



**ESTIMASI DEBIT PUNCAK PADA DAS REJOSO**

*(Peak Discharge Estimation Of Rejoso Watershed)*

**SKRIPSI**

oleh

**EFENDI TRI JAKA YULIANTO**

**NIM 131910301045**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS**

**JEMBER**

**2018**



**ESTIMASI DEBIT PUNCAK PADA DAS REJOSO**

*(Peak Discharge Estimation Of Rejoso Watershed)*

**SKRIPSI**

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi Strata 1 Teknik Sipil  
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

oleh

**EFENDI TRI JAKA YULIANTO**

**NIM. 131910301045**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS  
JEMBER**

**2018**

## PERSEMBAHAN

Sebuah perjalanan yang berliku yang penuh dengan segala macam rintangan telah terlalui. Segala usaha dan seluruh kerja keras yang telah dilakukan hanya untuk satu tujuan mulia, yaitu melaksanakan salah satu perintah-Mu (Menuntut ilmu).

Alhamdulillah semua kerja keras telah terbayarkan dengan selesainya tugas akhir ini.

Akhirnya, kupersembahkan tugas akhir ini untuk:

1. Kedua Orang Tuaku, Ibunda tercinta Elya Martin yang senantiasa selalu mendoakan dan mendukung setiap langkah yang ditempuh. Bapak tercinta Hasyim Hanani yang tiada hentinya mendoakan perjuangan anakmu serta dengan sabar dan ikhlas menanti terselesainya tugas akhir ini.
2. Dr.Ir. Entin Hidayah, M, UM. Dan Dr. Gusfan Halik., S.T, M.T. yang telah dengan sabar dan sepenuh hati selalu membimbing saya untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
3. BPADSHL Brantas Sampean dan UPT PSDA Pasuruan yang telah banyak memberi informasi beserta data yang dibutuhkan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Almamater Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

## MOTO

Sesungguhnya Allah tidak mengubah keadaan suatu kaum sampai mereka mengubah keadaan diri mereka sendiri.

( Terjemahan Surat Ar-Ra'ad ayat 11)

Tidak sepatutnya bagi mukminin itu pergi semuanya (ke medan perang). Mengapa tidak pergi dari tiap tiap golongan di antara mereka beberapa orang untuk memperdalam pengetahuan mereka tentang agama dan untuk memberi peringatan kepada kaumnya apabila mereka telah kembali padanya, supaya mereka itu dapat menjaga dirinya.

(Terjemahan surat At-Taubah ayat 122)

Dan katakanlah (olehmu muhammad), “Ya Tuhanku, tambahkanlah kepadaku ilmu pengetahuan

(Terjemahan Surat Thoha ayat 114)

\*) Departemen Agama Republik Indonesia. 1998. Al Quran dan Terjemahannya. Semarang; PT. Kumusdamoro Grafindo.

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Efendi Tri Jaka Yulianto

Nim : 131910301045

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “ Estimasi Debit Puncak Pada DAS Rejoso “ adalah benar-benar karya sendiri, Kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan.

Saya bertanggung jawab atas kesalahan dan kebenaran isinya dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Dengan pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember,

Yang menyatakan,

Efendi Tri Jaka Yulianto

131910301045

**SKRIPSI**

**ESTIMASI DEBIT PUNCAK PADA DAS REJOSO**

Oleh

Efendi Tri Jaka Yulianto

131910301045

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Ir. Entin Hidayah, M., UM.

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Gusfan Halik., ST., M.T.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “ Estimasi Debit Puncak pada DAS Rejoso Menggunakan  
Software HEC-HMS “ telah diuji dan disahkan pada :

Hari, tanggal : Rabu, 25 April 2018.

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember.

Tim Penguji :

Pembimbing Utama,



Dr. Ir. Entin Hidayah, M. UM.

NIP. 19661215 199503 2 001

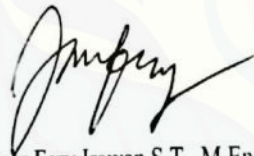
Pembimbing Anggota



Dr. Gusfan Halik, S.T., M.T.

NIP. 19710804 199803 1 002

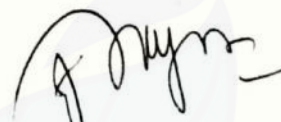
Penguji I



Januar Fery Irawan S.T., M.Eng.

NIP. 19760111 200012 1 002

Penguji II



Wiwik Yunarti Widiarti S.T., M.T.

NIP. 19700613 199802 2 001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember



Dr. Ir. Entin Hidayah, M. UM.

NIP. 19661215 199503 2 001

## RINGKASAN MATERI

**Estimasi Debit Puncak pada DAS Rejoso;** Efendi Tri Jaka Yulianto; 131910301045; 79 Halaman; Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember

DAS Rejoso merupakan salah satu DAS yang berada di Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur. DAS Rejoso sering terkena bencana banjir pada daerah hilirnya. Dampak dari banjir ini antara lain kerusakan pada lahan pertanian, penggenangan air di wilayah pemukiman, kerusakan infrastruktur, dll yang disebabkan oleh luapan air yang berlebihan. Untuk mencegah terjadi banjir ulangan maka perlu dilakukannya pemodelan banjir. berupa pemodelan banjir yang berfungsi memonitor dan mengawasi debit sungai. Pemodelan banjir berfungsi untuk membantu memprediksi debit puncak pada suatu Daerah Aliran Sungai (DAS).

Pada penelitian ini akan menggunakan metode *SCS Unit Hydrograph (UH)* pada *Direct Runoff*. Sedangkan untuk Volume Runoff menggunakan metode *Soil Conversation Service (SCS)*. Metode ini dipilih karena memiliki nilai kemiripan tertinggi dengan kondisi lapangan. Risyanto (2007), menyatakan bahwa metode SCS memiliki nilai kemiripan tertinggi, dan metode SCS dinilai paling sesuai yang digunakan untuk mengolah data DAS Ciliwung hulu.

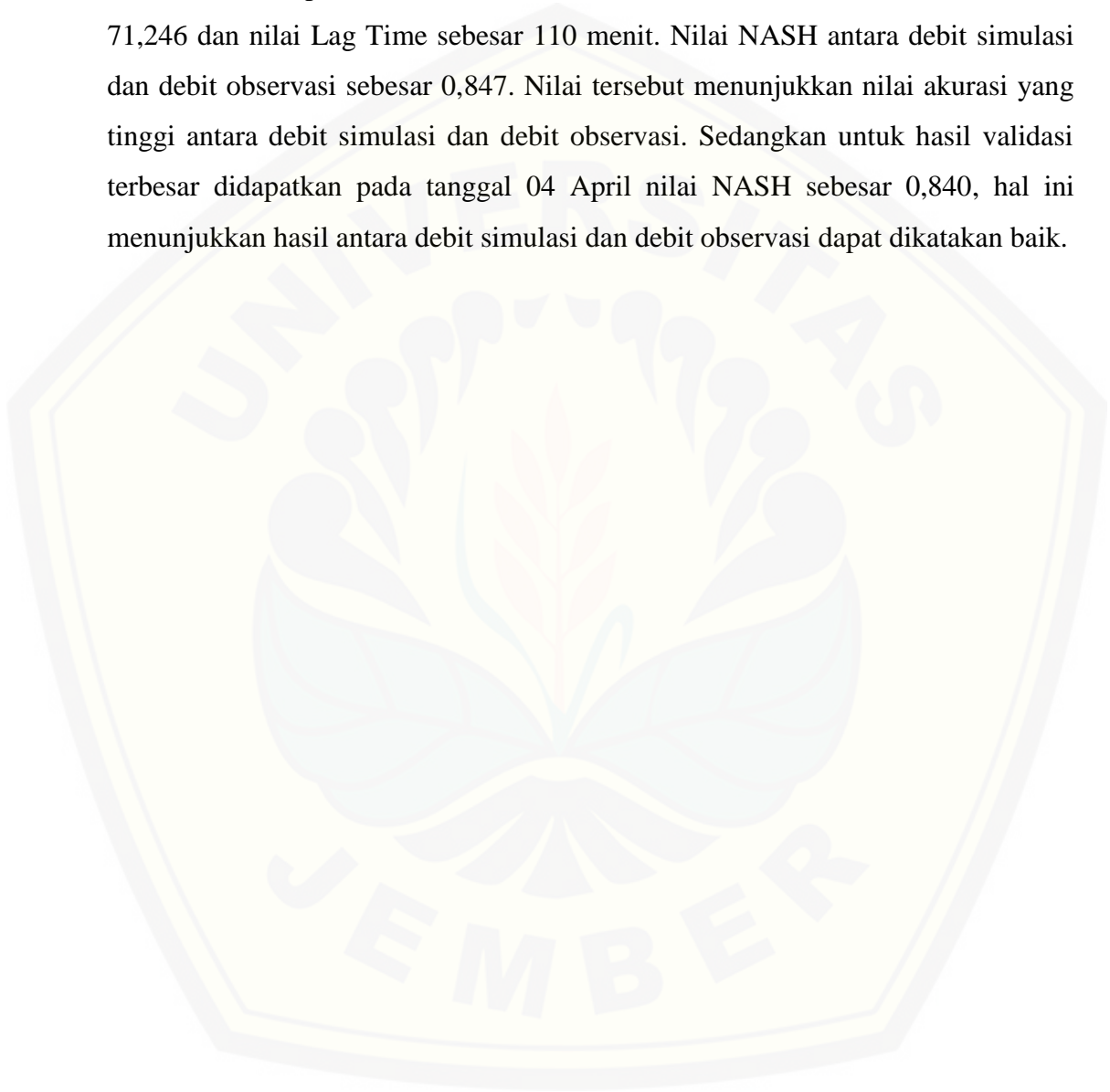
Hasil parameter yang sudah dimasukkan dalam pemodelan HEC-HMS harus diuji menggunakan proses kalibrasi dan validasi. Proses kalibrasi adalah proses pengecekan parameter simulasi untuk mengetahui tingkat kesalahan dengan cara membandingkan hasil simulasi dengan data observasi. sehingga perlu dilakukan trial error pada parameter awal untuk mendapatkan hasil pemodelan yang baik. Sedangkan validasi adalah proses untuk mengetahui kesesuaian hasil parameter kalibrasi.

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui hasil kalibrasi pemodelan banjir untuk estimasi debit puncak pada DAS Rejoso, dan juga



mengetahui hasil validasi pemodelan banjir untuk estimasi debit puncak pada DAS Rejoso.

Hasil kalibrasi dan optimasi parameter pemodelan banjir pada tanggal 03 Maret 2007 didapatkan nilai *initial abstraction* sebesar 20,3 mm, Curve Number 71,246 dan nilai Lag Time sebesar 110 menit. Nilai NASH antara debit simulasi dan debit observasi sebesar 0,847. Nilai tersebut menunjukkan nilai akurasi yang tinggi antara debit simulasi dan debit observasi. Sedangkan untuk hasil validasi terbesar didapatkan pada tanggal 04 April nilai NASH sebesar 0,840, hal ini menunjukkan hasil antara debit simulasi dan debit observasi dapat dikatakan baik.



## SUMMARY

**Estimation of Peak Discharge on Rejoso Watershed; Efendi Tri Jaka Yulianto; 131910301045; 79 Pages; Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember**

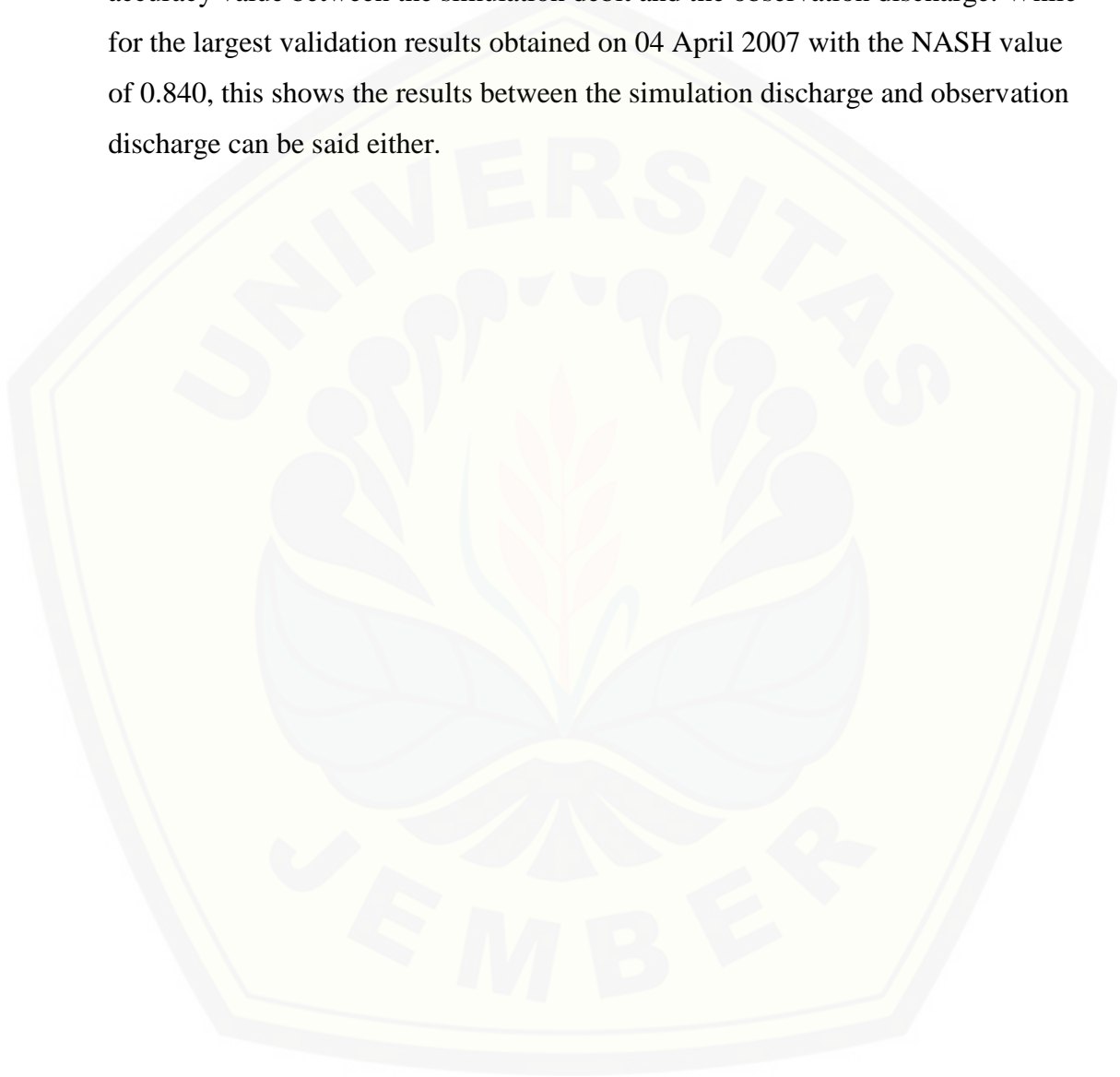
The Rejoso Watershed is one of the watersheds in Pasuruan District, East Java. Rejoso Watershed is often affected by floods in the downstream areas. The impacts of this flood include damage to agricultural land, waterlogging in residential areas, infrastructure damage, and etc that caused by overflow excessive water. To prevent the occurrence of repeated floods it is necessary to modeling of flood. In the form of modeling of flood that serves to monitor and supervise river discharge. Modeling of flood serves to help predict peak discharge in a watershed (DAS).

In this research will use SCS *Unit Hydrograph* (UH) method in *Direct Runoff*. As for Runoff Volume using *Soil Conversation Service* (SCS) method. This method was chosen because it has the highest similarity value with the field condition. Risyanto (2007), stated that SCS method has the highest similarity value, and SCS method is considered the most suitable used for processing upstream Ciliwung watershed data.

The parameter results already included in the HEC-HMS modeling it should be tested using calibration and validation processes. The calibration process is the process of checking the simulation parameters to determine the error rate by comparing the simulation results with observation data. So it is necessary to do trial error on the initial parameter to get good modeling result. While the validation is the process to know kesesuain results of calibration parameters.

The purpose of this research is to know the result of flood model calibration for peak discharge estimation at Rejoso watershed, and also to know the flood model validation result for peak discharge estimation at Rejoso watershed.

The results of calibration and optimization of flood modeling parameters on 03 March 2007 obtained in *initial abstraction* of 20,3 mm, Curve Number 71.264 and Lag Time value of 110 minutes. The NASH value between simulation discharge and observation discharge is on the 0.847. The value shows a high accuracy value between the simulation debit and the observation discharge. While for the largest validation results obtained on 04 April 2007 with the NASH value of 0.840, this shows the results between the simulation discharge and observation discharge can be said either.



## PRAKATA

*Alhamdulillah*, Puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Estimasi Debit Puncak pada DAS Rejoso”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program studi strata satu (S1) Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

Selama penyusunan skripsi ini penulis mendapat bantuan dari berbagai pihak, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember dan Dosen Pembimbing Utama;
2. Dr. Gusfan Halik, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Anggota;
3. Januar Fery Irawan, S.T, M.Eng., selaku Dosen Penguji Utama;
4. Wiwik Yunarni S, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji Anggota;
5. Ahkmad Hasanuddin S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik;
6. Kedua orang tua-ku dan kedua saudaraku yang telah memberikan dukungan moril dan materiil selama penyusunan skripsi ini;
7. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Segala kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun pembaca sekalian.

Jember,

Penulis

**DAFTAR ISI**

<b>HALAMAN SAMBUTAN</b> .....	i
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	ii
<b>PERSEMBAHAN</b> .....	iii
<b>MOTO</b> .....	iv
<b>PERNYATAAN</b> .....	v
<b>LEMBAR PEMBIMBING</b> .....	vi
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	vii
<b>RINGKASAN</b> .....	viii
<b>SUMMARY</b> .....	x
<b>PRAKATA</b> .....	xii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xiii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xvi
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	3
<b>1.3 Tujuan Penelitian</b> .....	3
<b>1.4 Manfaat Penelitian</b> .....	3
<b>1.5 Batasan Masalah</b> .....	3
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
<b>2.1 Daerah Aliran Sungai (DAS)</b> .....	5
<b>2.2 Sistem Hidrologi DAS</b> .....	5
<b>2.3 Hujan</b> .....	6
<b>2.4 Hujan Rata-Rata Wilayah</b> .....	6
<b>2.5 Intensitas Hujan</b> .....	8
<b>2.6 Debit Sungai</b> .....	9
<b>2.7 Pemodelan HEC-HMS</b> .....	9
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN</b> .....	21
<b>3.1 Lokasi Penelitian</b> .....	21

<b>3.2 Pengumpulan dan Pengelolaan Data</b> .....	22
3.2.1 Pengumpulan Data .....	22
3.2.2 Pengolahan Data .....	22
<b>3.3 Pemodelan Banjir Menggunakan HEC-HMS</b> .....	22
<b>3.4 Flowchart Penelian</b> .....	27
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	29
<b>4.1 Karakteristik Fisik DAS</b> .....	29
<b>4.2 Klasifikasi Tata Guna Lahan</b> .....	29
<b>4.3 Klasifikasi Jenis Tanah</b> .....	31
<b>4.4 Data Curah Hujan dan Debit</b> .....	32
<b>4.5 Hujan Rata-Rata Wilayah</b> .....	32
<b>4.6 Pemodelan Banjir Menggunakan HEC-HMS</b> .....	33
4.6.1 Data <i>Basin Model</i> .....	33
4.6.2 Data <i>meterologic model</i> .....	35
4.6.3 Data <i>Control specification</i> .....	35
4.6.4 Data <i>Time series</i> .....	36
<b>4.7 Proses Running Model</b> .....	38
<b>4.8 Proses Kalibrasi Model</b> .....	40
<b>4.6 Proses Validasi Model</b> .....	43
<b>BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	47
<b>5.1 Kesimpulan</b> .....	47
<b>5.1 Saran</b> .....	47
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	48
<b>LAMPIRAN</b> .....	50

**DAFTAR TABEL**

Halaman

2.1 Komponen Komputasi dan Model dalam <i>HEC-HMS</i> .....	9
2.2 Type Tanah dan Laju Kehilangan Menurut Model <i>SCS</i> ...	13
2.3 Nilai Curve Number Untuk Daerah Perkotaan .....	14
2.4 Nilai Curve Number untuk daerah Pertanian 1.....	15
2.5 Nilai Curve Number untuk daerah Pertanian 2.....	16
2.6 Nilai Parameter untuk Kalibrasi Model <i>HEC-HMS</i> .....	19
4.1 Karakteristik Fisik DAS Rejoso.....	29
4.2 Tata Guna Lahan DAS Rejoso.....	30
4.3 Interpretasi Nilai CN untuk Tata Guna Lahan di DAS Rejoso...	30
4.4. Luasan Tata Guna Lahan DAS Rejoso Berdasarkan Kelompok Tanah.....	31
4.5 Nilai Curve Number <i>composite</i> (CN).....	35
4.6 Nilai Parameter Kalibrasi.....	42
4.7. Hasil Validasi Model .....	44

## DAFTAR GAMBAR

Halaman	
2.1 Siklus Polygon Thiessen.....	7
2.2 Tipikal Hidrograf Satuan <i>SCS</i> .....	17
3.1 Lokasi Das Rejoso.....	21
3.2 Tampilan Persiapan Menggambar Objek Parameter.....	23
3.3 Tampilan Pembuatan <i>Meteorologic Model</i> .....	23
3.4 Tampilan Pembuatan <i>Control Specifications</i> .....	24
3.5 Tampilan Pembuatan <i>Time-Series Data</i> Hujan .....	24
3.6 Tampilan Pembuatan <i>Time-Series Data</i> Debit.....	24
3.7 Prosedur Kalibrasi Model <i>HEC-HMS</i> .....	25
3.8 Diagram Alur Rencana Penelitian .....	27
3.9 Diagram Alur Program <i>HEC-HMS</i> .....	28
4.1 Peta tata guna lahan DAS Rejoso.....	29
4.2 Curah Hujan Rata-Rata Wilayah.....	33
4.3. Penggambaran Objek Das Rejoso.....	34
4.4. Data Meteorologic Model Das Rejoso.....	35
4.5. <i>control specifications</i> DAS Rejoso.....	36
4.6. Tampilan Input Data Hujan.....	37
4.7. Tampilan Input Data Debit.....	38
4.8 Hasil Simulasi Pemodelan DAS Rejoso.....	39
4.9 Hasil Rekapitulasi Pemodelan DAS Rejoso.....	39
4.10 Nilai Sensitivitas Parameter Pemodelan.....	41
4.11 Hasil Kalibrasi Pemodelan pada DAS Rejoso.....	42
4.12 Rekapitulasi Hasil Kalibrasi Pemodelan pada DAS Rejoso.	42
4.13 Hasil Validasi Pemodelan pada DAS Rejoso.....	45
4.14 Rekapitulasi Hasil Validasi Pemodelan pada DAS Rejoso.	46



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Daerah Aliran Sungai (DAS) Rejoso merupakan salah satu dari beberapa sungai besar yang berada di Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur. DAS Rejoso mempunyai luas sebesar 277,06 km<sup>2</sup> dengan panjang sungai sekitar 35.76 km<sup>2</sup> yang mengalir dari hulu Gunung Bromo dan bermuara di Pantai Utara Kabupaten Pasuruan, tepatnya di Kecamatan Rejoso. DAS Rejoso sering mengalami banjir pada daerah hilirnya. Dampak dari banjir ini antara lain kerusakan pada lahan pertanian, penggenangan air di wilayah pemukiman, kerusakan infrastruktur, dan lainnya yang disebabkan oleh luapan air yang berlebihan.

Banjir yang terjadi pada suatu wilayah DAS pada umumnya disebabkan oleh beberapa faktor antara lain, pendangkalan dasar sungai, berkurangnya luas daerah resapan air akibat perubahan tata guna lahan pada suatu DAS, tingginya intensitas curah hujan yang disertai kondisi air laut pasang yang mengakibatkan air sungai tidak bisa mengalir secara langsung ke laut serta kegagalan fungsi bangunan pengendali banjir sungai seperti tanggul atau bendungan yang jebol (Budiono, 2014). Akibat dari terjadinya faktor-faktor tersebut dapat mengakibatkan bertambahnya volume debit banjir pada DAS tersebut.

Banjir yang melanda wilayah DAS Rejoso harus segera dicegah agar tidak terjadi banjir ulangan. Salah satu cara yang digunakan untuk mencegah terjadinya banjir tersebut dengan dilakukannya sistem mitigasi. Sistem mitigasi banjir ini membutuhkan pemodelan banjir yang berfungsi memonitor dan mengawasi debit sungai serta dapat membantu memprediksi debit puncak pada suatu Daerah Aliran Sungai (DAS).

Dalam pemodelan banjir terdapat dua tujuan model yang berbeda seperti pengolahan sumber daya air dan estimasi banjir. Model untuk pengolahan sumber daya air diperlukan untuk perencanaan pemanfaatan air, menggunakan data hujan dan debit harian. Sedangkan untuk estimasi banjir diperlukan untuk perencanaan

banjir dan bangunan tahan banjir, menggunakan data hujan yang lebih tinggi yaitu data hujan jam-jaman dan debit jam-jaman.

Hidayah,(2015) telah melakukan pemodelan hujan aliran dengan data hujan jam-jaman yang di running menggunakan HEC-HMS dengan metode *Soil Conservation Service (SCS)* pada DAS Kali Porong. Hidayah (2015), mengatakan bahwa Bentuk hidrograf pemodelan hujan aliran untuk kalibrasi validasi memiliki pola yang mirip antara observasi dengan simulasi hanya ada perbedaan sedikit mengenai posisi peak flownya. Untuk tinggi hujan yang tinggi, nilai peak flownya simulasi lebih rendah dari nilai observasinya. sedangkan untuk tinggi hujan yang rendah nilai simulasinya lebih tinggi dari observasinya.

Pemodelan banjir dengan software *HEC-HMS* dapat menggunakan beberapa metode pada *direct runoff* yaitu, metode hidrograf satuan Clark, SCS dan Snyder. Pada penelitian ini akan menggunakan metode *Soil Conservation Service (SCS)*. Metode *Soil Conservation Service (SCS)* dipilih karena memiliki nilai kemiripan tertinggi dengan kondisi di lapangan. Pada penelitian Risyanto (2007) menyatakan bahwa Berdasarkan hasil uji kemiripan Nash dan Sutcliffe (1970), model Clark, SCS maupun Snyder memberikan nilai F yang hampir sama. Yaitu metode Clark dengan nilai F sebesar 0,69, Snyder sebesar 0,66 dan SCS sebesar 0,71. Dibandingkan metode lainnya, metode SCS memiliki nilai F tertinggi pada DAS Ciliwung Hulu.

Berdasarkan hal-hal tersebut pada penelitian pemodelan banjir ini akan menggunakan *software HEC-HMS* dengan metode *Soil Conservation Service (SCS)*. Oleh karena itu kejadian banjir yang sering terjadi harusnya dapat dicegah. dalam penelitian ini dilakukan untuk pengendalian banjir pada DAS Rejoso. dengan menggunakan HEC-HMS diharapkan dapat memprediksikan debit puncak menggunakan data hujan jam – jaman.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, dapat diketahui rumusan permasalahan yang terdapat pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana hasil kalibrasi pemodelan Banjir untuk memprediksi debit puncak menggunakan input curah hujan jam-jaman?
2. Bagaimana hasil validasi pemodelan Banjir untuk memprediksi debit puncak menggunakan input curah hujan jam-jaman?

## 1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah diatas, dapat diketahui tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui hasil kalibrasi pemodelan Banjir untuk memprediksi debit puncak menggunakan input curah hujan jam-jaman.
2. Mengetahui hasil validasi pemodelan Banjir untuk memprediksi debit puncak menggunakan input curah hujan jam-jaman.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah :

1. Mendapatkan informasi pemodelan hujan debit terbaik yang dapat digunakan untuk mempredikai banjir pada DAS Terkait.
2. Dapat digunakan sebagai acuan oleh pihak – pihak terkait dalam pengambilan setiap keputusan dalam melakukan pemeliharaan sumber daya air di wilayah DAS Rejoso.

### 1.5 Batasan Masalah

Supaya tidak terjadi perluasan dalam pembahasan, maka diberikan batasan masalah sebagai berikut :

1. Data-data yang digunakan adalah data sekunder yang diperoleh dari instansi terkait.
2. Pemodelan banjir yang dilakukan adalah *HEC-HMS* dengan metode *volume runoff SCS Curve Number*.
3. Penelitian ini menggunakan 1 data AWLR yang berguna untuk proses kalibrasi pada bagian hilir yang digunakan sebagai hasil (outlet) keluaran debit pada suatu DAS.

## BAB. 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Daerah Aliran Sungai (DAS)

Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah suatu daerah tertentu yang bentuk dan sifat alirannya sedemikian rupa sehingga merupakan kesatuan dengan anak-anak sungainya yang melalui daerah tersebut dalam fungsinya untuk menampung air yang berasal dari curah hujan dan sumber air lainnya dan kemudian mengalirkannya melalui sungai utama atau outlet (Departemen Kehutanan dalam Hartanto, 2009).

Suatu DAS biasanya di bagi menjadi daerah hulu, tengah, dan hilir. Daerah-daerah tersebut mempunyai keterkaitan biofisik melalui daur hidrologi. Daerah hulu merupakan bagian yang penting karena mempunyai fungsi perlindungan terhadap seluruh DAS khususnya untuk mengatur tata air.

### 2.2 Sistem Hidrologi DAS

Daerah Aliran Sungai (DAS) dapat dipandang sebagai sistem hidrologi, yang berfungsi mengalihragamkan masukan (*input*) yang berupa air hujan menjadi keluaran (*output*) seperti aliran dan sedimen. Komponen dalam sistem DAS dapat terdiri atas berbagai unsur diantaranya unsur fisik, tata guna lahan, dan morfometri, yang saling berkaitan membentuk satu kesatuan yang teratur.

Analisis sistem hidrologi DAS dilakukan untuk memahami perilaku hidrologi suatu sistem DAS yang dapat digunakan untuk mengartikan, menetapkan dan memperkirakan besaran-besaran komponen tersebut dalam berbagai keadaan dan rentang waktu tertentu ( Harto dalam Hartanto, 2009).

Proses pengalihragaman masukan menjadi keluaran memiliki bentuk dan sifat tertentu yang melibatkan banyak proses, meliputi proses yang terjadi pada

permukaan lahan, alur sungai, lapisan tanah, dan akifer. Aliran yang tercatat pada *outlet* DAS biasanya disajikan dalam bentuk hidrograf.

Hidrograf adalah grafik yang menunjukkan fenomena aliran (tinggi muka air dan debit) yang dihubungkan dengan waktu. Komponen hidrograf aliran terdiri atas aliran permukaan, aliran bawah permukaan, aliran dasar dan hujan yang langsung jatuh di atas sungai (Fakhrudin dalam Hartanto, 2009)

### 2.3 Hujan

Hujan adalah suatu fenomena alam yang sangat penting keberadaannya. Dalam jumlah yang cukup dan terkendali, hujan merupakan karunia Tuhan yang tidak terhingga manfaatnya. Sebaliknya, hujan akan membawa bencana jika jumlah dan sebarannya tidak terkendali.

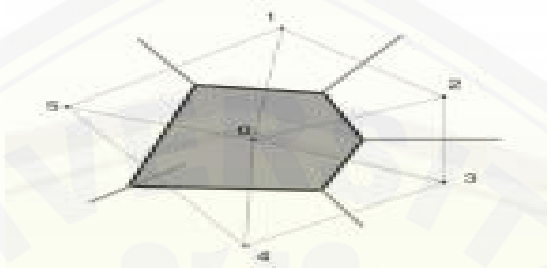
Hujan merupakan titik-titik air yang jatuh dari awan melalui lapisan atmosfer ke permukaan bumi secara proses alam yang menjadi kesatuan dengan siklus hidrologi. Pada siklus hidrologi, hujan turun ke permukaan bumi selalui dengan adanya pembentukan awan, karena adanya penggabungan uap air yang ada di atmosfer melalui proses kondensasi, maka terbentuklah butir-butir air yang bila lebih berat dari gravitasi akan jatuh berupa hujan.

Hujan yang jatuh ke bumi selanjutnya akan menjadi limpasan permukaan (*surface runoff*), terinfiltrasi ketanah menjadi aliran antara berupa (*interflow*, *subsurface runoff*), maupun sebagian mengalami perkolasi yang menjadi aliran air tanah (*groundwater*), dan ada yang kembali ke atmosfer yang dinamakan evaporasi atau evapotraspirasi (Sri Harto, 2000).

### 2.4 Hujan Rata-Rata Wilayah

Di dalam analisis hidrologi masukan hujan yang digunakan adalah besaran hujan DAS (*catchment rainfall*) yang dapat dianggap mewakili seluruh hujan yang terjadi dalam DAS. Besaran hujan ini diperoleh dengan merata-ratakan hujan titik

(*point rainfall*). Salah satu cara perata-rataan hujan titik menjadi hujan rata-rata DAS yang sering digunakan adalah cara poligon Thiessen. Metode ini menganggap bahwa hujan yang terjadi pada suatu stasiun mempunyai pengaruh yang dibatasi oleh poligon Thiessen.



Gambar 2.1 Siklus Poligon Thiessen

$$R = \sum_{i=1}^n \frac{A_i R_i}{A} \dots\dots\dots (2.1)$$

Curah hujan rata-rata wilayah tersebut dapat dihitung dengan rumus:

Dengan :

- R : tinggi hujan rata-rata (mm)
- $R_i$  : tinggi curah hujan stasiun ke- $i$
- $A_i$  : luas wilayah pengaruh dari stasiun ke- $i$
- $A$  : luas total wilayah pengamatan

Cara Thiessen ini memberikan hasil yang lebih teliti daripada aljabar. Akan tetapi penentuan titik pengamatan dan pemilihan ketinggian akan mempengaruhi ketelitian hasil yang didapat. Kerugian lainnya penentuan kembali jaringan segitiga jika terdapat kekurangan pengamatan pada salah satu titik pengamatan.

## 2.5 Intensitas Hujan

Menurut Asdak (1995), menyatakan bahwa intensitas hujan adalah jumlah hujan per satuan waktu. Untuk mendapatkan nilai intensitas hujan di suatu tempat maka alat penakar hujan yang digunakan harus mampu mencatat besarnya volume hujan dan waktu mulai berlangsungnya hujan sampai hujan tersebut berhenti.

Intensitas hujan atau ketebalan hujan per satuan waktu lazimnya dalam satuan milimeter per jam. Data intensitas hujan biasanya dimanfaatkan untuk perhitungan perhitungan prakiraan besarnya erosi, debit puncak (banjir), perencanaan drainase, dan bangunan air lainnya. Intensitas curah hujan adalah ketinggian curah hujan yang terjadi pada kurun waktu dimana air tersebut terkonsentrasi. Intensitas curah hujan dinotasikan dengan huruf *I* dengan satuan mm/jam.

Lama waktu hujan adalah lama waktu berlangsungnya hujan, dalam hal ini dapat mewakili total curah hujan atau periode hujan yang singkat dari curah hujan yang relatif seragam. Untuk menentukan nilai intensitas hujan biasanya menggunakan data curah hujan untuk daerah penelitian yang terdiri atas lama waktu hujan dan interval waktu hujan (Asdak, 1995).

Untuk melakukan analisis frekuensi kejadian hujan atau banjir besar pada intensitas dan lama waktu yang berbeda digunakan data curah hujan yang diperoleh dari suatu stasiun penakar hujan. Pengalaman yang diperoleh dari daerah tropis menunjukkan bahwa curah hujan yang sangat intensif umumnya berlangsung dalam waktu relatif singkat. Sedangkan presipitasi yang berlangsung cukup lama pada umumnya tidak terlalu deras (Asdak, 1995).

Sifat umum hujan adalah makin singkat hujan berlangsung intensitasnya cenderung makin tinggi dan makin besar periode ulangnya makin tinggi pula intensitasnya (Suripin, 2004).



## 2.6 Debit Sungai

Debit sungai adalah volume air yang mengalir persatuan waktu melewati suatu penampang melintang sungai, pipa, dan sebagainya (Soemarto, 1987 : 103).

Curah hujan yang jatuh langsung di atas saluran air (sungai) atau dikenal dengan intersepsi saluran (*channel interception*) akan memberikan dampak paling cepat dalam pembentukan debit. Besar kecilnya suatu debit aliran pada suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah perubahan penggunaan lahan dari tahun ke tahun, perilaku masyarakat sekitar, penggunaan air untuk irigasi oleh masyarakat, teknik konservasi air dan tanah (Barutu,2011).

Bentuk DAS yang memanjang dan sempit cenderung menghasilkan laju aliran permukaan yang lebih kecil dibandingkan dengan DAS yang melebar. Kondisi topografi juga memberikan pengaruh cukup besar terhadap aliran permukaan. DAS yang memiliki kemiringan curam disertai dengan parit saluran yang rapat akan menghasilkan laju dan volume aliran permukaan yang lebih tinggi dibandingkan dengan DAS yang landai dengan parit yang jarang.

## 2.7 Pemodelan HEC-HMS

Pemodelan HEC-HMS terdiri dari lima komponen, antara lain model hujan (*precipitation*), model volume limpasan (*runoff- volume models*), model limpasan langsung (*direct runoff models*), model aliran dasar (*baseflow models*), dan model penelusuran aliran (*channel flow models*).

Tabel 2.1 Komponen komputasi dan model dalam *HEC-HMS*

Komputasi	Model
<i>Precipitation</i>	<i>User hyetograph</i> <i>User gage weighting</i> <i>Inverse distance gage weights</i>

	<p><i>Gridded precipitation</i></p> <p><i>Frequency storm</i></p> <p><i>Standard project storm</i></p>
<b><i>Volume runoff</i></b>	<p><i>Initial and Constant rate</i></p> <p><i>SCS curve number (CN)</i></p> <p><i>Gridded SCS CN</i></p> <p><i>Green and Ampt</i></p> <p><i>Deficit and constant rate</i></p> <p><i>Soil moisture accounting (SMA)</i></p> <p><i>Gridded SMA</i></p>
<b><i>Direct runoff (overland flow dan interflow)</i></b>	<p><i>(overland flow dan interflow)</i></p> <p><i>User-spesified unit hydrograph</i></p> <p><i>Clark's UH</i></p> <p><i>Snyder's UH</i></p> <p><i>SCS UH</i></p> <p><i>Modclark</i></p> <p><i>Kinematic wave</i></p>
<b><i>Baseflow</i></b>	<p><i>Constant monthly</i></p> <p><i>Exponential recession</i></p> <p><i>Linier reservoir</i></p>
<b><i>Channel flow</i></b>	<p><i>Kinematic wave</i></p> <p><i>Lag</i></p> <p><i>Modified Puls</i></p> <p><i>Muskingum</i></p> <p><i>Muskingum-Cunge Standard Section</i></p>

	<i>Muskingum-Cunge 8-point Section</i>
<i>Sumber : Technical Refence Manual HEC-HMS 2000</i>	

### 2.7.1 Metode Perhitungan Volume Aliran (*volume runoff*)

Curah hujan yang jatuh pada suatu DAS akan mengalami proses infiltrasi, intersepsi, evaporasi dan bentuk kehilangan alirannya sebelum menjadi limpasan. Model volume limpasan menghitung besar curah hujan efektif dari pengurangan total curah hujan yang turun dengan volume air yang terintersepsi, terinfiltrasi, tertampung pada permukaan, dan ter-evapotranspirasi. Untuk menentukan metode yang akan digunakan dalam pemodelan sebaiknya disesuaikan pada kecocokan penerapan metode pada daerah yang bersangkutan dan ketersediaan data pada daerah tersebut (Sitanggang, Tanpa Tahun).

Didalam pemodelan HEC-HMS ini, terdapat beberapa metode perhitungan limpasan (*run-off*) yang dapat digunakan, yaitu (*HEC-HMS Technical Reference Manual, 2000:38*):

1. *The initial and constant-rate loss model,*
2. *The deficit and constant-rate loss model,*
3. *The SCS curve number (CN) loss model (composite or gridded), dan*
4. *The Green and Ampt loss model.*

Untuk penentuan *precipitation loss* dan *precipitation excess* pada penelitian ini akan menggunakan metode SCS (*Soil Conservation Service*) *Curve Number (CN)* yang dianggap paling mudah diaplikasikan dalam perhitungan.

*Curve Number* merupakan fungsi dari karakteristik DAS seperti tipe tanah, tanaman penutup, tataguna lahan, kelembapan dan cara pengerjaan tanah. Model *SCS Curve Number (CN)* memperkirakan hujan lebihan (*precipitation excess*) atau hujan efektif sebagai bagian dari hujan yang menjadi aliran langsung di sungai. *SCS*

*Curve Number* terdiri dari beberapa parameter yang harus dimasukkan yaitu *initial abstraction* atau nilai respon awal, *SCS Curve Number*, dan *imperviousness* (kekedapan air). Model perhitungannya adalah sebagai berikut (*HEC-HMS Technical Reference Manual, 2000:40*)

$$Pe = \frac{(p-ia)^2}{p-ia+s} \dots\dots\dots (2.2)$$

$$Ia = 0,2.S \dots\dots\dots (2.3)$$

dengan :

- Pe : hujan kumulatif pada waktu t (*precipitation excess*)
- P : kedalaman hujan kumulatif pada waktu t
- Ia : kehilangan mula-mula (*initial abstraction*)
- S : kemampuan penyimpanan maksimum

*Initial Abstraction* merupakan semua air kehilangan sebelum terjadinya curah hujan dimulai. Kejadian ini meliputi air yang ditahan oleh tekanan permukaan, air yang diintersepsi oleh tumbuh-tumbuhan, penguapan dan infiltrasi. Nilai *Initial Abstraction* sangat variabel tetapi biasanya dihubungkan dengan lahan dan parameter tertutup. Dari beberapa hasil analisis dari pengujian daerah aliran sungai, SCS menghasilkan rumus empiris hubungan antara *Ia* dan *S* (*Technical Refence Manual HEC-HMS 2000*).

Hubungan antara nilai kemampuan penyimpanan maksimum dengan nilai dari karakteristik DAS yang diwakili oleh nilai *CN* (*Curve Number*) adalah sebagai berikut:

$$S = \frac{1000-10 CN}{CN} \text{ (English Unit)} \dots\dots\dots (2.4)$$

$$S = \frac{25400-254 CN}{CN} \text{ (SI)} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dengan :

- S : *parameter retensi*

CN : *curve number*

Nilai dari CN (*Curve Number*) bervariasi dari 100 (untuk permukaan yang digenangi air) hingga sekitar 30 (untuk permukaan tak kedap air dengan nilai infiltrasi tinggi). Nilai CN dari DAS diperkirakan sebagai suatu fungsi dari tataguna lahan, tipe tanah, tanaman penutup, kelembapan dan cara pengerjaan tanah telah dikelompokkan oleh SCS menjadi empat dengan notasi A, B, C dan D.

Tabel 2.2 Tipe tanah dan laju kehilangan menurut model SCS

Soil Group	Description	Range of loss rate (in/hr)
A	<i>Deep sand, deep loess, aggregated silts</i>	0.30-0.45
B	<i>Shallow loess, sandy loam</i>	0.15-0.30
C	<i>Clay loams, shallow sandy loam, soil low in Organic content, and soils usually high in clay</i>	0.50-0.15
D	<i>Soil that swell significatin when wet, heavy plastic clays, and certain saline soils</i>	0.00-0.05

Sumber : *Technical Refence Manual HEC-HMS (2000)*

Untuk DAS yang terdiri dari beberapa tipe tanah dan tataguna lahan maka nilai CN dengan menggunakan table yang diterbitkan oleh SCS dapat dilihat pada tabel 2.3 – 2.5.

Tabel 2.3 Nilai Curve Number untuk daerah perkotaan

Tutupan Tanah	Nilai Curve Number berdasarkan Grup Tanah			
	A	B	C	D
<b>Tipe Tutupan Tanah dan Kondisi Hidrologi</b>				
Daerah Perkotaan				
Ruang Terbuka (Lapangan berumput, Taman, Lapangan golf, Tempat pemakaman, dll.)				
Kondisi Buruk (Tutupan rumput < 50% )	68	79	86	89
Kondisi Sedang (Tutupan rumput 50% - 75% )	49	69	79	84
Kondisi Baik ( Tutupan Rumput > 75% )	39	61	74	80
Daerah Kedap Air ( <i>Impervious Area</i> )				
Tempat Parkir Beraspal, Jalan Raya,dll.	98	98	98	98
Jalan Raya				
Beraspal; trotoar dan saluran air kotor	98	98	98	98
Beraspal; selokan terbuka	83	89	92	93
Kerikil	73	85	89	91
Tanah Berlumpur	72	82	87	89
Daerah Perkotaan Berpadang Pasir				
Bentang alam gurun alami ( hanya area yang tidak kedap air	63	77	85	88
Bentang alam gurun buatan	96	96	96	96
Kawasan Perkotaan				
Bisnis dan Komersial	98	92	94	95
Industri	81	88	91	93
Kawasan Pemukiman Berdasarkan rerata ukuran luas				
1/8 acre or kurang (town house)	77	85	90	92
1/4 acre	61	75	83	87
1/3 acre	57	72	81	86
1/2 acre	54	70	80	85
1 acre	51	68	79	84
2 acre	46	65	77	82
Pengembangan daerah perkotaan				
Wilayah baru (hanya daerah tidak kedap air, tidak ada vegetasi)	77	86	91	94

Sumber : *Technical Reference Manual HEC-HMS* (2000).

Tabel 2.4 Nilai Curve Number untuk daerah pertanian 1

Tutupan Tanah		Kondisi Hidrologi	Nilai Curve Number Berdasarkan Grup Tanah			
Tipe Tutupan tanah	Perlakuan		A	B	C	D
Lahan Pertanian yang baru dibajak	Lahan gundul	-	77	86	91	94
	terdapat sisa tanaman pertanian	Buruk	76	85	90	93
		Baik	74	83	88	90
Tanaman (berbaris)	Baris	Buruk	72	81	88	91
		Baik	67	78	85	89
	Baris lurus dan Terdapat sisa tanaman pertanian	Buruk	71	80	87	90
		Baik	64	75	82	85
	Berkontur	Buruk	70	79	84	88
		Baik	65	75	82	86
	Berkontur dan terdapat sisa tanaman pertanian	Buruk	69	78	83	87
		Baik	64	74	81	85
	Berkontur dan terasering	Buruk	66	74	80	82
		Baik	62	71	78	81
	Berkontur, terasering, dan terdapat sisa tanaman	Buruk	65	73	79	81
		Baik	61	70	77	80
pertanian (padi,gandum,biji-bijian)	Baris lurus	Buruk	65	76	84	88
		Baik	63	75	83	87
	Baris lurus dan Terdapat sisa tanaman pertanian	Buruk	64	75	83	86
		Baik	60	72	80	84
	Berkontur	Buruk	63	74	82	85
		Baik	61	73	81	84
	Berkontur dan terdapat sisa tanaman pertanian	Buruk	62	73	81	84
		Baik	60	72	80	83
	Berkontur dan terasering	Buruk	63	72	79	82
		Baik	59	70	78	81
	Berkontur, terasering, dan terdapat sisa tanaman pertanian	Buruk	60	71	78	81
		Baik	58	69	77	80
pertanian (kacang-kacangan) atau pergiliran padang rumput	Baris lurus	Buruk	66	77	85	89
		Baik	58	72	81	85
	Berkontur	Buruk	64	75	83	85
		Baik	55	69	78	73
	Berkontur dan terasering	Buruk	63	73	80	83
		Baik	52	67	76	80

Sumber : *Technical Reference Manual HEC-HMS* (2000).

Tabel 2.5 Nilai Curve Number untuk daerah pertanian 2

Tutupan Tanah		Nilai Curve Number Berdasarkan Grup Tanah			
Tipe Tutupan tanah	Kondisi Hidrologi	A	B	C	D
padang rumput, dan rumput makanan ternak	Buruk	68	79	86	89
	sedang	49	69	79	84
	Baik	39	61	74	80
padang rumput (jerami)	-	30	58	71	78
	Buruk	48	67	77	83
Semak-semak	sedang	35	56	70	77
	Baik	30	48	65	73
Hutan dengan kombinasi padang rumput (anggrek dan kebun teh)	Buruk	57	73	82	86
	sedang	43	65	76	82
	Baik	32	58	72	79
Hutan	Buruk	45	66	77	83
	sedang	36	60	73	79
	Baik	30	55	70	77
Rumah-rumah pertanian, jalan raya, lumbung	-	59	74	82	86

Sumber : *Technical Reference Manual HEC-HMS* (2000).

Untuk menghitung Nilai CN rerata dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$CN_{composite} = \frac{\sum A_i CN_i}{\sum A_i} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dengan :

$CN_{composite}$  : CN (nilai penggunaan lahan) komposit dan

A : luas daerah subDAS

Menurut Azizah *et al* (2000) bahwa permukaan kedap air (*impervious surface*) penyebab yang sangat mempengaruhi dampak DAS karena peningkatan permukaan kedap air dapat menyebabkan meningkatnya limpasan selama kejadian hujan deras



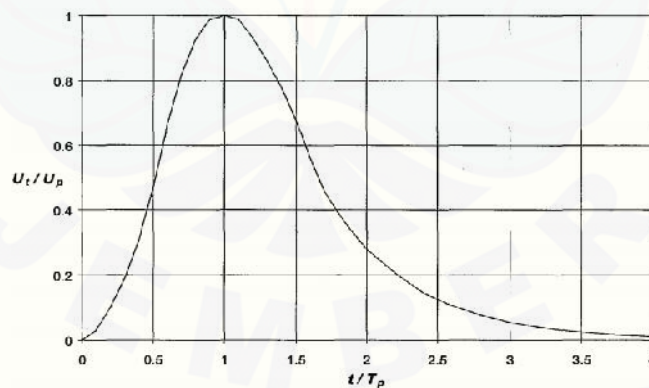
sehingga volume air di DAS sangat cepat meningkat.

### 2.7.2 Metode Perhitungan Aliran Langsung (*direct runoff*)

Aliran langsung (*direct runoff*) adalah curah hujan yang langsung tersalur aliran ke sungai diatas permukaan tanah dan aliran cepat di bawah permukaan tanah. Dalam pemodelan menggunakan HEC-HMS ini, disediakan beberapa pilihan metode yang dapat digunakan untuk perhitungan aliran langsung. Metode-metode yang ada antara lain adalah (*HEC-HMS Technical Reference Manual, 2000:56*) :

1. Hidrograf satuan sintetis Snyder
2. Hidrograf satuan SCS (*Soil Conservation Service*)
3. Hidrograf satuan Clark
4. Hidrograf satuan Clark modifikasi
5. Hidrograf satuan Kinematic Wave

Pada penelitian ini akan digunakan metode SCS *unit hydrograph*. Model *unit hydrograph* SCS merupakan model hidrograf berpuncak tunggal (*single-peaked*) dan hidrograf tanpa satuan (*dimensionless*).



Gambar 2.2 Tipikal hidrograf satuan SCS

Hidrograf SCS dapat digunakan dengan mudah, parameter utama yang dibutuhkan adalah waktu *lag* yaitu tenggang waktu (*lag time*) antara titik berat hujan efektif dengan titik berat hidrograf. Parameter ini didasarkan pada data dari beberapa

daerah tangkapan air. Tenggang waktu (*lag time*) dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut (*Wanielista, Kersten dan Eaglin, 1997*) :

$$T_c = \frac{L^{0,8} \left( \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right) + 1 \right)^{0,7}}{1900 y^{0,5}} \dots\dots\dots (2.7)$$

$$t_{lag} = 0,6 \times t_c \dots\dots\dots (2.8)$$

Dengan

L : panjang sungai utama

CN : kurva number

y : kemiringan lereng (%)

$t_{lag}$  : tenggang waktu (jam)

$t_c$  : waktu konsentrasi

### 2.7.3 Metode Perhitungan Aliran Dasar (*baseflow*)

Dua komponen utama penyusun hidrograf aliran di saluran (sungai) adalah limpasan langsung dan aliran dasar (*baseflow*). Aliran dasar (*baseflow*) merupakan aliran yang tertahan berdasarkan hujan sebelumnya yang tertampung sementara didalam tanah (*Firmansyah, 2012*)

HEC-HMS menyediakan tiga macam metode dalam penentuan *baseflow* yang dapat digunakan dalam perhitungan selanjutnya. Ketiga metode tersebut adalah (*HEC-HMS Technical Reference Manual, 2000:75*) :

1. Model konstan bulanan (*constant monthly model*)
2. Model penurunan eksponensial (*exponential recession model*)
3. Model volume tampungan linear (*linear-reservoir volume accounting model*)

Dalam perhitungannya, pada penelitian ini akan menggunakan model penurunan eksponensial (*exponential recession model*) yang berfungsi untuk menjelaskan pengatusan dari suatu tampuan alami pada suatu DAS (*Linsley et al.1982 dalam USACE 2001*).

#### 2.7.4 Kalibrasi Model

Kalibrasi adalah suatu prosedur untuk menentukan nilai-nilai parameter yang dianggap dapat mewakili keadaan DAS yang sebenarnya, berdasarkan data masukan dan keluaran yang tersedia seperti nilai CN (*Curve Number*), resapan awal (*Initial abstraction*), dan nilai *baseflow* sehingga akhirnya mendapatkan hasil yang paling mendekati dengan kondisi di lapangan. Langkah kalibrasi ini dilakukan supaya hidrograf hasil simulasi sama atau menyerupai hidrograf observasi, sehingga dalam kalibrasi ini memerlukan debit observasi dan data hujan pada rentang waktu yang sama.

Tabel 2.6. Nilai Parameter untuk Kalibrasi Model *HEC-HMS*

Model	Parameter	Min	Max
SCS Loss	Initial abstraction	0 mm	500 mm
	Curve number	1	100
Clark UH	Time of concentration	0,1 hr	500 hr
		0 hr	150 hr
Snyder's UH	Storage coefficient	0,1 hr	500
	Lag	0,1	1
SCS UH		0,1	3000 min
Basefow	Lag	min	100000 m <sup>3</sup> /s
	Initial baseflow	0	-
	Recession factor	m <sup>3</sup> /s	1
Muskingum Ratio	Flow-to-peak ratio	0,000	150 hr
	K	011	0,5
	X	0	100
	Number of steps	0,1	
		0	
		1	

Sumber: *HEC-HMS Technical Reference Manual (2000)*

### 2.7.5 Validasi Model

Model dikatakan baik apabila model tersebut akurasiya bagus dan memenuhi kriteria dari pemodelan (Hidayah, 2011). Penentuan akurasi model terbaik dapat diukur berdasarkan besarnya nilai *error* yang dihasilkan antara hasil simulasi model terhadap data observasi. Uji keandalan model dimaksudkan untuk mengetahui tingkat keakuratan suatu model. Uji keandalan model debit simulasi ini didasarkan dengan membandingkan debit simulasi dan debit pengukuran menggunakan indek efisiensi (Nash dan Sutcliffe, 1970).

$$EI = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_o - Q_s)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_o - Q_a)^2} \dots \dots \dots (2.9)$$

dengan :

*EI* : Indek efisiensi

*Q<sub>o</sub>* : Debit pengukuran (observasi)

*Q<sub>s</sub>* : Debit simulasi (model)

*Q<sub>a</sub>* : Debit rata-rata pengukuran

Besarnya nilai EI menurut metode Nash terbagi dalam tiga kelompok yaitu:

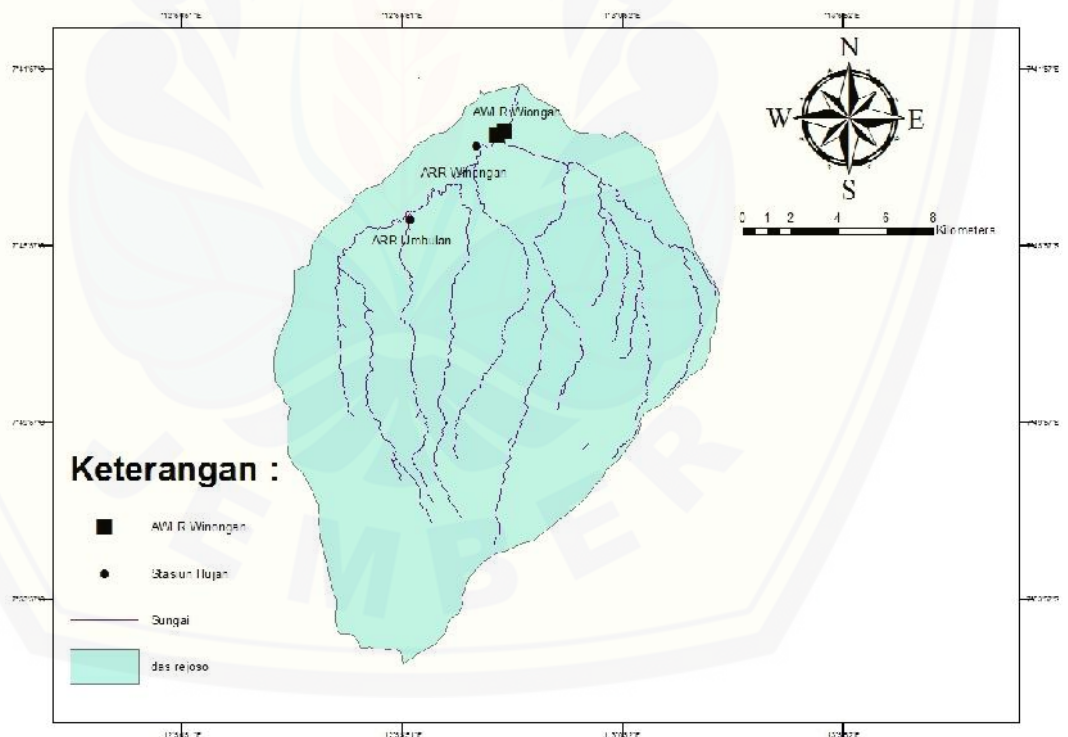
- a. Tingkat akurasi rendah jika  $EI \leq 0,50$
- b. Tingkat akurasi sedang jika  $0,50 < EI < 0,70$
- c. Tingkat akurasi tinggi jika  $EI \geq 0,7$

### BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Lokasi Penelitian

Secara administrasi lokasi penelitian terletak di Daerah Aliran Sungai (DAS) Rejoso Kabupaten Pasuruan, meliputi beberapa Kecamatan, yaitu Kecamatan Rejoso, Grati, Winongan, Lumbang, Puspo, dan umbulan. DAS Rejoso memiliki 2 stasiun hujan jam-jaman, yaitu Winongan dan Umbulan serta debit AWLR jam-jaman yang berada di kecamatan Winongan.

Secara Geografis DAS Rejoso dengan titik kontrol(outlet) sta Awlr winongan mempunyai luas sebesar 277,06 km<sup>2</sup>, yang terletak pada 112° 33' 55" hingga 113°30'37" Bujur Timur dan antara 7° 32' 34" hingga 8° 30' 20" Lintang Selatan. Lokasi DAS Rejoso dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Gambar lokasi DAS Rejoso

## 3.2 Pengumpulan dan Pengelolaan Data

### 3.2.1 Pengumpulan data

Data yang digunakan dalam penelitian ini antara lain karakteristik DAS, curah hujan jam-jaman pada sta Umbulan dan Winongan dan debit jam-jaman pada AWLR Winongan yang berasal dari UPT PSDA Pasuruan.

### 3.2.2 Pengolahan data

Pengolahan data awal merubah data curah hujan jam-jaman perstasiun menjadi data curah hujan wilayah menggunakan *polygon thiesen* kemudian akan dilakukan pemodelan HEC-HMS dengan menggunakan data curah hujan dan debit jam-jaman serta data karakteristik DAS. Setelah pemodelan selesai akan dilakukan kalibrasi menggunakan data *Automatic Water Level Recorder (AWLR)* sebagai tolak ukur nilai parameter

Langkah terakhir adalah dengan melakukan validasi model pada nilai paramater hasil kalibrasi.

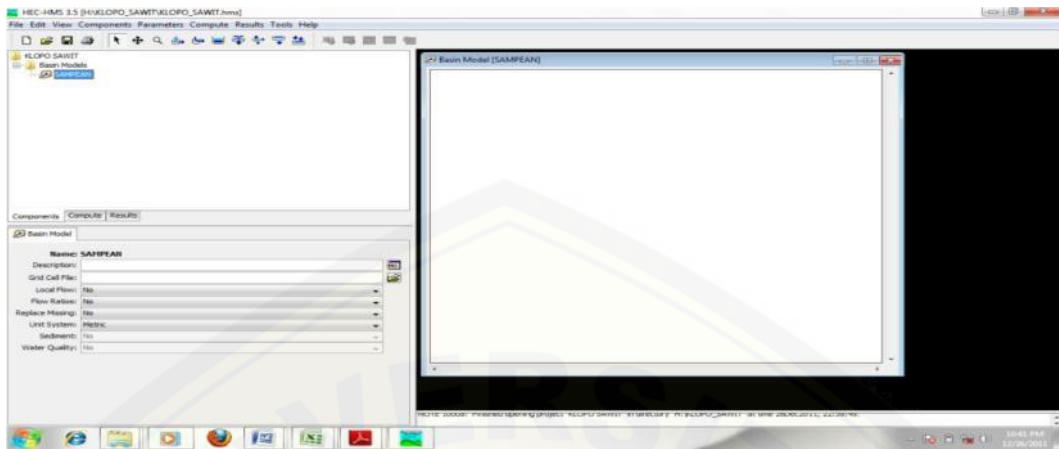
## 3.3 Pemodelan Banjir dengan HEC-HMS

Langkah yang dilakukan dalam pemodelan Banjir dengan HEC-HMS adalah sebagai berikut :

### a. Menyusun Parameter dan *Initial Condition*

Komponen yang akan dipilih dalam menggambar objek ini berupa *basin models* dan *meteorologic models*.

### 1) Basin Models

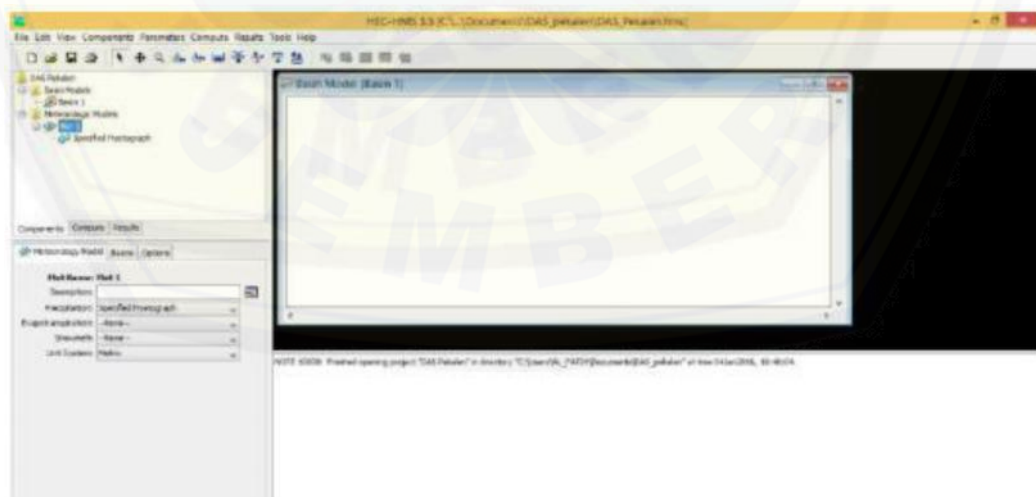


Gambar 3.2 Tampilan Persiapan Menggambar Objek Parameter

*Basin Models* adalah langkah awal dalam pengoperasian HEC-HMS karena digunakan untuk melakukan penggambaran objek. Setelah selesai penggambaran objek, selanjutnya diisikan parameter awalnya yaitu *loss method* menggunakan *SCS curve number*, *transform method* menggunakan *SCS unit hydrograph*, dan *baseflow method* menggunakan *constant monthly*.

### 2) Meteorologic Models

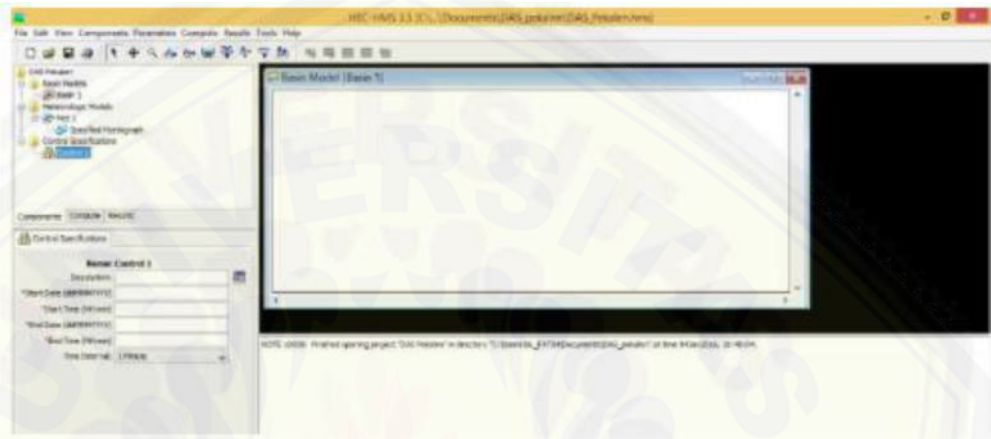
Meteorologi model berisi data sebaran stasiun hujan. Tampilan pembuatan *Meteorologic Models* dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Tampilan Pembuatan *Meteorologic Models*

### b. Control Specifications

*Control specifications* memuat input waktu kapan dimulai dan berakhirnya eksekusi *running* dari program serta interval waktu yang diinginkan. Tampilan pembuatan *Control specifications* dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Tampilan Pembuatan *Control Specifications*

### c. Time -Series Data

Melalui *Time-Series Data Manager* ada beberapa tipe data yang akan digunakan dalam aplikasi model HEC-HMS. Data tersebut antara lain adalah data hujan dan data debit. Tampilan input *Time-Series Data* dapat dilihat pada Gambar 3.5 dan 3.6.



Gambar 3.5 Tampilan Pembuatan *Time -Series Data* Hujan





Gambar 3.6 Tampilan Pembuatan *Time -Series* Data Debit

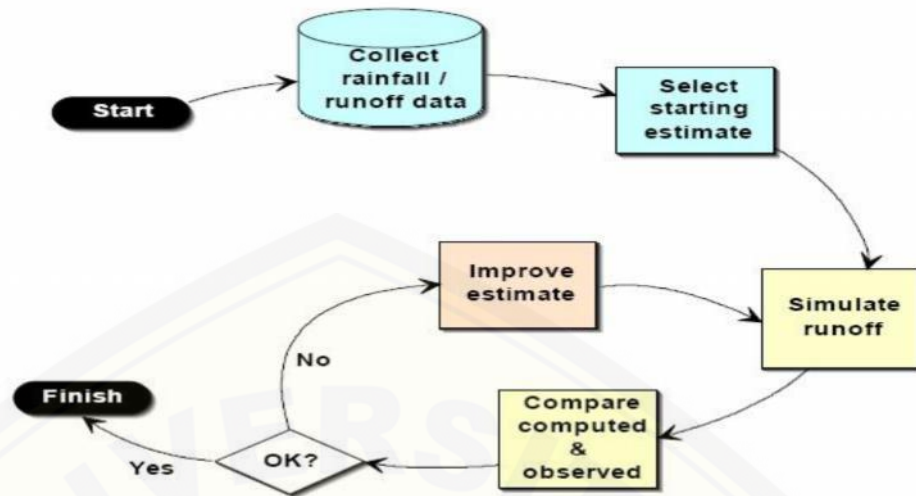
#### d. *Running Model*

*Running model* merupakan proses untuk menjalankan program HEC-HMS sehingga dapat dilihat hasilnya baik dalam bentuk tabel maupun grafik.

#### e. Proses Kalibrasi

Proses kalibrasi adalah pengecekan terhadap terhadap hasil pemodelan HEC-HMS. Pengecekan dilakukan dengan tujuan agar hasil pemodelan sama atau menyerupai hidrograf terukur, sehingga proses kalibrasi memerlukan debit terukur dan data hujan pada rentang waktu yang sama. Dalam penelitian ini waktu yang digunakan dalam proses kalibrasi adalah pada tanggal 03 Maret 2007. Proses kalibrasi ini, diharapkan dapat menentukan nilai parameter-parameter dari karakteristik DAS daerah studi seperti nilai Lag time, Luasan daerah kedap air (*impervious*) atau nilai *baseflow* sehingga akhirnya mendapatkan hasil yang paling mendekati dengan kondisi dilapangan.

Pada proses kalibrasi parameter yang digunakan sebagai acuan adalah nilai debit banjir yang diperoleh dari pencatatan AWLR (*automatic water level recorder*) atau alat pencatat debit otomatis. Kemudian nilai debit banjir AWLR akan dibandingkan dengan nilai debit banjir yang dihasilkan melalui pemodelan HEC-HMS.

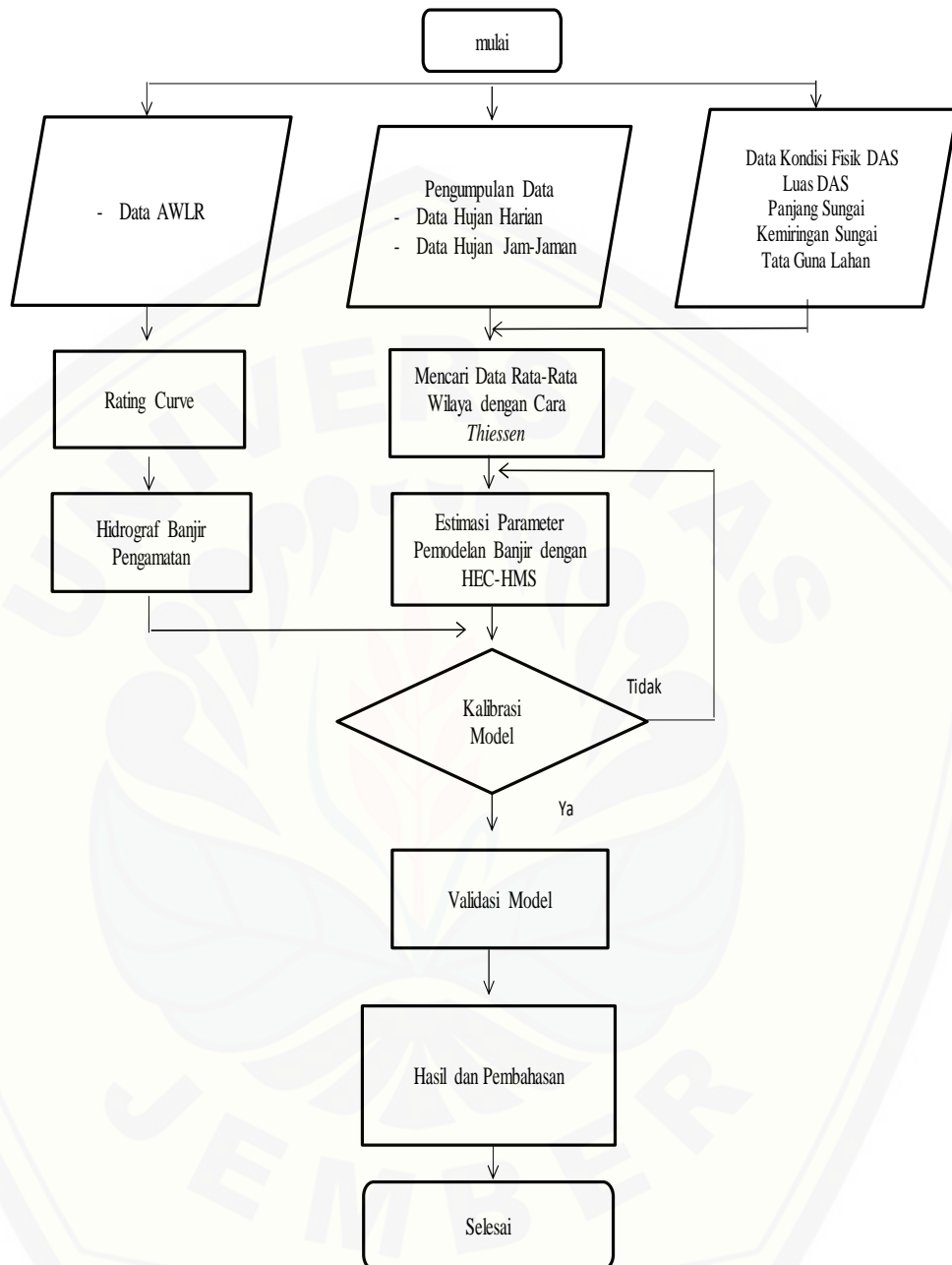


Gambar 3.7 Prosedur Kalibrasi Model HEC-HMS

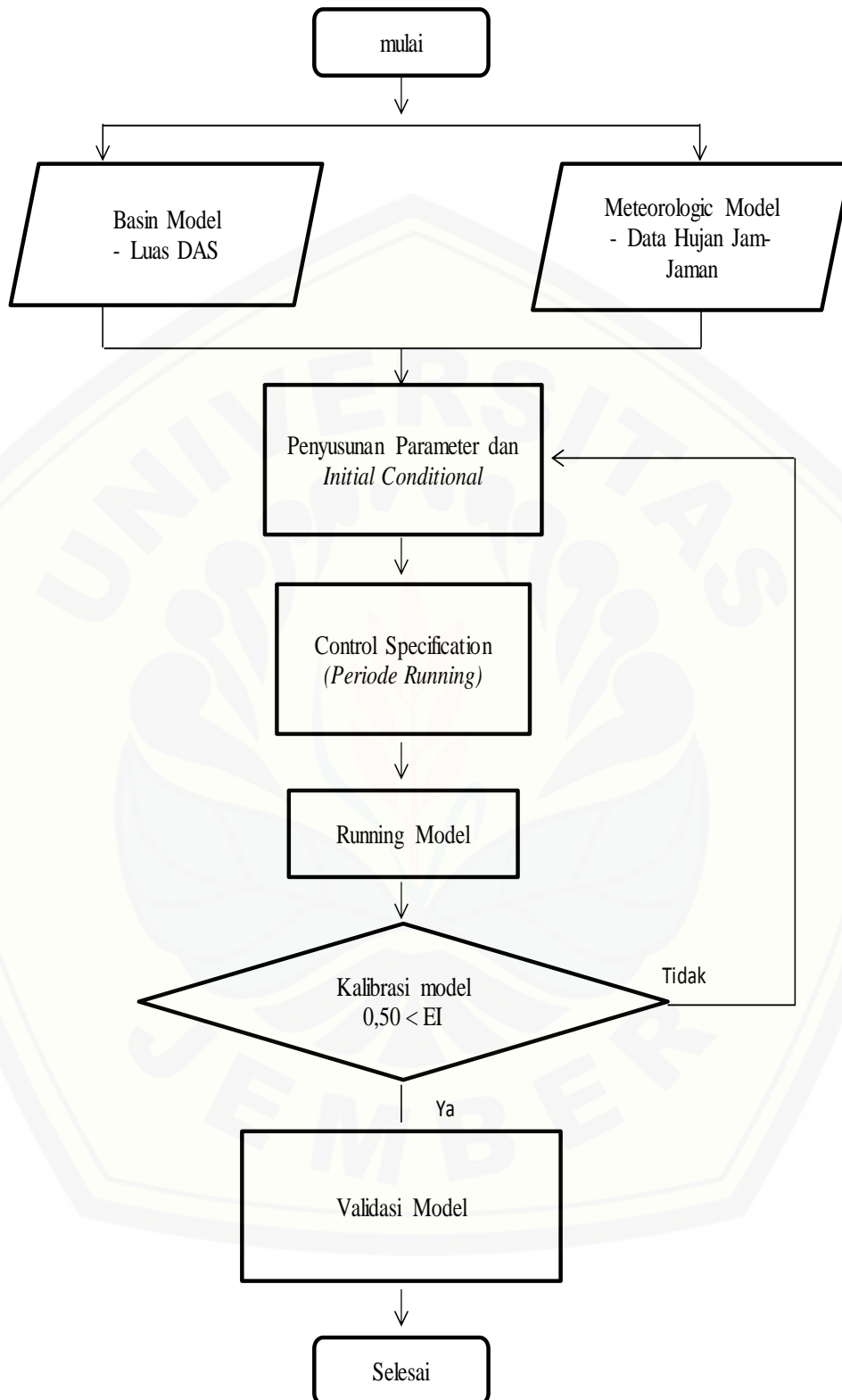
f. Validasi Model

Proses Validasi model akan dilakukan pada beberapa kurun waktu yaitu pada tanggal 09 Februari 2007, 23 Maret 2007, 04 April 2007 serta 12 April 2007, kurun waktu tersebut dipilih karena memiliki debit sungai terbesar. Uji validasi model dimaksudkan untuk mengetahui tingkat keakuratan suatu model. Penentuan akurasi model terbaik dapat diukur berdasarkan besarnya nilai *error* yang dihasilkan antara hasil simulasi model terhadap data observasi. Uji keandalan model debit simulasi ini didasarkan dengan membandingkan debit simulasi dan debit pengukuran menggunakan indek efisiensi (Nash dan Sutcliffe, 1970). Syarat tingkat keakuratan suatu model dapat dilihat pada persamaan 2.9.

3.4. Flowchart



Gambar 3.8. Diagram Alur Rencana Penelitian



Gambar 3.9 . Diagram Alur Program HEC-HMS

## BAB.5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan

sebagai berikut:

1. Hasil kalibrasi pemodelan pada DAS Rejoso dengan input data hujan jam-jaman dan data debit jam-jaman tanggal 03 Maret 2007 sampai 04 Maret 2007 dengan model *HEC-HMS* setelah dilakukan proses kalibrasi dan optimasi didapatkan debit Puncak pada debit simulasi terjadi pada tanggal 03 Maret 2007 sampai 04 Maret 2007 jam 17.00 dengan nilai 115,3 M<sup>3</sup>/S sedangkan pada debit observasi terjadi pada jam 17.00 dengan nilai sebesar 122,1 M<sup>3</sup>/S dengan nilai NASH sebesar 0,847. Nilai tersebut menunjukkan akurasi tinggi antara debit simulasi dengan debit observasi yang dilakukan.
2. Hasil Validasi Pemodelan banjir pada DAS Rejoso dengan input data hujan jam-jaman dan debit jam-jaman didapatkan nilai nash tertinggi adalah tanggal 03 April – 04 April 2007 dengan nilai nash sebesar 0,840. Sedangkan nilai nash terkecil adalah tanggal 23 Maret – 24 Maret 2007 dengan nilai nash sebesar 0,619.

#### 5.2 Saran

Adapun saran yang ditujukan untuk penelitian selanjutnya guna untuk mengembangkan penelitian ini, antara lain :

1. Pemodelan banjir ini menggunakan metode SCS CN untuk perhitungannya. Oleh karena itu peneliti selanjutnya dapat menggunakan metode yang lain pada *loss method*, *direct runoff* dan *baseflow*. Sehingga hasilnya dapat dijadikan sebagai bahan perbandingan.
2. Nilai parameter pada penelitian dapat digunakan untuk estimasi debit banjir pada DAS Rejoso menggunakan periode/waktu hujan yang lain.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Affandi, N, A. -----.*Pemodelan Hujan-Debit Menggunakan Model HEC-HMS di DAS Sampean Baru*. Surabaya: Institut Teknologi Surabaya
- Asdak C. 1995, *Hidrologi dan Pengolahan Daerah Aliran Sungai*”, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Firmansyah,A. 2012. *Perbandingan Pemodelan Hujan Aliran Berdasarkan Kerapatan Spasial Hujan Menggunakan Mudrain (Studi Kasus Sub DAS Klopo Sawit DAS Sampean)*, Jember: Universitas Jember.
- Hidayah, E. 2011. *Model Disagregasi Data Hujan Temporal dengan Pendekatan Bayesian sebagai Input Pemodelan Banjir*. Surabaya: ITS.
- Hidayah, E. 2012. Uji Keandalan Model Penguraian Data Hujan (Disagregasi) Untuk Pemodelan Hidrograf Banjir di DAS Kelapa Sawit. *Jurnal Teknik Pengairan* .3(2): 97-101
- Koutsoyiannis, D. 2001. *Multivariate Disaggregation of Rainfall*. Greece. <http://www.itia.ntua.gr>
- Permadani, A 2016. *Pemodelan Hujan-Debit Menggunakan Model HEC-HMS di DAS Pekalen Kabupaten Probolinggo*, Jember: Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Risyanto, 2007. Aplikasi HEC-HMS Untuk Perkiraan Hidrograf Aliran di DAS Ciliwung Bagian Hulu. Skripsi. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Soemarto, C.D. 1987. *Hidrologi Teknik*. Jakarta: Gramedia Pustaka.
- Sri Harto. 2000. *Hidrologi Teori Masalah Penyelesaian*. Jakarta: Nafiri.
- Suhartanto, E. 2008. *Panduan HEC-HMS dan Aplikasinya di Bidang Teknik Sumberdaya Air*. Malang: Penerbit Citra.
- Suripin. 2004. *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Yogyakarta: Andi Offset.
- USACE. 2000. *Hydrologic Modeling System HEC-HMS Technical References Manual US Army Corps of Engineers*.
- Universitas Jember, 2016. *Pedoman Penulisan Karya Ilmiah*. Jember: UPT Penerbitan Universitas Jember
- Wangkar, Iwan M., 2008. *Estimasi Curah Hujan Maksimum Boleh Jadi Di Daerah Aliran Sungai Brantas Dengan Menggunakan Metode Hersfield..* Tidak Diterbitkan. Skripsi. Jakarta: Universitas Bina Nusantara.

Yuliar, I.A. 2015. Optimasi Parameter Model Clark Unit Hydrograph Pada DAS Deluang dan Lobawang. Skripsi. Jember: Universitas Jember.



## Lampiran A Data Curah Hujan

## • Data Curah Hujan Jam-jaman Bulan Maret

Tanggal	jam	Winongan	Umbulan	Hujan Rerata					
				Thiesen (mm)					
1	1	0	0	0.0	2	1	0	0	0.0
	2	0	0	0.0		2	0	0	0.0
	3	0	0	0.0		3	0	0	0.0
	4	0	0	0.0		4	0	0	0.0
	5	0	0	0.0		5	0	0	0.0
	6	0	0	0.0		6	0	0	0.0
	7	0	0	0.0		7	0	0	0.0
	8	0	0	0.0		8	0	0	0.0
	9	0	0.3	0.2		9	0	0.3	0.2
	10	0	0	0.0		10	0	0	0.0
	11	0	0	0.0		11	0	0	0.0
	12	0	0	0.0		12	0	0	0.0
	13	0	0	0.0		13	0	0	0.0
	14	0	0	0.0		14	0	0	0.0
	15	0	0.5	0.4		15	0	0	0.0
	16	0	0	0.0		16	0	0	0.0
	17	0	0	0.0		17	0	0	0.0
	18	0	0	0.0		18	0	0	0.0
	19	0	0	0.0		19	0	0	0.0
	20	0	0	0.0		20	0	0	0.0
	21	0	0	0.0		21	0	0	0.0
	22	0	0	0.0		22	0	0	0.0
	23	0	0	0.0		23	0	0	0.0
	24	0	0	0.0		24	0	0	0.0
3	1	0	0	0.0	4	1	0	0	0.0
	2	0	0	0.0		2	0	0	0.0
	3	0	0	0.0		3	0	0	0.0
	4	0	0	0.0		4	0	0	0.0
	5	0		0.0		5	0	0	0.0
	6	0	0	0.0		6	0	0	0.0
	7	0	0	0.0		7	0	0	0.0
	8	0	0	0.0		8	0	0	0.0
	9	0	0	0.0		9	0	0.2	0.1
	10	0	0	0.0		10	0	0.9	0.7
	11	0	0.8	0.6		11	0	0	0.0



	12	0	0	0.0		12	0	0.3	0.2
	13	0	0	0.0		13	0	11.7	8.5
	14	0	0	0.0		14	0	1	0.7
	15	0	0	0.0		15	0	15.5	11.2
	16	0	0	0.0		16	0	2	1.4
	17	0.5	0.5	38.6		17	0	0	0.0
	18	0	0	0.0		18	0	0	0.0
	19	0	0	0.0		19	0	0	0.0
	20	0	0	0.0		20	0	0	0.0
	21	0	0	0.0		21	0	0	0.0
	22	0	0	0.0		22	0	0	0.0
	23	0	0	0.0		23	0	0	0.0
	24	0	0	0.0		24	0	0	0.0
	1	0	0	0.0		1	0	0	0.0
	2	0	0	0.0		2	0	0	0.0
	3	0	0	0.0		3	0	0	0.0
	4	0	0	0.0		4	0	0	0.0
	5	0	0	0.0		5	0	0	0.0
	6	0	0	0.0		6	0	0	0.0
	7	0	0	0.0		7	0	0	0.0
	8	0	0	0.0		8	0	0	0.0
	9	0	0	0.0		9	0	0	0.0
	10	0	0	0.0		10	0	0	0.0
	11	0	0	0.0		11	0	0	0.0
5	12	0	0	0.0	6	12	0	0	0.0
	13	0	0	0.0		13	0	0	0.0
	14	0	0	0.0		14	0	0	0.0
	15	0	0	0.0		15	0	0	0.0
	16	0	0	0.0		16	0	0	0.0
	17	0	0	0.0		17	0	0	0.0
	18	0	0	0.0		18	0	0	0.0
	19	0	0	0.0		19	0	0	0.0
	20	0	0	0.0		20	0	0	0.0
	21	0	0	0.0		21	0	0	0.0
	22	0	0	0.0		22	0	0	0.0
	23	0	0	0.0		23	0	0	0.0
	24	0	0	0.0		24	0	0	0.0
7	1	0	0	0.0	8	1	0	0	0.0
	2	0	0	0.0		2	0	0	0.0
	3	0	0	0.0		3	0	0	0.0
	4	0	0	0.0		4	0	0	0.0

	5	0	0	0.0		5	0	0	0.0
	6	0	0	0.0		6	0	0	0.0
	7	0	0	0.0		7	0	0	0.0
	8	0	0	0.0		8	0	0	0.0
	9	0	0	0.0		9	0	0	0.0
	10	0	0	0.0		10	18.1	0	1384.5
	11	0	0	0.0		11	0	19.4	14.0
	12	0	0	0.0		12	0	0	0.0
	13	0	0	0.0		13	0	0	0.0
	14	0	0	0.0		14	0	0	0.0
	15	0	0	0.0		15	0	0	0.0
	16	0	0	0.0		16	0	0	0.0
	17	0	0	0.0		17	0	0	0.0
	18	0	0	0.0		18	0	0	0.0
	19	0	0	0.0		19	0	0	0.0
	20	0	0	0.0		20	0	0	0.0
	21	0	0	0.0		21	0	0	0.0
	22	0	0	0.0		22	0	0	0.0
	23	0	0	0.0		23	0	0	0.0
	24	0	0	0.0		24	0	0	0.0
	1	0	0	0.0		1	0	0	0.0
	2	0	0	0.0		2	0	0	0.0
	3	0	0	0.0		3	0	0	0.0
	4	0	0	0.0		4	0	0	0.0
	5	0	0	0.0		5	0	0	0.0
	6	0	0	0.0		6	0	0	0.0
	7	0	0	0.0		7	0	0	0.0
	8	0	0	0.0		8	0	0	0.0
	9	0.5	0	38.2		9	0	0	0.0
	10	0	0	0.0		10	0	0	0.0
9	11	0	0	0.0	10	11	0	0	0.0
	12	0	0	0.0		12	0	0	0.0
	13	0	0	0.0		13	0	0	0.0
	14	0	0	0.0		14	0	0	0.0
	15	0	0	0.0		15	0	0	0.0
	16	0	4.5	3.3		16	0	0	0.0
	17	0	0	0.0		17	0	0	0.0
	18	0	0	0.0		18	0	0	0.0
	19	0	14.1	10.2		19	0	0	0.0
	20	0	5	3.6		20	0	0	0.0
	21	0	0	0.0		21	0	0	0.0

	22	0	0	0.0		22	0	0	0.0
	23	0	0	0.0		23	0	0	0.0
	24	0	0	0.0		24	0	0	0.0
11	1	0	0	0.0	12	1	0	0	0.0
	2	0	0	0.0		2	0	0	0.0
	3	0	0	0.0		3	0	0	0.0
	4	0	0	0.0		4	0	0	0.0
	5	0	0	0.0		5	0	0	0.0
	6	0	0	0.0		6	0	0	0.0
	7	0	0	0.0		7	0	0	0.0
	8	0	0	0.0		8	0	0	0.0
	9	0	0	0.0		9	0	0	0.0
	10	0	0	0.0		10	0	0	0.0
	11	0	0	0.0		11	0	0	0.0
	12	0	0	0.0		12	0	0	0.0
	13	0	0	0.0		13	0	0	0.0
	14	0	0	0.0		14	0	0	0.0
	15	0	0	0.0		15	0	14.5	10.5
	16	0	0	0.0		16	0	2.5	1.8
	17	0	0	0.0		17	0	0	0.0
	18	0	0	0.0		18	0	0	0.0
	19	0	0	0.0		19	0	0	0.0
	20	0	0	0.0		20	0	0	0.0
	21	0	0	0.0		21	0	0	0.0
	22	0	0	0.0		22	0	0	0.0
	23	0	0	0.0		23	0	0	0.0
	24	0	0	0.0		24	0	0	0.0
13	1	0	0	0.0	14	1	0	0	0.0
	2	0	0	0.0		2	0	0	0.0
	3	0	0	0.0		3	0	0	0.0
	4	0	0	0.0		4	0	0	0.0
	5	0	0	0.0		5	0	0	0.0
	6	0	0	0.0		6	0	0	0.0
	7	9.7	0	742.0		7	0	0	0.0
	8	0	0.3	0.2		8	0	0	0.0
	9	0	0	0.0		9	0	0	0.0
	10	0	0	0.0		10	0	0	0.0
	11	0	0	0.0		11	0.3	0	22.9
	12	0	0	0.0		12	0	0.8	0.6
	13	0	17.3	12.5		13	0	0	0.0
	14	0	0	0.0		14	0	0	0.0

	15	0	0	0.0		15	0	0	0.0
	16	0	0	0.0		16	0	0	0.0
	17	0	0	0.0		17	0.1	0.3	7.9
	18	0	0	0.0		18	0.1	0.2	7.8
	19	0	0	0.0		19	0.1	0.1	7.7
	20	0	0	0.0		20	0	0	0.0
	21	0	0	0.0		21	0	0	0.0
	22	0	0	0.0		22	0	0	0.0
	23	0	0	0.0		23	0.1	0	7.6
	24	0	0	0.0		24	0	0	0.0
15	1	0	0	0.0	16	1	0	0	0.0
	2	0	0	0.0		2	0	0	0.0
	3	0	0	0.0		3	0	0	0.0
	4	0	0	0.0		4	0	0	0.0
	5	0	0	0.0		5	0	0	0.0
	6	0	0	0.0		6	0	0	0.0
	7	0	0	0.0		7	0	0	0.0
	8	8.5	0	650.2		8	0	2.3	1.7
	9	0	0	0.0		9	0	0	0.0
	10	0	0	0.0		10	0	0.3	0.2
	11	0	0	0.0		11	0	0	0.0
	12	0	0	0.0		12	0	0	0.0
	13	0	0	0.0		13	0	0	0.0
	14	0	0	0.0		14	0	0	0.0
	15	0	0	0.0		15	0	0	0.0
	16	0	0	0.0		16	0	0.4	0.3
	17	0	0	0.0		17	0	0	0.0
	18	0	0	0.0		18	0	0	0.0
	19	0	0	0.0		19	0	0	0.0
	20	0	0	0.0		20	0	0	0.0
	21	0	0	0.0		21	0	0	0.0
	22	0	0	0.0		22	0	0	0.0
	23	0	0	0.0		23	0	0	0.0
	24	0	0	0.0		24	0	0	0.0
17	1	0	0	0.0	18	1	0	0	0.0
	2	0	0	0.0		2	0	0	0.0
	3	0	0	0.0		3	0	0	0.0
	4	0	0	0.0		4	0	0	0.0
	5	0	0	0.0		5	0	0	0.0
	6	0	0	0.0		6	0	0	0.0
	7	0	0	0.0		7	0	0	0.0

	8	0	0	0.0		8	0	0	0.0
	9	0	0	0.0		9	0	0	0.0
	10	0	0	0.0		10	0	0	0.0
	11	0	0	0.0		11	0	0	0.0
	12	0	0	0.0		12	0	0	0.0
	13	0	0	0.0		13	0	0	0.0
	14	0	0	0.0		14	0	0	0.0
	15	0	0	0.0		15	0	0	0.0
	16	0	0	0.0		16	0	0	0.0
	17	0	0	0.0		17	0	0	0.0
	18	0	0	0.0		18	0	0	0.0
	19	0	0	0.0		19	0	0	0.0
	20	0	0	0.0		20	0	0	0.0
	21	0	0	0.0		21	0	0	0.0
	22	0	0	0.0		22	0	0	0.0
	23	0	0	0.0		23	0	0	0.0
	24	0	0	0.0		24	0	0	0.0
19	1	0	0	0.0	20	1	0	0	0.0
	2	0	0	0.0		2	0	0	0.0
	3	0	0	0.0		3	0	0	0.0
	4	0	0	0.0		4	0	0	0.0
	5	0	0	0.0		5	0	0	0.0
	6	0	0	0.0		6	0	0	0.0
	7	0	0	0.0		7	0	0	0.0
	8	0	0	0.0		8	0	0	0.0
	9	0	0	0.0		9	0	0	0.0
	10	0	0	0.0		10	0	0	0.0
	11	0	0	0.0		11	0	0	0.0
	12	0	0	0.0		12	0	0	0.0
	13	0	0	0.0		13	0	0	0.0
	14	0	0	0.0		14	0	0	0.0
	15	13.1	0	1002.0		15	0	0	0.0
	16	2.8	0	214.2		16	0	0	0.0
	17	0	0	0.0		17	0	0	0.0
	18	0	0	0.0		18	0.4	0	30.6
	19	0	0	0.0		19	0	0	0.0
	20	0	0	0.0		20	0.3	0	22.9
	21	0	0	0.0		21	0	0	0.0
	22	0.7	0	53.5		22	0	0	0.0
	23	0	0	0.0		23	0	0	0.0
	24	0	0	0.0		24	0	0	0.0

21	1	0	0	0.0	22	1	0	0	0.0
	2	0	0	0.0		2	0	0	0.0
	3	0	0	0.0		3	0	0	0.0
	4	0	0	0.0		4	0	0	0.0
	5	0	0	0.0		5	0	0	0.0
	6	0	0	0.0		6	0	0	0.0
	7	0.4	0	30.6		7	0	0	0.0
	8	0	0	0.0		8	0	0	0.0
	9	0	0	0.0		9	0	0	0.0
	10	0	0	0.0		10	0	0	0.0
	11	0	0	0.0		11	0	0	0.0
	12	0	0	0.0		12	0	0	0.0
	13	0	0	0.0		13	0.1	0	7.6
	14	0	0	0.0		14	0	0	0.0
	15	13.7	0	1047.9		15	0	0	0.0
	16	0	0	0.0		16	0	0	0.0
	17	0	0	0.0		17	0	0	0.0
	18	0	0	0.0		18	0	0	0.0
	19	0	0	0.0		19	0	0	0.0
	20	0	0	0.0		20	0	0	0.0
	21	0	0	0.0		21	0	0	0.0
	22	0	0	0.0		22	0	0	0.0
	23	0	0	0.0		23	0	0	0.0
	24	0	0	0.0		24	0	0	0.0
23	1	0	0	0.0	24	1	0	0	0.0
	2	0	0	0.0		2	0	0	0.0
	3	0	0	0.0		3	0	0	0.0
	4	0	0	0.0		4	0	0	0.0
	5	0	0	0.0		5	0	0	0.0
	6	0	0	0.0		6	0	0	0.0
	7	0	0	0.0		7	0	0	0.0
	8	0	0	0.0		8	0	0	0.0
	9	0	0	0.0		9	0	0	0.0
	10	0	0	0.0		10	0	0	0.0
	11	0.5	0	38.2		11	0	0	0.0
	12	0	0	0.0		12	0	0	0.0
	13	0	0	0.0		13	0	0	0.0
	14	0	0	0.0		14	0	0	0.0
	15	0	0	0.0		15	0	0	0.0
	16	0	0	0.0		16	0	0	0.0
	17	0	0	0.0		17	0	0	0.0

	18	0	0	0.0		18	0	0	0.0
	19	0	0	0.0		19	0	0	0.0
	20	0	0	0.0		20	0	0	0.0
	21	0	0	0.0		21	0	0	0.0
	22	0	0	0.0		22	0	0	0.0
	23	0	0	0.0		23	0	0	0.0
	24	0	0	0.0		24	0	0	0.0
25	1	0	0	0.0	26	1	0	0	0.0
	2	0	0	0.0		2	0	0	0.0
	3	0	0	0.0		3	0	0	0.0
	4	0	0	0.0		4	0	0	0.0
	5	0	0	0.0		5	0	0	0.0
	6	0	0	0.0		6	0	0	0.0
	7	0	0	0.0		7	0	0	0.0
	8	0	0	0.0		8	0	0	0.0
	9	0	0	0.0		9	0	0	0.0
	10	0	0	0.0		10	0	0	0.0
	11	0	0	0.0		11	0	0	0.0
	12	0	0	0.0		12	0	0	0.0
	13	0	0	0.0		13	0	0	0.0
	14	0	0	0.0		14	0	0	0.0
	15	0	0	0.0		15	0	0	0.0
	16	0	0	0.0		16	0	0	0.0
	17	0	0	0.0		17	0	0	0.0
	18	0	0	0.0		18	0	0	0.0
	19	0	0	0.0		19	0	0	0.0
	20	0	0	0.0		20	0	0	0.0
	21	0	0	0.0		21	0	0	0.0
	22	0	0	0.0		22	0	0	0.0
	23	0	0	0.0		23	0	0	0.0
	24	0	0	0.0		24	1.8	0	137.7
27	1	0	0	0.0	28	1	0	0	0.0
	2	0	0	0.0		2	0	0	0.0
	3	0	0	0.0		3	0	0	0.0
	4	0	0	0.0		4	0	0	0.0
	5	0	0	0.0		5	0	0	0.0
	6	0	0	0.0		6	0	0	0.0
	7	0	0	0.0		7	0	0	0.0
	8	0	0	0.0		8	0	0	0.0
	9	0	0	0.0		9	0	0	0.0
	10	0	0	0.0		10	0	0	0.0

	11	0	0	0.0		11	0	0	0.0
	12	0	0	0.0		12	0	0	0.0
	13	0	0	0.0		13	0	0	0.0
	14	0	0	0.0		14	0	0	0.0
	15	1.9	0	145.3		15	0	0	0.0
	16	0	0	0.0		16	0	0	0.0
	17	0	0	0.0		17	0	0	0.0
	18	0	0	0.0		18	0	0	0.0
	19	0	0	0.0		19	0	0	0.0
	20	0	0	0.0		20	0	0	0.0
	21	0	0	0.0		21	0	0	0.0
	22	0	0	0.0		22	0	0	0.0
	23	0	0	0.0		23	0	0	0.0
	24	0	0	0.0		24	0	0	0.0
29	1	0	0	0.0	30	1	0	0	0.0
	2	0	0	0.0		2	0	0	0.0
	3	0	0	0.0		3	0	0	0.0
	4	0	0	0.0		4	0	0	0.0
	5	0	0	0.0		5	0	0	0.0
	6	0	0	0.0		6	0	0	0.0
	7	0	0	0.0		7	0	0	0.0
	8	0	0	0.0		8	0	0	0.0
	9	0	0	0.0		9	0	0	0.0
	10	0	0	0.0		10	0	0	0.0
	11	0	0	0.0		11	0	0	0.0
	12	0	0	0.0		12	0	0	0.0
	13	0	0	0.0		13	0	0	0.0
	14	0	0	0.0		14	0	0	0.0
	15	0	0	0.0		15	0	0	0.0
	16	0	0	0.0		16	0	0	0.0
	17	0	0	0.0		17	0	0	0.0
	18	0	0	0.0		18	0	0	0.0
	19	0	0	0.0		19	0	0	0.0
	20	0	0	0.0		20	0	0	0.0
	21	0	0	0.0		21	0	0	0.0
	22	0	0	0.0		22	0	0	0.0
	23	0	0	0.0		23	0	0	0.0
	24	0	0	0.0		24	0	0	0.0

31	1	0	0	0.0
	2	0	0	0.0



	3	0	0	0.0
	4	0	0	0.0
	5	0	0	0.0
	6	0	0	0.0
	7	0	0	0.0
	8	0	0	0.0
	9	0	0	0.0
	10	0	0	0.0
	11	0	0	0.0
	12	0	0	0.0
	13	0	0	0.0
	14	0	0	0.0
	15	0	0	0.0
	16	0	2.5	1.8
	17	0	0	0.0
	18	0	0	0.0
	19	0	0	0.0
	20	0	0	0.0
	21	0	0	0.0
	22	0	0	0.0
	23	0	0	0.0
	24	0	0	0.0

- **Data Curah Hujan Jam-jaman untuk Validasi**

- **09 Februari 2007**

Tanggal	jam	Winongan	Umbulan	Hujan Rerata Thiesen (mm)
	1	0	0	0.0
	2	0	0	0.0
	3	0	0	0.0
	4	0	0	0.0
	5	0	0	0.0
1	6	15.2	26.5	118.1
	7	0.5	5.8	0.0
	8	0	0	0.0
	9	0	0	0.0
	10	0	0	0.0
	11	0	0	0.0
	12	0	0	0.0

	13	0	0	0.0
	14	0	0	0.0
	15	0	0	0.0
	16	0	0	0.0
	17	0	0	0.0
	18	0	0	0.0
	19	0	0	0.0
	20	0	0	0.0
	21	0	0	0.0
	22	0	0	0.0
	23	0	0	0.0
	24	0	0	0.0

- **03 April 2007**

	1	0	0	0.0
	2	0	0	0.0
	3	0	0	0.0
	4	0	0	0.0
	5	0	0	0.0
	6	0	0	0.0
	7	0	0	0.0
	8	0	0	0.0
	9	0	0	0.0
	10	0	0	0.0
	11	0	0	0.0
	12	0	0	0.0
3	13	0	0	0.0
	14	0	0	0.0
	15	0	0.3	0.2
	16	0	0	0.0
	17	0	0	0.0
	18	0	0	0.0
	19	0	0	0.0
	20	0	0	0.0
	21	0	0	0.0
	22	0	0	0.0
	23	0	0	0.0
	24	0	0	0.0

- **12 April 2007**

12	1	0	0	0.0
	2	0	0	0.0
	3	0	0	0.0
	4	0	0	0.0
	5	0	0	0.0
	6	0	0	0.0
	7	0	0	0.0
	8	0	0	0.0
	9	0	0	0.0
	10	0	0	0.0
	11	0	0	0.0
	12	0	0	0.0
	13	0	0	0.0
	14	0	0	0.0
	15	0	14.5	10.5
	16	0	2.5	1.8
	17	0	0	0.0
	18	0	0	0.0
	19	0	0	0.0
	20	0	0	0.0
	21	0	0	0.0
	22	0	0	0.0
	23	0	0	0.0
	24	0	0	0.0

### Lampiran B Data Debit Jam-Jaman

- Debit Jam-jaman Bulan Maret

Tanggal	jam	DEBIT			
1	1	9.31	2	1	9.308
	2	9.31		2	9.308
	3	9.31		3	9.308
	4	9.31		4	9.308
	5	9.31		5	9.308
	6	9.31		6	9.308
	7	9.31		7	9.308
	8	9.31		8	9.308
	9	9.31		9	9.308
	10	9.31		10	9.308
	11	9.19		11	9.193
	12	9.19		12	9.193
	13	9.19		13	9.193
	14	9.19		14	9.193
	15	9.19		15	9.193
	16	9.19		16	9.193
	17	9.19		17	9.193
	18	9.19		18	9.193
	19	9.19		19	9.193
	20	9.19		20	9.193
	21	9.19		21	9.193
	22	9.19		22	9.193
	23	9.19		23	9.308
	24	9.31		24	9.308
3	1	9.42	4	1	11.42
	2	9.42		2	11.29
	3	9.42		3	11.03
	4	9.42		4	10.9
	5	9.42		5	10.77
	6	9.54		6	10.52
	7	9.54		7	10.52
	8	9.54		8	10.52
	9	9.54		9	10.52
	10	9.54		10	10.52
	11	9.54		11	10.52
	12	9.54		12	10.52

	13	18.1		13	10.52
	14	36		14	10.52
	15	49.3		15	10.52
	16	68.9		16	10.52
	17	87.7		17	10.52
	18	110		18	10.39
	19	122		19	10.27
	20	49.3		20	10.02
	21	13.2		21	9.9
	22	12.1		22	9.779
	23	11.8		23	9.66
	24	11.6		24	9.542
	1	9.54		1	8.853
	2	9.31		2	8.853
	3	9.19		3	8.853
	4	9.08		4	8.853
	5	8.97		5	8.853
	6	8.85		6	8.853
	7	8.74		7	8.853
	8	8.74		8	8.853
	9	8.74		9	8.853
	10	8.74		10	8.853
	11	8.74		11	8.853
	12	8.74		12	8.741
5	13	8.63	6	13	8.741
	14	8.63		14	8.741
	15	8.63		15	8.741
	16	8.63		16	8.741
	17	8.63		17	8.741
	18	8.63		18	8.741
	19	8.74		19	8.741
	20	8.85		20	8.741
	21	8.85		21	8.741
	22	8.85		22	8.741
	23	8.85		23	8.741
	24	8.85		24	8.741
	1	8.85		1	9.425
	2	8.85		2	9.425
7	3	8.97	8	3	9.425
	4	8.97		4	9.425
	5	8.97		5	9.425

	6	8.97		6	9.425
	7	8.97		7	9.425
	8	8.97		8	9.425
	9	8.85		9	9.425
	10	8.74		10	9.308
	11	8.74		11	9.308
	12	8.63		12	9.308
	13	8.63		13	9.308
	14	8.63		14	9.193
	15	8.63		15	9.193
	16	8.63		16	9.193
	17	8.63		17	9.193
	18	8.63		18	9.193
	19	8.63		19	9.193
	20	8.63		20	9.193
	21	8.74		21	9.193
	22	8.74		22	9.193
	23	8.85		23	9.193
	24	9.31		24	9.193
	1	9.19		1	9.079
	2	9.19		2	9.079
	3	9.19		3	9.079
	4	9.19		4	9.079
	5	9.19		5	9.193
	6	9.19		6	9.193
	7	9.19		7	9.193
	8	9.19		8	9.193
	9	9.19		9	9.193
	10	9.19		10	9.193
9	11	9.19	10	11	9.193
	12	9.19		12	9.193
	13	9.19		13	9.193
	14	9.19		14	9.193
	15	9.19		15	9.193
	16	9.19		16	9.193
	17	9.19		17	9.079
	18	9.08		18	9.079
	19	9.08		19	9.079
	20	9.08		20	9.079
	21	9.08		21	9.079
	22	9.08		22	9.079

	23	9.08		23	9.079
	24	9.08		24	9.079
11	1	9.08	12	1	9.079
	2	9.08		2	9.079
	3	9.08		3	9.079
	4	9.08		4	9.079
	5	9.08		5	9.079
	6	9.08		6	9.079
	7	9.08		7	9.079
	8	9.08		8	9.079
	9	9.08		9	9.079
	10	9.08		10	9.079
	11	9.08		11	9.079
	12	9.08		12	9.079
	13	9.08		13	9.079
	14	9.08		14	9.079
	15	9.08		15	9.079
	16	9.08		16	9.079
	17	9.08		17	9.079
	18	9.08		18	9.079
	19	9.08		19	9.079
	20	9.08		20	9.079
	21	9.08		21	9.079
	22	9.08		22	9.079
	23	9.08		23	9.079
	24	9.08		24	9.079
13	1	9.08	14	1	9.079
	2	9.08		2	9.079
	3	9.08		3	9.079
	4	9.08		4	9.079
	5	9.19		5	9.079
	6	9.08		6	9.079
	7	9.08		7	9.079
	8	9.08		8	9.079
	9	9.08		9	9.193
	10	9.08		10	9.193
	11	9.08		11	9.308
	12	9.08		12	9.308
	13	9.08		13	9.308
	14	9.08		14	9.308
	15	9.08		15	9.308

	16	9.08		16	9.308
	17	9.08		17	9.308
	18	9.08		18	9.308
	19	9.08		19	9.425
	20	9.08		20	9.542
	21	9.08		21	9.66
	22	9.08		22	9.779
	23	9.08		23	9.779
	24	9.08		24	9.9
	1	10		1	10.77
	2	10.1		2	10.77
	3	10.4		3	10.77
	4	10.5		4	10.77
	5	10.6		5	10.77
	6	10.8		6	10.77
	7	10.8		7	10.77
	8	10.8		8	10.77
	9	10.8		9	10.77
	10	10.6		10	10.77
	11	10.6		11	10.64
15	12	10.5	16	12	10.64
	13	10.5		13	10.64
	14	10.5		14	10.64
	15	10.5		15	10.64
	16	10.5		16	10.64
	17	10.5		17	10.64
	18	10.5		18	10.64
	19	10.6		19	10.64
	20	10.6		20	10.64
	21	10.6		21	10.64
	22	10.6		22	10.64
	23	10.6		23	10.64
	24	10.8		24	10.64
	1	10.6		1	10.77
	2	10.6		2	10.77
	3	10.6		3	10.9
17	4	10.8	18	4	10.9
	5	10.8		5	10.9
	6	10.8		6	10.9
	7	10.8		7	10.9
	8	10.6		8	10.9



	9	10.6		9	10.9
	10	10.6		10	10.9
	11	10.6		11	10.77
	12	10.5		12	10.9
	13	10.5		13	11.03
	14	10.5		14	11.16
	15	10.5		15	11.29
	16	10.5		16	11.42
	17	10.5		17	11.55
	18	10.5		18	11.82
	19	10.5		19	11.82
	20	10.5		20	11.82
	21	10.5		21	11.82
	22	10.6		22	11.82
	23	10.6		23	11.82
	24	10.6		24	11.82
	1	11.7		1	51.42
	2	11.7		2	54.34
	3	11.6		3	56.6
	4	11.6		4	60.51
	5	11.4		5	64.59
	6	11.2		6	68.85
	7	10.8		7	66.27
	8	10.6		8	62.94
	9	10.3		9	62.12
	10	10		10	58.92
	11	9.54		11	56.6
	12	9.31		12	54.71
19	13	9.31	20	13	52.86
	14	9.42		14	49.29
	15	9.54		15	43.92
	16	10		16	39.55
	17	10.5		17	38.95
	18	10.9		18	35.19
	19	26.3		19	28.66
	20	28.7		20	26.29
	21	36.6		21	22.78
	22	42.6		22	21.55
	23	45.9		23	18.84
	24	49.3		24	15.38
21	1	14.4	22	1	12.09

	2	13.7		2	12.09
	3	13.2		3	12.09
	4	12.7		4	12.09
	5	12.2		5	12.09
	6	11.8		6	12.09
	7	12.8		7	12.09
	8	12.5		8	11.96
	9	12.2		9	11.96
	10	12		10	11.82
	11	12		11	11.69
	12	11.8		12	11.69
	13	11.7		13	11.55
	14	11.7		14	11.42
	15	11.7		15	11.29
	16	11.7		16	11.69
	17	11.7		17	11.82
	18	11.8		18	12.09
	19	12		19	12.23
	20	12		20	12.23
	21	12.1		21	12.37
	22	12.1		22	12.37
	23	12.1		23	12.51
	24	12.1		24	12.65
	1	12.8		1	14.59
	2	12.9		2	14.28
	3	12.9		3	14.13
	4	13.1		4	13.82
	5	13.1		5	13.38
	6	13.2		6	12.94
	7	31.2		7	12.65
	8	33.8		8	12.23
23	9	35.5	24	9	11.82
	10	38.4		10	11.55
	11	40.8		11	11.29
	12	42.6		12	11.03
	13	40.2		13	11.03
	14	37.8		14	11.03
	15	34.6		15	11.03
	16	33.3		16	11.03
	17	28.7		17	11.03
	18	18.1		18	11.29

	19	17.8		19	11.29
	20	16.7		20	11.29
	21	16.4		21	11.16
	22	16		22	10.77
	23	15.4		23	10.77
	24	14.9		24	10.77
	1	10.8		1	27.23
	2	10.8		2	28.66
	3	10.8		3	30.15
	4	10.8		4	31.17
	5	10.8		5	32.74
	6	10.5		6	33.82
	7	10.3		7	32.21
	8	9.54		8	30.66
	9	9.42		9	28.66
	10	9.42		10	18.11
	11	9.31		11	15.38
25	12	9.31	26	12	14.75
	13	9.42		13	13.38
	14	9.54		14	12.94
	15	9.78		15	11.96
	16	10.3		16	11.55
	17	10.8		17	12.65
	18	11.8		18	13.23
	19	14.6		19	13.23
	20	18.1		20	13.23
	21	19.6		21	13.08
	22	21.5		22	12.94
	23	24.1		23	12.8
	24	25.8		24	12.51
	1	12.4		1	13.82
	2	12.4		2	13.97
	3	12.1		3	14.13
	4	11.8		4	14.43
	5	11.7		5	14.75
27	6	11.8	28	6	14.9
	7	12.1		7	13.52
	8	12.4		8	13.67
	9	12.5		9	13.82
	10	12.8		10	13.82
	11	12.9		11	13.97

	12	13.2		12	15.54
	13	13.1		13	17.4
	14	13.1		14	24.06
	15	12.9		15	26.29
	16	12.8		16	28.66
	17	12.8		17	32.48
	18	12.7		18	33.82
	19	12.9		19	32.74
	20	13.1		20	18.47
	21	13.2		21	16.71
	22	13.4		22	14.75
	23	13.5		23	13.23
	24	13.7		24	12.51
	1	11.6		1	20.36
	2	10		2	19.78
	3	9.08		3	18.29
	4	7.99		4	16.37
	5	7.47		5	14.13
	6	7.18		6	13.23
	7	7.18		7	13.52
	8	7.37		8	13.52
	9	7.47		9	13.67
	10	7.78		10	13.82
	11	7.99		11	13.82
29	12	14.7	30	12	13.97
	13	15.5		13	14.13
	14	16.4		14	14.28
	15	18.5		15	14.43
	16	26.3		16	14.75
	17	29.6		17	15.71
	18	33.8		18	49.29
	19	33.5		19	122.1
	20	31.2		20	49.29
	21	30.7		21	45.89
	22	30.2		22	42.64
	23	29.6		23	39.55
	24	22		24	33.82
31	1	33.3			
	2	28.2			
	3	27.9			
	4	27.5			

	5	27
	6	24.1
	7	23.6
	8	22.4
	9	21.5
	10	19.2
	11	16.4
	12	14
	13	14.3
	14	14.4
	15	14.1
	16	13.8
	17	13.5
	18	13.2
	19	25.8
	20	27.2
	21	27.7
	22	28.2
	23	18.1
	24	16

- **Debit Jam-jaman untuk Validasi**

- **09 Februari 2007**

Tanggal	jam	DEBIT
	12	10.39003
	13	18.11234
	14	22.57034
	15	45.88671
	16	64.5904
	17	77.91953
	18	122.0573
1	19	73.29226
	20	42.63926
	21	40.45893
	22	36.60783
	23	34.63847
	24	27.4618
	1	22.98905
	2	21.74813

	3	18.11234
	4	11.02535
	5	10.5151
	6	10.5151
	7	10.5151
	8	10.5151
	9	10.5151
	10	10.5151
	11	10.5151

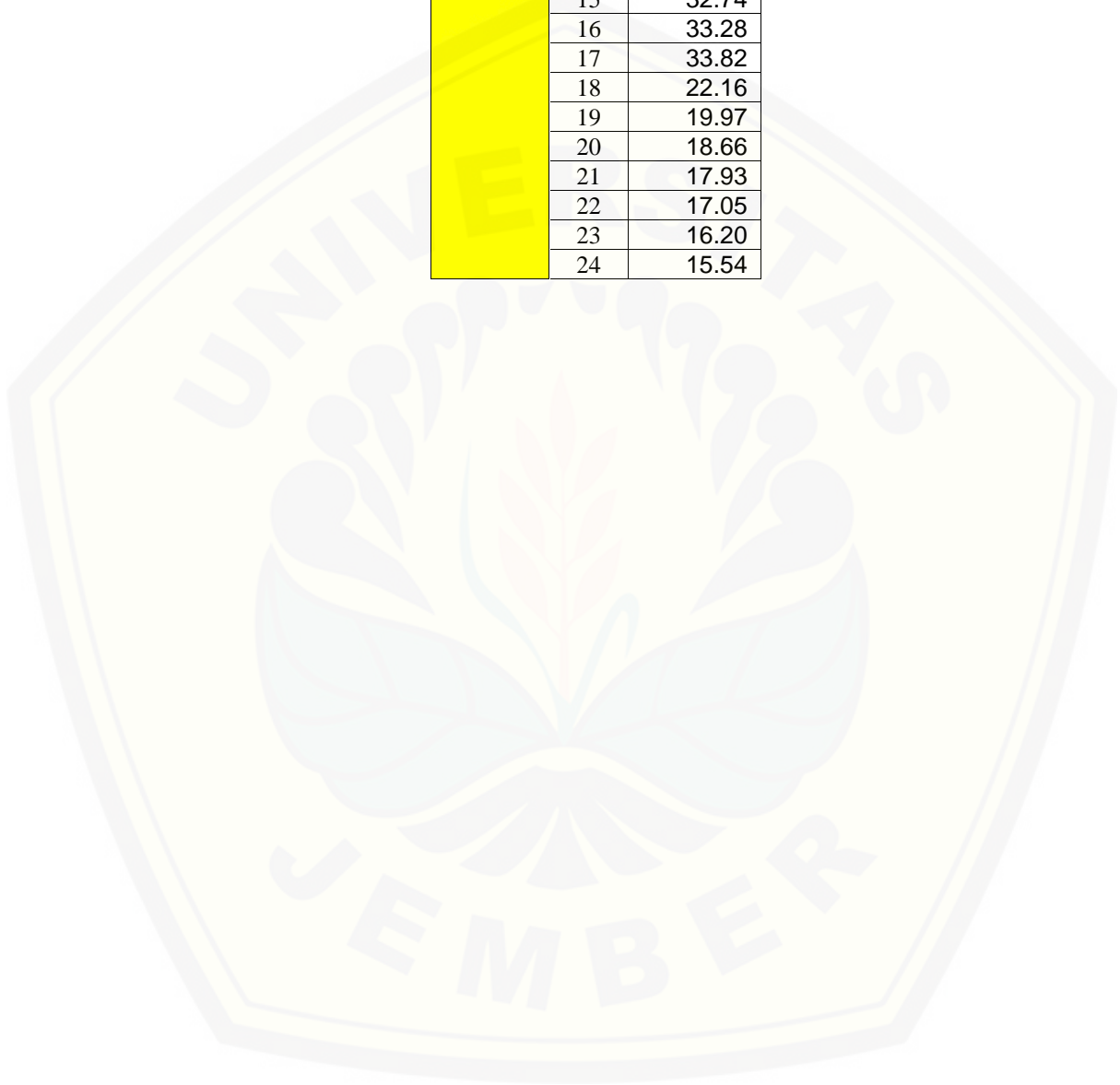
➤ **04 April 2007**

Tanggal	jam	DEBIT
4	1	9.31
	2	9.31
	3	9.31
	4	9.31
	5	9.31
	6	9.31
	7	9.31
	8	9.31
	9	9.31
	10	9.31
	11	9.31
	12	9.31
	13	14.75
	14	28.66
	15	39.55
	16	33.82
	17	9.31
	18	9.31
	19	9.31
	20	9.31
	21	9.31
	22	9.31
	23	9.31
	24	9.42

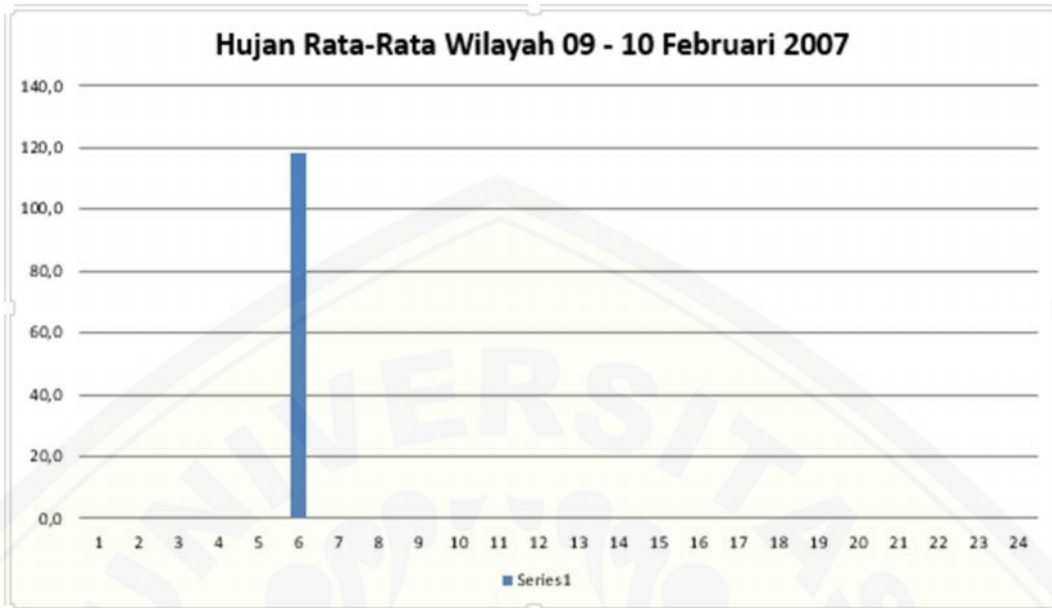
➤ **12 April 2007**

Tanggal	jam	DEBIT
4	1	12.51
	2	12.37
	3	12.23
	4	12.09
	5	11.96
	6	11.82
	7	11.82

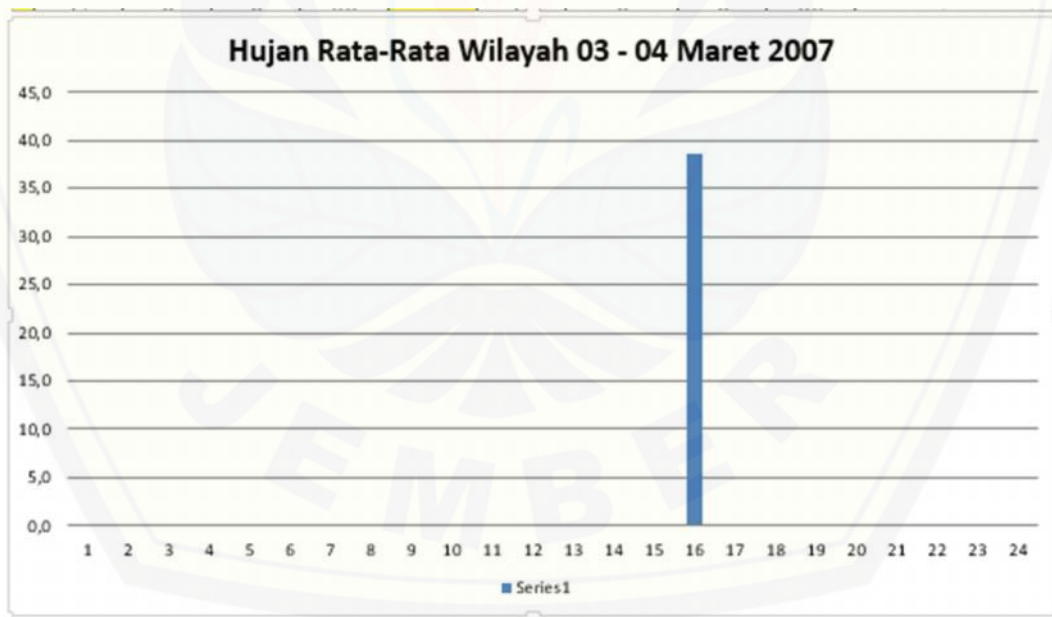
	8	11.82
	9	11.82
	10	11.82
	11	11.82
	12	11.82
	13	14.75
	14	19.97
	15	32.74
	16	33.28
	17	33.82
	18	22.16
	19	19.97
	20	18.66
	21	17.93
	22	17.05
	23	16.20
	24	15.54



**Lampiran C. Grafik Hujan Rata-Rata Wilayah**

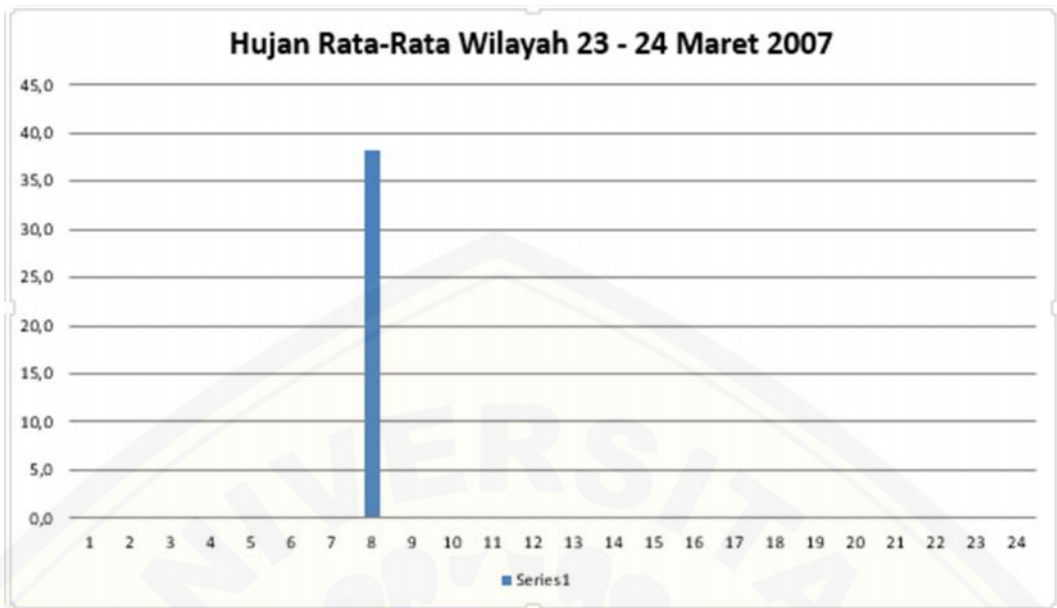


**Grafik Hujan Rata-Rata Wilayah 09 Februari 2007**

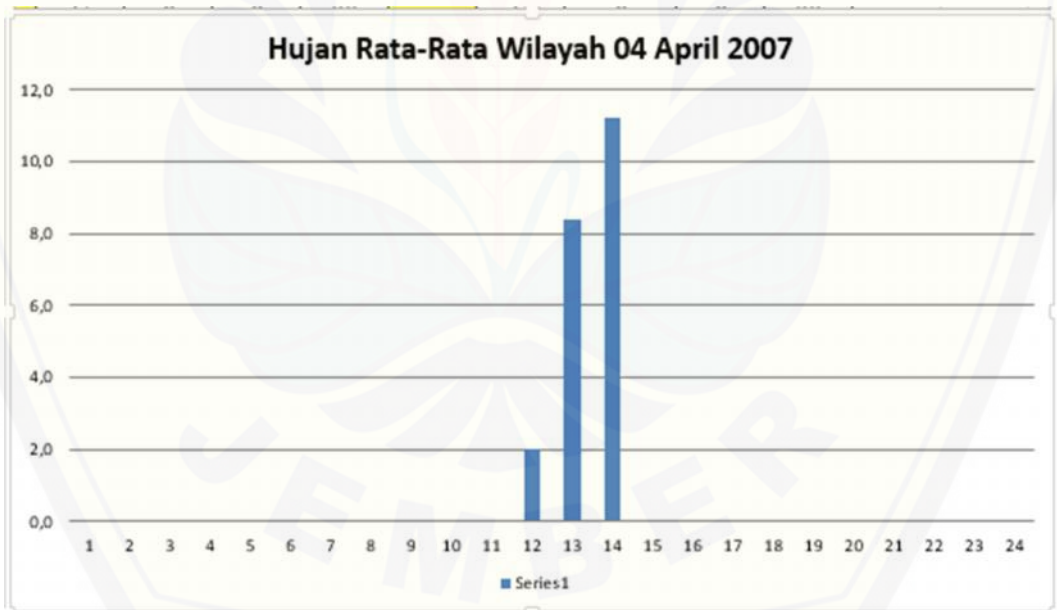


**Grafik Hujan Rata-Rata Wilayah 03 Maret 2007**

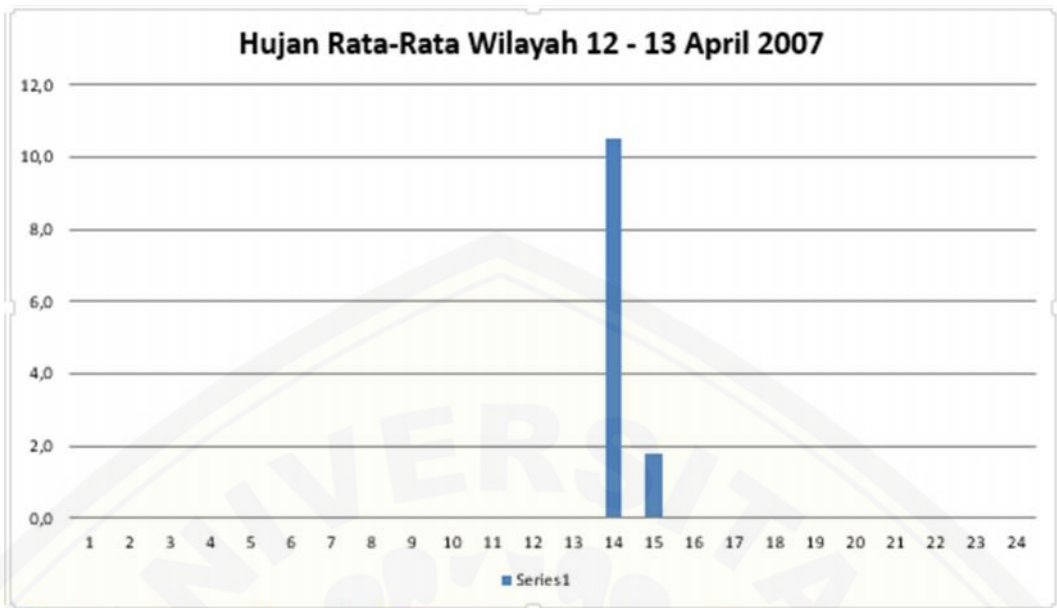




**Grafik Hujan Rata-Rata Wilayah 23 Maret 2007**



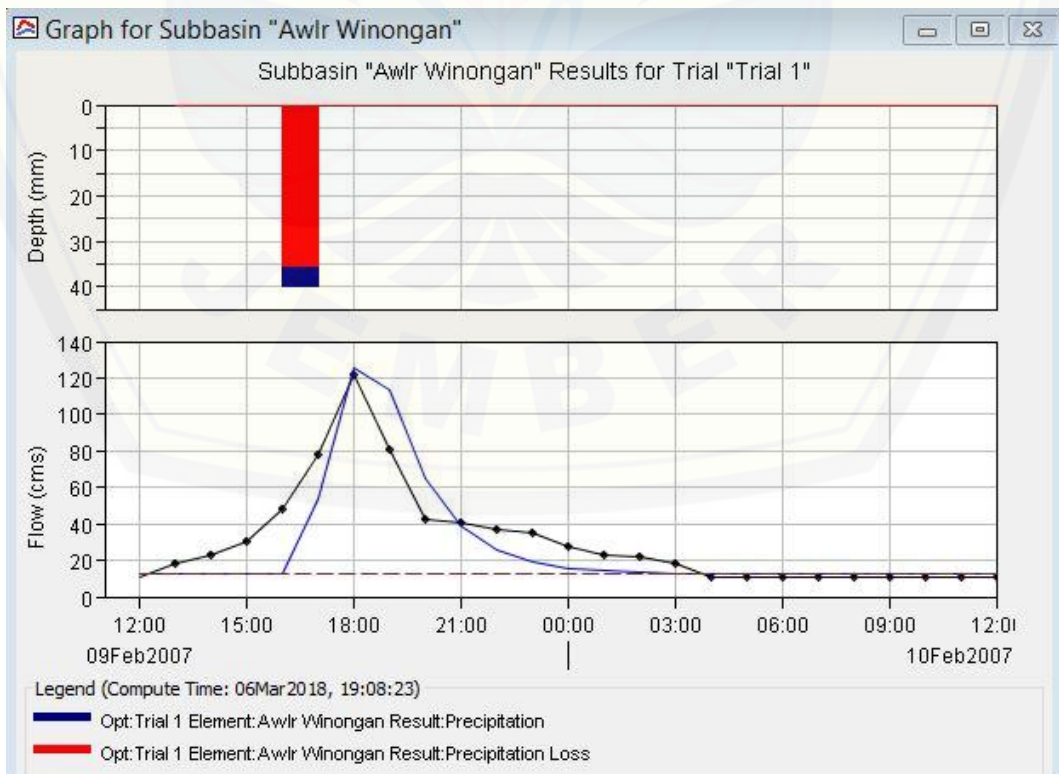
**Grafik Hujan Rata-Rata Wilayah 04 April 2007**



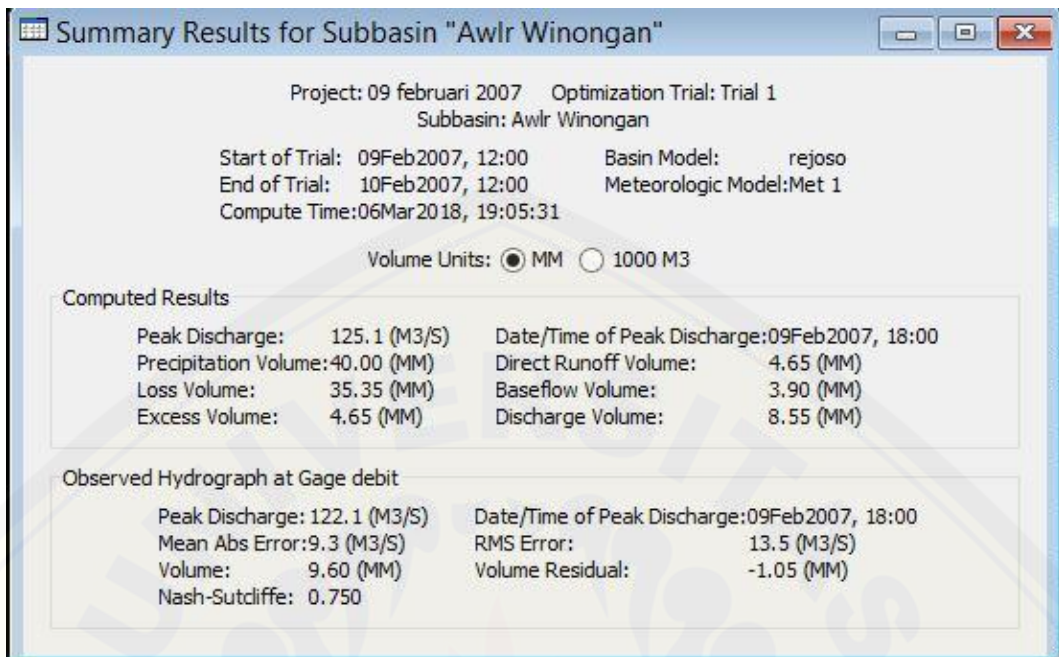
Grafik Hujan Rata-Rata Wilayah 12 April 2007

Lampiran D. Hasil Validasi Model

Validasi 09 Februari 2007

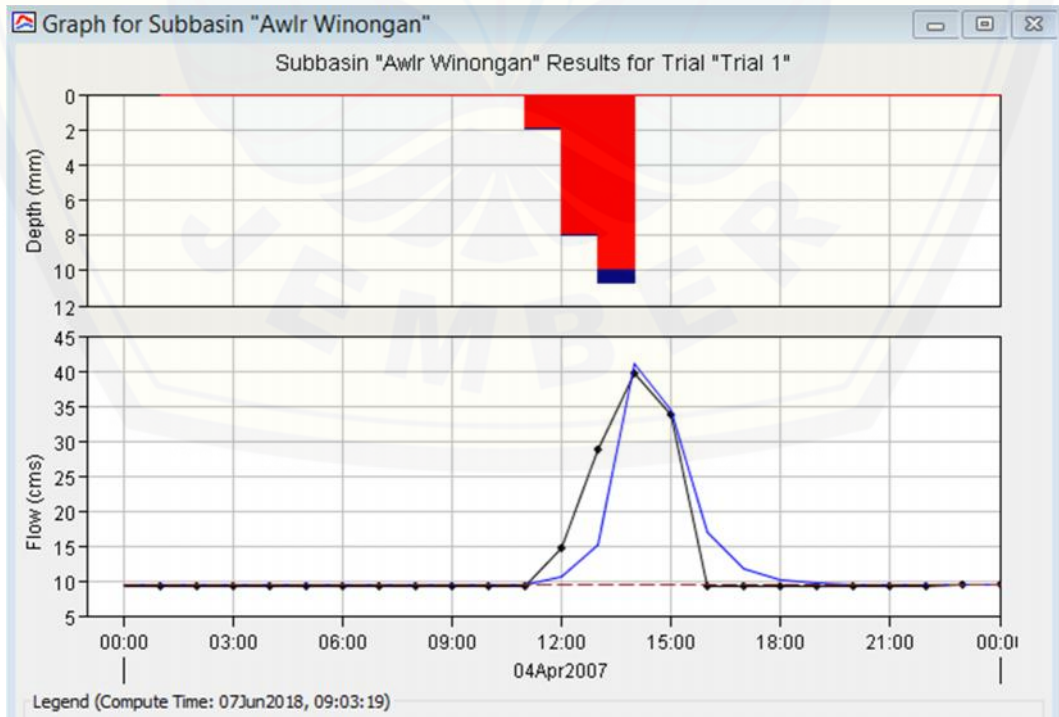


Hasil Validasi Pemodelan pada DAS Rejoso

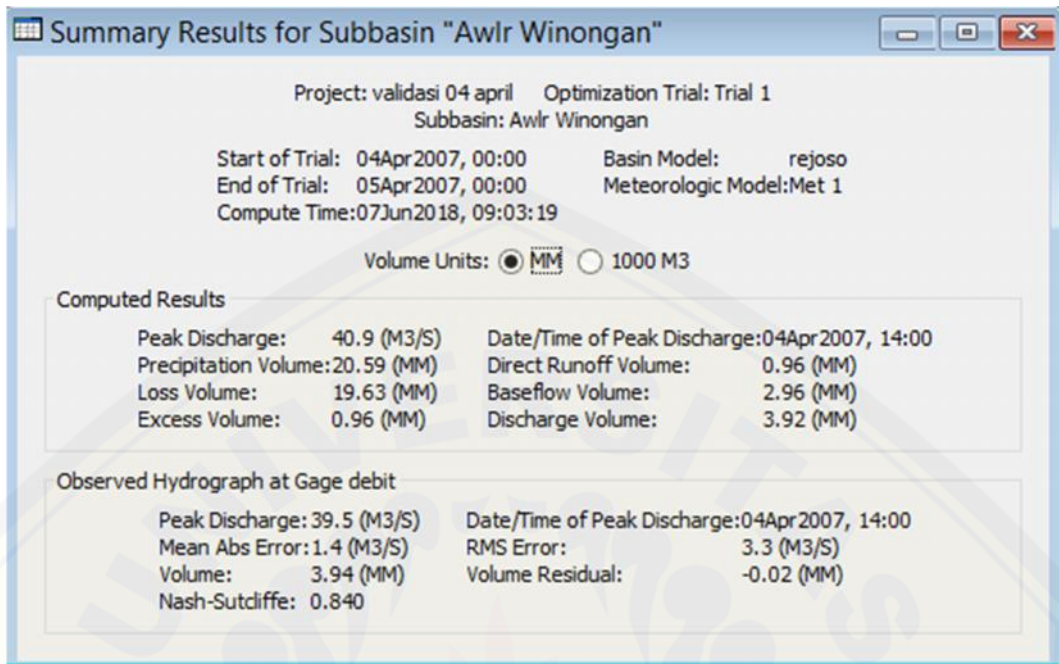


Rekapitulasi Hasil Validasi Pemodelan pada DAS Rejoso

Validasi 04 April 2007

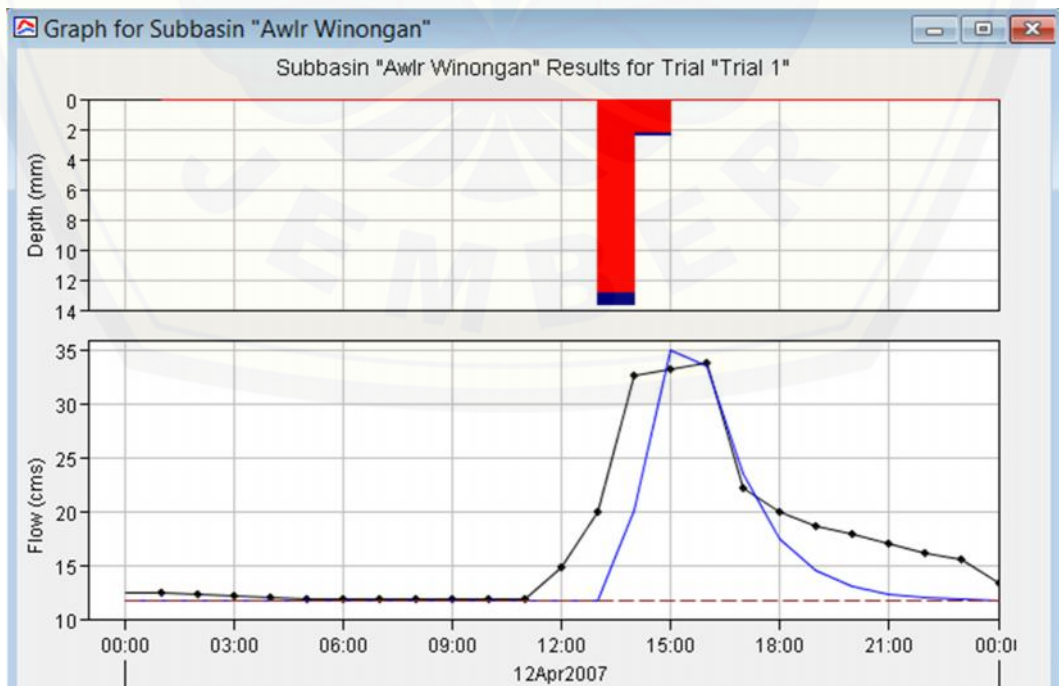


Hasil Validasi Pemodelan pada DAS Rejoso

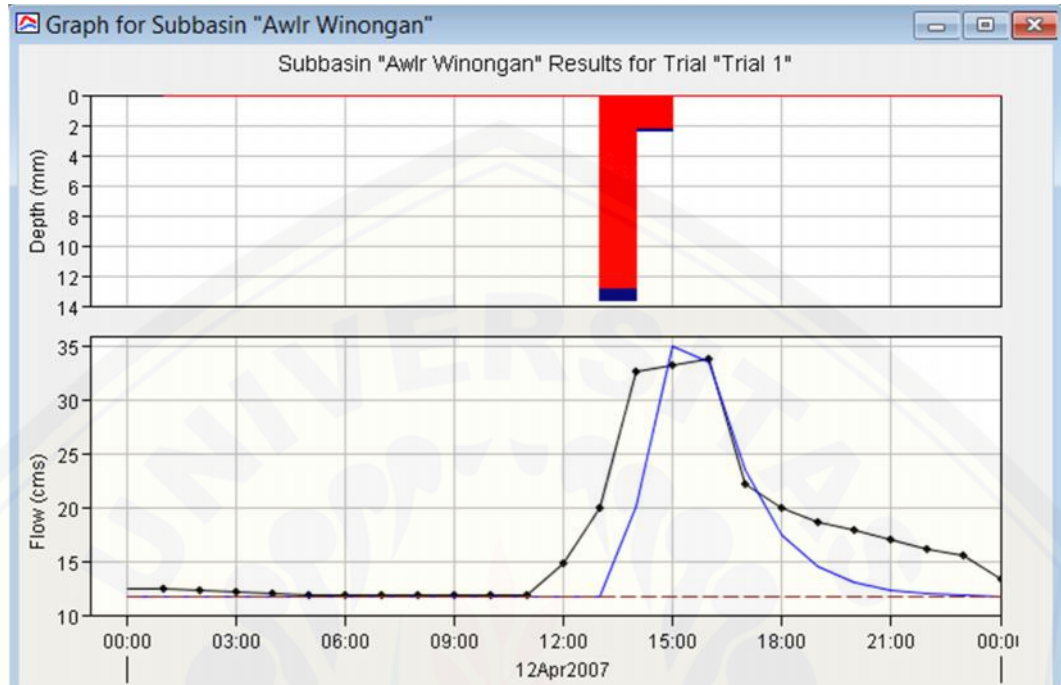


Rekapitulasi Hasil Validasi Pemodelan pada DAS Rejoso

Validasi 12 April 2007



Hasil Validasi Pemodelan pada DAS Rejoso



Rekapitulasi Hasil Validasi Pemodelan pada DAS Rejoso