis hidrolika ini berupa elevasi muka air banjir untuk setiap debit rencana. Langkah – langkah yang dilakukan dalam penggunaan program *HEC-RAS versi 4.1.0* adalah sebagai berikut :

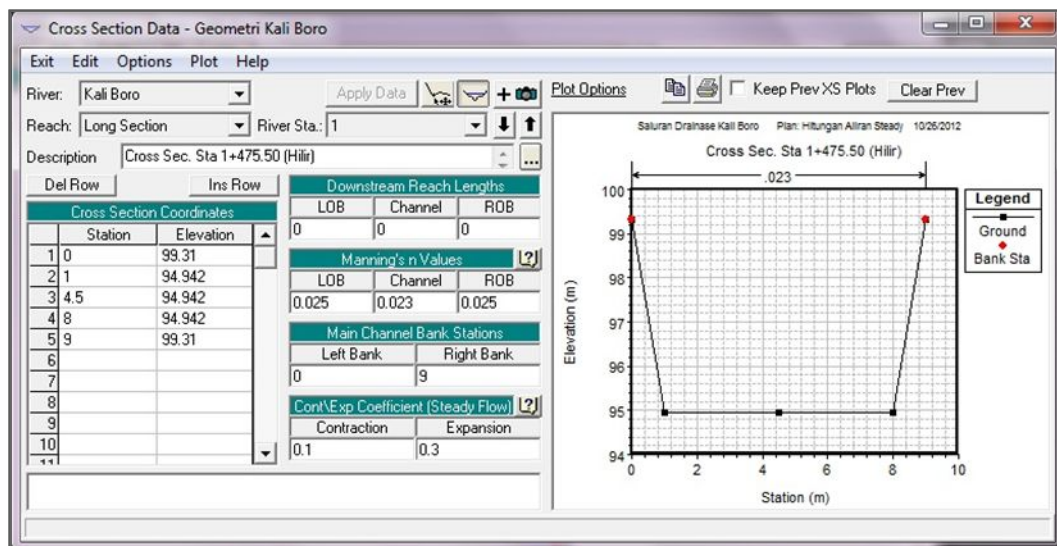
4.5.1 Penggambaran Geometri Sungai

Ruas sungai yang di analisis dengan *HEC-RAS versi 4.1.0* adalah 31 potongan melintang (*cross section*). Penggambaran Penampang-penampang ini dimulai dari bagian paling hilir sungai (sta 1+475,50) yang dinamakan dengan sta 1, lalu dilanjutkan berurutan hingga sta 31 (bagian paling hulu dari sungai atau titik 0 m. Gambar layar Skematik Kali Boro dapat di lihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Layar Skematisasi Kali Boro

Setelah skematisasi sungai selesai, maka langkah selanjutnya adalah melakukan interpretasi dengan memasukkan data penampang melintang sungai untuk tiap-tiap *station*, koefisien manning dan jarak antar stasiun. Gambar layar potongan melintang saluran dapat dilihat pada Gambar 4.4.

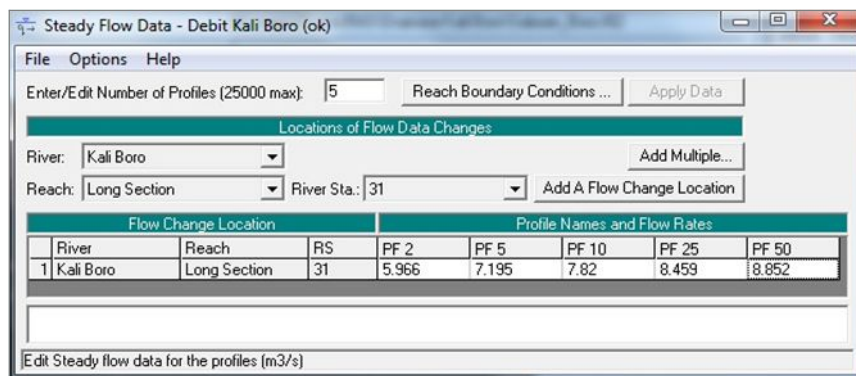


Gambar 4.4 Layar Potongan Melintang Sta 1+475,50 (Hilir Sungai)

Penggambaran Skematisasi dan potongan melintang sungai adalah bagian dalam penggambaran geometri sungai dalam program *HEC-RAS*. Data masukan penampang melintang lainnya dapat dilihat pada Lampiran A-4. Selanjutnya memasukkan nilai debit banjir rencana yang terdapat pada Tabel 4.14.

4.5.2 Memasukkan Data Aliran (*flow*) Sungai

Data Aliran sungai yang dianalisis dalam program *HEC-RAS* versi 4.1.0 menggunakan aliran *Steady* dengan debit Kala Ulang 2, 5,10, 25 dan 50 Tahun seperti yang terdapat pada Tabel 4.14. Gambar layar *input* debit saluran dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Layar *Input* Debit Banjir Rencana Saluran

Kemudian dari Gambar 4.5 diatas, langkah selanjutnya adalah memasukkan nilai syarat batas aliran baik di hulu maupun dihilir saluran.

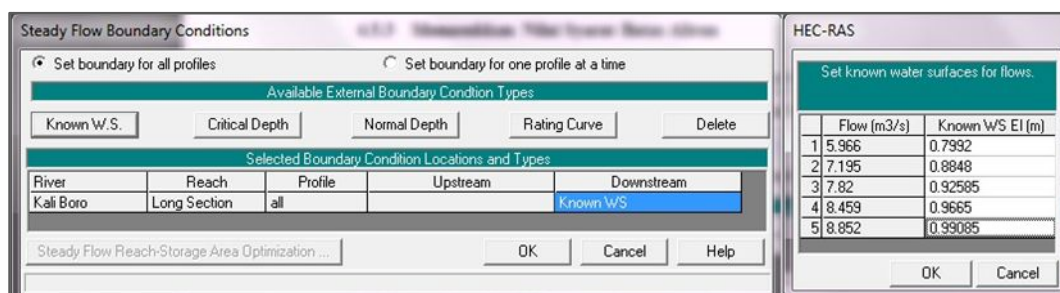
4.5.3 Memasukkan Nilai Syarat Batas Aliran

Dalam hitungan aliran permanen (*steady flow*) ini, syarat batas aliran dihilir adalah debit dan elevasi muka air di batas hilir. Elevasi muka air yang digunakan yaitu dengan mencari ketinggian air dari besarnya debit yang terjadi. Elevasi muka air yang digunakan seperti ditunjukkan pada Tabel 4.15 dibawah ini.

Tabel 4.15 Nilai Syarat Batas di Hilir Saluran

T	Trial h normal (m)	B (m)	m	Slope	Koef. Manning	P hit (m)	A hit (m ²)	R hit (m)	V hit (m/dt)	Q hit (m ³ /dt)	Q terjadi (m ³ /dt)
2	0.799	7.0	0.229	0.0035	0.025	8.772	5.741	0.654	1.039	5.967	5.967
5	0.885	7.0	0.229	0.0035	0.025	8.962	6.373	0.711	1.129	7.197	7.197
10	0.926	7.0	0.229	0.0035	0.025	9.053	6.677	0.738	1.171	7.822	7.822
25	0.967	7.0	0.229	0.0035	0.025	9.143	6.979	0.763	1.212	8.462	8.462
50	0.991	7.0	0.229	0.0035	0.025	9.197	7.161	0.779	1.237	8.855	8.855

Kemudian dari Tabel 4.15 diatas, nilai ketinggian air normal (Kolom 2) dimasukkan kedalam data nilai syarat batas di bagian hilir saluran. Gambar layar *input* Syarat Batas Aliran dapat dilihat pada Gambar 4.6.



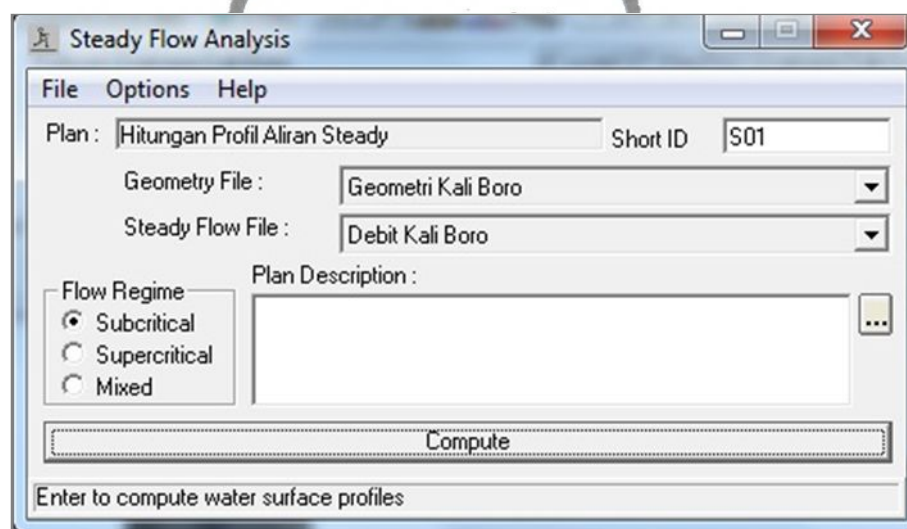
Gambar 4.6 Layar *Input* Nilai Syarat Batas

Setelah semua langkah diatas dilakukan yaitu penggambaran geometri, memasukkan nilai koefisien manning dan nilai data aliran permanen (*Steady flow*) serta syarat batas aliran. Kemudian langkah selanjutnya adalah melakukan hitungan profil aliran permanen.

commit to user

4.5.4 Hitungan Profil Aliran Permanen (*Steady flow*)

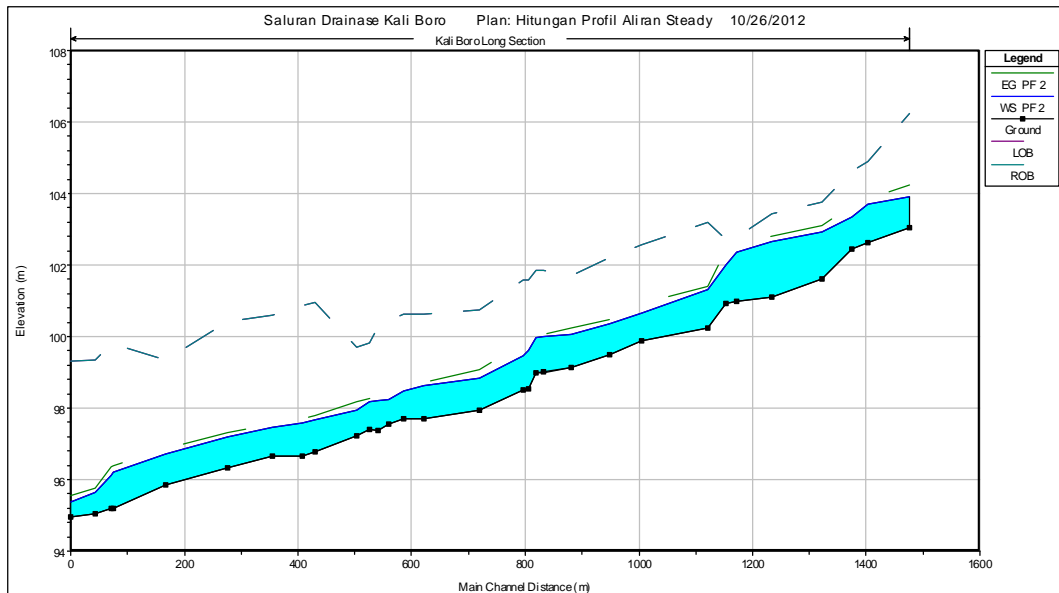
Hitungan Profil Aliran Permanen (*Steady flow*) adalah suatu analisis saluran yang terdapat pada program *HEC-RAS versi 4.1.0* yang mana program akan menganalisis tampang-tampang pada geometri sungai dengan nilai masukan debit dan koefisien manning dengan menekan tombol “*Compute*” pada program *HEC-RAS versi 4.1.0*. Gambar layar hitungan aliran permanen (*Steady flow*) dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Layar Hitungan Aliran Permanen (*Steady Flow*)

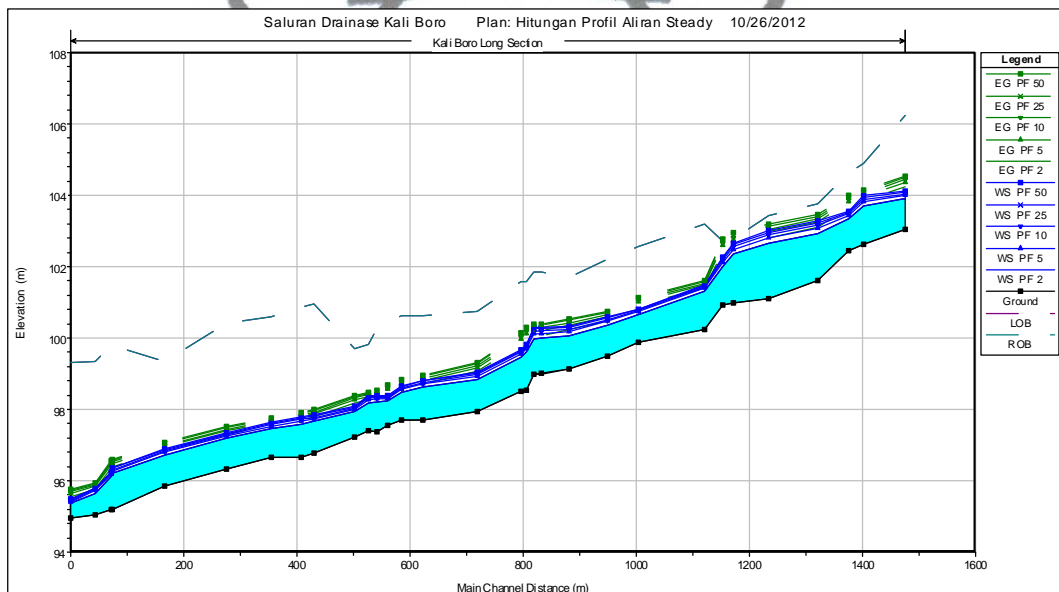
4.5.5 Interpretasi Hasil Hitungan *HEC-RAS*

HEC-RAS dapat menampilkan hasil hitungan baik dalam bentuk grafik maupun Tabel. Dibawah ini akan ditampilkan dalam bentuk grafik baik tampang memanjang sungai maupun tampang melintang hasil analisis hitungan aliran permanen (*steady flow*). Gambar profil muka air hasil hitungan dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Profil Muka Air di Sepanjang Alur dengan Q 2 Tahun

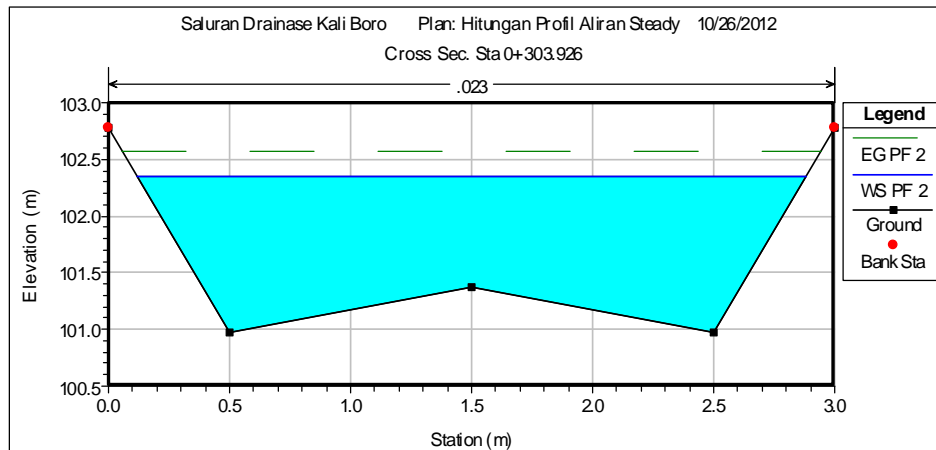
Dan perbandingan profil muka air di sepanjang alur untuk Q 2 Tahun dengan debit lainnya dapat dilihat pada Gambar 4.9 dibawah ini.



Gambar 4.9 Profil Muka Air di Sepanjang Alur dengan Q 2, 5, 10, 25 dan 50 Tahun

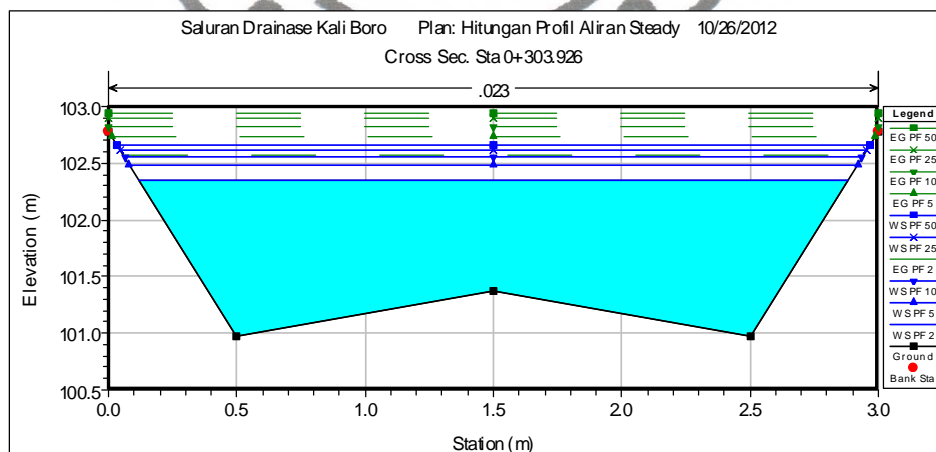
Dari Gambar 4.9 diatas kita dapat melihat bagaimana kapasitas dari tampang memanjang saluran Kali Boro untuk debit (Q) dengan Kala Ulang 2, 5, 10, 25 dan 50 Tahun. Hasil analisis *HEC-RAS* pada profil tampang melintang saluran dapat

dilihat pada Gambar 4.10 dan tampang melintang saluran lainnya dapat dilihat pada Lampiran A-5.



Gambar 4.10 Profil Muka Air pada Tampang Melintang Sta 0+303,926 dengan Q 2 Tahun

Dan perbandingan profil muka air pada tampang melintang sta 0+303,926 untuk Q 2 Tahun dengan debit lainnya dapat dilihat pada Gambar 4.11 dibawah ini.



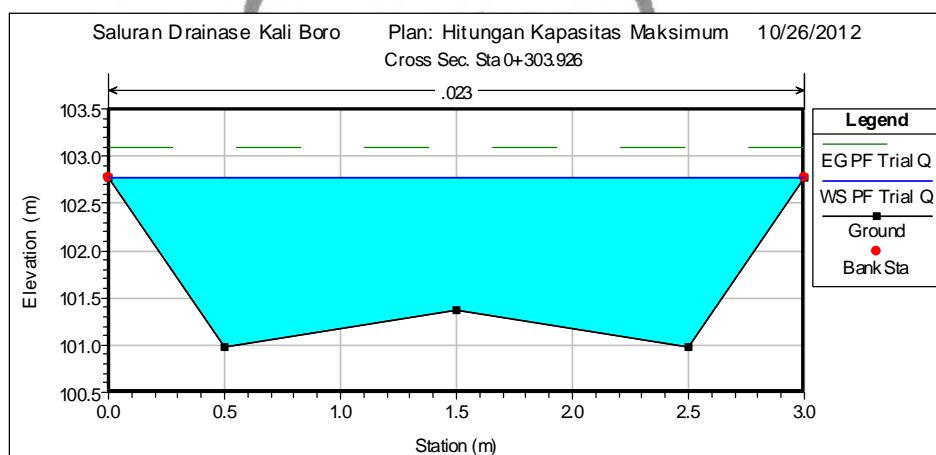
Gambar 4.11 Profil Muka Air pada Tampang Melintang Sta 0+303,926 dengan Q 2, 5, 10, 25 dan 50 Tahun

Dari beberapa gambar diatas, hasil analisis program *HEC-RAS versi 4.1.0* dengan debit Q 2, 5, 10, 25 dan 50 Tahun masih dapat ditampung sepenuhnya oleh kondisi geometri saluran Kali Boro. Tetapi pada sta 0+153,86 m sampai 0+322,540 m profil muka air sudah masuk garis kritis dimana tinggi jagaan

commit to user

normal sebesar 0,6 m sudah terlampaui walau limpasan air tidak terjadi. Tinggi jagaan yang tersedia pada saluran dapat dilihat pada Lampiran A-6.

Untuk mengetahui kapasitas maksimum Kali Boro perlu dilakukan trial debit banjir untuk mendapatkan elevasi air yang terjadi berada tepat pada elevasi salah satu tampang saluran. Debit banjir yang dicoba dalam analisis *HEC-RAS* yaitu $10,175 \text{ m}^3/\text{dt}$ dan interpretasi hasil pada tampang melintang Sta 0+303,926 dapat dilihat pada Gambar 4.12 dibawah ini.



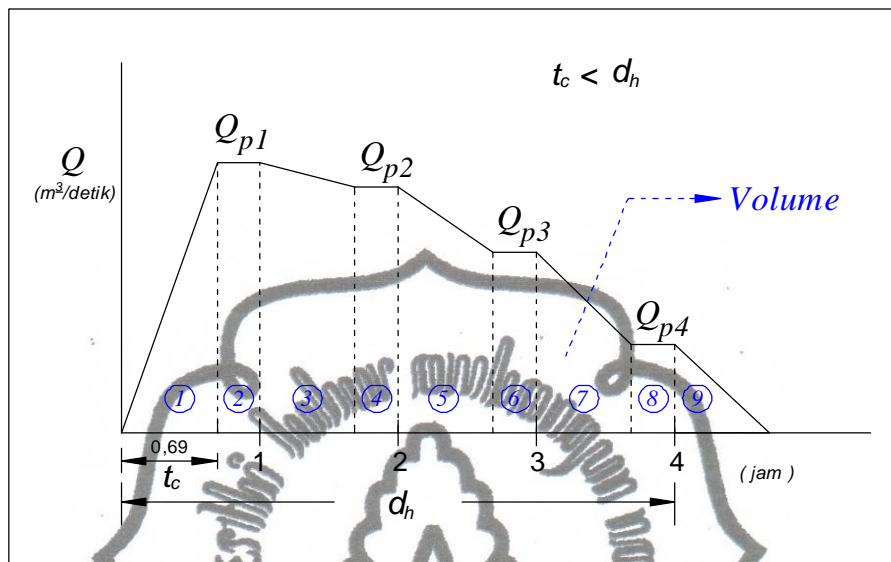
Gambar 4.12 Profil Muka Air pada Tampang Melintang Sta 0+303,926 dengan $Q = 10,175 \text{ m}^3/\text{dt}$

Dari Gambar 4.12 diatas dapat dilihat bahwa elevasi saluran dan elevasi muka air berada di ketinggian +102,779 m, maka kapasitas maksimum Kali Boro jika Pintu Air Pucang Sawit dibuka berada pada debit $Q = 10,175 \text{ m}^3/\text{dt}$.

4.6 Volume Tampung Saluran

Hasil analisis menunjukkan bahwa Kali Boro mampu menampung debit banjir rencana. Namun demikian hal tersebut hanya berlaku jika air Kali Boro dapat mengalir ke Sungai Bengawan Solo secara gravitasi. Pada saat muka air Sungai Bengawan Solo tinggi, air dari Saluran Kali Boro tidak dapat keluar karena pintu banjir Pucang Sawit di hilir Kali Boro harus ditutup. Perlu dianalisis apakah saluran mampu menampung air selama hujan terjadi jika pada saat tersebut pompa tidak dapat dioperasikan. Volume air yang ada di saluran Kali Boro selama durasi hujan (d_h) jika pintu air Pucang Sawit ditutup untuk mencegah *backwater* dari

Sungai Bengawan Solo pada berbagai debit Kala Ulang yang terjadi dapat dihitung dengan hidrograf pada Gambar 4.2 dan Tabel 4.14 seperti berikut.



Gambar 4.13 Volume Air Selama Durasi Hujan (d_h)

Dari Gambar 4.13 dan Persamaan 2.38 dapat dihitung debit tiap interval waktu hujan, contoh perhitungan debit untuk jam ke-1 pada Kala Ulang 2 Tahun seperti berikut :

$$\begin{aligned}
 Q_{p1} (2 \text{ Tahun}) &= 0,002778 C \cdot I_1 \cdot A \\
 &= 0,002778 \times 0,484 \times 30,857 \times 143,830 \\
 &= 5,966 \text{ m}^3/\text{dt}
 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan debit pada interval waktu dan Kala Ulang (T) lainnya ditunjukkan pada Tabel 4.16 dibawah ini.

Tabel 4.16 Debit Puncak tiap interval waktu hujan Berbagai Kala Ulang

No	T	C _{gab}	I ₁	I ₂	I ₃	I ₄	Luas, A (Ha)	Q _{p1} (m ³ /dt)	Q _{p2} (m ³ /dt)	Q _{p3} (m ³ /dt)	Q _{p4} (m ³ /dt)
			38,70%	32,30%	18,70%	10,30%					
1	2	0,484	30,857	25,754	14,910	8,213	143,830	5,966	4,979	2,883	1,588
2	5	0,484	37,216	31,061	17,983	9,905	143,830	7,195	6,005	3,477	1,915
3	10	0,484	40,449	33,760	19,545	10,765	143,830	7,820	6,527	3,779	2,081
4	25	0,484	43,755	36,519	21,143	11,645	143,830	8,459	7,060	4,088	2,251
5	50	0,484	45,789	38,216	22,125	12,187	143,830	8,852	7,388	4,278	2,356

Kemudian dari Gambar 4.13 dan Tabel 4.16 diatas dapat dihitung volume air selama durasi hujan dengan Persamaan 2.37, contoh perhitungan volume air untuk Kala Ulang 2 Tahun seperti berikut :

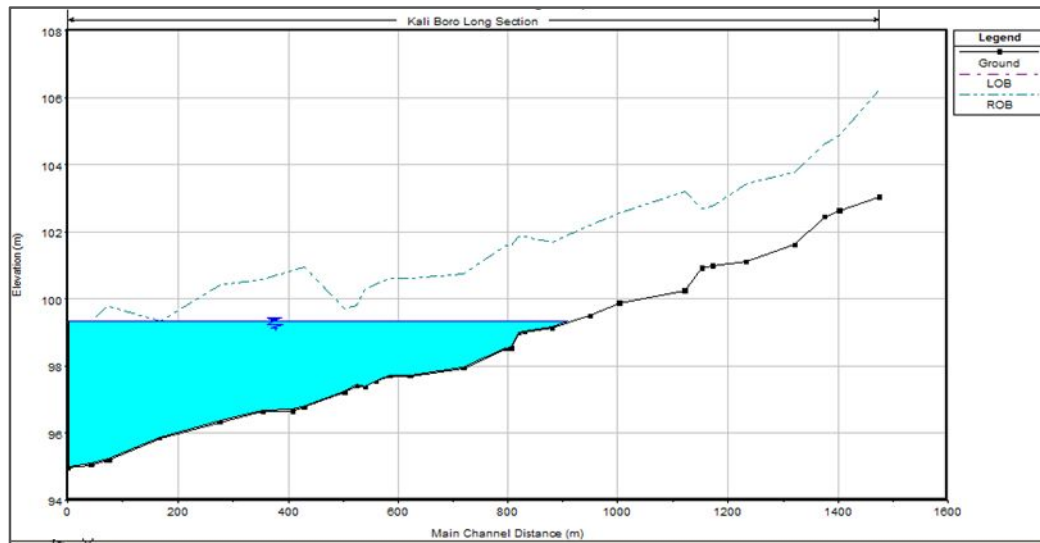
$$\begin{aligned}
 V_{2 \text{ Tahun}} &= Q_p \cdot d_h \\
 &= (\text{Luas } 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7 + 8 + 9) \\
 &\text{(dalam hitungan luas tiap bagian menggunakan alat bantu AutoCAD)} \\
 &= (2,0527 + 1,8603 + 3,7659 + 1,5526 + 2,7051 + 0,8989 + 1,5382 + \\
 &\quad 0,4951 + 0,5463) \times 3600 \\
 &= 15,4151 \times 3600 \\
 &= 55.494,21 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan volume air pada Kali Boro pada Kala Ulang (T) lainnya ditunjukkan dalam Tabel 4.17

Tabel 4.17 Volume Air pada Kali Boro Berbagai Kala Ulang (T)

No	T	Luas Hidrograf (V)									Vtotal (m ³)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	2	2,0527	1,8603	3,7659	1,5526	2,7051	0,8989	1,5382	0,4951	0,5463	55.494,21
2	5	2,4757	2,2437	4,5420	1,8726	3,2626	1,0841	1,8552	0,5971	0,6589	66.930,87
3	10	2,6908	2,4385	4,9365	2,0353	3,5460	1,1783	2,0163	0,6490	0,7161	72.744,90
4	25	2,9107	2,6379	5,3401	2,2016	3,8358	1,2746	2,1812	0,7021	0,7747	78.691,34
5	50	3,0460	2,7605	5,5883	2,3040	4,0141	1,3339	2,2825	0,7347	0,8107	82.348,53

Sedangkan volume air yang dapat ditampung Kali Boro yaitu volume air yang tertampung jika Pintu Air Pucang Sawit ditutup dengan cara menarik garis horizontal pada elevasi atas saluran paling hilir ke hulu saluran. Gambar volume air yang tertampung pada saluran dapat di lihat pada Gambar 4.14 dibawah ini.



Gambar 4.14 Volume Air Tertampung jika Pintu Air Pucang Sawit ditutup

Dari Gambar 4.14 diatas, dapat dilihat bahwa air yang tertampung di Kali Boro yaitu pada Sta 0+594,19 hingga Sta 0+1.475,50. Potongan Melintang tiap tampang yang terendam air dapat dilihat pada Lampiran A-7. Volume total air yang tertampung ditunjukkan dalam Tabel 4.18 dibawah ini.

Tabel 4.18 Volume air yang dapat ditampung Kali Boro

No	Tampang melintang	Jarak Tampang (m)	Luas Tampang Air (m ²)	Luas Tampang Air rerata (m ²)	Volume Air Tertampung (m ³)
1	Sta 0+000,00	594,19	0,00	0,00	0,00
2	Sta 0+594,19		0,00		
3	Sta 0+654,27	22,83	0,141	0,738	16,85
4	Sta 0+677,10		1,335		
5	Sta 0+755,92	97,46	5,365	6,947	677,08
6	Sta 0+853,38		8,530		
7	Sta 0+890,10	25,5	8,380	8,627	219,98
8	Sta 0+915,60		8,874		
9	Sta 0+939,62	33,24	14,188	12,422	412,90
10	Sta 0+972,86		10,656		
11	Sta 1+047,53	72,75	15,637	16,153	1.175,11
12	Sta 1+120,28		16,668		
13	Sta 1+200,13	108,47	17,956	19,971	2.166,23
14	Sta 1+308,60		21,986		
15	Sta 1+401,04	31,886	21,943	31,856	1.015,75
16	Sta 1+432,93		41,768		
17	Sta 1+475,50	42,57	42,165	41,967	1.786,52
Panjang Saluran (m)		1.475,50	Total Volume tampung (m³)		12.720,60

Kapasitas tampung Kali Boro dapat dilihat dari perbandingan Tabel 4.17 dengan Tabel 4.18. Perbandingan Kapasitas Volume Tampung Saluran dengan Volume Air yang terjadi tiap Kala Ulang dapat dilihat pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19 Perbandingan Kapasitas Volume Saluran dengan Volume Air Berbagai Kala Ulang

No	Kala Ulang	Durasi hujan (d_h)	Volume Saluran (m^3)	Volume Air rencana (m^3)	Keterangan
1	2	4	12.720,60	55.494,21	Saluran tidak mampu
2	5	4	12.720,60	66.930,87	Saluran tidak mampu
3	10	4	12.720,60	72.744,90	Saluran tidak mampu
4	25	4	12.720,60	78.691,34	Saluran tidak mampu
5	50	4	12.720,60	82.348,53	Saluran tidak mampu

Dari Tabel 4.19 diatas dapat diketahui bahwa saluran tidak mampu menampung keseluruhan volume air selama hujan yang terjadi jika pintu air Pucang Sawit di hilir Kali Boro ditutup dan pompa tidak dapat dioperasikan. Jika pompa dapat dioperasikan, perlu analisis lanjutan bagaimana pengoperasian pompa dan Pintu Air Pucang Sawit yang tersedia pada berbagai variasi kejadian hujan untuk menghindari genangan air.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis dan pembahasan pada bab sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan antara lain :

1. Debit banjir rancangan yang terjadi pada DAS Kali Boro untuk kala ulang 2, 5, 10, 25 dan 50 Tahun berturut-turut sebesar $5,966 \text{ m}^3/\text{dt}$, $7,195 \text{ m}^3/\text{dt}$, $7,820 \text{ m}^3/\text{dt}$, $8,459 \text{ m}^3/\text{dt}$ dan $8,852 \text{ m}^3/\text{dt}$.
2. Kapasitas maksimum Kali Boro hasil analisis program HEC-RAS versi 4.1.0 jika Pintu Air Pucang Sawit dibuka berada pada debit $Q = 10,175 \text{ m}^3/\text{dt}$.
3. Volume tampung Kali Boro pada saat Pintu Air Pucang Sawit di Hilir Kali Boro harus ditutup dan Pompa Air Pucang Sawit tidak dapat dioperasikan sebesar $12.720,60 \text{ m}^3$, sedangkan Volume air rencana untuk Kala Ulang 2, 5, 10, 25 dan 50 Tahun berturut-turut sebesar $55.494,21 \text{ m}^3$, $66.930,87 \text{ m}^3$, $72.744,90 \text{ m}^3$, $78.691,34 \text{ m}^3$ dan $82.348,53 \text{ m}^3$. Oleh karena itu, Kali Boro tidak mampu menampung keseluruhan volume air selama hujan yang terjadi jika Pintu Air Pucang Sawit ditutup dan Pompa Air Pucang Sawit tidak dapat dioperasikan.

5.2 Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diberikan saran sebagai berikut :

1. Diharapkan kepada Instansi terkait untuk menambahkan beberapa stasiun hujan didalam Kota Surakarta, agar data hujan lebih representatif.
2. Analisa kapasitas Kali Boro dapat dilakukan dengan program *software* lain sebagai pembanding hasil penelitian.

commit to user

3. Perlu dilakukan penelitian lanjutan tentang bagaimana pengoperasian pintu air Pucang Sawit dan pompa yang tersedia pada Kali Boro dalam mengantisipasi berbagai variasi kejadian hujan untuk menghindari genangan air.

