

**ANALISIS HUJAN - DEBIT BANJIR MENGGUNAKAN MODEL  
HEC-HMS SUB DAS SADAR KABUPATEN MOJOKERTO**

**TESIS**

**MAGISTER TEKNIK PENGAIRAN  
MINAT INFRASTRUKTUR SUMBER DAYA AIR**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan

Memperoleh gelar Magister Teknik



**INDRA NURDIANYOTO**

**NIM. 166060404111007**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2019**

## LEMBAR PENGESAHAN

# ANALISIS HUJAN – DEBIT BANJIR MENGGUNAKAN MODEL HEC-HMS SUB DAS SADAR KABUPATEN MOJOKERTO

## TESIS

PROGRAM MAGISTER TEKNIK PENGAIRAN  
MINAT INFRASTRUKTUR SUMBER DAYA AIR

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
Memperoleh gelar Magister Teknik



Disusun Oleh :

**INDRA NURDIANYOTO**  
**NIM. 166060404111007**

### KOMISI PEMBIMBING

Pembimbing I

Pembimbing II,

**Dr. Ery Suhartanto, ST., MT.**  
NIP. 19730305 199903 1 002

**Emma Yuliani, ST., MT., Ph.D.**  
NIP. 19750723 200003 2 001

Malang,  
Universitas Brawijaya  
Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Pengairan  
Ketua Program Magister Teknik Pengairan

**Dr. Eng. Donny Harisuseno, ST, MT.**  
NIP. 19750227 199903 1 001

## TESIS

### **ANALISIS HUJAN – DEBIT BANJIR MENGGUNAKAN MODEL HEC-HMS SUB DAS SADAR KABUPATEN MOJOKERTO**

**INDRA NURDIANYOTO**

**NIM : 166060404111007**

Telah dipertahankan di depan penguji  
Pada tanggal 13 Desember 2019  
dinyatakan telah memenuhi syarat  
untuk memperoleh gelar Magister Teknik

#### **KOMISI PEMBIMBING**

Pembimbing I

Pembimbing II

**Dr. Ery Suhartanto, ST., MT.**  
NIP. 19730305 199903 1 002

**Emma Yuliani, ST., MT., Ph.D.**  
NIP. 19750723 200003 2 001

Malang, Desember 2019  
Universitas Brawijaya  
Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Pengairan  
Ketua Program Magister Teknik Pengairan

**Dr. Eng. Donny Harisuseno, ST, MT.**  
NIP. 19750227 199903 1 001

## **ANALISA HUJAN – DEBIT BANJIR MENGGUNAKAN MODEL HEC-HMS SUB DAS SADAR KABUPATEN MOJOKERTO**

Nama Mahasiswa : Indra Nurdianyoto  
NIM : 166060404111007  
Program Studi : Magister Teknik Pengairan  
Minat : Infrastruktur Sumber Daya Air

### **KOMISI PEMBIMBING**

Ketua : Dr. Ery Suhartanto, ST., MT.  
Anggota : Emma Yuliani, ST., MT., Ph.D

### **TIM DOSEN PENGUJI**

Dosen Penguji 1 : Dr. Ir. Endang Purwati, MP.  
Dosen Penguji 2 : Prof. Dr. Ir. Lily Montarcih, MSc.

Tanggal Ujian : 13 Desember 2019  
SK Penguji : Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas  
Brawijaya Nomor ..... Tahun 2019

## PERNYATAAN ORISINALITAS TESIS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang saya teliti dan ulas dalam Naskah Tesis ini adalah asli pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis dikuti dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam Naskah Tesis ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Tesis ini dibatalkan serta diperoses dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 16 Desember 2019

Mahasiswa

**Indra Nurdianyoto**

166060404111007

## SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI



## RIWAYAT HIDUP PENULIS

**Indra Nurdianyoto**, lahir di Ujung Pandang tanggal 26 April 1985 merupakan anak pertama dari tiga bersaudara pasangan Bapak Ir. Pembudi dan Ibu Siti Nurul Syamsiah. Memiliki seorang istri bernama Meytriana Widyo Rini dan empat anak yaitu Bagas, Alexa, Bima, Anjani. Penulis menyelesaikan Pendidikan Dasar di SD Inpres Toddopuli 1 Ujung Pandang, Propinsi Sulawesi Selatan, Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 2 Ujungpandang, Propinsi Sulawesi Selatan, Sekolah Menengah Atas (SMA) Negeri 11 Yogyakarta. Menyelesaikan pendidikan tinggi di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta tahun 2008 dan lulus Program Magister Teknik Jurusan Teknik Pengairan, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya tahun 2019.

Penulis bekerja di Perusahaan Umum (PERUM) Jasa Tirta I sejak tahun 2008 dengan posisi terakhir sebagai Kepala Sub Divisi Jasa ASA III/2 WS Bengawan Solo (Wilayah Madiun, Ponorogo, Magetan, Ngawi). Organisasi profesi yang diikuti penulis yaitu Komite Nasional Indonesia untuk Bendungan Besar (KNIBB) dan Himpunan Ahli Teknik Hidraulik Indonesia (HATHI).

Malang, 16 Desember 2019

Penulis

## **UCAPAN TERIMA KASIH**

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tesis ini.

Tersusunnya Tesis ini tidak lepas dari bantuan yang diberikan oleh berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Dr. Ery Suhartanto, ST., MT. selaku Ketua Komisi Pembimbing tesis yang telah memberikan bimbingan, arahan, saran dan motivasi kepada kami dalam penyusunan sampai dengan penyelesaian Tesis.
2. Ibu Emma Yuliani, ST., MT., Ph. D. selaku anggota Komisi Pembimbing Tesis telah memberikan bimbingan, arahan dan saran kepada kami dalam penyelesaian Tesis.
3. Ibu Dr. Ir. Endang Purwati, MP. dan Prof. Dr. Ir. Lily Montarcih, MSc. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan waktu dan saran untuk perbaikan materi Tesis.
4. Bapak Dr. Eng. Donny Harisuseno, ST., MT selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Pengairan yang telah memberikan motivasi dan bantuan dalam penyelesaian tugas belajar.
5. Jajaran Direksi, Manajer Utama, Kepala DJA III (Bpk. Viari Djajasinga, ST., MT.) Perum Jasa Tirta I dalam memberikan penugasan Program Kelas Kerjasama FT. UB – PJT I dan dukungan bagi penyelesaian Tugas Belajar.
6. Istriku Meytriana Widyo Rini dan anak-anak Bagas, Alexa, Bima, Anjani atas dukungan, kesabaran serta doa tulus ikhlas agar terselesaiannya Studi.
7. Rekan-rekan mahasiswa Kelas Kerjasama PJT I – UB angkatan 2016 dan Ibu Tutik Andayani dalam memberikan bantuan, dukungan serta kerjasamanya dalam melaksanakan Tugas Belajar di Magister Teknik Pengairan, Fakultas Teknik Pengairan Universitas Brawijaya.
8. Pihak-pihak lain yang tidak dapat kami sebutkan satu per satu yang telah membantu kami dalam penyelesaian Tugas Belajar.

## RINGKASAN

**Indra Nurdianyoto**, Jurusan Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, 2019. *Analisis Hujan – Debit Banjir Menggunakan Model HEC-HMS Sub DAS Sadar Kabupaten Mojokerto*, Dosen pembimbing: Ery Suhartanto dan Emma Yuliani.

Sub DAS Sadar merupakan bagian DAS Brantas di Kabupaten/Kota Mojokerto dengan tingkat kerawanan bencana banjir tinggi, intensitas hujan yang terjadi di Sub DAS Sadar mampu mempengaruhi kenaikan level air dan debit Sungai Sadar mengakibatkan kejadian bencana banjir. Model hidrograf satuan HEC-HMS dan penyelarasan Sistem Informasi Geografi dapat menggambarkan respon Sub DAS Sadar terhadap hujan dalam suatu model serta mengidentifikasi daerah-daerah rawan bahaya banjir sebagai deteksi dini kejadian bencana.

Analisis penelitian ini meliputi analisis karakteristik fisik Sub DAS menggunakan perangkat lunak *ArcGIS-ArcView* sebagai data awal model, kalibrasi-validasi parameter model hidrologi HEC-HMS saat kejadian banjir, evaluasi statistik kehandalan model dan analisis tingkat kerawanan bencana banjir dengan pengolahan peta spasial faktor yang berpengaruh.

Kalibrasi-validasi Model hidrologi HEC-HMS Sub DAS Sadar diperoleh nilai rerata parameter statistik *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE) sebesar 0,608 (“Memuaskan”), parameter *Root Mean Squared Error* (RMSE)-*Standard Deviation Ratio* (RSR) sebesar 0,603 (“Memuaskan”), dan parameter *Percent Bias* (PBIAS) sebesar 0,08 % (“Sangat Baik”). Parameter model hidrologi HEC HMS yaitu *loss (initial abstraction, curve number)*, *baseflow (initial baseflow discharge, recession constant, ratio to peak)*, *routing (muskingum k dan x)* serta *transform (lag time)*. Faktor pengaruh daerah kerawanan bencana banjir Sub DAS Sadar yaitu ketinggian lahan, penggunaan lahan, jenis tanah, curah hujan, kemiringan lahan dan akumulasi aliran (*flow accumulation*). Tingkat kerawanan bencana banjir Sub DAS Sadar dengan % luas tingkat kerawanan bencana “Sangat Rendah” sebesar 5,9%, “Rendah” 7,4%, “Cukup” 27,2%, “Tinggi” 56,4% dan “Sangat Tinggi” 3,2%.

Kata Kunci : Kerawanan Banjir, *HEC-HMS*.

## SUMMARY

**Indra Nurdianyoto**, Department of Water Resources Engineering, Universitas Brawijaya, 2019. Rain – Flood Discharge Analysis Using HEC-HMS Model in Sadar Sub-catchment, Mojokerto. Lecturer: Ery Suhartanto and Emma Yuliani.

The Sadar sub-watershed is a part of Brantas watersheds located in Mojokerto Regency / City which has a high level of flood vulnerability, rainfall intensity in the Sadar Sub-watershed influence level of water and discharge of Sadar River and caused flood events. HEC-HMS hydrology model and spatial data review through GIS is expected to describe the Sub-Watershed response from rainfall with hydrology model and to identify flood hazard areas as an early warning.

The analysis conducted in this study includes the analysis of sub-watershed characteristics using ArcGIS software as initial data for HEC-HMS hydrology parameters processing with calibration – validation period during flood events with statistical parameters evaluation and analyzing flood hazard factor and area through spatial processing.

Calibration – validation of HEC-HMS hydrology model obtained average parameter evaluation results of Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) is 0.608 ("Satisfactory"), Root Mean Squared Error (RMSE) - Standard Deviation Ratio (RSR) parameter is 0.603 ("Satisfactory"), and Percent Bias (PBIAS) parameter is 0.08% ("Very Good") with hydrology model parameters are loss (initial abstraction, curve number), baseflow (initial base flow discharge, recession constant, ratio to peak), routing (muskingum k and x) and transform (lag time). The flood hazard factors of Sadar sub watershed are land height, land use, soil type, rainfall, land slope and flow accumulation. Sadar sub-watershed Flood hazard area prone rate are "Very Low" 5.9%, "Low" 7.4%, "Medium" 27.2%, "High" 56.4% and "Very High" 3.2%.

**Keywords:** flood hazard, HEC-HMS.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT. Atas segala kelimpahan berkah, rahmat dan hidayah-Nya, sehingga kami dapat menyelesaikan Tesis ini untuk memenuhi kelulusan Program Magister Teknik Pengairan Universitas Brawijaya. Tesis kami tujuhan pula sebagai bentuk sumbangan pikiran tenaga bagi ilmu pengetahuan - *science*.

Penelitian berjudul Analisis Hujan - Debit Banjir Menggunakan Model HEC – HMS Sub DAS Sadar Kabupaten Mojokerto ini kami susun sebagai upaya deteksi dini kejadian bencana banjir diwilayah Kabupaten Mojokerto serta sebagai masukan pertimbangan bagi para pengambil keputusan serta pihak terkait dalam perencanaan penanganan / pengendalian banjir.

Penulis berharap Tesis ini dapat memperkaya khasanah keilmuan di bidang pengairan. Namun, penulis menyadari bahwa Tesis ini masih jauh dari sempurna dari sebuah karya ilmiah. Maka dari itu penulis mengharapkan adanya masukan, koreksi, serta kritik membangun. Atas sarana dan perhatian yang diberikan kami ucapan terima kasih.

Malang, Desember 2019

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan



**DAFTAR ISI**

KATA PENGANTAR .....	i
DAFTAR ISI .....	iii
DAFTAR TABEL .....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	xii
BAB I .....	1
PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Identifikasi Masalah .....	4
1.3 Rumusan Masalah .....	6
1.4 Batasan Masalah .....	6
1.5 Tujuan dan Manfaat .....	6
BAB II .....	7
TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1 Hidrologi dan Daerah Aliran Sungai (DAS) .....	7
2.2 Analisis Hidrologi .....	7
2.3 Hujan .....	8
2.3.1 Parameter Hujan .....	8
2.3.2 Pengukuran Hujan .....	9
2.3.4 Penentuan Hujan Kawasan .....	15
2.4 Hidrometri .....	17
2.4.1 Debit Aliran Sungai .....	17
2.4.2 Pengukuran Debit Sungai .....	18
2.5 Aliran Permukaan .....	22
2.8.1 Sifat Aliran Permukaan .....	22
2.6 Prediksi Laju Aliran Permukaan .....	23
2.6.1 Koefisien Aliran Permukaan (C) .....	24
2.7 Prediksi Volume Aliran Permukaan .....	25
2.8 Hidrograf Aliran .....	29
2.9 Hidrograf Satuan .....	30
2.9.1 Konsep Dasar Hidrograf Satuan .....	30
2.10 Hidrograf Satuan Sintetik .....	31
2.11 Penelusuran Aliran Banjir .....	34
2.12 Sistem Informasi Geografis (SIG) .....	35
2.13 Data Spasial .....	35
2.14 <i>Digital Elevation Model (DEM)</i> .....	36
2.15 Konsep Layer Data dan Atribut .....	37

2.16 Permodelan Hidrologi dengan HEC HMS.....	38
2.17 Kalibrasi dan Validasi Model HEC HMS.....	42
2.18 Evaluasi Parameter Model HEC-HMS .....	43
2.19 Aplikasi Penginderaan Jauh dan SIG untuk Analisis Daerah Kerawanan Banjir.....	44
2.20 Analisis Tingkat Kerawanan Banjir.....	49
2.21 Penelitian Terkait .....	50
<b>BAB III.....</b>	<b>52</b>
<b>KERANGKA KONSEP PENELITIAN .....</b>	<b>52</b>
3.1 Umum .....	52
3.2 Kerangka Fikir .....	52
<b>BAB IV.....</b>	<b>54</b>
<b>METODOLOGI PENENTUAN .....</b>	<b>54</b>
4.1 Lokasi Studi .....	54
4.2 Pengumpulan Data.....	54
4.3 Kondisi Lokasi Studi.....	55
4.3.1 Iklim .....	55
4.3.2 Topografi.....	56
4.3.3 Kemiringan Lereng .....	57
4.3.4 Jenis Tanah.....	58
4.3.5 Penggunaan Lahan .....	59
4.3.6 Debit Sungai.....	60
4.4 Rencana Pemecahan Masalah.....	61
4.5 Analisis Data.....	63
4.6 <i>Flowchart</i> Studi .....	68
<b>BAB V.....</b>	<b>70</b>
<b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>70</b>
4.1 Delineasi Daerah Aliran Sungai (DAS).....	70
4.2 Analisis Klasifikasi Tanah dan Lahan .....	73
4.3 Analisis Hidrologi.....	80
4.3.1 Data Curah Hujan.....	80
4.3.2 Pengujian Data Curah Hujan.....	82
4.3.3 Analisis Hujan Kawasan .....	88
4.4 Analisis Aliran Dasar ( <i>baseflow</i> ) .....	91
4.5 Analisis Penelusuran Banjir ( <i>flood routing</i> ) .....	92
4.6 Analisis Debit Kejadian Banjir .....	93
4.7 Parameter <i>Input</i> Model Hidrologi .....	96

4.8	Analisis Kalibrasi - Validasi Model HEC-HMS.....	99
4.9	Evaluasi Kehandalan Model HEC-HMS .....	108
4.10	Analisis Pengujian Statistik Debit Lapangan.....	110
4.11	Hasil Kalibrasi - Validasi Parameter Model HEC-HMS .....	114
4.12	Analisis Kerawanan Bencana Banjir .....	123
BAB VI.....		131
PENUTUP .....		131
6.1	Kesimpulan .....	131
6.2	Saran .....	132
DAFTAR PUSTAKA.....		133



Halaman ini sengaja dikosongkan



## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Pencatatan AWLR Stasiun Sadar .....	4
Tabel 2.1	Nilai Kritis Q dan R .....	10
Tabel 2.2	Nilai Kritis tc untuk Distribusi t Uji Dua Sisi .....	11
Tabel 2.3	Nilai Kritic Fc Distribusi F, $F = 0,05$ ( $dk_1, dk_2$ ) atau ( $V_1, V_2$ ) .....	13
Tabel 2.4	Nilai Koefisien Aliran Untuk Berbagai Penggunaan Lahan.....	24
Tabel 2.5	Nilai Koefisien Aliran Untuk Tipe Penggunaan Lahan.....	24
Tabel 2.6	Klasifikasi <i>Hydrologic Soil Groups</i> – HSG .....	26
Tabel 2.7	Kondisi Kandungan Air Tanah Sebelumnya .....	27
Tabel 2.8	Kelompok Hidrologi Jenis Tanah .....	27
Tabel 2.9	Bilangan Kurva CN Untuk Lahan Pertanian & Wilayah Perkotaan.....	28
Tabel 2.10	Batasan Nilai Parameter Kalibrasi-Validasi Model HEC-HMS.....	42
Tabel 2.11	Klasifikasi Kehandalan Model Parameter Statistik NSE, RSR, PBIAS ..	43
Tabel 2.12	Faktor Kelas Curah Hujan .....	45
Tabel 2.13	Faktor Kelas Lereng .....	45
Tabel 2.14	Faktor Kelas Penggunaan Lahan .....	45
Tabel 2.15	Faktor Kelas Jenis Tanah.....	46
Tabel 2.16	Faktor Kelas Akumulasi Aliran .....	46
Tabel 2.17	Faktor Kelas Ketinggian Lahan .....	47
Tabel 2.18	Perhitungan Interaksi Faktor Pengaruh Kerawanan Banjir .....	48
Tabel 4.1	Daftar Penggunaan Aplikasi.....	54
Tabel 4.2	Curah Hujan Maksimum Tahunan Stasiun Telemetri .....	54
Tabel 4.3	Ketinggian Tanah Sub DAS Sadar .....	55
Tabel 4.4	Kemiringan Lereng Sub DAS Sadar.....	56
Tabel 4.5	Jenis Tanah Sub DAS Sadar .....	57
Tabel 4.6	Penggunaan Lahan Sub DAS Sadar .....	58
Tabel 4.7	Debit Maksimal Bulanan AWLR Sadar Tahun 2012-2018.....	59
Tabel 4.8	Jenis Data, Sumber Data, Metode Analisis, Kegunaan dan Hasil .....	61
Tabel 5.1	Pengelompokan Delineasi Sub DAS Sadar .....	71
Tabel 5.2	Nilai Bilangan Kurva Penggunaan Lahan Sub DAS Sadar .....	71
Tabel 5.3	Nilai Klasifikasi <i>Hydrologic Soil Group</i> Jenis Tanah .....	72
Tabel 5.4	Nilai Koefisien % <i>Impervious</i> .....	73
Tabel 5.5	Nilai Bilangan Kurva - % <i>Impervious</i> Sub Sub DAS Sadar.....	74

Tabel 5.6	Nilai Waktu Konsentrasi - <i>Lag Time</i> Sub Sub DAS Sadar .....	75
Tabel 5.7	Nilai Abstraksi Awal Sub Sub DAS Sadar.....	76
Tabel 5.8	Nilai Parameter <i>Loss &amp; Transform</i> .....	77
Tabel 5.9	Stasiun ARR Sub DAS Sadar .....	78
Tabel 5.10	Data Curah Hujan Maksimum Stasiun ARR Sadar - Trawas - Brangkal – Tampung .....	79
Tabel 5.11	Data Curah Hujan Kumulatif Stasiun Telemetri ARR Sub DAS Sadar Tahun 2012 - 2018.....	80
Tabel 5.12	Pengujian Konsistensi Data Curah Hujan Stasiun Sadar .....	80
Tabel 5.13	Pengujian Ketiadaan Trend Data Curah Hujan Stasiun Sadar .....	83
Tabel 5.14	Nilai t Hitung Pengujian Ketiadaan Trend .....	83
Tabel 5.15	Pengujian Stasioner Data Curah Hujan Stasiun Sadar .....	84
Tabel 5.16	Nilai F & t Hitung Pengujian Stasioner.....	85
Tabel 5.17	Pengujian Persistensi Data Curah Hujan Stasiun Sadar .....	85
Tabel 5.18	Nilai F & t Hitung Pengujian Persistensi .....	86
Tabel 5.19	Nilai Luasan Pengaruh Curah Hujan Stasiun Sadar Metode Thiessen.....	87
Tabel 5.20	Nilai Curah Hujan Maksimum Bulanan Thiessen Sub DAS Sadar .....	88
Tabel 5.21	Nilai Debit Aliran Dasa Sub DAS Delineasi Sadar.....	89
Tabel 5.22	Nilai Konstanta Resesi .....	90
Tabel 5.23	Perhitungan Muskingum Sungai Sadar .....	90
Tabel 5.24	Identifikasi Kejadian Banjir Masukan Program HEC-HMS Periode Kalibrasi - Validasi.....	93
Tabel 5.25	Nilai Masukan Parameter HEC-HMS .....	94
Tabel 5.26	Nilai Hujan Maksimum Bulanan Thiessen Sub DAS Sadar .....	94
Tabel 5.27	Hasil Kalibrasi Model HEC-HMS Tanggal 9 Desember 2013 .....	97
Tabel 5.28	Hasil Kalibrasi Model HEC-HMS Tanggal 5 Januari 2014 .....	98
Tabel 5.29	Hasil Kalibrasi Model HEC-HMS Tanggal 5 Maret 2015 .....	99
Tabel 5.30	Hasil Validasi Model HEC-HMS Tanggal 25 Maret 2017 .....	100
Tabel 5.31	Hasil Kalibrasi Periode Tahun 2013, 2014, 2015 dan Validasi Periode Tahun 2017 Model HEC-HMS Sub DAS Sadar.....	102
Tabel 5.32	Hasil Evaluasi Kehandalan Model HEC-HMS .....	104
Tabel 5.33	Evaluasi Nilai Rerata Model HEC-HMS Sub DAS Sadar .....	105
Tabel 5.34	Perhitungan Uji Konsistensi Metode RAPS.....	106
Tabel 5.35	Perhitungan Uji Stasioner Data Debit .....	108

Tabel 5.36 Nilai Parameter <i>Initial Abstraction</i> Model HEC-HMS .....	109
Tabel 5.37 Nilai Parameter <i>Curve Number</i> Model HEC-HMS.....	110
Tabel 5.38 Nilai Parameter <i>Initial Discharge</i> Model HEC-HMS .....	111
Tabel 5.39 Nilai Parameter <i>Recession Constant</i> Model HEC-HMS .....	112
Tabel 5.40 Nilai Parameter <i>Ratio To Peak</i> Model HEC-HMS .....	113
Tabel 5.41 Nilai Parameter Muskingum K Model HEC-HMS .....	114
Tabel 5.42 Nilai Parameter Muskingum X Model HEC-HMS .....	115
Tabel 5.43 Nilai Parameter <i>Lag Time</i> Model HEC-HMS .....	116
Tabel 5.44 Nilai Rerata Model HEC-HMS Sub DAS Sadar.....	117
Tabel 5.45 Rerata Curah Hujan Kumulatif Stasiun Telemetri Tahun 2012-2018....	118
Tabel 5.46 Perhitungan Interaksi Faktor Pengaruh Kerawanan Banjir .....	119
Tabel 5.47 Pembobotan Daerah Kerawanan Banjir Faktor Pengaruh Curah Hujan, .....	119
Tabel 5.48 Pembobotan Daerah Kerawanan Banjir Faktor Pengaruh Kemiringan Lereng, Ketinggian Lahan, <i>Flow Accumulation</i> .....	120
Tabel 5.49 Persentase Luas Daerah Kerawanan Banjir Sub DAS Sadar .....	123

Halaman ini sengaja dikosongkan



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Kejadian Bencana Bulan Desember 2017 dan Rekapitulasi Tahun 2017.	3
Gambar 1.2	Peta Genangan dan Kejadian Banjir Kali Sadar .....	5
Gambar 2.1	<i>Hyetograph</i> .....	8
Gambar 2.2	Uji Konsistensi Kurva Massa Ganda .....	9
Gambar 2.3	Metode Aritmatik.....	15
Gambar 2.4	Metode Poligon Thiessen.....	16
Gambar 2.5	Metode Isohiet .....	16
Gambar 2.6	Papan Duga Sungai .....	18
Gambar 2.7	Stasiun AWLR & Contoh Rekaman AWLR .....	19
Gambar 2.8	Pengukuran Kecepatan Aliran .....	19
Gambar 2.9	Titik Pengukuran Kecepatan Aliran & Alat Ukur <i>Current Meter</i> .....	19
Gambar 2.10	Lengkung Debit .....	20
Gambar 2.11	Kurva Hubungan H-Q Kali Sadar Tahun 2012-2014 .....	21
Gambar 2.12	Kurva Hubungan H-Q Kali Sadar Tahun 2015-2018 .....	21
Gambar 2.13	Macam Aliran Air Dalam DAS .....	22
Gambar 2.14	Pengaruh Morfometri DAS Pada Hidrograf Aliran .....	22
Gambar 2.15	Hubungan Waktu Konsentrasi (Tc) dan Lag (L) Pada Hidrograf.....	25
Gambar 2.16	Hidrograf Aliran.....	29
Gambar 2.17	Konsep Dasar Hidrograf Satuan .....	30
Gambar 2.18	Sketsa Penentuan Faktor Lebar (WF) & RUA .....	32
Gambar 2.19	Hidrograf Satuan Sintetik Gama I.....	32
Gambar 2.20	Hidrograf Satuan Sintetis SCS.....	33
Gambar 2.21	Grafik Koefisien Muskingum K & X .....	34
Gambar 2.22	Data Raster.....	35
Gambar 2.23	<i>Digital Elevation Model</i> .....	36
Gambar 2.24	DEMNAS.....	36
Gambar 2.25	Konsep Layer .....	37
Gambar 2.26	Pemrosesan Permodelan Hidrograf Dengan HEC-HMS .....	38
Gambar 2.27	Model Pengolahan Menggunakan HEC-HMS dan GIS .....	40
Gambar 2.28	Bagan Alir Kalibrasi-Validasi HEC-HMS.....	41
Gambar 2.29	Perbandingan model HEC-HMS hasil simulasi dengan lapangan.....	41
Gambar 2.30	Skema Pendekatan Klasifikasi Kemampuan Lahan .....	44

Gambar 2.31 Skema Interaksi Faktor Pengaruh Kerawanan Banjir.....	47
Gambar 3.1 Kerangka Konsep Penelitian.....	51
Gambar 4.1 Peta Lokasi Studi .....	53
Gambar 4.2 Peta Curah Hujan Maksimum Tahun 2014.....	55
Gambar 4.3 Peta Topografi Sub DAS Sadar .....	56
Gambar 4.4 Peta Kemiringan Lereng .....	57
Gambar 4.5 Peta Jenis Tanah Sub DAS Sadar .....	58
Gambar 4.6 Peta Penggunaan Lahan Sub DAS Sadar.....	59
Gambar 4.7 Peta Stasiun Telemetri Sub DAS Sadar .....	60
Gambar 4.8 Diagram Alir Analisis Parameter Awal Model Sub DAS Sadar .....	63
Gambar 4.9 Diagram Alir Analisis Identifikasi Parameter Hidrologi Sub DAS Sadar	64
Gambar 4.10 Diagram Alir Analisis Akurasi Prediksi – Validasi Model Hidrograf Satuan Sub DAS Sadar.....	65
Gambar 4.11 Diagram Alir Identifikasi Parameter Pengaruh Daerah Kerawanan Banjir Sub DAS Sadar .....	66
Gambar 4.12 Diagram Alir Penyelesaian Studi.....	67
Gambar 5.1 Tampilan ArcGIS-ArcHydroTool Proses Delineasi Sub DAS Sadar.....	69
Gambar 5.2 Outlet Sungai Sadar Pertemuan Sungai Porong & AWLR Stasiun Sadar	70
Gambar 5.3 Peta Delineasi DAS-SubDAS- Sungai Sub DAS Sadar .....	70
Gambar 5.4 Peta Spasial Sebaran Bilangan Kurva.....	73
Gambar 5.5 Peta Spasial Sebaran % <i>Impervious</i> .....	74
Gambar 5.6 Peta Spasial Sebaran Nilai Abstraksi Awal .....	76
Gambar 5.7 Peta Masukan HEC-HMS <i>Basin Model</i> .....	77
Gambar 5.8 Peta Lokasi Stasiun Curah Hujan ARR Sub DAS Sadar .....	78
Gambar 5.9 Grafik Uji Konsistensi Data Curah Hujan Stasiun Sadar .....	81
Gambar 5.10 Grafik Uji Konsistensi Data Curah Hujan Stasiun Trawas, Brangkal, Tampung.....	82
Gambar 5.11 Peta Polygon Thiessien Pengaruh Stasiun Curah Hujan.....	87
Gambar 5.12 Peta Curah Hujan Isohiet Sub DAS Sadar Tahun 2015.....	88
Gambar 5.13 Grafik Koefisien Muskingum K & X .....	91
Gambar 5.14 Grafik Hidrograf Kejadian Banjir .....	91
Gambar 5.15 Grafik Hidrograf AWLR Februari 2018 .....	92
Gambar 5.16 Masukan Model Hidrologi HEC-HMS .....	95
Gambar 5.17 Hasil Kalibrasi Model HEC-HMS Tanggal 9 Desember 2013.....	97

Gambar 5.18 Hasil Kalibrasi Model HEC-HMS Tanggal 5 Januari 2014 .....	98
Gambar 5.19 Hasil Kalibrasi Model HEC-HMS Tanggal 5 Maret 2015 .....	99
Gambar 5.20 Hasil Kalibrasi Model HEC-HMS Tanggal 25 Maret 2017 .....	100
Gambar 5.21 Pengujian Konsistensi Debit Puncak Model HEC-HMS.....	105
Gambar 5.22 Pengujian Konsistensi Volume Debit Model HEC-HMS.....	106
Gambar 5.23 Skema Interaksi Faktor Pengaruh Kerawanan Banjir.....	118
Gambar 5.24 Peta Kerawanan Banjir Sub DAS Sadar .....	122
Gambar 5.25 % Tingkat Kerawanan Banjir Klasifikasi Tinggi dan Sangat Tinggi .....	123





## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Bencana yaitu peristiwa mengganggu kehidupan masyarakat disebabkan faktor alam dan/atau faktor non alam (manusia) dan mengakibatkan timbul korban jiwa, kerusakan lingkungan, kerugian materil dan non materiil.

Selama tahun 2017 tercatat kejadian bencana di wilayah Indonesia berjumlah 2.372 kejadian bencana dibandingkan dengan tahun 2015-2016 mengalami peningkatan (1.732 kejadian di 2015, 2.369 kejadian di tahun 2016, sumber BNBP). Sejumlah 2.372 kejadian bencana tersebut 99 persen adalah bencana hidrometeorologi didominasi oleh banjir, tanah longsor dan puting beliung (796 kejadian banjir, 730 kejadian puting beliung, 621 kejadian tanah longsor, 96 kejadian kebakaran hutan dan lahan). Sejumlah 77 kejadian kombinasi bencana banjir dan longsor, 11 bencana gelombang pasang dan abrasi, 19 kejadian kekeringan, 20 bencana gempa bumi dan 2 bencana erupsi gunung meletus. Dampak bencana menyebabkan 337 orang meninggal dunia dan hilang, 3,5 juta jiwa mengungsi dan menderita, 47.962 unit rumah rusak, dan 2.089 unit fasilitas umum rusak.

Bencana hidrometeorologi dipengaruhi siklus hidrologi suatu Daerah Aliran Sungai (DAS), bergantung pada karakteristik fisik DAS meliputi bentuk DAS, topografi, tekstur, kepadatan tanah, permukaan air tanah dan penggunaan lahan. Faktor iklim /meteorologi mempengaruhi ragam hujan turun di DAS (intensitas, durasi, distribusi, frekuensi, suhu, angin, kelembapan).

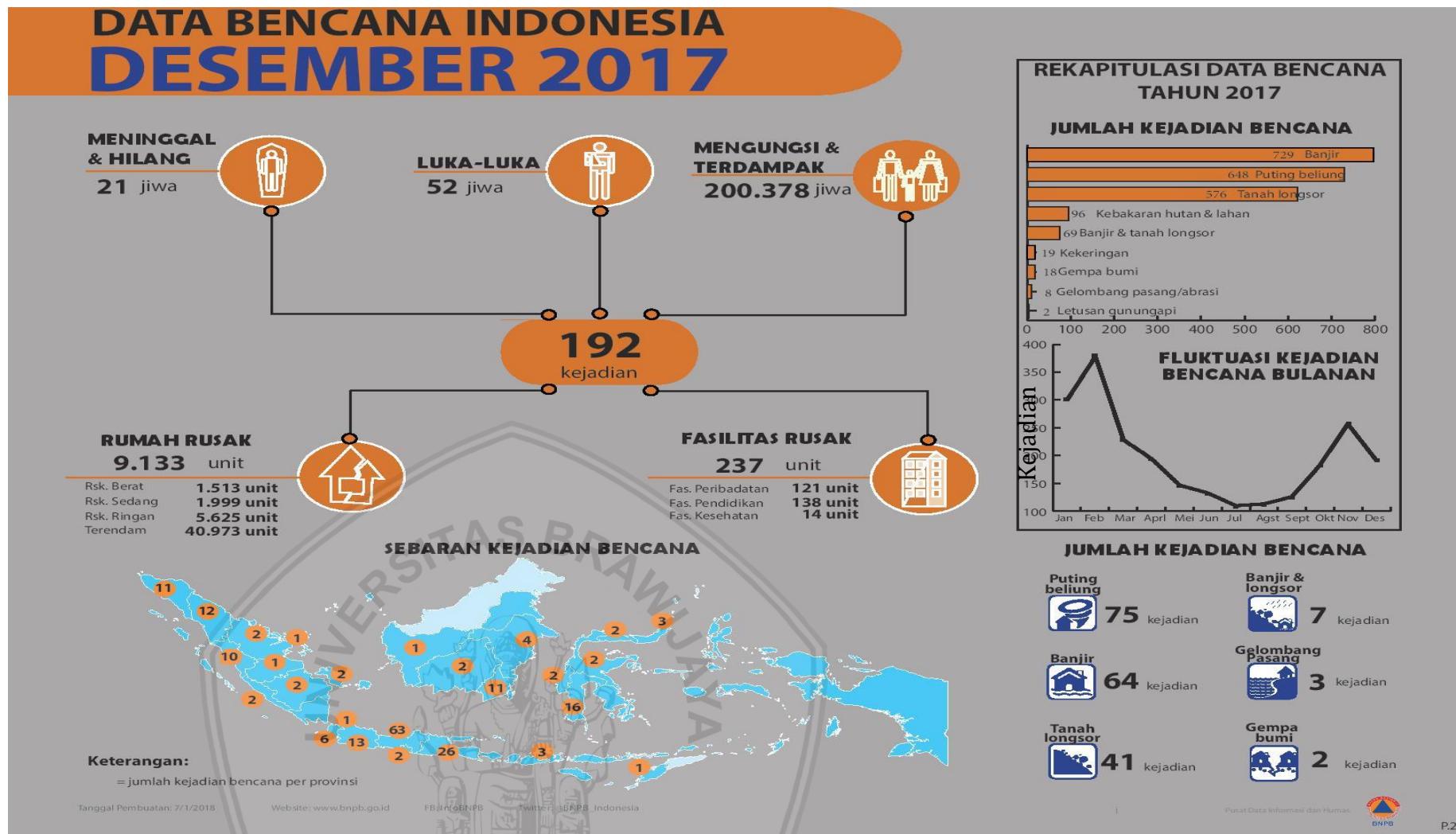
Proses alih ragam hujan menjadi aliran air sungai adalah total keseluruhan air langsung hujan, limpasan atas permukaan, aliran antara (*interflow*) dan limpasan bawah permukaan (Limantara, 2010), direpresentasikan dalam kurva hubungan antara kedalaman aliran (elevasi) air sungai terhadap debit aliran sungai. Analisis hidrograf limpasan permukaan kemudian disederhanakan menjadi suatu bentuk model hidrologi sebagai gambaran keadaan sebenarnya (Hidayat, 2001 dalam Harsoyo, 2010).

Salah satu bentuk model hidrologi dikembangkan *US Army Corps of Engineers-Institute for Water Resources* yaitu model HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Center-Hydrology Modelling System*), merupakan aplikasi perangkat lunak untuk mensimulasi proses curah hujan limpasan di suatu DAS (USACE 2010) sehingga diperoleh model hidrologi DAS (Tiara, 2011).

Penerapan Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis (SIG), informasi lapangan diperoleh melalui penginderaan jarak jauh dan model kartografi Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk mengidentifikasi faktor parameter pengaruh kerawanan banjir di suatu wilayah. Metode kombinasi tersebut untuk analisis daerah-daerah berpotensi banjir alternatif pengendalian banjir (Martha, 2011).

Sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Sadar merupakan salah satu Sub DAS pada DAS Brantas secara administratif terletak di wilayah Kabupaten dan Kota Mojokerto Propinsi Jawa Timur, memiliki tingkat kerawanan banjir yang tinggi dimana sebanyak 27 desa di 5 kecamatan di Kabupaten Mojokerto rawan bencana banjir dan tanah longsor ([www.suaramojokerto.com/2019/01/18/bpbd-mojokerto-27-desa-rawan-bencana-longsor-dan-banjir/](http://www.suaramojokerto.com/2019/01/18/bpbd-mojokerto-27-desa-rawan-bencana-longsor-dan-banjir/)). Kejadian banjir disebabkan intensitas hujan tinggi serta karakteristik fisik Sub DAS Sadar, kerusakan sarana prasarana pengairan berdampak kerugian materiil dan non materiil kepada warga di Wilayah Kabupaten dan Kota Mojokerto (<https://faktualnews.co/2019/01/21/pemkab-mojokerto-data-kerugian-bencana-banjirbandang-/119408/>).

Analisis hidrograf aliran Sub DAS Sadar menjadi hal mendesak dilakukan kajian untuk meneliti respon Sub DAS tersebut terhadap curah hujan serta pengaruh debit aliran Sungai Sadar terutama saat kejadian banjir kemudian disederhanakan menjadi suatu model hidrologi. Tinjauan data spasial untuk mengidentifikasi daerah rawan bahaya banjir sebagai deteksi dini kejadian bencana sehingga dapat dilakukan penanganan / pengendalian meminimalisir dampak bencana.



Gambar 1.1 Kejadian bencana bulan Desember 2017 dan rekapitulasi tahun 2017  
Sumber : BNPB (2018)

## 1.2 Identifikasi Masalah

Sub DAS Sadar memiliki luas daerah aliran sungai sebesar  $\pm 358 \text{ km}^2$ , terletak di wilayah Kabupaten dan Kota Mojokerto Provinsi Jawa Timur dengan sungai utama yaitu Kali/Sungai Sadar sepanjang 23 km dan merupakan salah satu anak sungai Porong.

Intensitas hujan tinggi di Sub DAS Sadar mempengaruhi kenaikan level air dan debit Sungai Sadar mengakibatkan kejadian banjir. Contoh kejadian tanggal 19 Februari 2017, hujan dengan intensitas tinggi mengakibatkan banjir di 12 Desa/Kelurahan, 4 Kecamatan Kabupaten/Kota Mojokerto (sumber : BPBD Propinsi Jatim, 2017), menimbulkan kerusakan bangunan sarana prasarana serta kerugian materiil dan non materiil. Intensitas hujan tercatat di stasiun telemetri *Automatic Rainfall Recorder* (ARR) Sadar tanggal 19 Februari 2017 sebesar 157 durasi 6 jam dan curah hujan tertinggi tanggal 20 Februari 2017 sebesar 233 mm durasi 3 jam. Pencatatan telemetri *Automatic Water Level Recorder* (AWLR) untuk debit puncak dan tinggi muka air kejadian banjir sebagai berikut :

Tabel 1.1  
Pencatatan AWLR Stasiun Sadar

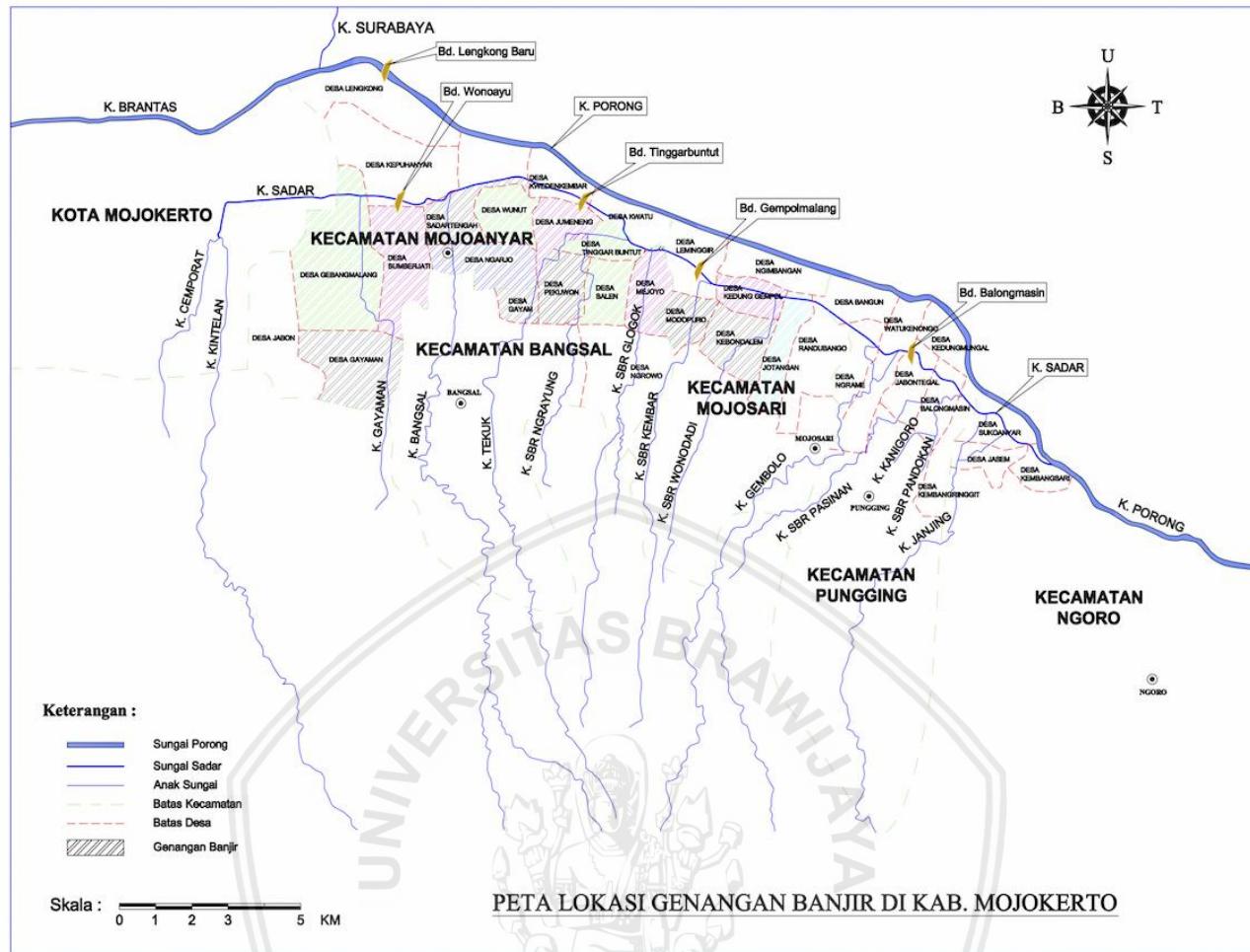
No	Uraian	20 Feb 2017	21 Feb 2017	22 Feb 2017	23 Feb 2017	24 Feb 2017	25 Feb 2017
1	Tinggi Muka Air Max (m)	16,42	16,65	17,91	18,26	18,42	18,58
2	Debit Max ( $\text{m}^3/\text{dt}$ )	116,00	141,40	289,69	335,99	358,30	381,33
3	Jam (WIB)	11:00	11:00	11:00	12:00	12:00	11:00

Sumber : Data AWLR PJT I, 2017

Karakteristik fisik Sub DAS Sadar mempengaruhi debit aliran air Sungai Sadar. Bentuk DAS, topografi (kemiringan dan ketinggian), keragaman tutupan lahan, jumlah sungai/anak dan lain sebagainya merupakan faktor pengaruh alih ragam hujan menjadi debit aliran sungai.

Respon suatu DAS terhadap masukan (input) hujan dengan besaran dan distribusi tertentu menghasilkan hidrograf satuan (Limantara, 2010). Hidrograf satuan HEC-HMS diharapkan memberikan gambaran respon Sub DAS Sadar terhadap curah hujan, sebagai kalibrasi terhadap pencatatan AWLR untuk diperoleh model hidrologi mendekati kondisi lapangan.

Penyelarasan model hidrologi dengan SIG melalui tinjauan data spasial untuk mengidentifikasi daerah kerawanan bencana banjir sebagai deteksi dini sehingga dapat dilakukan penanganan / pengendalian meminimalisir dampak bencana.



*Gambar 1.2 Peta genangan dan kejadian banjir kali sadar tanggal 21 Februari 2017  
Sumber : PJT I (2017)*

### 1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, dirumuskan beberapa masalah antara lain :

1. Bagaimana input data model HEC-HMS Sub DAS Sadar menggunakan *Digital Elevation Model*, penggunaan lahan dan jenis tanah?
2. Bagaimana kalibrasi-validasi parameter model hidrologi HEC-HMS Sub DAS Sadar saat kejadian banjir?
3. Apa saja yang berpengaruh terhadap tingkat kerawanan banjir di Sub DAS Sadar?

### 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian ini antara lain :

1. Daerah penelitian mencakup wilayah Sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Sadar.
2. Data citra yang digunakan adalah *Digital Elevation Model Nasional* (DEMNAS).
3. Data curah hujan dan elevasi Sungai Sadar berdasarkan data dari instansi Perusahaan Umum Jasa Tirta I.
4. Tidak memperhitungkan laju sedimentasi.
5. Perangkat lunak permodelan menggunakan HEC-HMS 4.3.
6. Perangkat lunak Sistem Informasi Geografis menggunakan ArcMap 10.3.

### 1.5 Tujuan dan Manfaat

Tujuan penelitian ini antara lain :

1. Mengetahui data-data awal model HEC-HMS melalui *Digital Elevation Model*, penggunaan lahan dan jenis tanah menggunakan ArcGIS.
2. Mengetahui kalibrasi validasi parameter model hidrologi HEC-HMS saat kejadian banjir Sub DAS Sadar.
3. Mengetahui parameter pengaruh daerah kerawanan bencana banjir Sub DAS Sadar.

Manfaat dari penelitian ini antara lain :

1. Sebagai deteksi dini kejadian bencana banjir di wilayah Kabupaten/Kota Mojokerto dan masukan pertimbangan bagi para pengambil keputusan serta pihak terkait dalam perencanaan penanganan / pengendalian banjir Sub DAS Sadar.
2. Sebagai pengembangan prinsip keilmu pengetahuan serta referensi prediksi limpahan permukaan Sub DAS Sadar.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

Definisi Banjir adalah tidak mampunya sungai mengalirkan debit banjir, aliran air melampaui dari daya tampung sungai, disebabkan intensitas hujan tinggi sehingga mengakibatkan genangan di wilayah dengan kemiringan kurang, dari kondisi awal tidak mengalami genangan (Richard 1995).

Kejadian banjir dipengaruhi berbagai faktor meliputi iklim/cuaca dan karakteristik fisik wilayah. Intensitas hujan, distribusi hujan, frekuensi dan waktu lamanya terjadi hujan adalah hal berkaitan dengan faktor iklim/cuaca. Kontur kemiringan, ketinggian lahan, vegetasi lahan, tata guna lahan, daya resap air dan lain-lain adalah hal berkaitan dengan karakteristik fisik DAS. Perubahan tata guna lahan menurunkan kemampuan tanah untuk menahan/meresapkan air hujan, sehingga meningkatkan limpasan permukaan dan mengakibatkan erosi lahan.

#### 2.1 Hidrologi dan Daerah Aliran Sungai (DAS)

Penelaahan hidrologi Daerah Aliran Sungai (DAS) berprinsip adanya kontribusi debit aliran ke Sungai Utama. Asdak (1995) memberikan definisi DAS merupakan daerah dengan batasan deretan gunung-pegunungan, air hujan turun di areal tersebut kemudian ditampung dan dialirkan melalui sungai-sungai kecil menuju sungai utama.

#### 2.2 Analisis Hidrologi

Proses analisis hidrologi merupakan proses penting dalam suatu perencanaan yang berhubungan dengan bidang keairan. Proses analisis merupakan pengolahan data curah hujan, data luas serta bentuk daerah pengaliran (*catchment area*), data kemiringan lahan atau beda tinggi dan data penggunaan lahan. Faktor-faktor tersebut memiliki arahan untuk mengetahui besarnya curah hujan maksimum, koefisien pengaliran, waktu konsentrasi, intensitas curah hujan dan debit banjir rencana

## 2.3 Hujan

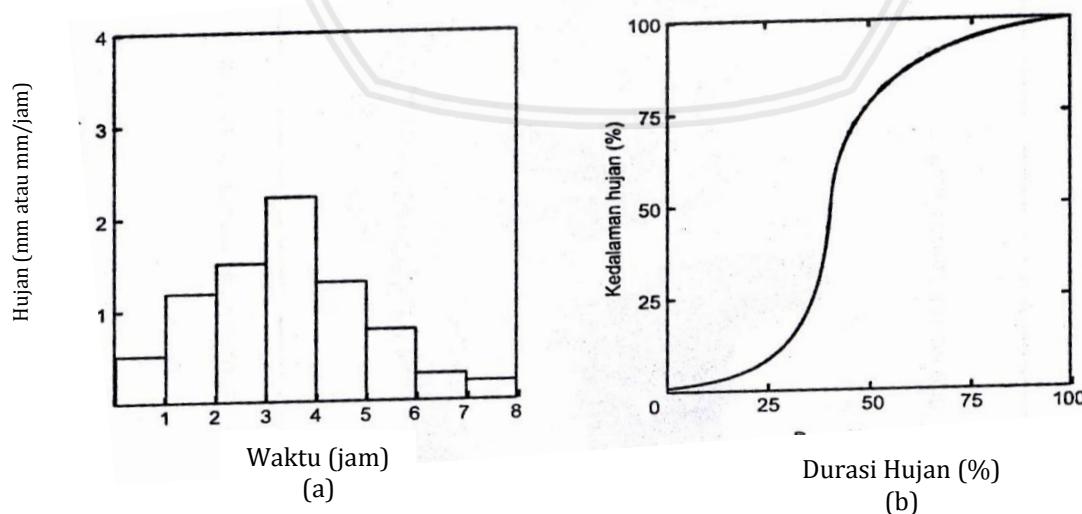
Hujan atau presipitasi adalah peristiwa turunnya air dari atmosfer ke permukaan bumi; berupa hujan, hujan salju, kabut, embun dan hujan es. (Triatmojo, Bambang. 2015). Terdapat hubungan antara hujan dengan debit sungai di suatu DAS, semakin besar intensitas hujan di suatu DAS, maka debit di sungai semakin besar.

### 2.3.1 Parameter Hujan

Jumlah hujan di permukaan bumi dinyatakan dalam kedalaman air (mm), asumsi terdistribusi secara merata pada seluruh daerah tangkapan air. Intensitas hujan adalah jumlah curah hujan dalam suatu satuan waktu, dinyatakan dalam mm/jam, mm/hari, mm/minggu, mm/bulan, mm/tahun, dan sebagainya; berturut disebut hujan jam-jaman, harian, mingguan, buanan, tahunan dan lain sebagainya.

Durasi hujan adalah komponen waktu dari awal hujan hingga berhenti, dinyatakan dalam jam. Intensitas hujan rerata adalah perbandingan antara kedalaman hujan dan durasi hujan. Misalnya hujan selama 5 jam menghasilkan kedalaman 50 mm; berarti intensitas hujan rata-rata adalah 10 mm/jam.

Distribusi hujan sebagai fungsi waktu menggambarkan variasi kedalaman hujan selama hujan berlangsung, dinyatakan dalam bentuk diskret atau kontinyu. Bentuk Diskret, disebut sebagai *hyetograph*, yaitu kedalaman hujan atau intensitas hujan dengan pertambahan waktu sebagai absis dan kedalaman hujan atau intensitas hujan sebagai ordinat, seperti dalam Gambar 2.1 (a). Bentuk kontinyu menggambarkan hubungan laju hujan kumulatif sebagai fungsi waktu seperti dalam Gambar 2.1 (b).



Gambar 2.1 Hyetograph

Sumber : Triadmojo, Bambang (2015)

### 2.3.2 Pengukuran Hujan

Alat penakar hujan dibedakan menjadi dua macam yaitu penakar hujan biasa (*manual raingauge*) dan penakar hujan otomatis (*automatic raingauge*). Penelitian ini menggunakan data hujan dari alat penakar hujan otomatis / *Automatic Rainfall Recorder* (ARR) Perusahaan Umum Jasa Tirta I tahun 2012 – 2018 pada 4 stasiun telemetri Sub DAS Sadar.

### 2.3.3 Analisis Data Hujan

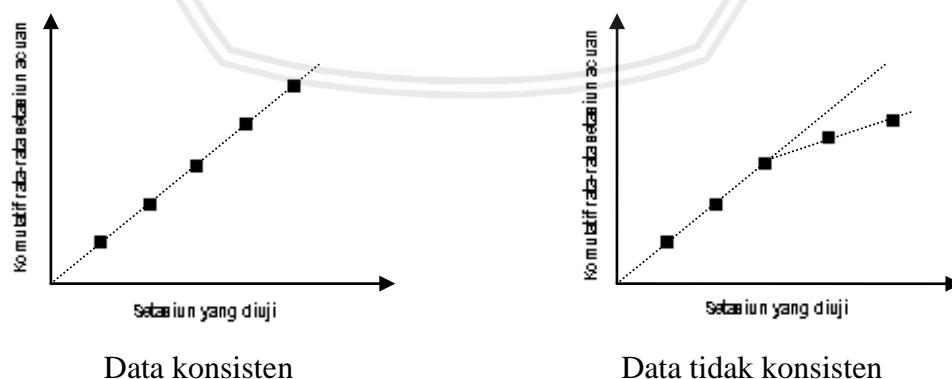
Ketersediaan serta kualitas data menjadi persyaratan pokok untuk melanjutkan analisis, data hujan terdiri dari deret angka pencatatan dan rawan terjadi kesalahan terutama pada penggunaan sampel data dari keseluruhan populasi data. Pengujian data curah hujan diperlukan untuk memperoleh kesimpulan data curah hujan memenuhi persyaratan melalui analisis statistik dengan derajat kepercayaan tertentu.

Jenis pengujian data curah hujan meliputi uji konsistensi data hujan, uji ketiadaan trend, uji *stationary* dan uji persistensi dilakukan analisis secara statistik sebelum digunakan untuk simulasi hidrologi. Analisis statistik uji tersebut memastikan data hujan layak digunakan pada simulasi peluang.

#### 1. Uji konsistensi (*consistency test*)

Data hujan stasiun tertentu dimungkinkan sifatnya tidak konsisten (*inconsistent*). Data semacam ini tidak dapat langsung dianalisis sehingga dilakukan pengujian terhadap konsistensi data dengan menggunakan metode sebagai berikut :

- a. Kurva massa ganda (*double mass curve*), merepresentasikan data stasiun uji konsisten dengan membentuk garis lurus dengan kemiringan tidak berubah.



Gambar 2.2 Uji konsistensi kurva massa ganda

Sumber : Harto, Sri (2000)

- b. Metode Statistik antara lain : *Von Neumann Ratio*, *Cummulative Deviation*, *Rescaled Adjusted Partial Sums*, *Weighted Adjusted Partial Sums*.

Metode statistik *Rescaled Adjusted Partial Sums* (RAPS) memiliki persamaan sebagai berikut :

$$S_0^* = 0 : S_k^* = \sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y}), \text{ dengan } k = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (2.1)$$

Persamaan 2.1 memiliki hipotesis, jika  $\Delta < 0$  maka nilai  $S_k^*$  akan bernilai positif sedangkan  $\Delta > 0$  nilai  $S_k^*$  akan bernilai negatif, dengan membagi  $S_k^*$  dengan deviasi standar.

$$S_k^{**} = \frac{S_k^*}{S} \text{ dengan } k = 0, 1, 2, \dots, n \quad (2.2)$$

dimana S adalah standar deviasi, dengan

$$D_y^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(Y_i - \bar{Y})^2}{n} \quad (2.3)$$

Data statistik sebagai alat penguji konsistensi adalah :

$$Q = \max_{0 \leq k \leq n} |S_k^{**}| \quad (2.4)$$

atau nilai statistik R (*range*)

$$R = \max_{0 \leq k \leq n} S_k^{**} - \min_{0 \leq k \leq n} S_k^{**} \quad (2.5)$$

Nilai kritis Q dan R dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.1.

Nilai Kritis Q dan R

N	$Q/\sqrt{n}$			$R/\sqrt{n}$		
	90%	95%	99%	90%	95%	99%
10	1.05	1.14	1.29	1.21	1.28	1.38
20	1.10	1.22	1.42	1.34	1.43	1.60
30	1.12	1.24	1.46	1.40	1.50	1.70
40	1.13	1.26	1.50	1.42	1.53	1.74
50	1.14	1.27	1.52	1.44	1.55	1.78
100	1.17	1.29	1.55	1.50	1.62	1.86
$\infty$	1.22	1.36	1.63	1.62	1.75	2.00

Sumber : Harto, 1993

Hasil perhitungan nilai  $Q/\sqrt{n}$  hitung dan  $R/\sqrt{n}$  hitung dibandingkan dengan nilai ijin sesuai tabel 2.1, apabila hasil diperoleh lebih kecil untuk tingkat kepercayaan tertentu maka data dalam batasan konsisten.

## 2. Uji ketiadaan trend

Deretan angka data hujan, nilai menunjukkan gerakan berjangka panjang dan mempunyai kecendrungan menuju ke satu arah, arah naik atau turun disebut dengan pola atau trend. Apabila data hujan menunjukkan adanya trend maka analisis hidrologi harus mengikuti garis trend dari hasil perhitungan, misal analisis regresi dan *moving average* (rata-rata bergerak).

Beberapa metode statistik dapat digunakan untuk pengujian ketiadaan trend dalam deret berkala antara lain *Spearman, Mann and Whitney, Cox and Stuart* (Soewarno, 1995).

Metode *Spearman* menggunakan sistem koefisien korelasi peringkat sebagai berikut :

$$KP = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (dt)^2}{n^3 - n}$$

(2.6)

$$t = KP \left[ \frac{n-2}{1-KP^2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

(2.7)

dimana :

KP = koefisien korelasi peringkat Spearman

n = jumlah data

dt = selisih  $R_t$  dengan  $T_t$

$T_t$  = peringkat dari waktu

$R_t$  = peringkat dari variabel hidrologi dalam deret berkala.

t = nilai hitung uji t

Untuk uji 2 sisi dengan level of significant 5 % (masing-masing 2,5%) serta derajat bebas ( $dk = n-2$ ) perlu nilai  $t_c$  kritis berdasarkan Tabel 2.2:

Tabel 2.2

Nilai Kritis  $t_c$  Untuk Distribusi t Uji Dua Sisi

dk	Derajat Kepercayaan, $\alpha$				
	0,100	0,050	0,025	0,010	0,005
1	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657
2	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925
3	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841
4	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604
5	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032
6	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707
7	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499
8	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355

9	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250
10	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169

Sumber : Bonnier, Januari 1981 dalam Soewarno (1995)

Tabel 2.2 Lanjutan

Nilai Kritis  $t_c$  Untuk Distribusi t Uji Dua Sisi

dk	Derajat Kepercayaan, $\alpha$				
	0,100	0,050	0,025	0,010	0,005
11	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106
12	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055
13	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012
14	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977
15	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947
16	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921
17	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898
18	1,339	1,734	2,101	2,552	2,878
19	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861
20	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845

Sumber : Bonnier, Januari 1981 dalam Soewarno (1995)

### 3. Uji stasioner

Data hujan disebut stasioner apabila nilai parameter statistik (rata-rata dan varian) relatif tidak berubah dari bagian periode/runtun waktu. Data hujan tidak stasioner menunjukkan data tidak homogen/tidak sama jenis. Apabila data tersebut tidak menunjukkan adanya trend, maka dilanjutkan uji Stasioner dengan tujuan menguji kestabilan nilai varian dan rata-rata.

Pengujian nilai varian dari deret berkala dapat dilakukan dengan uji-F (*Fisher test*) dengan bentuk persamaan :

$$F = \frac{N_1 \cdot S_1^2 (N_2 - 1)}{N_2 \cdot S_2^2 (N_1 - 1)} \dots \dots \dots \quad (2.8)$$

dimana :

$F$  = nilai hitung uji  $F$

$N_1$  = jumlah data kelompok 1

$N_2$  = jumlah data kelompok 2

$S_1$  = standar deviasi data kelompok 1

$S_2$  = standar deviasi data kelompok 2

dengan derajat bebas ( $dk$ ) :

$$dk_1 = N_1 - 1$$

$$dk_2 = N_2 - 1$$

untuk nilai F kritis diperoleh dari korelasi tabel sebagai berikut :

Tabel 2.3

Nilai Kritis Fc Distribusi F,  $F = 0,05$  ( $dk_1, dk_2$ ) atau ( $V_1, V_2$ )

$dk_2 = V_2$	$dk_1 = V_1$								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	161,40	199,50	215,70	224,60	230,20	234,00	236,80	238,90	240,50
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,35	19,37	19,38
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8,81
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,77
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,37	3,68
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18

Sumber : Bonnier, Januari 1981 dalam Soewarno (1995)

Hipotesa nol untuk parameter statistik data adalah stasioner, sebaliknya hipotesa tidak sama dengan satu untuk parameter statistik data tidak stasioner. Hasil pengujian hipotesa nol ditolak, berarti nilai varian tidak stabil atau tidak homogen. Deret berkala yang nilai variannya tidak homogen berarti deret berkala tidak stasioner dan tidak perlu melakukan pengujian lanjutan.

Stabilitas nilai rata-rata data deret berkala diuji dengan uji-t (*student test*) dengan persamaan sebagai berikut :

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sigma \left( \frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2} \right)^{\frac{1}{2}}} \quad \dots \dots \dots \quad (2.9)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{N_1 S_1^2 + N_2 S_2^2}{N_1 + N_2 - 2}} \quad \dots \dots \dots$$

(2.10)

dimana :

$t$  = nilai hitung uji t

$N_1$  = jumlah data kelompok 1

$N_2$  = jumlah data kelompok 2

$\bar{X}_1$  = nilai rata-rata data kelompok 1

$\bar{X}_2$  = nilai rata-rata data kelompok 2  
 S1 = Standar Deviasi data kelompok 1  
 S2 = Standar Deviasi data kelompok 2

Dengan derajat bebas  $dk = N_1 + N_2 - 2$

#### 4. Uji persistensi

Asumsi data berasal dari sampel acak (random) harus dilakukan pengujian, hal tersebut umumnya merupakan persyaratan dalam analisis distribusi peluang. Persistensi (*persistence*) adalah ketidaktergantungan dari setiap nilai dalam seret berkala, pelaksanaan pengujian persistensi dihitung dari besar koefisien korelasi serial, salah satu metode menentukan koefisien korelasi serial adalah metode Spearman.

Koefisien korelasi serial metode Spearman dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$KS = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (di)^2}{m^3 - m}$$

(2.11)

$$t = KS \left[ \frac{m-2}{1-KS^2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad \dots \dots \dots \quad (2.12)$$

dimana :

KS = koefisien korelasi serial Spearman

m = jumlah data

di        =    selisih antara peringkat ke  $X_i$  dan  $X_{i-1}$

t = nilai hitung uji t

Dengan derajat bebas  $dk = m - 2$

Data curah hujan seringkali memiliki kekurangan kelengkapan data dengan beberapa sebab antara lain alat ukur yang rusak, terdapat halangan pada pengamat, data hilang dan lain sebagainya. Salah satu metode yang digunakan untuk perencanaan hidrologi yaitu metode perbandingan normal (*normal ratio method*), pendekatan formula sebagai berikut (Hadisusanto, 2011) :

$$PA = \frac{1}{N} (\frac{NA}{N_1} xP1 + \frac{NA}{N_2} xP2 + \frac{NA}{N_3} xP3 + \dots + \frac{NA}{N_n} xPn) \quad \dots \quad (2.13)$$

dimana :

PA = hujan yang diperkirakan pada stasiun A

NA = jumlah hujan tahunan normal pada stasiun A

P<sub>1</sub>,P<sub>2</sub>,..P<sub>n</sub> = hujan pada saat yang sama dengan hujan yang diperkirakan pada stasiun

N<sub>1</sub>,N<sub>2</sub>,..N = jumlah hujan tahunan normal stasiun yang berdekatan

#### 2.3.4 Penentuan Hujan Kawasan

Perhitungan hidrologi selanjutnya yaitu perhitungan hujan rata-rata, dilakukan dengan tiga metode berikut yaitu metode rerata aritmatik, metode poligon Thiessen, dan metode isohiet.

##### 1. Metode rerata aritmatik (aljabar)

Metode aljabar menghitung hujan rerata di suatu daerah. Pengukuran di beberapa stasiun dalam waktu bersamaan untuk dijumlahkan dan kemudian dibagi dengan jumlah stasiun pencatatan. Penentuan Stasiun hujan untuk perhitungan adalah stasiun hujan di lokasi lingkup DAS, tetapi stasiun di luar DAS dan berdekatan dengan wilayah dapat dimasukkan dalam perhitungan.

Metode rerata aljabar memberikan hasil baik apabila :

- a. Stasiun hujan tersebar secara merata di DAS.
- b. Distribusi hujan relatif merata pada seluruh DAS.

Hujan rerata pada seluruh DAS diberikan oleh bentuk berikut :

$$\bar{P} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{n}$$

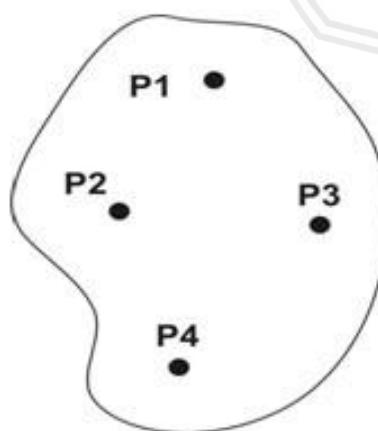
(2.14)

dimana :

$P$  = hujan rerata kawasan

$P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$  = hujan di stasiun 1,2,3 ... n

$n$  = Jumlah stasiun



Gambar 2.3 Metode aritmatik

Sumber : Triadmojo, Bambang (2015)

##### 2. Metode Poligon Thiessen

Metode ini menghitung bobot masing-masing stasiun mewakili luasan pengaruh terhadap keseluruhan wilayah DAS. Suatu luasan pengaruh di DAS dianggap bahwa curah hujan adalah sama dengan curah hujan di stasiun terdekat, sehingga pencatatan curah hujan di suatu stasiun mewakili luasan tersebut. Metode ini digunakan apabila penyebaran stasiun hujan di daerah tinjauan tidak merata. Hitungan curah hujan rerata dilakukan dengan memperhitungkan luas daerah pengaruh dari tiap stasiun melalui persamaan matematik sebagai berikut :

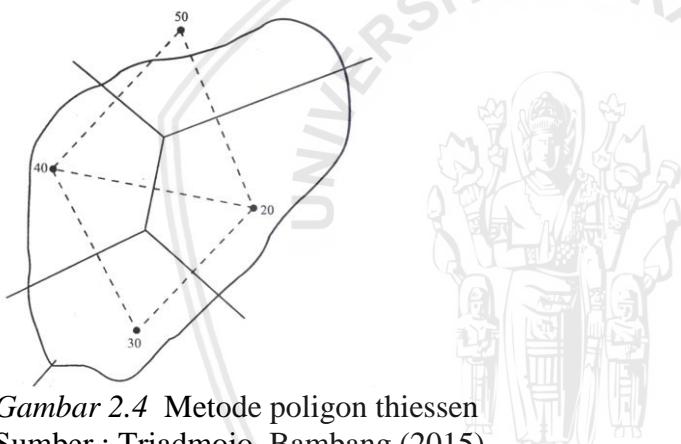
$$\bar{P} = \frac{A_1 P_1 + A_2 P_2 + \dots + A_n P_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad \dots \dots \dots \quad (2.15)$$

dimana :

$P$  = hujan rerata kawasan

$P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$  = hujan di stasiun 1, 2, 3 ... n

$n$  = Jumlah stasiun



Gambar 2.4 Metode poligon thiessen  
Sumber : Triadmojo, Bambang (2015)

### 3. Metode Isohiet

Isohiet adalah garis penghubung titik-titik dengan kedalaman hujan nilai sama. Metode ini, dianggap bahwa hujan di suatu daerah antara dua garis isohiet adalah merata dan sama dengan nilai rerata dari kedua garis isohiet tersebut seperti pada Gambar 2.6 dengan persamaan matematis hujan rerata metode isohiet sebagai berikut :

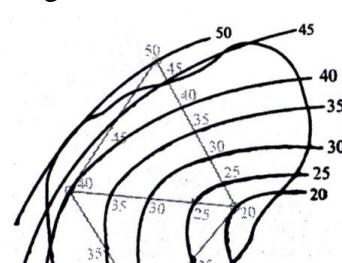
$$\bar{P} = \frac{A_1 \frac{I_1 + I_2}{2} + A_2 \frac{I_2 + I_3}{2} + A_n \frac{I_n + I_{n+1}}{2}}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad \dots \dots \dots \quad (2.16)$$

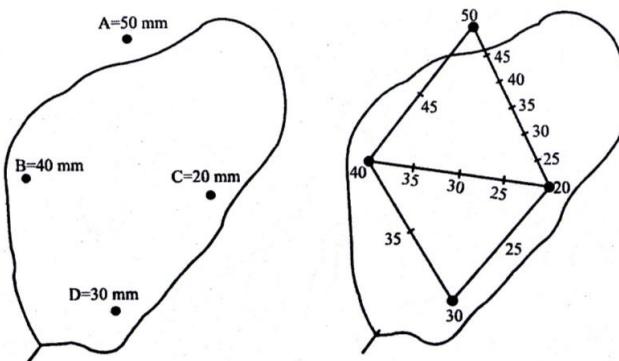
dimana :

$P$  = hujan rerata kawasan

$I_1, I_2, I_3, \dots, I_n$  = garis isohiet ke 1, 2, 3 ... n, n+1

$A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$  = luas daerah yang dibatasi oleh garis isohiet ke 1 2 3, ...., n dan n+1





Gambar 2.5 Metode isohiet

Sumber : Triadmojo, Bambang (2015)

Penentuan hujan kawasan metode Isohiet penelitian ini menggunakan metode *Inverse Distance Weighted IDW* menggunakan bantuan aplikasi ArcGIS-ArcMap, yaitu metode deterministik sederhana dengan mempertimbangkan titik disekitar (NCGIA, 1997 dalam Pramono, 2008). Metode berasumsi nilai interpolasi mirip pada data sampel terdekat daripada terjauh dengan bobot berubah linear sesuai dengan jarak dengan data sampel.

## 2.4 Hidrometri

Hidrometri secara umum merupakan ilmu pengetahuan tentang metode pengukuran dan pengumpulan data dasar bagi analisis hidrologi yang meliputi ketinggian muka air, debit dan unsur lainnya. Informasi yang terukur mencakup perubahan waktu dan ruang memerlukan rangkaian data sungai yang panjang dan menerus. Oleh karena pemilihan tempat-tempat strategis dianggap penting sebagai pengamatan, pada stasiun hidrometri setidaknya ditetapkan hubungan antara tinggi muka air dengan debit (liku kalibrasi - *rating curve*).

### 2.4.1 Debit Aliran Sungai

Debit aliran sungai diberi notasi  $Q$ , adalah jumlah air yang mengalir melalui tampang melintang sungai tiap satu satuan waktu, dinyatakan dalam meter kubik per detik ( $m^3/dt$ ) (Bambang Triatmodjo, 2015). Debit aliran sungai diperoleh dengan mengalikan luas tampang aliran ( $A$ ) dan kecepatan aliran ( $V$ ), kedua parameter tersebut diukur pada suatu tampang melintang (stasiun) di sungai.

Debit di suatu lokasi dapat diperkirakan dengan cara :

1. Pengukuran di lapangan (di lokasi yang ditetapkan).
2. Berdasarkan data debit dari stasiun telemetri terdekat.
3. Berdasarkan data hujan tercatat.
4. Berdasarkan pembangkitan data debit tercatat.

Pengukuran debit di lapangan dilakukan dengan membuat stasiun pengamatan atau mengukur debit di bangunan air seperti bendung dan peluap/pelimpah. Pembuatan stasiun pengamatan debit, parameter diukur meliputi tampang melintang sungai, elevasi muka air dan kecepatan aliran. Perhitungan debit aliran dengan mengalikan luas tampang dan kecepatan aliran, untuk hasil lebih teliti, lebar tampang sungai dibagi menjadi sejumlah pias, dan diukur kecepatan aliran pada vertikal di setiap pias.

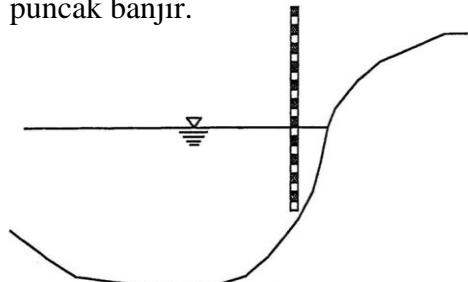
Debit sungai, terdistribusi ruang dan waktu, merupakan informasi penting dalam perencanaan bangunan air dan pemanfaatan sumber daya air. Mengingat data debit aliran sangat bervariasi dari waktu ke waktu, maka diperlukan data pengamatan debit dalam waktu panjang.

#### **2.4.2 Pengukuran Debit Sungai**

Pengukuran debit secara umum dilakukan dengan penentuan luas penampang basah sungai ( $A$ ) yaitu mengukur elevasi muka air dan mengukur kecepatan air ( $v$ ) menggunakan alat pengukur kecepatan (*current meter*) atau pelampung dengan *stop watch* (Limantara, 2010).

##### **2.4.2.1 Alat Ukur Tinggi Muka Air Sungai**

Merupakan alat duga air tunggal sebagai titik kontrol membatasi sistem DAS dan ditempatkan di bangunan sisi sungai dengan mempertimbangkan kebutuhan data aliran saat ini maupun masa mendatang. Alat duga air diukur terhadap garis datum, Provinsi Jawa timur menggunakan SHVP (*Surabaya Haven Vaste Peil*) yaitu titik duga tetap di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya (Limantara, 2010). Pengamatan pencatatan papan duga secara umum dilakukan setiap hari minimum sekali dalam sehari pada waktu-waktu tertentu sesuai penetapan, hal ini memiliki kelemahan apabila terdapat jam-jam tertentu terjadi kenaikan muka air mendadak dalam waktu singkat (*flash flood*), sehingga pencatatan tidak memperoleh data informasi penting seperti waktu, nilai elevasi dan debit puncak banjir.



Gambar 2.6 Papan duga sungai

Sumber : Harto, Sri (1993)

Perkembangan teknologi, pencatatan data hidrologi di stasiun hidrometri dilakukan dengan merekam semua perubahan tinggi muka air secara terus menerus secara otomatis atau disebut *Automatic Water Level Recorder* (AWLR). Pencatatan data merupakan hubungan antara tinggi air sebagai fungsi waktu (*stage hydrograph*) dengan beberapa model/tipe yaitu tipe pelampung, *pressure* sensor maupun sensor ultrasonik. Penelitian ini menggunakan elevasi air sungai dari AWLR Perusahaan Umum Jasa Tirta I Stasiun Sadar tahun 2012 – 2018.

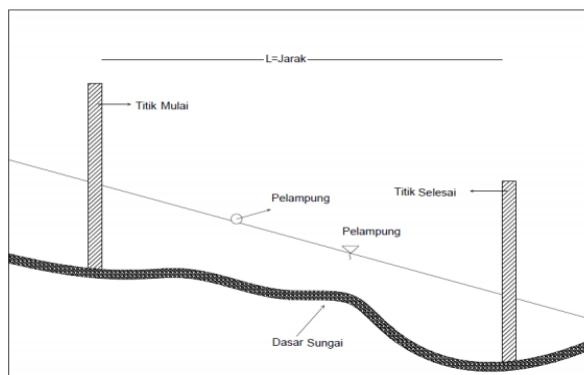


Gambar 2.7 Stasiun AWLR dan contoh rekaman AWLR

Sumber : Dokumentasi

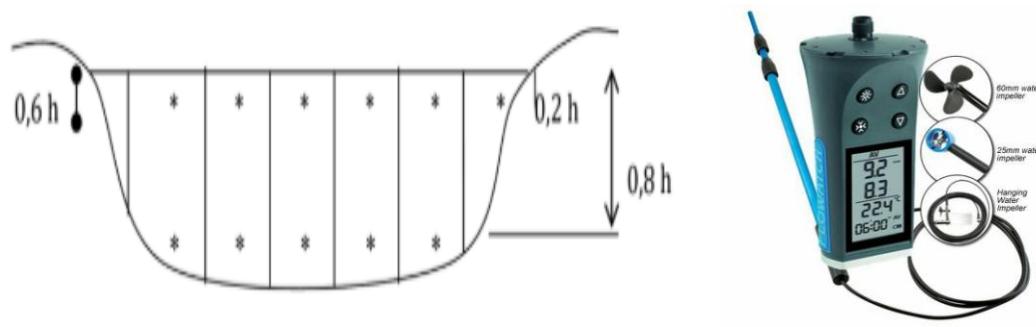
#### 2.4.2.2 Alat Ukur Kecepatan Aliran

Kecepatan aliran sungai merupakan komponen aliran penting, diukur dalam dimensi satuan panjang setiap satuan waktu dan dinyatakan dalam meter per detik. Beberapa metode pengukuran kecepatan aliran antara lain dengan pelampung serta dengan *current meter*.



Gambar 2.8 Pengukuran kecepatan aliran

Sumber : Triadmojo (1993)



Gambar 2.9 Titik pengukuran kecepatan aliran dan Alat ukur *current meter*

Sumber : Limantara, (2010) dan tokopedia

#### 2.4.3 Liku Kalibrasi

Liku kalibrasi adalah hubungan grafis antara tinggi muka air (m) dan debit ( $m^3/dt$ ), diperlukan dalam analisis hidrologi dengan sejumlah kegiatan pengukuran terencana. Liku kalibrasi diperoleh dengan pendekatan statistik dan matematik persamaan berikut :

$$Q = A (H + \Delta H)^B \quad \dots \dots \dots \quad (2.17)$$

dimana :

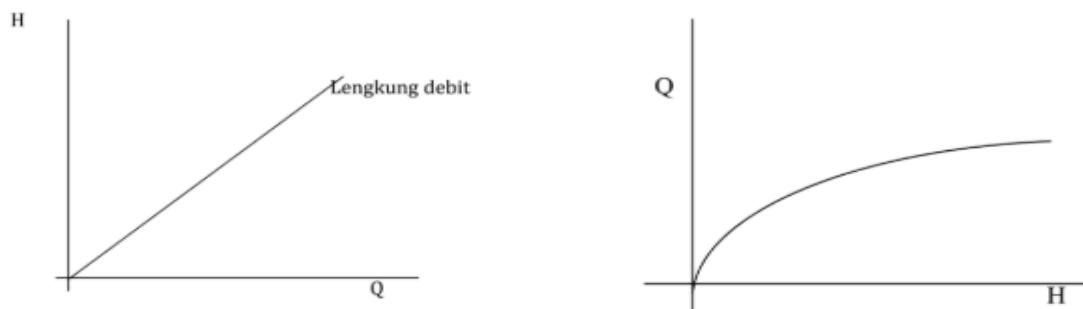
$Q$  = debit sungai ( $m^3/dt$ )

$A, B$  = tetapan

$H$  = tinggi muka air (m)

$\Delta H$  = angka koreksi, antara nol papan duga dan angka papan duga dengan  $Q = 0$

Lengkung debit merupakan hubungan antara  $H$  dan  $Q$  memiliki bentuk kurva beragam, berupa garis lengkung lurus, kuadrat, polynomial, eksponensial dan lain-lain. Tinggi elevasi air ( $H$ ) dari pengamatan/pencatatan lapangan dapat langsung diperoleh debit aliran ( $Q$ ) berdasarkan lengkung debit.



Gambar 2.10 Lengkung debit

Sumber : Limantara (2010)

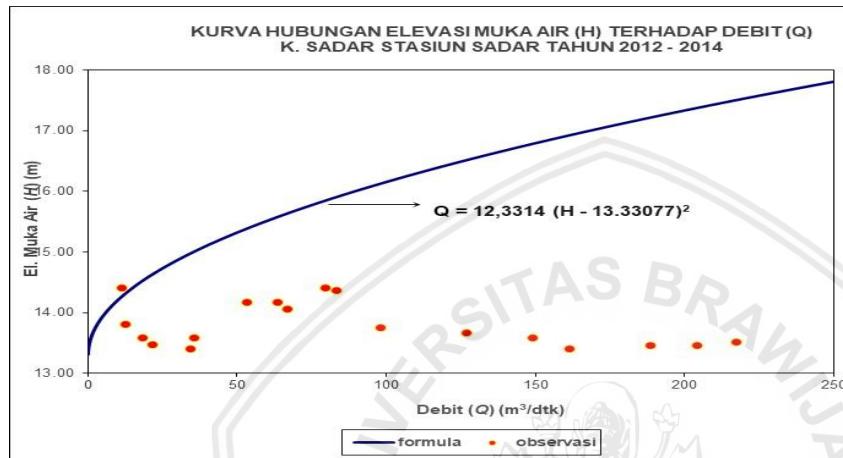
Lengkung debit Sungai Sadar diperoleh dari Perusahaan Umum Jasa Tirta I, untuk periode waktu tahun 2012 – 2014 persamaan sebagai berikut :

$$Q = 12,3314 (H - 13,3077)^2 \quad \dots \dots \dots \quad (2.18)$$

dimana :

$Q$  = debit sungai ( $\text{m}^3/\text{dt}$ )

$H$  = tinggi muka air (m)



Gambar 2.11 Kurva hubungan H – Q Kali Sadar Tahun 2012 - 2014

Sumber : PJT I

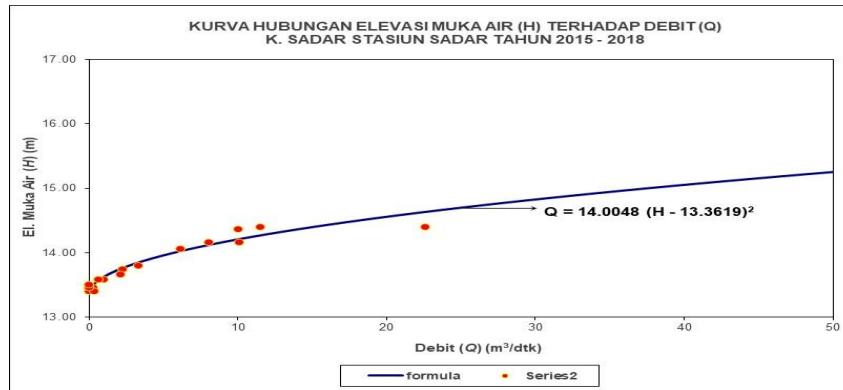
Lengkung debit Sungai Sadar diperoleh dari Perusahaan Umum Jasa Tirta I, untuk periode waktu tahun 2015 – 2018 persamaan sebagai berikut :

$$Q = 14,0048 (H - 13,3619)^2 \quad \dots \dots \dots \quad (2.19)$$

dimana :

$Q$  = debit sungai ( $\text{m}^3/\text{dt}$ )

$H$  = tinggi muka air (m)

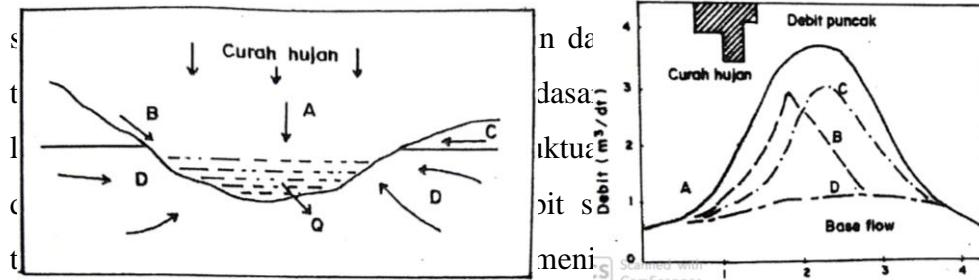


Gambar 2.12 Kurva hubungan H – Q Kali Sadar Tahun 2015 - 2018

Sumber : PJT I

## 2.5 Aliran Permukaan

Aliran permukaan (*surface run off*) berasal dari air hujan mengalir di permukaan tanah atau bumi ke sungai atau saluran, danau atau laut. Debit air mengalir di saluran /



tajam seperti banjir bandang (*flash flood*).

umber dari air  
jan yang jatuh  
usim kemarau  
musim hujan  
ebit tinggi dan

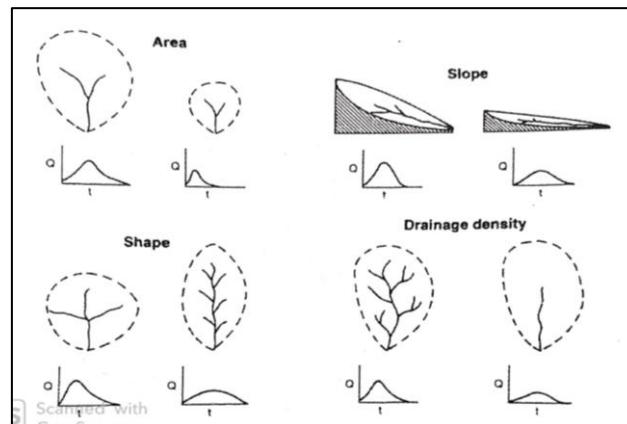
*Gambar 2.13 Macam aliran air dalam DAS*  
Sumber : Asdak (2004)

### 2.8.1 Sifat Aliran Permukaan

Aliran permukaan memiliki sifat dinyatakan dalam jumlah, kecepatan, dan laju (Arsyad, 2009). Jumlah air mengalir di permukaan tanah untuk suatu masa hujan atau masa tertentu dinyatakan dalam tinggi kolom air (mm atau cm) atau dalam volume air ( $m^3$ ).

### 2.8.2 Faktor Penentu Aliran Permukaan

Faktor-faktor pengaruh aliran air permukaan meliputi faktor iklim dan faktor karakteristik fisik DAS. Faktor iklim terutama curah hujan, lama waktu hujan, intensitas dan penyebaran hujan mempengaruhi laju dan volume air permukaan. Faktor karakteristik fisik meliputi bentuk – ukuran (morfometri) DAS, topografi, geologi dan penggunaan lahan (jenis dan kerapatan vegetasi). Pengaruh morfometri DAS terdiri atas luas, kemiringan lereng, bentuk dan kerapatan drainase DAS terhadap besaran dan *timing* dari hidrograf aliran yang dihasilkan sebagaimana pada Gambar 2.15.



*Gambar 2.14 Pengaruh morfometri DAS pada hidrograf aliran*

Sumber : Asdak (2004)

Luas DAS adalah salah satu faktor penting pembentukan hidrograf aliran, semakin besar nilai luas DAS maka meningkatkan jumlah curah hujan, beda waktu (*time lag*) antara puncak curah hujan dan puncak hidrograf aliran menjadi lebih lama serta memerlukan waktu mencapai puncak hidrograf dan waktu keseluruhan hidrograf aliran menjadi lebih panjang.

Topografi meliputi kemiringan lereng serta ketinggian lahan DAS, mempengaruhi perilaku hidrograf dalam *timing*, semakin besar kemiringan lereng DAS maka meningkatkan laju aliran permukaan. Bentuk cekungan permukaan tanah mempengaruhi laju dan volume air permukaan, DAS dengan kondisi lahan sebagian besar datar menghasilkan aliran permukaan lebih rendah dibandingkan suatu DAS dengan kemiringan lereng curam, sehingga aliran air tertahan di lahan datar/landai.

Geologi meliputi jenis tanah, mempengaruhi faktor infiltrasi tanah dengan karakteristik bentuk butir tanah, corak tanah serta bahan kolodial kembang susut kadar kelembapan tanah berdasarkan pada keberagaman jenis tanah DAS.

Drainase DAS atau kerapatan DAS adalah semua saluran air/sungai (km) dibagi luas DAS ( $\text{km}^2$ ). Semakin tinggi nilai maka semakin besar kecepatan aliran air permukaan untuk nilai curah hujan sama dan pengaruh capaian debit puncak dalam waktu singkat.

Pengaruh penggunaan lahan - vegetasi memperlambat laju air permukaan dengan memperbesar jumlah air hujan tertahan di permukaan tanah atau bawah tanah. Daerah vegetasi baik (hutan, kebun, semak dan lainnya) memiliki tingkat infiltrasi tinggi dan mengurangi laju aliran, sedangkan di lahan terbangun (gedung, pemukiman, jalan) meningkatkan laju aliran dan tingkat infiltrasi rendah.

Penelitian ini menggunakan data peta penggunaan lahan, jenis tanah dan kemiringan lahan bersumber dari Direktorat Jenderal Planologi Kehutanan dan Tata Lingkungan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Tahun 2016.

## 2.6 Prediksi Laju Aliran Permukaan

Memprediksi laju puncak aliran permukaan mempertimbangkan masa konsentrasi, yaitu masa air mengalir di permukaan tanah dari tempat terjauh untuk mencapai tempat keluar atau *outlet* di suatu DAS, aliran tersebut disebut metode rasional. Metode rasional

mengasumsikan frekuensi hujan turun dan nilai aliran permukaan adalah sama (Larson dan Reich, 1973 dalam Arsyad, 2009).

Tahap lanjutan prediksi laju aliran yaitu penetapan interval kejadian hujan, luas DAS, macam penggunaan tanah dan keadaan topografi serta sifat-sifat tanah suatu DAS untuk menetapkan koefisien aliran permukaan (C) dan waktu konsentrasi (Tc).

### 2.6.1 Koefisien Aliran Permukaan (C)

Definisi koefisien C yaitu hubungan laju puncak aliran permukaan terhadap laju infiltrasi tanah. Faktor-faktor pengaruh nilai koefisien limpasan menggunakan pendekatan penelitian terdahulu meliputi : kondisi tanah, laju infiltrasi, kemiringan lahan, tanaman penutup tanah dan intensitas hujan. Nilai C antara 0 – 1, nilai C = 0 menunjukkan semua air hujan terintersepsi dan terinfiltasi ke dalam tanah, sebaliknya nilai C = 1 menunjukkan air hujan mengalir sebagai aliran permukaan. Suatu DAS memiliki kategori baik untuk nilai C mendekati nol begitu pula sebaliknya (Kodoatie dan Syarief, 2005), nilai C berbagai penggunaan lahan pada berbagai referensi Tabel 2.4 dan Tabel 2.5 sebagai berikut :

Tabel 2.4

Nilai Koefisien Aliran Berbagai Penggunaan Lahan

Penggunaan lahan	Nilai C (%)
Hutan Tropis	<3
Hutan Produksi	5
Semak Belukar	7
Sawah-sawah	15
Daerah Pertanian, Perkebunan	40
Daerah Permukiman	70
Jalan Aspal	95
Bangunan Padat	70 – 90
Bangunan Terpencar	30 – 70
Atap Rumah	70 – 90
Jalan Tanah	13 – 50
Lapis Keras Kerikil Batu Pecah	35 – 70
Lapis Keras Beton	70 – 90
Taman, Halaman	5 – 25
Tanah Lapang	10 – 30
Kebun, Ladang	0 - 20

Sumber : Soewarno (2000)

Tabel 2.5

Nilai Koefisien Aliran Tipe Penggunaan Lahan

Penggunaan lahan	Nilai C (%)
Pohon	0
Rumput	5
Pemukiman sedikit penduduk	20
Pemukiman banyak penduduk	30
Komersil	85
Air	100

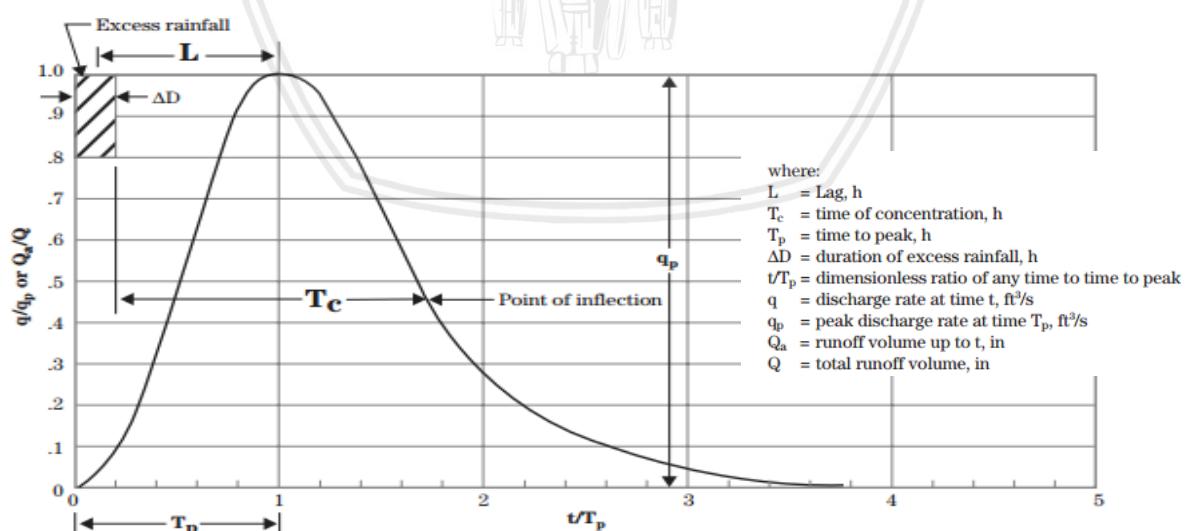
Sumber : USACE 2013 dalam Astina (2017)

### 2.6.2 Waktu konsentrasi ( $T_c$ )

Waktu konsentrasi adalah waktu perjalanan air untuk mengalir dari titik terjauh ke tempat keluar aliran / *outlet*. Ketika kondisi tanah sepanjang aliran telah jenuh dan semua cekungan bumi telah terisi air hujan, diasumsikan lama waktu hujan sama dengan  $T_c$ , jaringan sungai DAS berperan membentuk aliran air hingga titik pengamatan. Salah satu metode menghitung  $T_c$  yaitu melalui persamaan *United States Department of Agriculture* pada penelitian (Mockus 1957; Simas, 1996) :

$$L = 0,6 \quad T_c \quad \dots \dots \dots \quad (2.22)$$

dimana :

 $L$  = Lag/rentang waktu (jam) $T_c$  = Waktu konsentrasi (jam)Gambar 2.15 Hubungan waktu konsentrasi ( $T_c$ ) dan Lag (L) pada hidrograf

Sumber : USDA National Engineering Book Ch 15 (2010)

### 2.7 Prediksi Volume Aliran Permukaan

Prediksi volume aliran suatu DAS dapat menggunakan metode US *Soil Conservation Service (SCS)* untuk perencanaan bangunan pengendali banjir dan bangunan pengairan.

Volume air permukaan (Q) bergantung curah hujan (P) dan volume simpanan untuk menahan air (S), penahanan faktual (F) adalah perbedaan antara curah hujan dan aliran permukaan. Suatu volume air hujan pada permulaan hujan disebut abstraksi awal (I<sub>a</sub>), nilai abstraksi awal yaitu nilai batas curah hujan menjadi aliran permukaan dengan persamaan sebagai berikut :

$$Q = \frac{(P-Ia)^2}{(P-Ia)+S} \quad \dots \quad (2.20)$$

dimana :

**Q** = Volume Air Permukaan (mm/inchi)

Ia = Abstraksi Awal (inchi)

P = curah hujan (inchi)

**S** = Volume simpanan air potensial (inchi)

Abstraksi awal adalah nilai kehilangan sebelum aliran permukaan terjadi termasuk simpanan air permukaan, laju infiltrasi tanah, penggunaan lahan, dan evaporasi mempengaruhi parameter tanah DAS melalui persamaan :

$$I_a = 0,2 \text{ S} \quad \dots \quad (2.21)$$

Nilai S yaitu retensi potensial maksimum berkaitan jenis tanah dan kondisi tutupan lahan. Metode SCS mengaitkan karakteristik DAS meliputi tanah, vegetasi dan tata guna lahan dengan bilangan kurva - *Curve Number* (CN) dengan rentang nilai 0 sampai 100, pendekatan persamaan S dalam milimeter yaitu :

$$S = \frac{25400 - 254 \cdot CN}{CN} \quad \dots \dots \dots \quad (2.22)$$

SCS mengembangkan sistem klasifikasi tanah dengan mengelompokkan tanah ke empat kelompok hidrologi (*Hydrologic Soil Groups* – HSG) ditandai dengan notasi huruf A, B, C, dan D dimana memiliki hubungan dengan laju infiltrasi minimum kelompok tanah tersebut seperti Tabel 2.6.

Tabel 2.6

## Klasifikasi *Hydrologic Soil Groups* – HSG

<b>Kelompok</b>	<b>Keterangan</b>	<b>Laju Infiltrasi</b>
-----------------	-------------------	------------------------

<b>Tanah</b>		<b>(mm/jam)</b>
A	Potensi aliran permukaan paling kecil, termasuk tanah pasir dalam dengan unsur debu dan liat. Laju infiltrasi tinggi	8 – 12
B	Potensi aliran permukaan kecil, tanah berpasir lebih dangkal dari A. Tekstur halus sampai sedang. Laju infiltrasi sedang	4 – 8
C	Potensi aliran permukaan sedang, tanah dangkal dan mengandung cukup liat. Tekstur sedang sampai halus. Laju Infiltrasi rendah.	1 – 4
D	Potensi aliran permukaan tinggi, kebanyakan tanah liat, dangkal dengan lapisan kedap air dekat permukaan tanah. Infiltrasi paling rendah	0 - 1

Sumber : Asdak (2004)

Kandungan air tanah sebelumnya / kondisi kelengasan tanah – *Antecedent Moisture Condition* (AMC) merupakan salah satu faktor pengaruh volume dan laju aliran permukaan, metode pendekatan SCS tersusun tiga kondisi notasi angka romawi I, II, III sesuai Tabel 2.7

Tabel 2.7

Kondisi Kandungan Air Tanah Sebelumnya

<b>Kelompok</b>	<b>Keterangan</b>	<b>Total Jumlah CH 5 hari sebelumnya</b>	
		<b>Musim Dorman</b>	<b>Musim Tumbuh</b>
I	Tanah dalam keadaan kering tetapi tidak sampai pada titik layu, telah pernah ditanami dengan hasil memuaskan	< 13	< 35
II	Keadaan rata-rata	13 – 28	35 – 53
III	Hujan lebat atau hujan ringan dan temperatur rendah telah terjadi dalam lima hari terakhir, tanah jenuh air.	>28	> 53

Sumber : Asyad (2009)

Penetapan kelompok hidrologi (*Hydrologic Soil Groups* – HSG) pada jenis tanah berdasarkan pengklasifikasian sifat-sifat tanah. Faktor-faktor seperti tekstur, pematatan, kekuatan struktur tanah, mineralogi lempung, dan bahan organik menjadi pertimbangan

menentukan kelompok tanah hidrologi seuai jenis tanah dengan pendekatan kriteria Tabel 2.8.

Tabel 2.8

## Kelompok Hidrologi Jenis Tanah

HSG	Tektur tanah
A	<i>Sand, loamy sand or sandy sand</i> - Pasir, pasir liat atau pasir berpasir
B	<i>Silt loam or loam</i> - Lumpur lempung atau lempung
C	<i>Sandy clay loam</i> - Lempung tanah liat berpasir
D	<i>Clay loam, silty clay loam, sandy clay, silty clay or clay</i> - Tanah liat lempung, tanah liat berlanau, tanah liat berpasir, tanah liat atau tanah liat

Sumber : USDA – TR 55 (1986)

Bilangan kurva CN sebagai referensi penelitian ini sesuai kondisi kelengasan tanah – *Antecedent Moisture Condition (AMC)* II sebagaimana Tabel 2.9 berikut.

Tabel 2.9

## Bilangan Kurva CN Untuk Lahan Pertanian &amp; Wilayah Perkotaan

Tipe Lahan	Keterangan	Keadaan hidrologi	Kelompok Tanah			
			A	B	C	D
Fallow (Lahan kosong)	Bare Soil	-	77	86	91	94
	Crop residue cover	Poor	76	85	90	93
	(CR)	Good	74	83	88	90
Small grain (Lahan tanaman biji -Padi, gandum dll))	Straight row (SR)	Poor	65	76	84	88
		Good	63	75	83	87
	SR + CR	Poor	64	75	83	86
		Good	60	72	80	84
	Contoured (C)	Poor	63	74	82	85
		Good	61	73	81	84
	C + CR	Poor	62	73	81	84
		Good	60	72	80	83
Contoured & terraced (C&T)	Poor	61	72	79	82	
	Good	59	70	78	81	

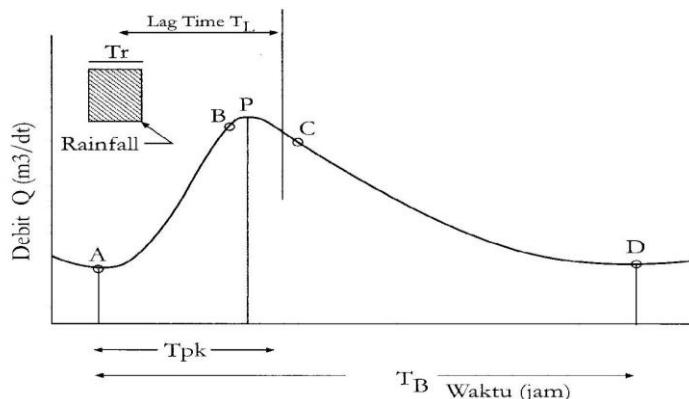
	C & T + CR	Poor	60	71	78	81
	Good	58	69	77	80	
Pasture, grassland or range continous forage for grazing (Padang rumput)	Poor	68	79	86	89	
	Fair	49	69	79	84	
	Good	39	61	74	80	
Brush-brush forb-grass mixture with brush the major element	Poor	48	67	77	83	
	Fair	35	56	70	77	
	Good	30	48	65	73	
Woods-grass combination (orhard or tree farm)	Poor	57	73	82	86	
	Fair	43	65	76	82	
	Good	32	58	72	79	
Woods	Poor	45	66	77	83	
	Fair	36	60	73	79	
	Good	30	55	70	77	
Farmstead – building lanes driveways and surrounding lots			59	74	82	86
Urban districts	<b>Average % impervious area</b>					
(commercial and bussiness)		85	89	92	94	95
Industrial		72	81	88	91	93
Residential districts by average lot size : 1 Acre		20	51	68	79	84
2 Acre		12	46	65	77	82

Sumber : USDA, *National Engineering Handbook Ch.9 (2004)*

## 2.8 Hidrograf Aliran

Hidrograf adalah gambar grafik gambaran respon daerah aliran sungai terhadap hujan sebagai inputnya (Hadisusanto, 2010). Bentuk lengkung grafik hidrograf bergantung kepada karakteristik hujan mengakibatkan aliran air, semakin tinggi intensitas hujan puncak lengkung hidrograf meningkat dan panjang puncak hidrograf dikarenakan waktu efektif hujan panjang.

Grafik Hidrograf digambarkan melalui hubungan antara debit ( $m^3/dt$ ) dengan waktu (jam) sebagai berikut :



*Gambar 2.16 Hidrograf aliran*

Sumber : Hadisusanto, Nugroho (2010)

## 2.9 Hidrograf Satuan

Hidrograf satuan adalah hidrograf aliran untuk suatu lokasi di daerah aliran sungai apabila daerah tersebut terjadi hujan efektif sebesar 1 (satu) satuan kedalaman hujan selama satu satuan waktu.

Hidrograf satuan dianggap tetap selama faktor fisik DAS tidak mengalami perubahan, perhitungan debit sungai berdasarkan prinsip-prinsip hidrograf satuan antara lain :

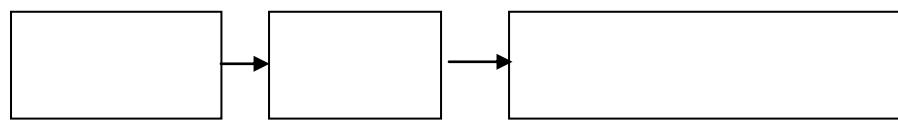
1. Menaksir banjir rancangan dengan rekaman data hujan panjang.
2. Mengisi data banjir yang hilang.
3. Memprediksi banjir jangka pendek berdasarkan pencatatan data hujan.

Hidrograf satuan suatu kasus banjir tertentu belum merupakan hidrograf perwakilan DAS tersebut, karena kasus banjir ditimbulkan oleh hujan pada saat berbeda dan respon DAS berbeda, sehingga memerlukan hidrograf satuan kasus-kasus kejadian banjir untuk dihitung hidrograf rerata kejadian. Namun, belum diketahui berapa jumlah kasus banjir untuk memperoleh hidrograf satuan kejadian banjir suatu DAS (Limantara, 2010).

Analisis hidrograf satuan dipilih dari kasus-kasus kejadian banjir menguntungkan yaitu hidrograf terpilih terpisah (*isolated*), mempunyai satu puncak/puncak tunggal (*single peak*), mempunyai hujan cukup dan terdapat pencatatan distribusi hujan jam-jaman untuk mempermudah analisis (Limantara, 2010).

### 2.9.1 Konsep Dasar Hidrograf Satuan

Suatu input hujan pada sistem berupa proses menghasilkan output berupa hidrograf limpasan langsung (Limantara, 2010) dengan gambaran sistematis sebagai berikut :



INPUT	SISTEM	OUTPUT
(Hujan efektif)	(Proses)	(Hidrograf limpasan langsung)

Gambar 2.17 Konsep dasar hidrograf satuan

Sumber : Limantara (2010)

Terdapat 2 unsur penting menentukan karakteristik hidrograf satuan yaitu lebar dasar (TB) dan tenggang waktu (*time lag*) antara titik berat hujan efektif dengan titik berat hidrograf atau antara titik berat hujan efektif dengan puncak hidrograf.

## 2.10 Hidrograf Satuan Sintetik

Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) merupakan hasil hidrograf satuan berdasarkan parameter fisik DAS melalui pendekatan empiris, sehingga perbedaan penerapan masing-masing hidrograf dengan batasan-batasan penyesuaian karakteristik DAS pengamatan.

Penelitian ini menggunakan referensi HSS Gama I untuk perhitungan aliran dasar dan SCS (*Soil Conservation Service*) untuk perhitungan *lag-time*. Prinsip HSS Gama I adalah karakteristik DAS meliputi luasan DAS, panjang sungai pengamatan dan jarak tempat pengamatan (outlet) sampai titik berat DAS (Harto 2000, dalam Tiara 2011).

HSS metode SCS dikembangkan Dinas Konservasi Tanah Amerika Serikat, metode SCS membutuhkan parameter bilangan kurva. Bilangan kurva didasarkan pada tipe penggunaan lahan dan jenis tanah berhubungan dengan kapasitas infiltrasi tanah dan penentuan kelompok hidrologi tanah (*hydrolitic soil group*).

### 2.10.1 Hidrograf Satuan Sintetis Gama I

HSS Gama I berasal dari Indonesia ditemukan Sri Harto berdasarkan pengamatan 300 banjir di sungai Pulau Jawa. Beberapa parameter untuk menggunakan analisis tersebut meliputi :

1. Faktor sumber (SF) adalah perbandingan jumlah panjang sungai tingkat satu dengan jumlah panjang sungai semua tingkat/ordo.
2. Frekuensi sumber (SN) adalah perbandingan jumlah pangsa sungai tingkat satu dengan pangsa sungai semua tingkat.
3. Faktor lebar (WF) adalah pengukuran antara lebar DAS di titik sungai berjarak 0,75 L dibandingkan dengan pengukuran lebar DAS di titik sungai berjarak 0,25 L dari outlet.
4. Luas DAS sebelah hulu (RUA) adalah pengukuran luas DAS di hulu garis tegak lurus garis hubung antara stasiun hidrometri/outlet dibandingkan dengan jarak terdekat titik berat DAS.

5. Faktor simetri (SIM) adalah perkalian antara faktor lebar (WF) dengan luas DAS sebelah hulu (RUA).
6. Jumlah pertemuan sungai (JN) adalah jumlah semua pertemuan sungai di DAS tersebut.
7. Kerapatan jaringan kuras (D) adalah jumlah panjang sungai semua tingkat tiap satuan luas DAS.

Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Gama - I terbentuk tiga komponen dasar yaitu waktu naik (Tr), debit puncak (Qp), waktu dasar (Tb), dengan persamaan :

1. Waktu puncak (TR)

$$t_r = 0,43(L/100 SF)^3 + 1,0665 SIM + 1,2775 \quad \dots \dots \dots \quad (2.23)$$

2. Debit puncak (Qp)

$$Q_p = 0,1836^A 0,5886 JN^{0,2381} t_r^{-0,4008} \quad \dots \dots \dots \quad (2.24)$$

3. Waktu dasar (Tb)

$$t_b = 27,4132 t_r^{0,1457} S^{-0,0986} SN^{0,7344} RUA^{0,2574} \quad \dots \dots \dots \quad (2.25)$$

4. Koefisien resesi

$$K = 0,5671 A^{0,1798} S^{-0,1446} SF^{-1,0897} D^{0,0452} \quad \dots \dots \dots \quad (2.26)$$

5. Aliran dasar (Qb)

$$Q_B = 0,4751 A^{0,6444} D^{0,9430} \quad \dots \dots \dots \quad (2.27)$$

dengan:

A = luas DAS ( $\text{km}^2$ )

L = panjang sungai (km)

SF = faktor sumber

SIM = faktor simetri

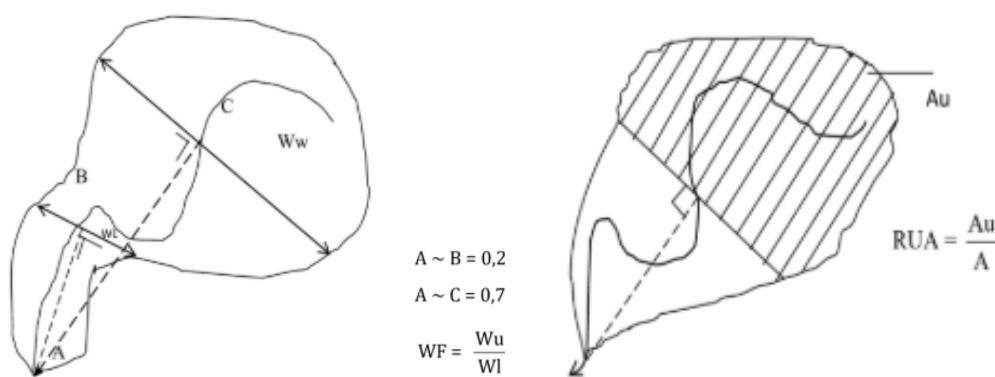
WF = faktor lebar

JN = jumlah pertemuan sungai

TB = waktu dasar (jam)

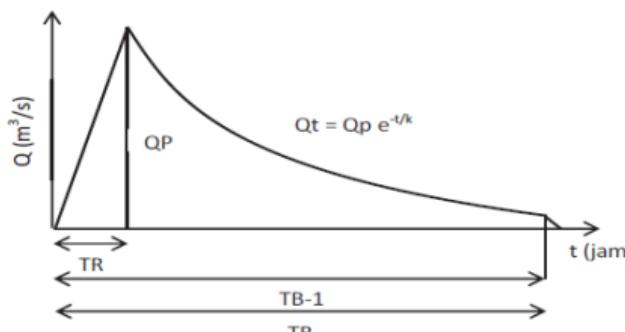
S = landau sungai rata-rata

RUA = luas relatif DAS bagian hulu



Gambar 2.18 Sketsa penentuan faktor Lebar (WF) & RUA

Sumber : Limantara (2010)



Gambar 2.19 Hidrograf satuan sintetik Gama I

Sumber : Limantara (2010)

### 2.10.2 Hidrograf Satuan Sintetis SCS

HSS metode *Soil Conservation Service* USDA menggunakan spesifikasi rerata unit hidrograf didasarkan analisis ekstensif data terukur dan evaluasi data di sejumlah DAS. HSS SCS memperoleh persamaan nilai puncak debit sebagai berikut :

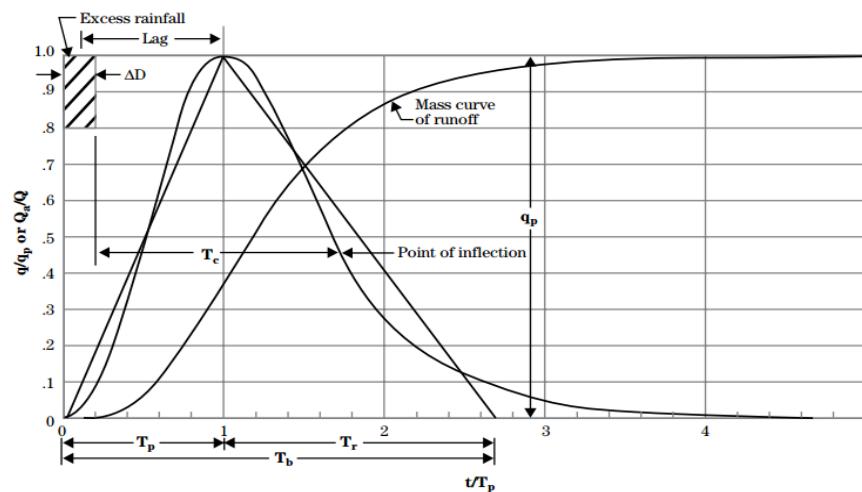
$$Q_p = \frac{2,08 \times A}{t_p} \quad \dots \dots \dots \quad (2.28)$$

Penentuan bentuk hidrograf satuan waktu untuk mencapai puncak debit dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$t_p = \frac{t_r}{2} + t_l \quad \dots \dots \dots \quad (2.29)$$

$t_l$  adalah waktu untuk mencapai nilai puncak debit dan  $t_r$  adalah durasi hujan efektif, nilai  $t_L$  dihitung menggunakan nilai CN dengan persamaan berikut :

$$t_l = \frac{L^{0,8}(2540 - 22,8CN)^{0,7}}{14,104CN^{0,7} \times S^{0,5}} \quad \dots \dots \dots \quad (2.30)$$



Sumber : USDA, *National Engineering Handbook* Cha. 16 (2007)

## **2.11 Penelusuran Aliran Banjir**

Penelusuran banjir merupakan peramalan hidrograf di suatu titik aliran atau bagian sungai atas pengamatan hidrograf di titik lain, hidrograf banjir ditelusuri lewat palung sungai atau waduk. Penelitian ini penelusuran banjir menggunakan metode Muskingum.

Persamaan kontinuitas penelusuran banjir adalah sebagai berikut (Soemarto, 1987)

2

dimana :

$I$  = debit aliran masuk kedalam permulaan bagian memanjang palung sungai pengamatan ( $\text{m}^3/\text{dt}$ )

$Q$  = debit aliran keluar bagian akhir memanjang palung sungai pengamatan ( $\text{m}^3/\text{dt}$ )

$S$  = nilai tampungan bagian memanjang palung sungai pengamatan ( $m^3$ )

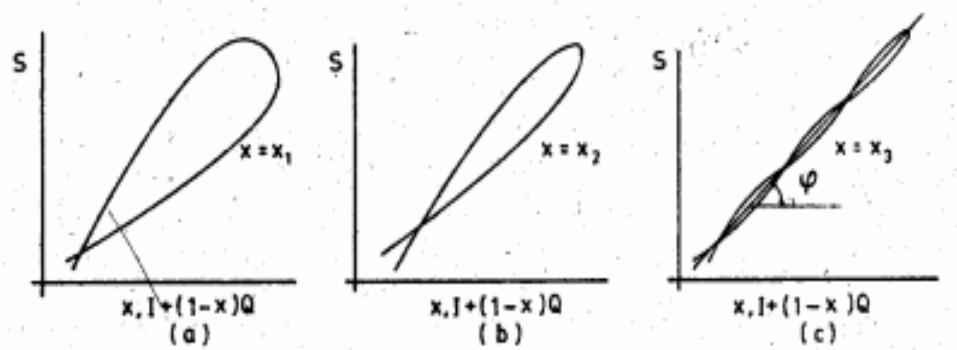
$dt$  = periode penelusuran (detik, jam atau hari)

Persamaan Muskingum diperoleh nilai tampungan dinyatakan sebagai fungsi linear dari masukan persamaan menyangkut hubungan  $S$  dan  $Q$  di palung sungai adalah sebagai berikut :

$$S = K[Xi + (1 - X)Qi] \dots \quad (2.32)$$

K dan x ditentukan oleh hidrograf debit masuk dan debit keluar pengamatan pada saat bersamaan, faktor x merupakan faktor penimbang antara 0 dan 1, S adalah dimensi volume sedangkan I dan Q dimensi debit sehingga nilai k dinyatakan dimensi waktu (hari atau hari).

Nilai k dan x diperoleh melalui grafik hubungan antara S dengan  $XI + (1-X)Q$ , perhitungan dilakukan prinsip coba-coba (*trial error*) sehingga diperoleh garis mendekati garis lurus.



*Gambar 2.21 Grafik koefisien muskingum k dan x*

Sumber : Soemarto (1987)

## 2.12 Sistem Informasi Geografis (SIG)

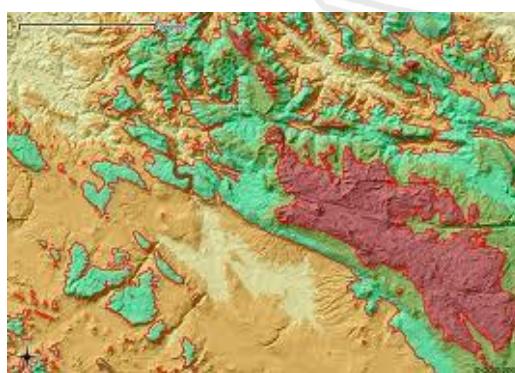
Sistem Informasi Geografis (SIG) atau *Geographic Information System* (GIS) adalah sebuah sistem desain menangkap, menyimpan, memanipulasi, menganalisis, mengatur dan menampilkan seluruh jenis data geografis dengan artian sederhana sebagai gabungan kartografi, analisis statistik dan teknologi sistem basis data (*database*).

Data spasial adalah data mengacu posisi, obyek dan hubungan antara ruang bumi, data spasial memuat informasi tentang bumi termasuk permukaan bumi, di bawah permukaan bumi, perairan, kelautan dan bawah atmosfer.

## 2.13 Data Spasial

Data spasial direpresentasikan dalam dua format, yaitu:

- a. Data format vektor, representasi suatu mosaik garis (arc/line), polygon (daerah dibatasi oleh garis berawal dan berakhir di satu titik), titik/point (node berlabel), dan nodes (titik perpotongan antara dua buah garis).
- b. Data raster (sel grid) adalah data dari sistem Penginderaan Jauh, obyek geografis direpresentasikan sebagai struktur sel grid disebut dengan pixel (*picture element*).



*Gambar 2.22 Data raster*

Sumber : anonymus mata kuliah GIS (2016)

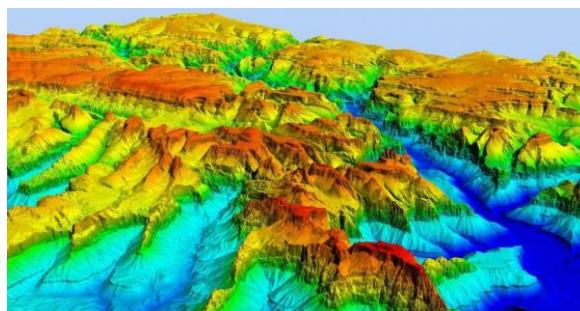
Masing-masing format data mempunyai kelebihan dan kekurangan. Pemilihan format data tergantung pada tujuan penggunaan, ketersediaan data, hasil volume data, tingkat ketelitian, serta kemudahan analisis.

SIG membutuhkan masukan data bersifat spasial maupun deskriptif. Beberapa sumber data antara lain:

- a. Peta analog antara lain peta topografi, peta tanah. Peta dalam bentuk cetakan, dibuat dengan teknik kartografi sehingga mempunyai referensi spasial seperti koordinat, skala, arah mata angin, dan lain sebagainya.
- b. Data sistem Penginderaan Jauh antara lain citra satelit, foto udara, dan lain sebagainya. Data Penginderaan Jauh sebagai sumber data terpenting karena ketersediaan data secara berkala sesuai kebutuhan.
- c. Data hasil pengukuran lapangan antara lain batas administrasi, batas kepemilikan lahan, batas persil, batas hak pengusahaan hutan, dan lain sebagainya. Secara umum data memiliki sumber data atribut.
- d. Data GPS, teknologi GPS memberikan terobosan penting penyediaan data SIG. Keakuratan GPS semakin tinggi seiring perkembangan teknologi dan direpresentasikan dalam format vektor.

#### **2.14 Digital Elevation Model (DEM)**

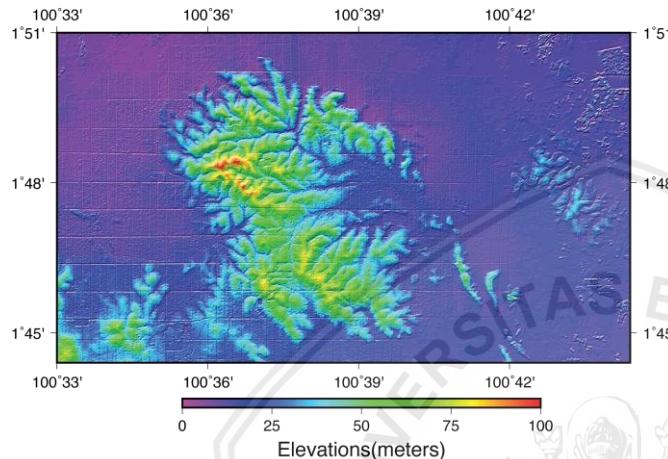
DEM atau Model Elevasi Digital adalah grid raster referensi titik awal permukaan bumi dan Pemodelan ini merepresentasikan bentuk permukaan bumi dalam bentuk tiga dimensi (3D). Model DEM digunakan untuk keperluan hidrografi dengan menggambarkan batas air, menghitung akumulasi aliran dan arah aliran. Stabilitas batuan perencanaan pembangunan jalan raya dan pemukiman berkaitan daerah rawan longsoran dan daerah lereng curam dengan vegetasi rendah.



*Gambar 2.23 Digital Elevation Model*

Sumber : <https://zonaspasial.com/2018/12/perbedaan-dsm-dem-dan-dtm-dalam-model-digital-muka-bumi/>

*Digital Elevation Model* (DEM) sebagai model dasar permukaan bumi memiliki pengaruh penting dalam hidraulika sungai dalam mengkalkulasikan luas daerah genangan banjir (Bates et al, 2003 dalam Organia et al 2018). Penelitian ini menggunakan data DEM Nasional dengan sumber data meliputi data IFSAR (resolusi 5m), TERRASAR-X (resolusi 5m) dan ALOS PALSAR (resolusi 11.25m), dengan menambahkan data Masspoint hasil stereo-plotting. Resolusi spasial DEMNAS adalah 0.27-arcsecond (8 meter), datum vertikal EGM2008.

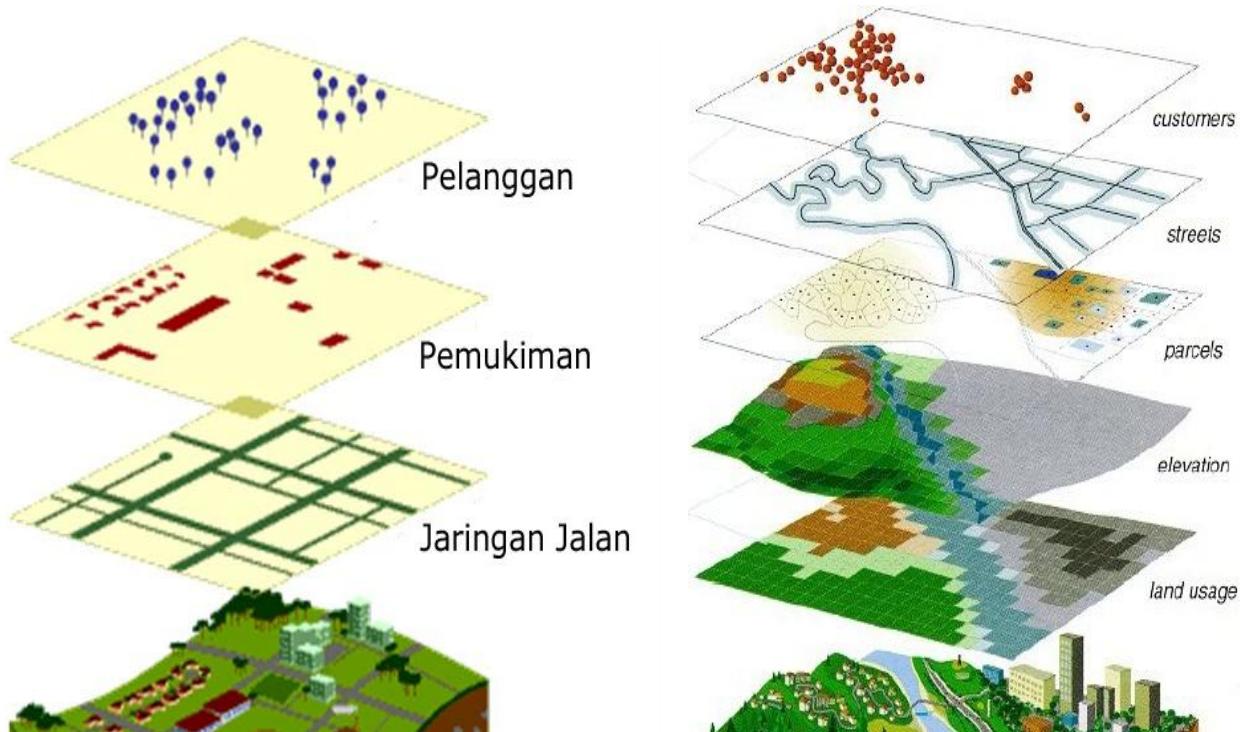


Gambar 2.24 DEMNAS

Sumber : <http://tides.big.go.id/DEMNAS/#Info>

## 2.15 Konsep Layer Data dan Atribut

Konsep layer data yaitu representasi data spasial menjadi sekumpulan peta tematik berdiri sendiri-sendiri sesuai tema masing-masing dan terikat kesamaan lokasi. Keuntungan konsep data layer yaitu dalam penelusuran data dan analisis data secara efisiensi. Attribut adalah nilai data ataupun rangkuman informasi di suatu lokasi. Suatu lokasi bencana disimbolkan titik, maka informasi diberi nama attribut.



Gambar 2.25 Konsep layer

Sumber : anonymous mata kuliah GIS (2016)

## 2.16 Permodelan Hidrologi dengan HEC HMS

Model HEC-HMS adalah program aplikasi komputer pengembangan *US Army Corp of Engineering - Hydrologic Engineering Center* (HEC) untuk mensimulasikan hujan-aliran dan proses *routing*. Model HEC-HMS memiliki 3 komponen pengolahan data hidrologi antara lain *basin model*, *meteorological model*, dan *control specification*.

Komponen *basin model* berisi model fisik gambaran nyata kondisi alamiah/lapangan daerah aliran sungai tersebut meliputi batas-batas, alur sungai, waduk dan lainnya. Komponen *Meteorological model* berisi informasi data cuaca meteorologi rentang waktu tertentu. Komponen *control specification* merupakan rentang waktu simulasi, waktu perhitungan dan waktu akhir simulasi hidrologi.

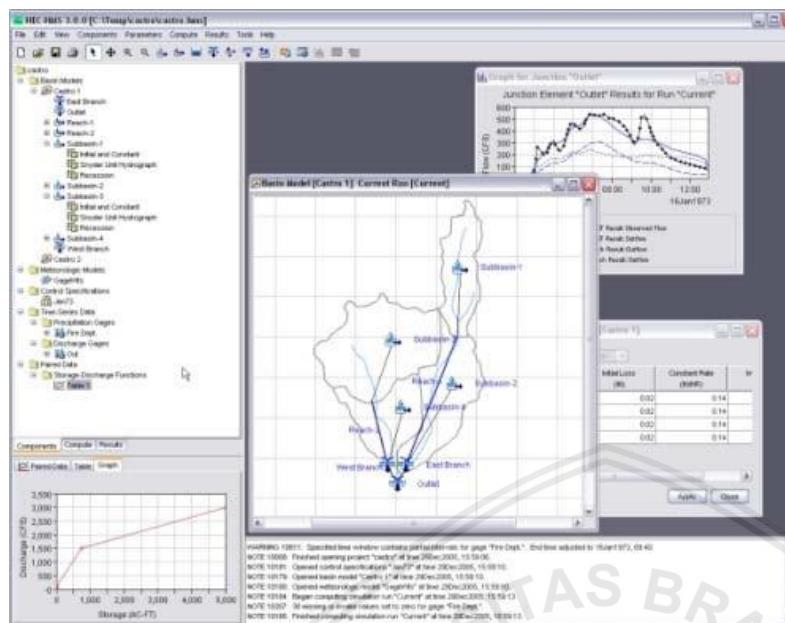
*Basin model* menggabungkan model cekungan representasi fisik batas dan model DAS, terdapat unsur-unsur hidrologi suatu jaringan untuk mensimulasikan proses *runoff* air. Program HEC-HMS memperhitungkan jenis sub DAS, anak-anak sungai, waduk/embung/situ, kanal, sumber air dan sumur sebagai elemen hidrologi, tiga faktor berperan di suatu DAS antara lain faktor kehilangan, transformasi dan aliran dasar.

Mengacu *Technical Reference Manual Hydrologic Modelling System* HEC-HMS (2000), komponen-komponen simulasi *precipitation-runoff-routing* HEC-HMS sebagai berikut:

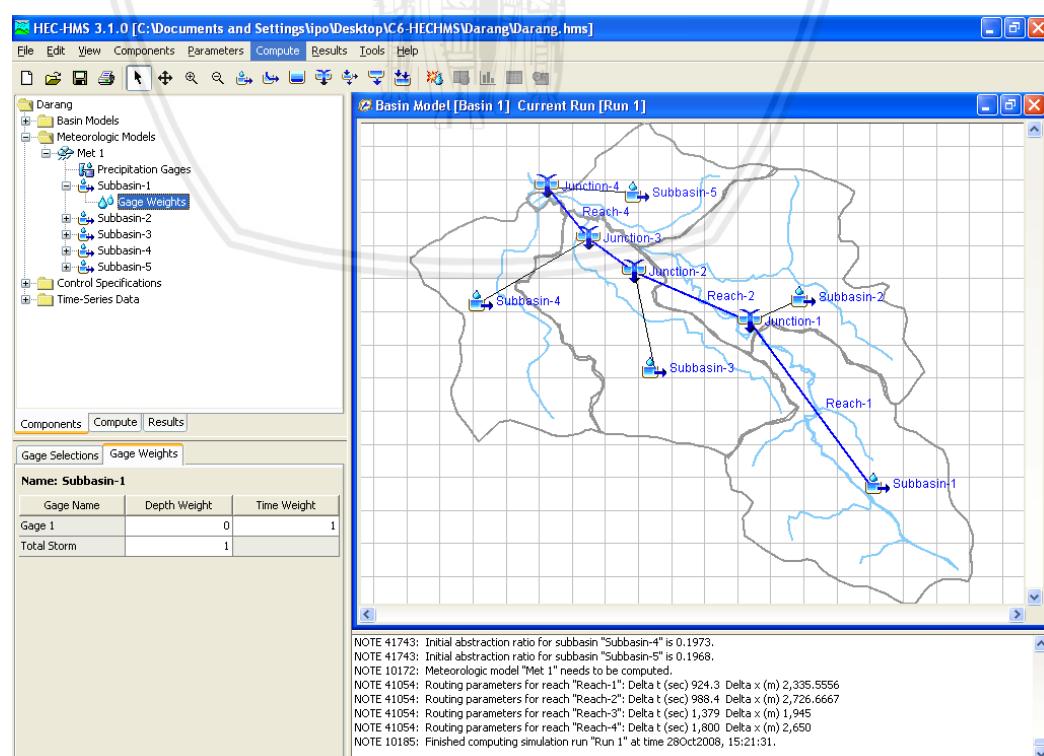
1. Model Hujan terpilih : *hyetograph*, *Gage Weighting*, *SCS Hypothetical Storm*, *Frequency Storm*.
2. *Loss models* : *SCS Curve Number*, *Soil Moisture Accounting*, *Green and Ampt*.
3. Perhitungan *Direct runoff* aliran limpasan, simpanan, dan energi kehilangan : *Snyder*, *Clark Unit*, *Kinematic Wave*.

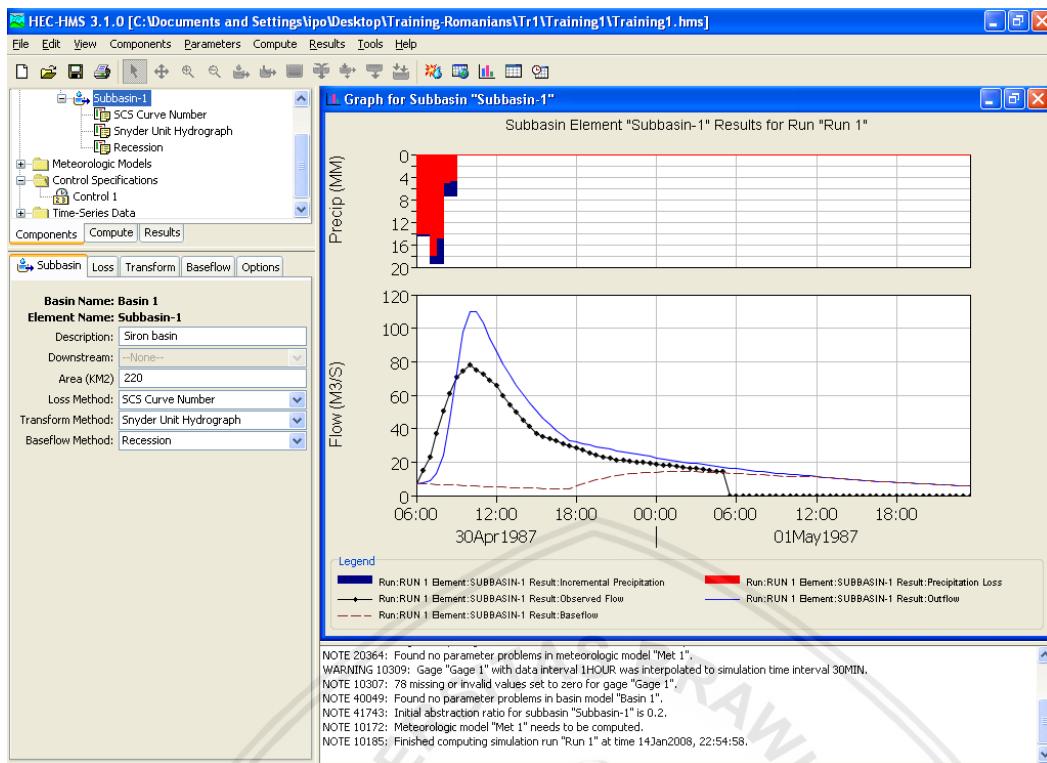


#### 4. Hydrologic routing models : Muskingum, Kinematic Wave, Modified Puls.



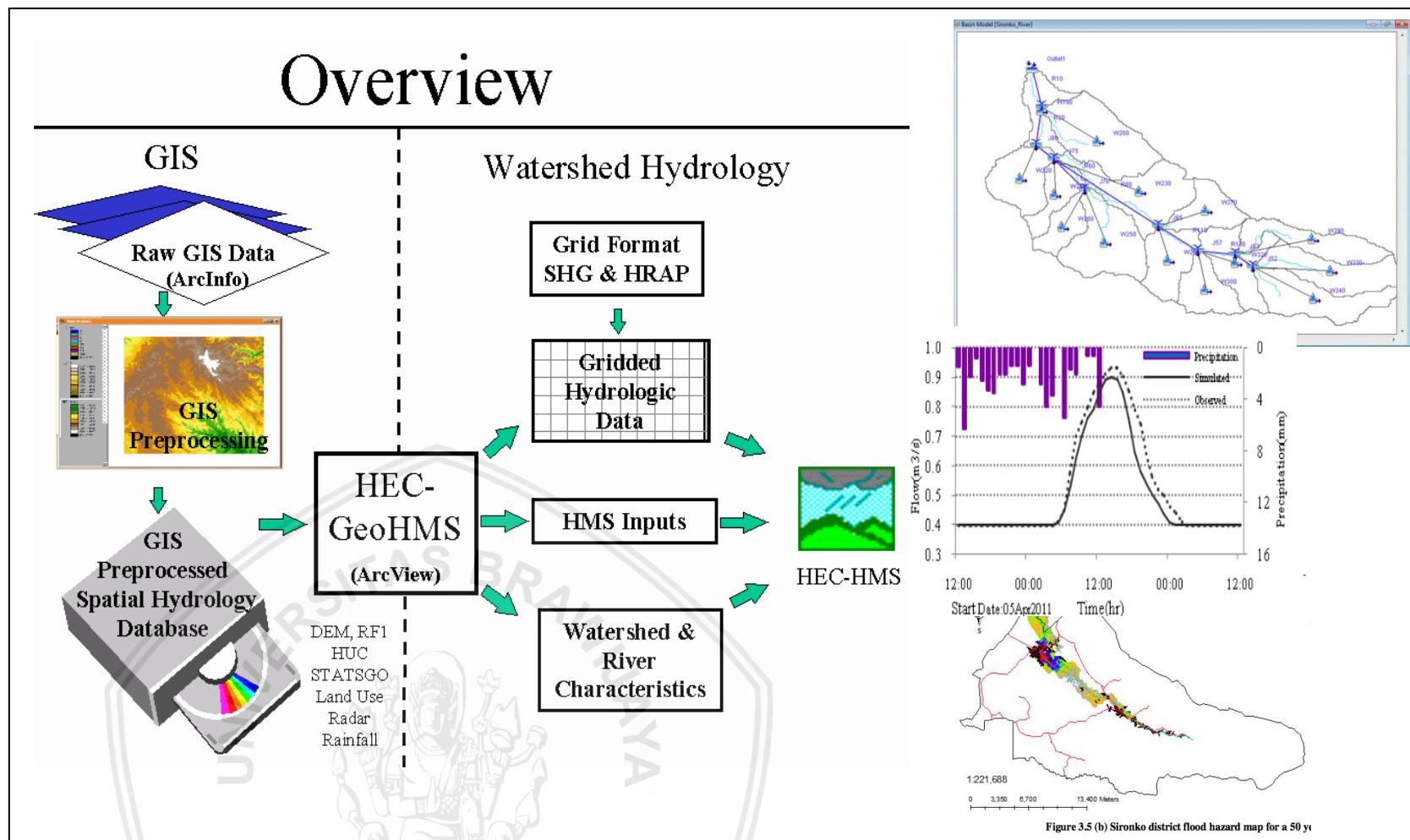
**Gambar 2.26** Pemrosesan permodelan hidrologi HEC-HMS  
Sumber : *Modul Flood Modelling For Management*, IHE (2016)





Gambar 2.26 Lanjutan Pemrosesan permodelan hidrologi HEC-HMS  
Sumber : *Modul Flood Modelling For Management*, IHE (2016)

# Overview

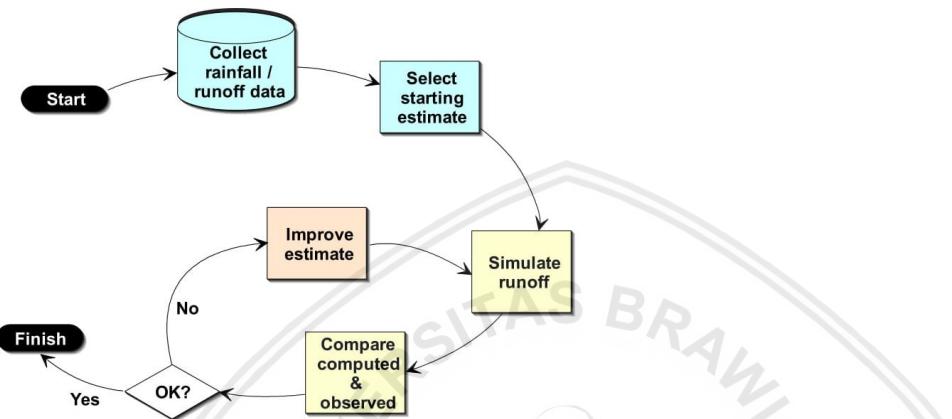


Gambar 2.27 Model pengolahan menggunakan HEC-HMS dan GIS

Sumber : Panduan HEC-HMS (2008)

## 2.17 Kalibrasi dan Validasi Model HEC HMS

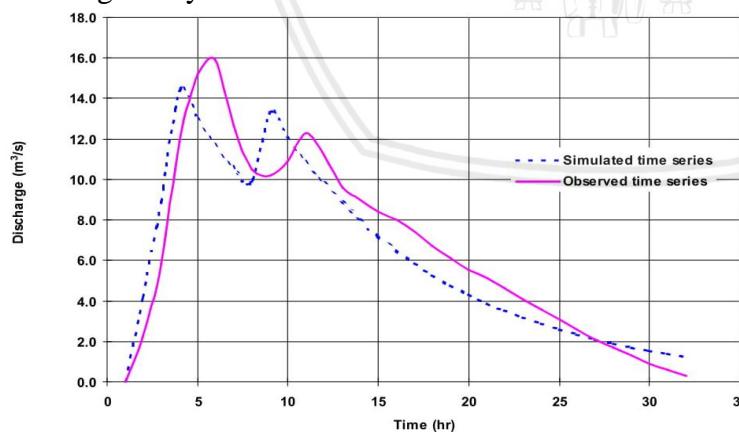
Kalibrasi dan validasi model HEC-HMS sebagai verifikasi terhadap output model program dibandingkan dengan data-data pengamatan lapangan. Data pengamatan lapangan seperti curah hujan dan elevasi-debit air sungai sebagai pembanding model HEC-HMS sehingga model menggambarkan kondisi lapangan, skema proses kalibrasi model HEC HMS sesuai gambar berikut.



Gambar 2.28 bagan alir kalibrasi-validasi HEC-HMS

Sumber : HEC-HMS Technical Reference Manual (2000)

Proses kalibrasi dan validasi terhadap model hidrologi HEC-HMS, Grafik hidrograf program HEC-HMS dibandingkan terhadap grafik hidrograf pengamatan lapangan, bertujuan mengukur seberapa baik model dengan optimalisasi parameter-parameter hidrologi wilayah studi.



Gambar 2.29 Perbandingan model HEC-HMS hasil simulasi - lapangan

Sumber : HEC-HMS Technical Reference Manual (2000)

Program HEC-HMS menggunakan pendekatan empiris dan memiliki beberapa parameter rentang nilai minimum dan maksimum. Metode trial eror dan justifikasi peneliti dilakukan terhadap parameter hidrologi model hingga model HEC-HMS memiliki kesesuaian dengan kondisi lapangan. Batasan nilai parameter tersebut sesuai Tabel 2.10.

Tabel 2.10

Batasan nilai parameter kalibrasi-validasi model HEC-HMS

No	Model	Parameter	Minimun	Maksimum
1	<i>Initial and constant - rate loss</i>	<i>Initial loss</i>	0 mm	500 mm
		<i>Constant loss rate</i>	0 mm/hr	300 mm/hr
2	<i>SCS loss</i>	<i>Initial abstraction</i>	0 mm	500 mm
		<i>Curve number</i>	1	100
3	<i>Green and Ampt loss</i>	<i>Moisture deficit</i>	0	1
		<i>Hydraulic conductivity</i>	0 mm/mm	250 mm/mm
		<i>Wetting front suction</i>	0 mm	1000 mm
4	<i>Deficit and constant-rate loss</i>	<i>Initial deficit</i>	0 mm	500 mm
		<i>Maximum deficit</i>	0 mm	500 mm
		<i>Deficit recovery factor</i>	0.1	5
5	<i>Clark's UH</i>	<i>Time of concentration</i>	0.1 hr	500 hr
		<i>Storage coefficient</i>	0 hr	150 hr
6	<i>Synder's UH</i>	<i>Lag</i>	0.1 hr	500 hr
		$C_p$	0	1.0
7	<i>Kinematic wave</i>	<i>Lag</i>	0.1 min	30000 min
8	<i>Baseflow</i>	<i>Manning's n</i>	0	1
		<i>Initial baseflow</i>	0 m <sup>3</sup> /s	100000 m <sup>3</sup> /s
		<i>Recession factor</i>	0.000011	-
9	<i>Muskingum routing</i>	K	0.1 hr	150 hr
		X	0	0.5
		<i>Number of steps</i>	1	100
10	<i>Kinematic wave routing</i>	<i>N-value factor</i>	0.01	10
11	<i>Lag routing</i>	<i>Lag</i>	0 min	30000 min

Sumber : HEC-HMS Technical Reference Manual (2000)

## 2.18 Evaluasi Parameter Model HEC-HMS

Evaluasi model hidrologi HEC-HMS terhadap parameter statistik HMS untuk memberikan gambaran tingkat akurasi model terhadap kondisi lapangan. Beberapa metode statistik HEC-HMS meliputi *Nash Sutcliffe Efficiency Index* (NSE), *Root Mean Squared*

Error (RMSE)-standard deviation ratio (RSR), Percent Bias (PBIAS). Persamaan masing-masing parameter statistik tersebut antara lain :

1. *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE)

$$NSE = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{model})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{rerata})^2} \right] \quad \dots \dots \dots \quad (2.33)$$

2. *Root Mean Squared Error* (RMSE)-Standard Deviation Ratio (RSR),

$$RSR = \frac{RMSE}{STDEV_{obs}} = \left[ \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{model})^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{rerata})^2}} \right] \quad \dots \dots \dots \quad (2.34)$$

3. *Percent Bias* (PBIAS),

$$PBIAS = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{model}) * 100}{\sum_{i=1}^n Y_i^{obs}} \right] \quad \dots \dots \dots \quad (2.35)$$

Representasi model terhadap kondisi lapangan dievaluasi dari nilai parameter statistik hasil simulasi program HEC-HMS berdasarkan tingkat kehandalan model terbagi menjadi 4 kategori yaitu *very good* – sangat baik, *good* – baik, *satisfactory* – memuaskan, *unsatisfactory* – tidak memuaskan. Nilai klasifikasi kehandalan model berdasarkan referensi penelitian Moriasi et al (2015, 2007) seperti Tabel 2.11.

Tabel 2.11

Klasifikasi kehandalan model parameter statistik NSE, RSR, PBIAS

<b>Klasifikasi</b>	<b>NSE</b>	<b>RSR</b>	<b>PBIAS</b>
Sangat Baik	$0,80 < NSE \leq 1,00$	$0,00 \leq RSR \leq 0,50$	$PBIAS < \pm 5$
Baik	$0,70 < NSE \leq 0,80$	$0,50 < RSR \leq 0,60$	$\pm 5 \leq PBIAS < \pm 10$
Memuaskan	$0,50 < NSE \leq 0,70$	$0,60 < RSR \leq 0,70$	$\pm 10 \leq PBIAS < \pm 15$
Tidak Memuaskan	$NSE \leq 0,50$	$RSR > 0,70$	$PBIAS \geq 15$

Sumber : Moriasi et al (2015, 2007)

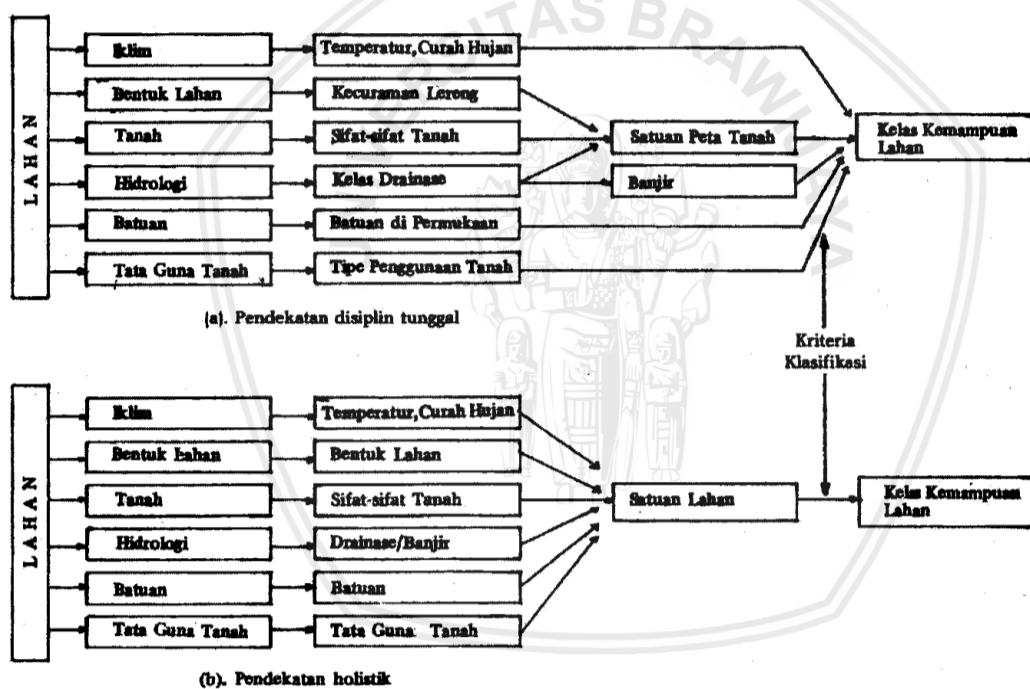
Penelitian ini melakukan pengujian nilai debit puncak hidrograf kejadian banjir untuk diketahui konsistensi dan homogenitas data debit lapangan, menggunakan metode kurva massa ganda, statistik *Rescaled Adjusted Partial Sums* (RAPS) dan uji-F (*Fisher test*).

## 2.19 Aplikasi Penginderaan Jauh dan SIG untuk Analisis Daerah Kerawanan Banjir

Penelitian ini menggunakan evaluasi lahan proses telaah dan interpretasi data tanah, vegetasi, iklim serta komponen lainnya, identifikasi dan perbandingan antara berbagai

alternatif penggunaan lahan dalam jangka sosio-ekonomi sederhana (Brikman dan Smyth, 1973 dalam Arsyad, 2009).

Pendekatan survey klasifikasi kemampuan lahan meliputi pendekatan disiplin tunggal, pendekatan terpadu atau pendekatan holistik. Pendekatan disiplin tunggal, klasifikasi kemampuan lahan dari hasil survei tanah dan relief permukaan tanah dipetakan satuan peta tanah mempertimbangkan komponen meliputi iklim, vegetasi/penggunaan tanah, untuk kelas kemampuan lahan. Pendekatan holistik yaitu komponen lahan berpengaruh terhadap penggunaan lahan diidentifikasi dan ditetapkan hierarki satuan lahan untuk dipetakan kelas kemampuan lahan. Kedua pendekatan survey tersebut tergambaran sesuai gambar berikut :



Gambar 2.30 Skema pendekatan klasifikasi kemampuan lahan  
Sumber : Arsyad (2009)

Identifikasi lahan yaitu faktor-faktor penyebab kejadian banjir dan korelasi interaksi antara faktor meliputi akumulasi aliran, kemiringan lahan, ketinggian lahan, curah hujan, jenis tanah dan penggunaan lahan (Kourgialas et al, 2011) menggunakan data DEM dan peta spasial. Pembobotan masing-masing faktor sebagai berikut.

#### 1. Iklim / Curah Hujan

Iklim / Curah hujan merupakan faktor non-fisik lahan mempengaruhi lahan, curah hujan berinteraksi langsung terhadap karakteristik fisik lahan menghasilkan suatu keluaran

respon permukaan lahan. Puslitbang DPU (2007) menyebutkan curah hujan merupakan input penyebab sistem lahan.

Tabel 2.12

## Faktor Kelas Curah Hujan

No	Kelas	Skor
1	>3000 mm (sangat basah)	9
2	2501 – 3000 mm (basah)	7
3	2001 – 2500 mm (sedang/lembab)	5
4	1501 – 2000 mm (kering)	3
5	< 1500 mm (Sangat Kering)	1

Sumber : Purnama 2008 dalam Martha (2011)

## 2. Topografi Kemiringan Lahan

Kemiringan lahan merupakan topografi mempengaruhi aliran permukaan dinyatakan derajat atau persen. Kemiringan lahan landai memiliki kerentanan banjir lebih tinggi dari lahan dengan kemiringan curam, dikarenakan laju air lebih lambat di lahan kemiringan landai dibandingkan di kemiringan curam (Arsyad, 2006)

Tabel 2.13

## Faktor Kelas Lereng

No	Kelas	Skor
1	Datar (0 – 3%)	90
2	Landai (3 – 8%)	75
3	Agak Curam (8 – 15%)	40
4	Curam (15 – 25%)	20
5	Sangat Curam (25 – 40%)	1
6	Terjal (>40%)	0

Sumber : Utomo 2004 dalam Martha (2011)

## 3. Penggunaan Lahan

Penggunaan lahan mempengaruhi laju aliran serta infiltrasi air ke dalam tanah pada jenis tutupan lahan berbeda di DAS, areal hutan memiliki tingkat laju aliran lebih rendah dibandingkan areal perumahan. Primayuda 2006 dalam Martha 2011 kelas penutupan lahan kerawanan banjir dianggap rentan dengan skor tertinggi.

Tabel 2.14

## Faktor Kelas Penggunaan Lahan

No	Kelas		Skor
1	Sawah, Tanah Terbuka		90
2	Pertanian	Lahan	Kering,

Permukiman		
3	Semak, Belukar, Alang-alang	50
4	Perkebunan	30
5	Hutan	10
6	Awan dan Bayangan Awan	10

Sumber : Primayuda 2006 dalam Martha (2011)

#### 4. Jenis Tanah

Bentuk lahan merupakan salah satu wahana tempat proses air mengalir berasal dari input hujan sampai ke laut. Perbedaan bentuk lahan memberikan arti permukaan bumi terkena suatu tenaga dengan proses berulang-ulang sehingga memberikan ciri dan karakter berbeda (Raharjo, 2008). Respon berbeda dimiliki dalam merespon air dengan skor lahan berdasarkan respon terhadap air hujan.

Tabel 2.15

#### Faktor Kelas Jenis Tanah

No	Jenis Tanah	Skor	No	Jenis Tanah	Skor
1	Basin aluvial	4	9	Kerucut Volkam	0
2	Dataran Aluvial	3	10	Pegunungan Volkam	0
3	Dataran Karst	0	11	Perbukitan Karst	0
4	Dataran Pasang Surut	4	12	Perbukitan Tektonik	0
5	Dataran Tektonik	2	13	Perbukitan Volkam	0
6	Dataran Volka	2	14	Pesisir Pantai	4
7	Pegunungan	1	15	Teras Marin	4
8	Jalur aliran sungai	4	16	Tubuh Air	4

Sumber : Suherlan 2001 dan Utomo 2004 dalam Martha (2011)

#### 5. Akumulasi Aliran

Akumulasi aliran – *flow accumulation* merupakan hasil delineasi DEM untuk mengetahui arah aliran dengan satuan sel/pixel, sehingga diperoleh pola aliran permukaan. Klasifikasi bobot akumulasi aliran sebagai berikut :

Tabel 2.16

#### Faktor Kelas Akumulasi aliran

No	Kelas	Skor
1	5868 – 12166 pixel	10
2	3244 – 5868 pixel	8
3	1908 – 3244 pixel	5
4	620 – 1908 pixel	2
5	0 – 620 pixel	1

Sumber : Kourgialas et al (2011)

#### 6. Ketinggian Lahan

Aliran air bergerak dari tempat lebih tinggi, terkumpul dan terakumulasi di tempat rendah, sehingga pembobotan kerawanan banjir meningkat di ketinggian lahan rendah.

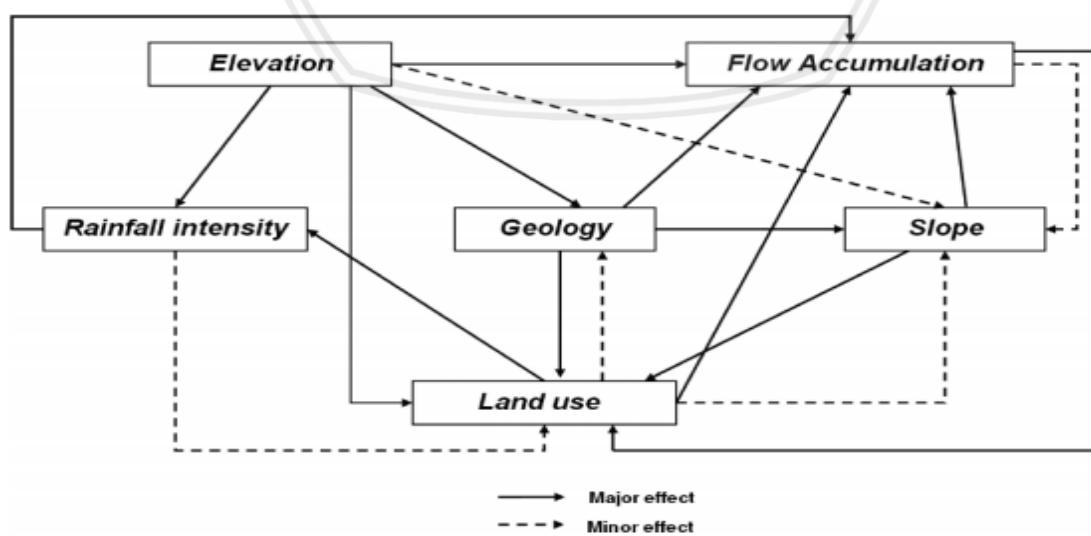
Tabel 2.17

## Kategori Kelas Ketinggian Lahan

No	Kelas	Skor
1	> 500 m	100
2	500 – 1000 m	75
3	1000 – 1500 m	50
4	1500 – 2000 m	25
5	> 2000 m	1

Sumber : Suherlan (2001)

Interaksi faktor-faktor pengaruh dihubungkan melalui garis pembeda antar faktor dalam memberikan dampak major dan minor antar faktor. Penelitian Kourgialas et al (2011), identifikasi daerah rawan bencana melalui integrasi berbagai faktor, faktor ketinggian lahan memiliki dampak major/utama terhadap curah hujan, akumulasi aliran, penggunaan lahan dan geologi, dampak minor pada faktor kemiringan lahan. Deskripsi kuantitatif faktor dikonversi kedalam nilai 1 (satu) untuk dampak major dan 0,5 (setengah) untuk dampak minor (Shaban et al, 2006 dalam Kourgialas et al, 2011) untuk dihitung total nilai kuantitatif faktor tersebut.



Gambar 2.31 Skema interaksi faktor pengaruh kerawanan bencana banjir

Sumber : Kourgialas et al (2011)

Tabel 2.18

## Perhitungan Interaksi Faktor Pengaruh Kerawanan Bencana Banjir

<b>Kelompok</b>	<b>Interaksi Antara</b>	<b>Perhitungan</b>	<b>Hasil</b>
	<b>Faktor</b>		
Akumulasi aliran	1 major + 1 minor	$(1 \times 1) + (1 \times 0,5)$	1,5 poin
Kemiringan	2 major + 0 minor	$(2 \times 1) + (0 \times 0,5)$	2,0 poin
Penggunaan Lahan	2 major + 2 minor	$(2 \times 1) + (2 \times 0,5)$	3,0 poin
Curah Hujan	1 major + 1 minor	$(1 \times 1) + (1 \times 0,5)$	1,5 poin
Geologi	3 major + 0 minor	$(3 \times 1) + (0 \times 0,5)$	3,0 poin
Ketinggian	4 major + 1 minor	$(4 \times 1) + (1 \times 0,5)$	4,5 poin

Sumber : Kourgialas et al (2011)

## 2.20 Analisis Tingkat Kerawanan Banjir

Analisis keruangan menggunakan teknik *overlay* (tumpang susun) terhadap peta spasial. Informasi berupa luasan poligon irisan peta sebagai parameter banjir, perhitungan nilai kerawanan bencana banjir wilayah dari penjumlahan bobot nilai faktor pengaruh bencana banjir dengan persamaan berikut (Primayuda, 2006) :

$$K = \sum_{i=1}^n (W_i x X_i) \quad \dots \dots \dots \quad (2.36)$$

dengan :

K = Nilai kerawanan

Wi = Bobot untuk faktor ke-i

$X_i$  = Skor kelas faktor ke- $i$

Hasil nilai kerawanan banjir kemudian dikelompokkan menjadi 4 tingkat kerawanan banjir yaitu sangat rendah – *very low*, rendah – *low*, cukup – *moderat*, tinggi – *high*, dan sangat tinggi – *very high* dengan membagi sama banyak nilai jumlah interval kelas melalui persamaan berikut (Primayuda, 2006) :

dengan :

- i = Lebar interval
- R = Selisih skor maksimum dan minimum
- n = jumlah kelas kerawanan banjir

## 2.21 Penelitian Terkait

Penelitian terkait model hidrologi HEC-HMS dan studi kerawanan banjir telah banyak dilakukan oleh peneliti lain, beberapa penelitian sebagai referensi yaitu :

1. Diah Listyarini (2017), Tesis berjudul Mitigasi Banjir DAS Citarum Hulu Berbasis Model HEC-HMS.

Penelitian permodelan Hidrologi HEC-HMS DAS Citarum dan perencanaan mitigasi banjir. Penerapan Rencana Tata Ruang Provinsi Jawa Barat Tahun 2009-2029, Rencana Teknis Rehabilitasi Hutan dan Lahan (RTk-RHL) serta pengendalian aliran permukaan *in situ*. Model HEC-HMS diperoleh Debit puncak aliran permukaan (banjir) periode penelitian (8 Januari 2013) di *outlet* sebesar 722,44 m<sup>3</sup>/detik, waktu puncak debit *outlet* selama 7,25 jam dan volume debit aliran sebesar  $18.313,28 \times 10^3$  m<sup>3</sup>.

2. Makkena Jyothi (2016), Tesis berjudul *Modelling the Hydrology of Watershed by using HEC-HMS*.

Penelitian berlokasi di Sub DAS Thuthapuzha, Distrik Kerala, India dengan model hidrologi HEC-HMS, periode kalibrasi-validasi dan evaluasi model menggunakan kriteria statistik *Nash Sutcliffe* Efisiensi, nilai Efisiensi model *Nash-Sutcliffe* (E) 0,77-0,8 dan 0,86-0,88, nilai koefisien determinasi 0,82-0,91 dan 0,91-0,93 menunjukkan kinerja model “Baik”. Parameter hidrologi sensitif hasil kalibrasi-validasi yaitu bilangan kurva - CN dan jeda waktu – *lag time*.

3. Ouédraogo et al (2018), Jurnal berjudul *Continuous Modeling of the Mkurumudzi River Catchment in Kenya Using the HEC-HMS Conceptual Model: Calibration, Validation, Model Performance Evaluation and Sensitivity Analysis*.

Penelitian berlokasi di Sub DAS Mkurumudzi, Kenya, model hidrologi HEC-HMS. Hasil model setelah kalibrasi-validasi dan evaluasi model kriteria statistik *Nash-Sutcliffe* Efisiensi menghasilkan nilai 0,0 dan 0,65 menunjukkan kinerja “Bagus”, parameter % errors in volume (PEV) dihasilkan nilai 8,2% dan 21,7% dengan kinerja “Bagus”.

4. Ozkan et al (2014), jurnal berjudul *Detection of Flood Hazard in Urban Areas Using*

*GIS : Izmir Case.*

Penelitian berlokasi di wilayah perkotaan Izmir, Turki, identifikasi kerawanan banjir dengan faktor – faktor pengaruh yaitu akumulasi aliran, kemiringan, penggunaan lahan, curah hujan dan ketinggian. Analisis menggunakan peta spasial berbasis GIS teknik tumpang susun (*overlay*) sehingga diperoleh peta kerawanan banjir wilayah Izmir, Turki.

Halaman ini sengaja dikosongkan



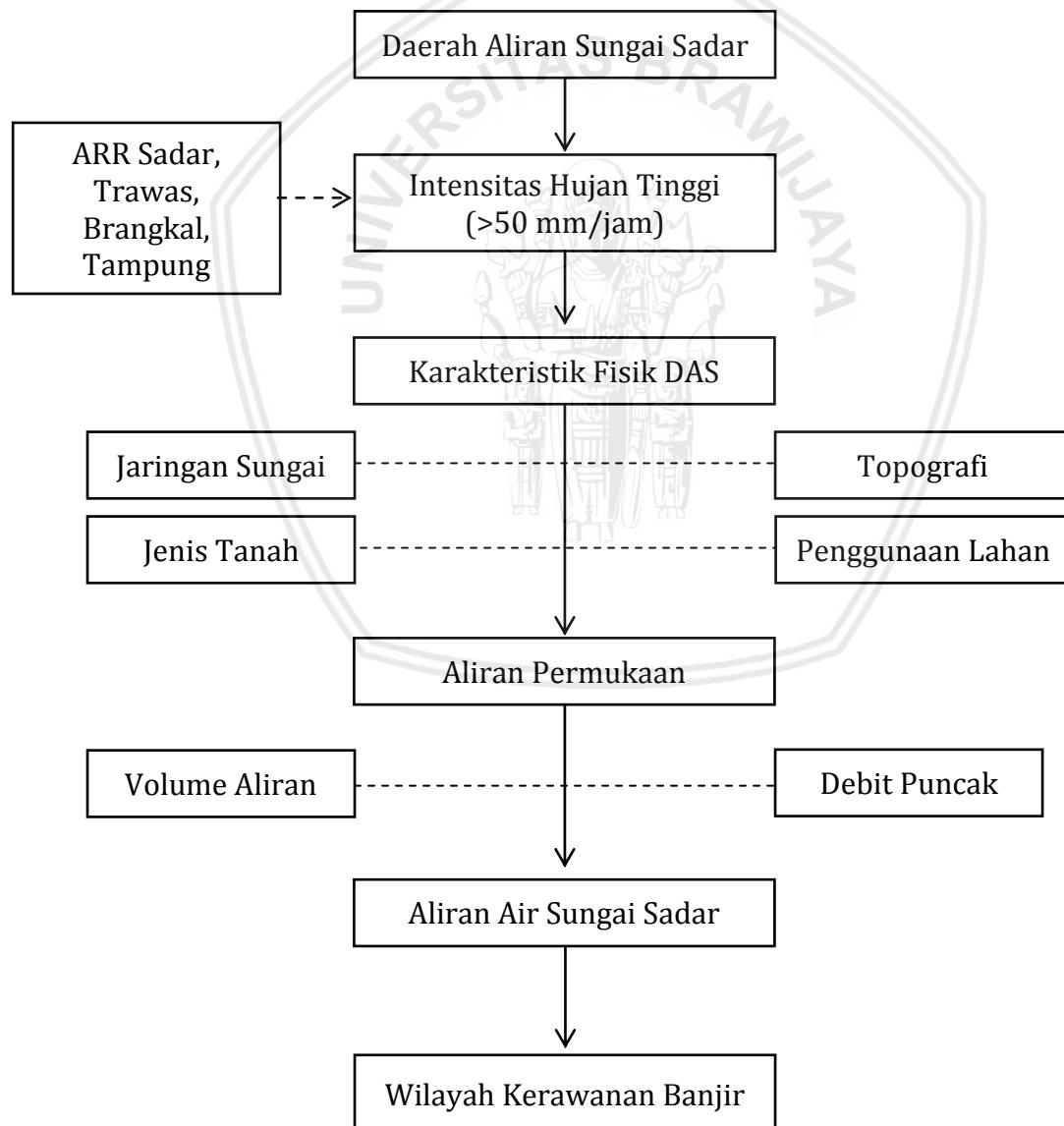
## BAB III

### KERANGKA KONSEP PENELITIAN

#### 3.1 Umum

Kerangka konsep penelitian dimaksudkan hasil kajian penelitian ini sesuai dengan maksud dan tujuan. Tinjauan pustaka bab sebelumnya, diperlukan kerangka berfikir sebagai dasar menentukan metode penelitian untuk memperoleh hasil optimal.

#### 3.2 Kerangka Fikir



Gambar 3.1 Kerangka Konsep Penelitian

Halaman ini sengaja dikosongkan

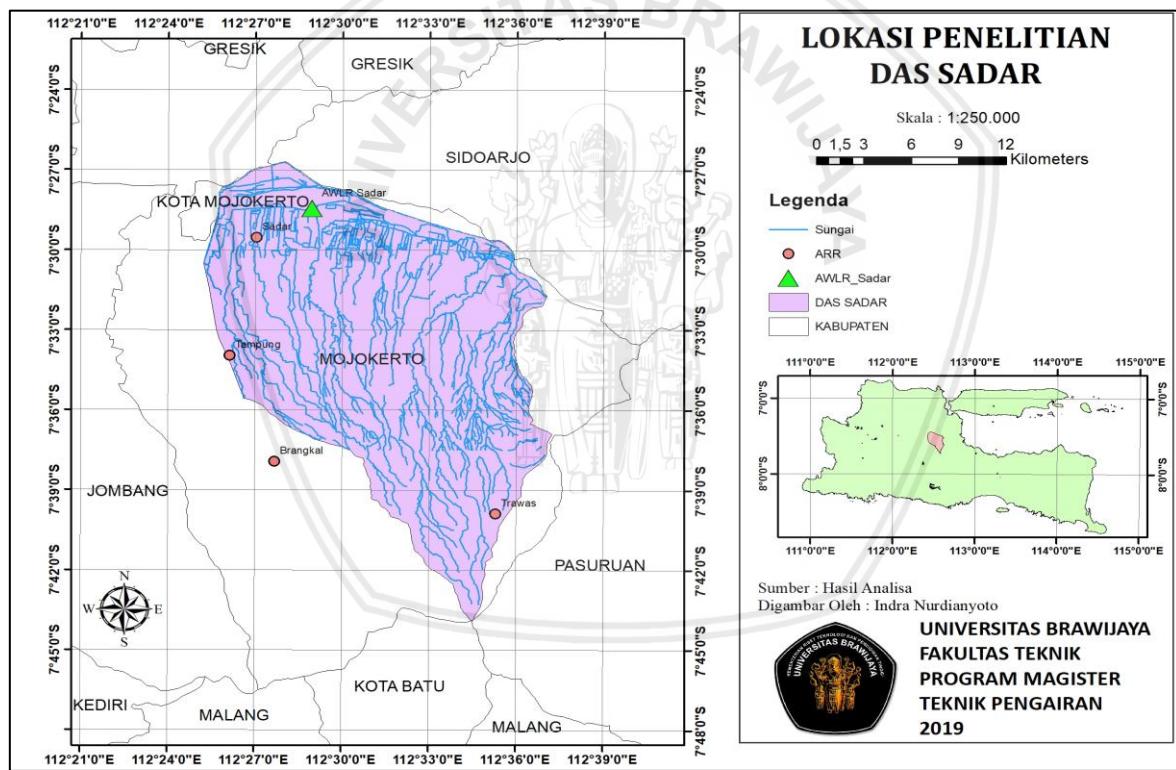


## BAB IV

### METODOLOGI PENENTUAN

#### 4.1 Lokasi Studi

Lokasi studi adalah Sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Sadar seluas  $\pm 386 \text{ km}^2$  dan merupakan salah satu bagian DAS Brantas, memiliki sungai utama Sungai/Kali Sadar sepanjang  $\pm 23 \text{ km}$ , pemantauan tinggi muka air sungai dan debit di stasiun telemetri AWLR Sadar dan pemantauan curah hujan di stasiun telemetri ARR Sadar, Trawas, Tampung dan Brangkal. Sub DAS Sadar secara administratif berada di Kabupaten dan Kota Mojokerto Provinsi Jawa Timur. Peta lokasi studi sesuai Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Peta Lokasi Studi

Sumber : Hasil pengolahan data (2019)

#### 4.2 Pengumpulan Data

Pelaksanaan penelitian menggunakan seperangkat komputer, laptop, *scanner* serta *printer* didukung aplikasi pengolahan data antara lain :

Tabel 4.1  
Daftar Penggunaan Aplikasi

Aplikasi	Fungsi
1 HEC-HMS v4.3	Analisis hidrologi
2 Arc Map v10.3	Digitasi, analisis penginderaan jauh dan SIG
4 MS Office Word	Pelaporan
3 MS Office Excel	Pengolahan data
Sumber : Pengolahan	

Penggunaan materi penelitian yaitu data sekunder, antara lain :

- Data curah hujan (*Automatic Rainfall Recorder – ARR*) Stasiun Sadar, Tampung, Brangkal, Trawas Tahun 2012 – 2018, sumber : Perusahaan Umum (Perum) Jasa Tirta I.
- Data tinggi muka air dan debit Kali Sadar (*Automatic Water Level Recorder – AWLR*) Stasiun Sadar Tahun 2012-2018, sumber : Perusahaan Umum (Perum) Jasa Tirta I.
- Digital Elevation Model Nasional (DEMNAS)* (<http://tides.big.go.id/DEMNAS/>)
- Peta penggunaan lahan, peta jenis tanah, peta topografi, peta kemiringan lahan Sub DAS Sadar, sumber : Direktorat Jenderal Planologi Kehutanan dan Lingkungan – Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Tahun 2016.
- Laporan Kejadian Banjir Perusahaan Umum (Perum) Jasa Tirta I.

### 4.3 Kondisi Lokasi Studi

#### 4.3.1 Iklim

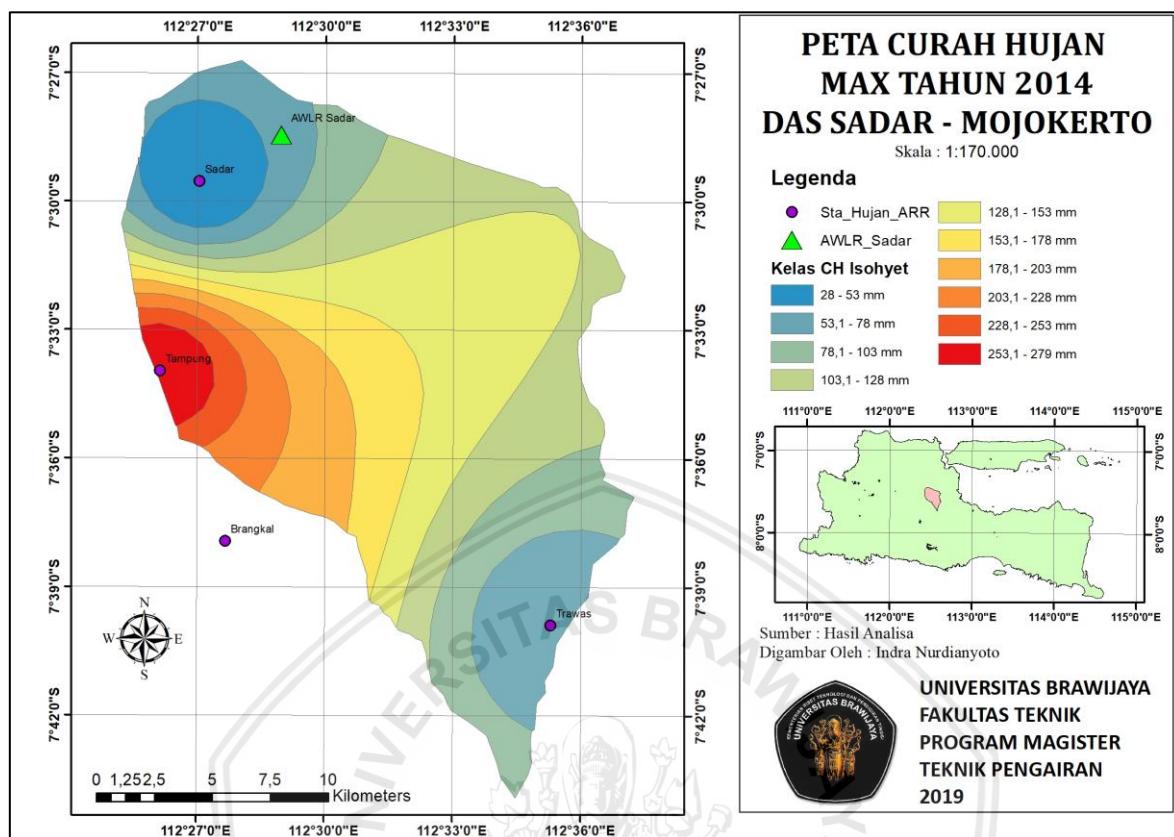
Sub DAS Sadar memiliki iklim tropis 2 musim yaitu musim hujan dan musim kemarau, data ARR tahun 2012-2018 di 4 stasiun tercatat curah hujan maksimum terjadi sebesar 279 mm/jam di Tahun 2014.

Tabel 4.2

Curah Hujan Maksimum Tahunan Stasiun Telemetri

Tahun	Stasiun				
	Sadar	Trawas	Brangkal	Tampung	Rerata
2012	15	15	14	15	14,75
2013	15	15	15	28	18,25
2014	28	60	203	279	142,50
2015	244	68	118	133	140,75
2016	107	58	91	49	76,25
2017	217	71	80	72	110,00
2018	116	61	46	46	67,25

Sumber : ARR, PJT I



Gambar 4.2 Peta Curah Hujan Maksimum Tahun 2014

Sumber : Hasil Pengolahan Dara (2019)

#### 4.3.2 Topografi

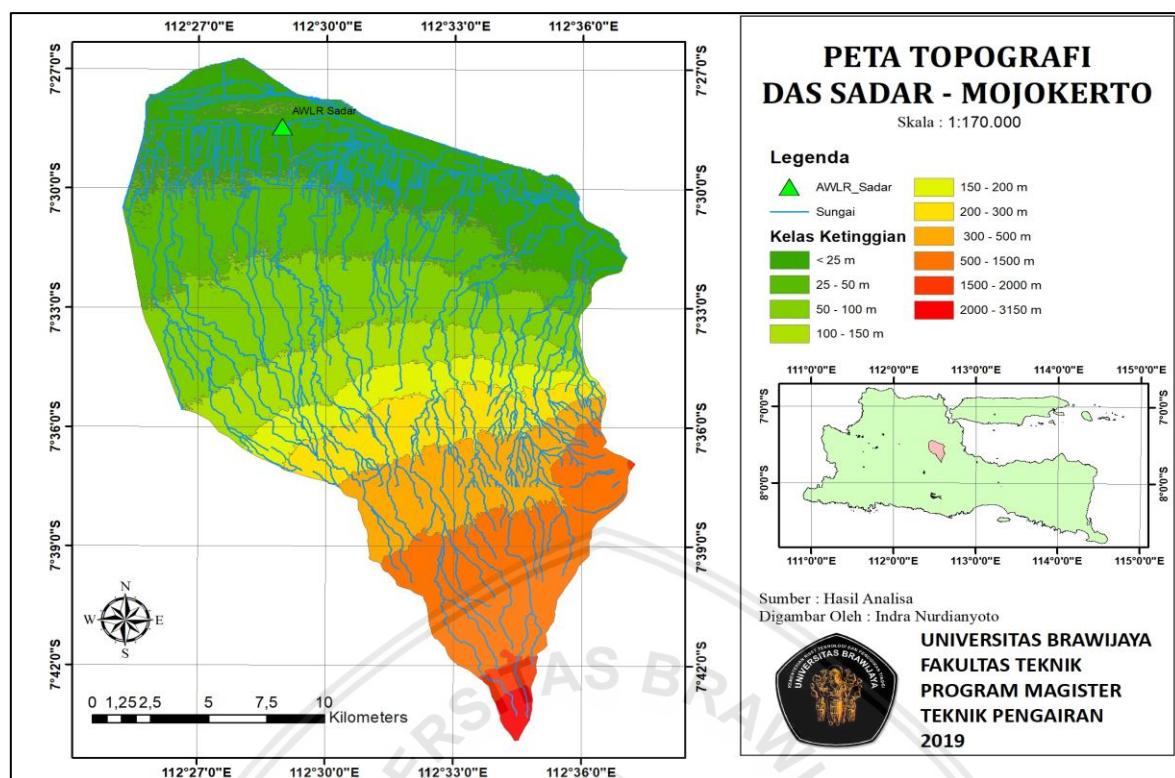
Secara topografi Sub DAS Sadar sebagian besar merupakan dataran rendah, ketinggian tanah bekisar antara 0 (nol) sampai dengan 3.150 meter diatas permukaan laut.

Tabel 4.3

Ketinggian Tanah Sub DAS Sadar

Ketinggian	Luas (km <sup>2</sup> )	Ketinggian	Luas (km <sup>2</sup> )
< 25 m	81,54	200 – 300 m	27,79
25 – 50 m	64,17	300 – 500 m	36,09
50 – 100 m	62,79	500 – 1.500 m	53,78
100 – 150 m	32,81	1.500 – 2.000 m	3,24
150 – 200 m	21,45	2.000 – 3.150 m	2,69

Sumber : Hasil Pengolahan DEM (2019)



Gambar 4.3 Peta Topografi Sub DAS Sadar

Sumber : Hasil pengolahan DEM (2019)

#### 4.3.3 Kemiringan Lereng

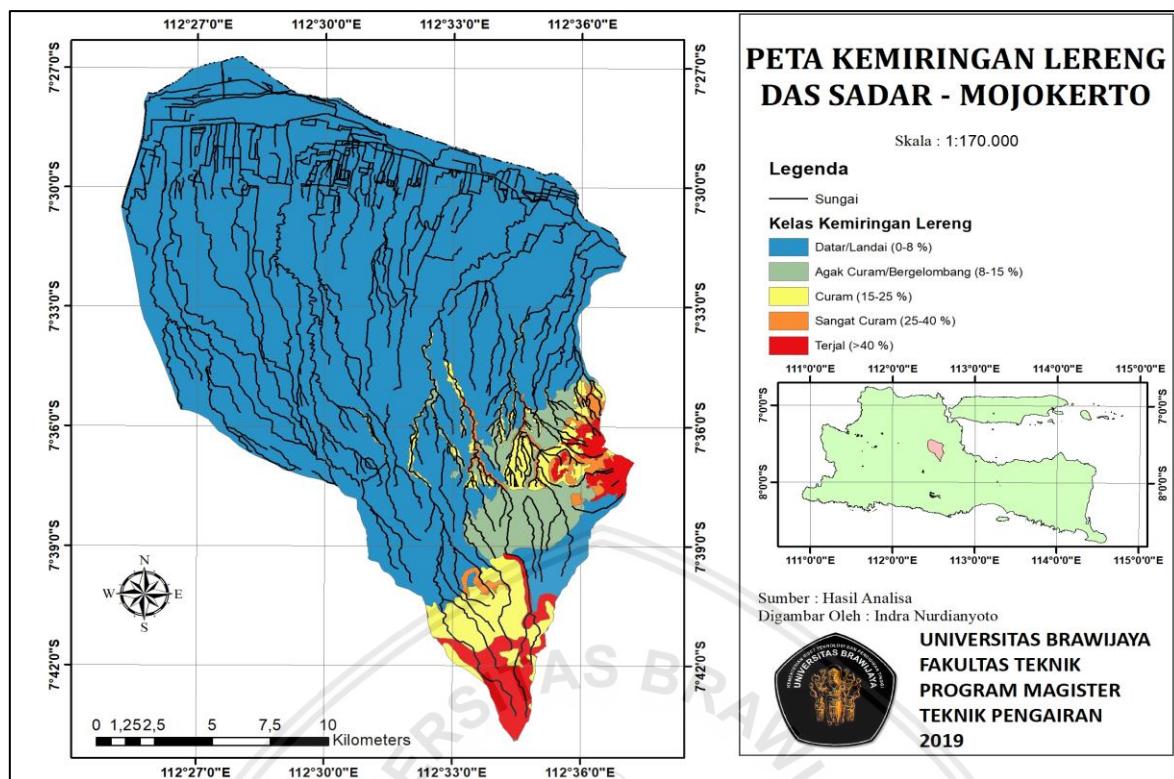
Sub DAS Sadar memiliki kemiringan tanah dominan datar/landai sebesar 83,0% tersaji pada tabel 4.4.

Tabel 4.4

Kemiringan Lereng Sub DAS Sadar

Kemiringan	Luas (km <sup>2</sup> )	%
Datar / landai (0-8%)	320,69	83,0
Agak curam/bergelombang (8-15%)	21,11	5,5
curam (15-25%)	23,15	6,0
Sangat curam (25-40%)	6,44	1,7
Terjal (>40%)	14,97	3,9

Sumber : Hasil Pengolahan DEM (2019)



Gambar 4.4 Peta Kemiringan Lereng

Sumber : Hasil Pengolahan DEM (2019)

#### 4.3.4 Jenis Tanah

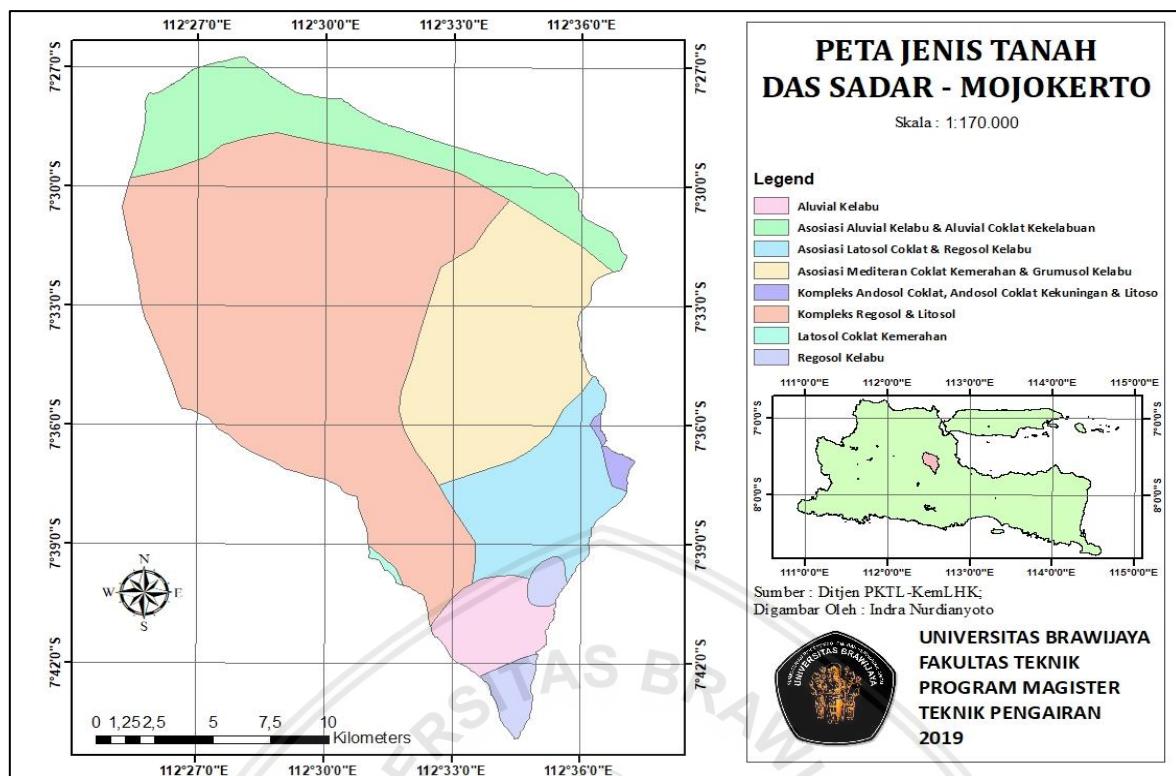
Sub DAS Sadar memiliki jenis tanah kompleks regosol & litosol, jenis tanah mempengaruhi tekstur tanah dan secara spesifik menyinggung nisbah relatif antara berbagai ukuran zarah dalam tanah dengan ciri khas tidak mudah berubah dan dianggap sebagai ciri dasar tanah (Soepardi, 1983 dalam Suherlan, 2001),

Tabel 4.5

Jenis Tanah Sub DAS Sadar

Kemiringan	Luas (km <sup>2</sup> )
Aluvial kelabu	16,47
Kompleks andosol coklat, andosol coklat kekuningan & litoso	2,03
Regosol kelabu	8,15
Asosiasi latosol coklat & regosol kelabu	37,07
Asosiasi mediteran coklat kemerahan & grumusol kelabu	74,32
Kompleks regosol & litosol	199,79
Latosol coklat kemerahan	0,62
Asosiasi aluvial kelabu & aluvial coklat kekelabuan	47,91

Sumber : Ditjen PKTL – Kem LHK (2016)



Gambar 4.5 Peta Jenis Tanah Sub DAS Sadar

Sumber : Hasil Pengolahan Data Ditjen PKTL – Kem LHK (2016)

#### 4.3.5 Penggunaan Lahan

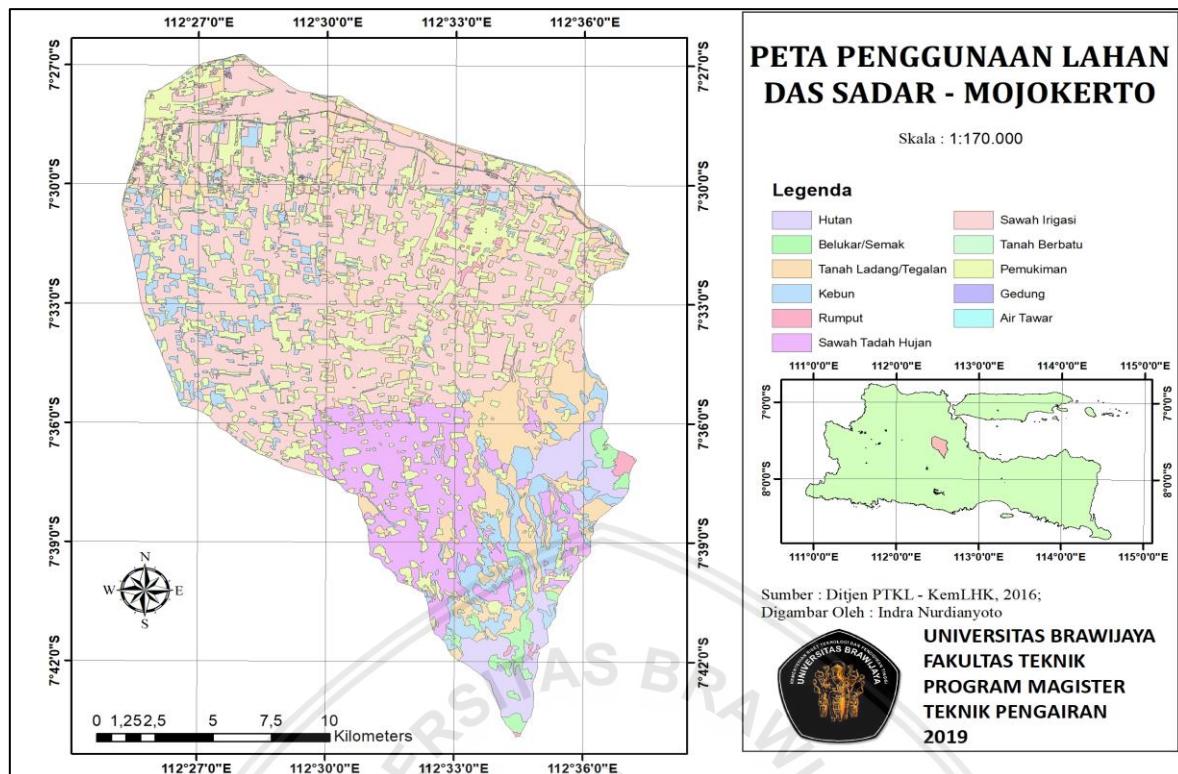
Berdasarkan peta penggunaan lahan tahun 2016, Sub DAS Sadar sebagian besar adalah areal pertanian sawah baik teknis maupun tada hujan sebanyak 53,4% terhadap luas DAS.

Tabel 4.6

Penggunaan Lahan Sub DAS Sadar

Penggunaan Lahan	Luas (km <sup>2</sup> )
Hutan	16,12
Belukar/semak	6,30
Tanah Ladang/tegalan	44,51
Kebun	33,00
Rumput	3,07
Sawah tada hujan	43,65
Sawah irigasi	163,02
Tanah berbatu	0,01
Pemukiman	76,24
Gedung	0,45
Air Tawar	0,56

Sumber : Ditjen PKTL – Kem LHK (2016)



**Gambar 4.6** Peta Penggunaan Lahan Sub DAS Sadar

Sumber : Hasil Pengolahan Spasial Peta Ditjen PKTL – Kem LHK (2016)

#### 4.3.6 Debit Sungai

Pengamatan debit Sungai Sadar menggunakan AWLR Stasiun Sadar terletak di koordinat  $7^{\circ}28'27,10''S$ ,  $112^{\circ}28'58,40''E$ , rentang waktu data penelitian Tahun 2012 - 2018 memiliki nilai bulanan maksimal seperti tabel 4.7.

Tabel 4.7

Debit Maksimal Bulanan AWLR Sadar Tahun 2012 - 2018

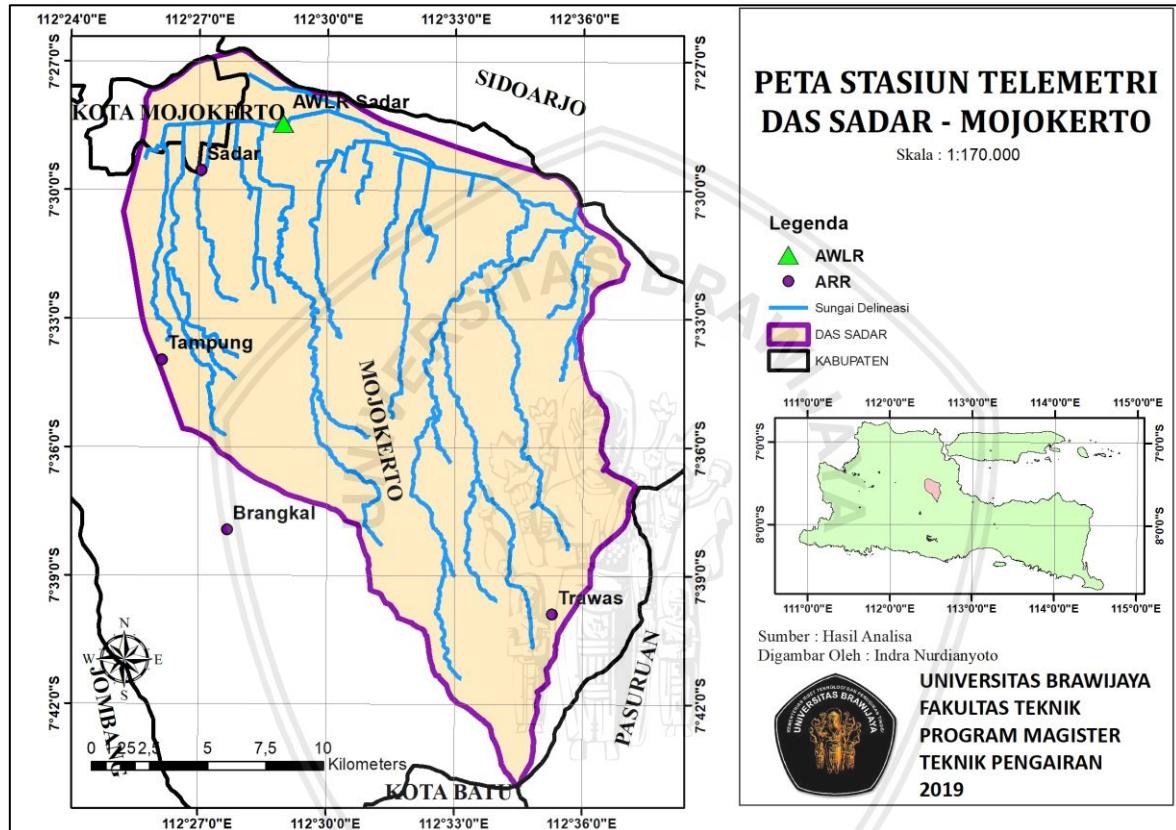
	Tahun						
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Jan	-	-	313,52	206,51	*	*	96,27
Feb	-	-	299,99	241,16	*	381,33	86,27
Mar	-	-	206,51	261,19	*	186,40	76,81
Apr	-	295,15	174,55	236,82	*	55,01	72,29
Mei	-	271,51	172,70	217,76	*	54,25	*
Jun	-	264,61	68,23	35,73	*	56,47	*
Jul	-	245,54	54,50	30,48	*	70,15	*
Agt	-	25,30	29,71	26,01	*	156,41	*
Sep	-	14,98	27,46	26,73	*	160,18	*
Okt	-	15,53	23,90	24,33	*	136,49	*

	Tahun						
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Nov	-	161,80	67,08	140,90	*	118,75	*
Des	-	262,33	238,99	*	*	210,60	*

Sumber : Perum Jasa Tirta I

Catatan : AWLR Stasiun Sadar mulai operasional November 2012

\* mengalami kerusakan



Gambar 4.7 Peta Stasiun Telemetri Sub DAS Sadar

Sumber : Hasil Pengolahan

#### 4.4 Rencana Pemecahan Masalah

Pemecahan masalah penelitian, data-data terkumpul dilakukan analisis menggunakan metode, kegunaan data dan hasil sebagaimana tabel berikut :

Tabel 4.8  
Jenis Data, Sumber Data, Metode Analisis, Kegunaan dan Hasil

No	Data	Sumber Data	Metode Analisis	Kegunaan Data	Hasil
1	Peta Digital Elevation Model (DEM)	DEMNAS ( <a href="http://tides.big.go.id/">http://tides.big.go.id/</a> )	Delineasi DAS – Sub DAS ArcGIS ( <i>Arc Hydro Tool</i> ) Hidrograf Satuan Gama – I	Basis data Model HEC-HMS parameter hidrologi	Basin Model HEC-HMS – skematik jaringan sungai, DAS, SubDAS Parameter hidrologi <i>Baseflow</i>
	Peta Jaringan Sungai	<u>DEMNAS/</u>	(baseflow)		Parameter <i>Routing Muskingum, subreaches</i>
2	Peta Penggunaan Tanah Tahun 2016	Ditjen PTKL – Kem.LHK	Metode SCS – Curve Number ArcGIS ( <i>HEC-GeoHMS Tool</i> ) Overlay pembobotan ArcGIS	<i>Hydrologic Soil Group</i> dan nilai CN metode SCS -USDA	Basin Model HEC-HMS – parameter loss – <i>initial abstraction, CN, % impervious – transform – SCS UH Lag Time</i>
	Peta Jenis Tanah				Peta Kerawanan banjir DAS
4	Peta Kemiringan lereng;Peta topografi	Ditjen PTKL – Kem.LHK	Overlay pembobotan ArcGIS	Basis data kerawanan banjir	Peta Kerawanan Banjir DAS
3	Curah Hujan Per-Jam Stasiun Sadar, Tampung, Trawas, Brangkal Tahun 2012-2018	PJT I	Uji data metode konsistensi, ketiadaan trend, stasioner, persistensi; Hujan Kawasan rerata aritmatik, Polygon Thiessen, Isohiet; Overlay pembobotan ArcGIS	Basis data meteorological model HEC-HMS Input data Curah Hujan (Isohiet)	Meteorological model HEC-HMS ( <i>Polygon Thiessen</i> ) Sebaran Curah Hujan Area DAS (Isohiet) Peta Kerawanan banjir DAS
4	Debit Stasiun Sadar Per-Jam Tahun 2012-2018	PJT I	Permodelan hujan-debit	Kalibrasi – validasi model HEC-HMS	Hidrograf hujan-debit
Sumber :			Hasil	Pengolahan	Data (2019)

#### 4.5 Analisis Data

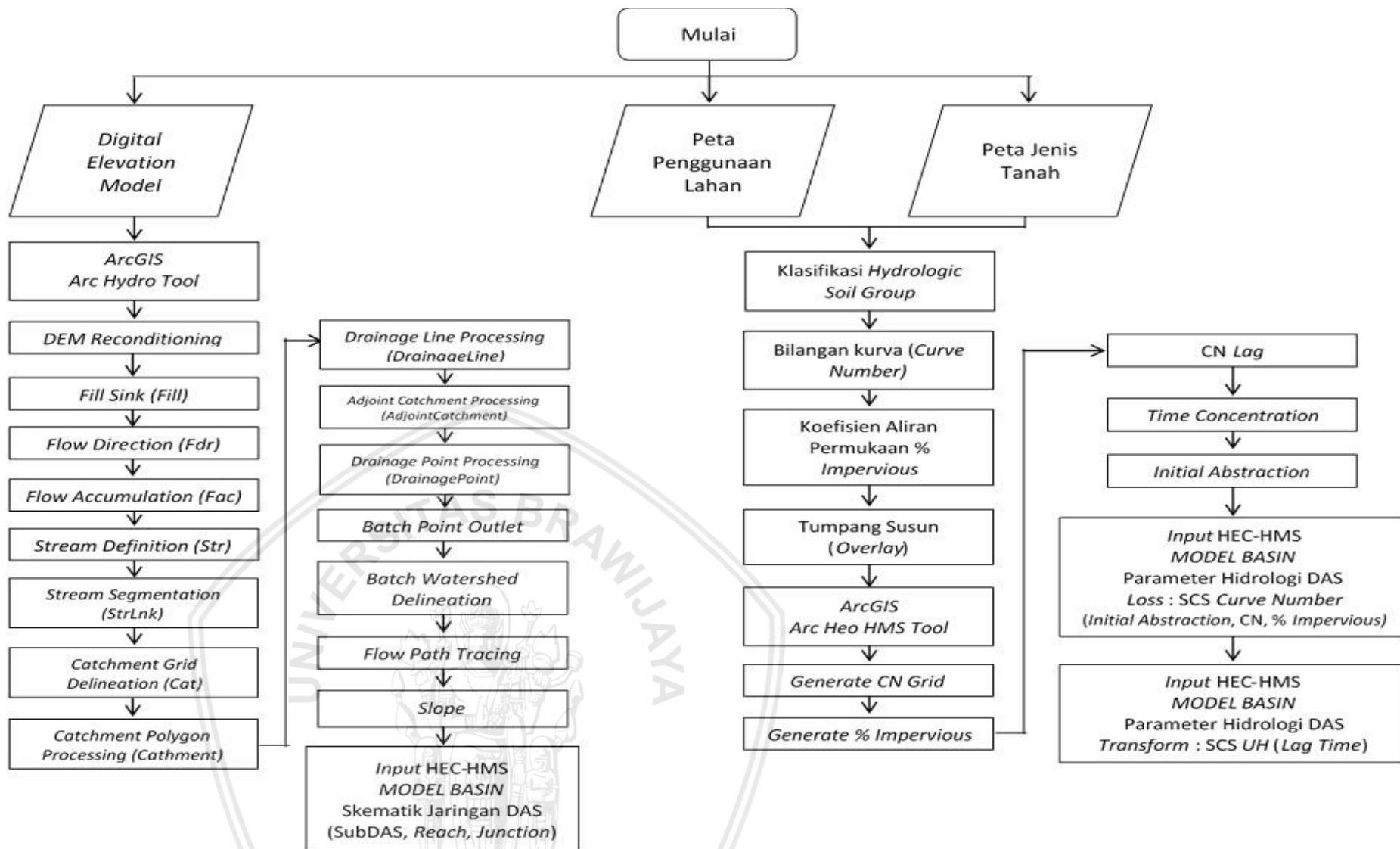
Pelaksanaan analisis data untuk memperoleh model hidrologi dan penyelesaian studi dijabarkan secara garis besar dengan langkah sebagai berikut:

1. Analisis input data model HEC-HMS Sub DAS Sadar menggunakan *Digital Elevation Model*, penggunaan lahan dan jenis tanah.

Analisis menggunakan aplikasi *ArcGIS-ArcMap* dengan tahapan sebagai berikut :

- a. Penyiapan data-data input aplikasi *ArcGIS – ArcMap*
  - 1) Peta *Digital Elevation Model* (DEM).
  - 2) Peta penggunaan lahan tahun 2016.
  - 3) Peta jenis tanah tahun 2016.
- b. Pengklasifikasian atribut peta penggunaan lahan dan jenis tanah dengan metode *Hydrologic Soil Group* (HSG) dan pengisian nilai bilangan kurva – *Curve Number*.
- c. Pengklasifikasian atribut peta penggunaan lahan dengan metode koefisien aliran permukaan – *percent impervious*.
- d. Delineasi Peta DEM dengan bantuan *Arc Hydro Tool - ArcMap*.
- e. Pengolahan data teknik tumpang susun – *overlay* pada peta penggunaan lahan dan jenis tanah, integrasi dengan bantuan *HECGeoHMS Tool - ArcMap*.

Tahapan analisis rumusan masalah nomor 1 (satu) dijabarkan sesuai bagan alir (*flowchart*) Gambar 4.8 berikut :



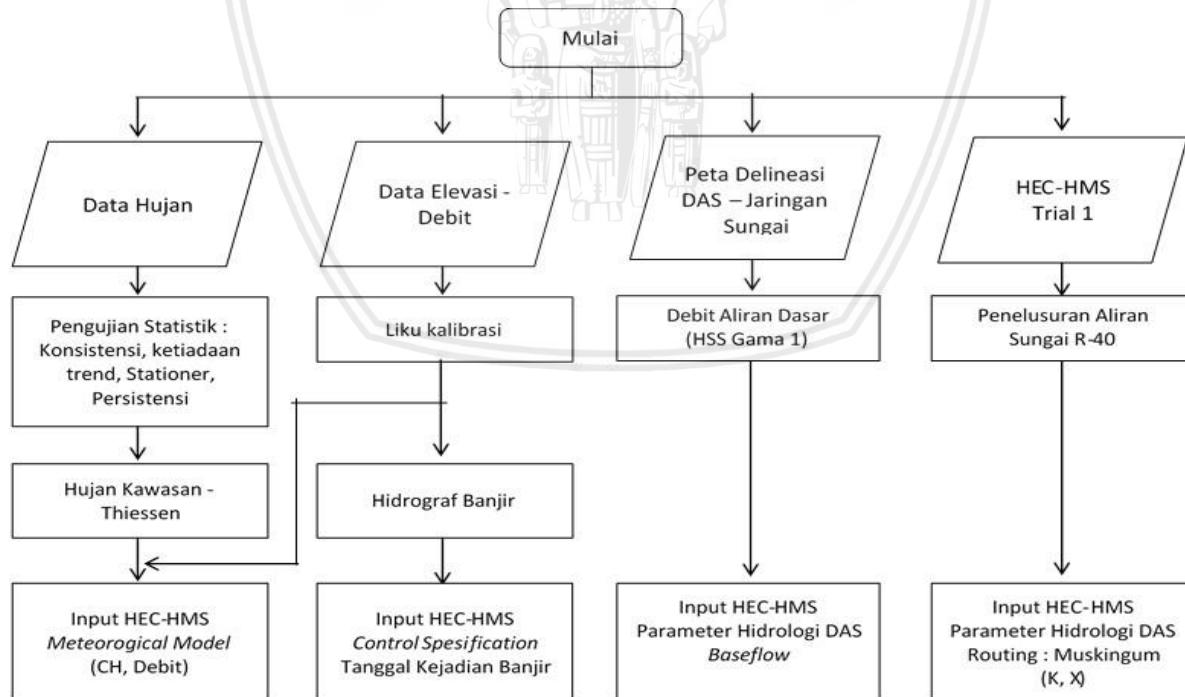
Gambar 4.8 Diagram alir analisis parameter awal model Sub DAS Sadar

2. Analisis kalibrasi-validasi parameter model hidrologi HEC-HMS Sub DAS Sadar saat kejadian banjir.

Hasil analisis butir 1 (satu), pengolahan dibantu aplikasi *ArcMap extension Arc Hydro Tool* dan *HECGeoHMS Tool* sehingga diperoleh *model basin* serta parameter hidrologi nilai masukan program HEC-HMS sesuai tahapan :

- Melakukan pengujian data curah hujan dan pengolahan peta spasial hujan kawasan metode Thiessen sebagai masukan *meteorological model HEC-HMS*.
- Melakukan pengolahan data elevasi air menjadi debit menggunakan persamaan liku kalibrasi – *rating curve*, data AWLR sebagai kalibrasi-validasi model.
- Mengidentifikasi hidrograf AWLR Sadar kejadian banjir, pemilihan hidrograf kejadian banjir terpisah (*isolated*) dengan satu puncak tunggal (*single peak*) serta mempunyai hujan cukup sebagai *control model*.
- Menghitung nilai debit aliran dasar - *baseflow* menggunakan metode Hidrograf Satuan Sintetik Gama I (Harto, 2010).
- Menghitung nilai penelusuran aliran –*flood routing* metode Muskingum (Soemarto, 1987).

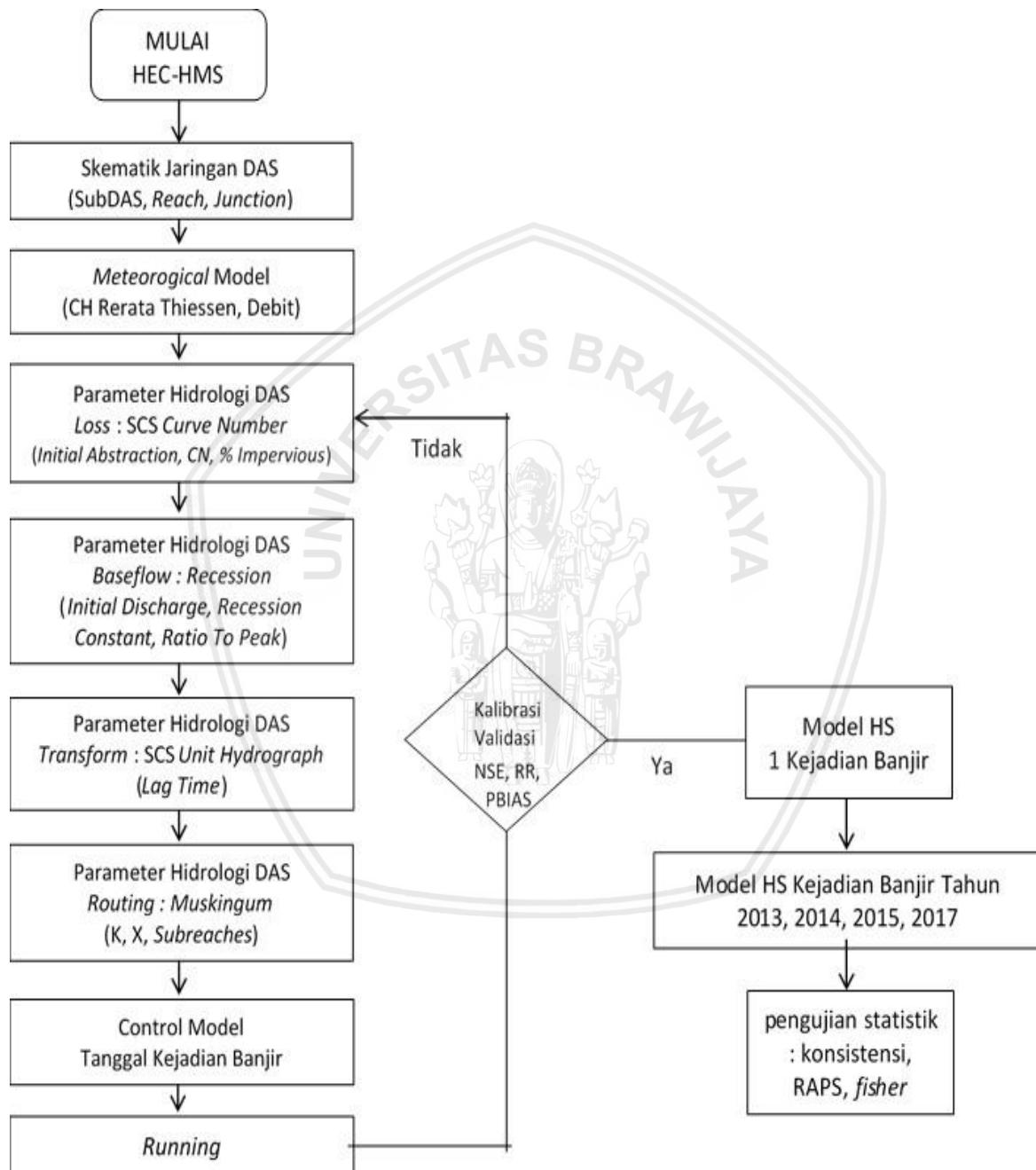
Tahapan analisis sebagaimana bagan alir Gambar 4.9 berikut :



Gambar 4.9 Diagram alir analisis identifikasi nilai parameter hidrologi Sub DAS Sadar

Pengolahan model HEC-HMS untuk memperoleh model sesuai kondisi lapangan melalui periode kalibrasi validasi model, model HEC-HMS Sub DAS Sadar periode kalibrasi tahun kejadian banjir 2013, 2014, 2015 dan periode validasi tahun 2017

melalui metode optimasi *trial error* parameter hidrologi model. Parameter statistik NSE, RSR dan PBIAS untuk mengevaluasi kehandalan model dengan 4 kriteria parameter yaitu *unsatisfactory* – tidak memuaskan, *satisfactory* – memuaskan, *good* – baik dan *very good* – sangat baik. Tahapan analisis rumusan masalah nomor 2 (satu) dijabarkan sesuai bagan alir (*flowchart*) Gambar 4.10 berikut :



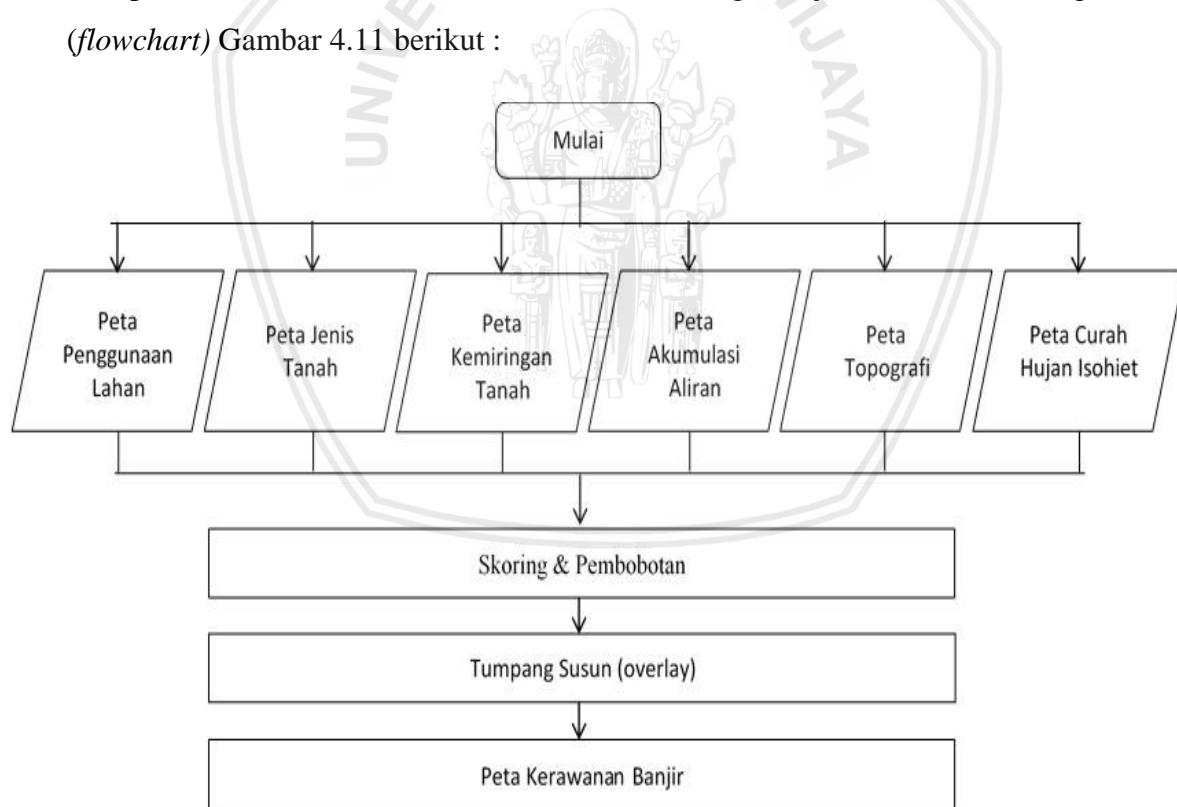
Gambar 4.10 Diagram alir analisis akurasi prediksi dan validasi model HEC-HMS DAS  
Sadar

3. Analisis parameter pengaruh tingkat kerawanan banjir di Sub DAS Sadar.

Analisis dengan bantuan aplikasi *ArcGIS-ArcMap* dengan tahapan :

- a. Penyiapan data-data input aplikasi *ArcGIS – ArcMap*.
  - 1) Peta penggunaan lahan tahun 2016.
  - 2) Peta jenis tanah tahun 2016.
  - 3) Peta kemiringan tanah (pengolahan DEMNAS tahun 2011).
  - 4) Peta topografi (pengolahan DEMNAS tahun 2011).
  - 5) Peta akumulasi aliran – *flow accumulation* diperoleh dari delineasi DAS.
  - 6) Pengolahan spasial peta hujan kawasan metode Isohiet.
- b. Pembobotan dan skoring faktor pengaruh kerawanan bencana banjir.
- c. Pengolahan data teknik tumpang susun – *overlay*.
- d. Analisis tingkat kerawanan bencana banjir dengan penjumlahan bobot total dan klasifikasi bencana.

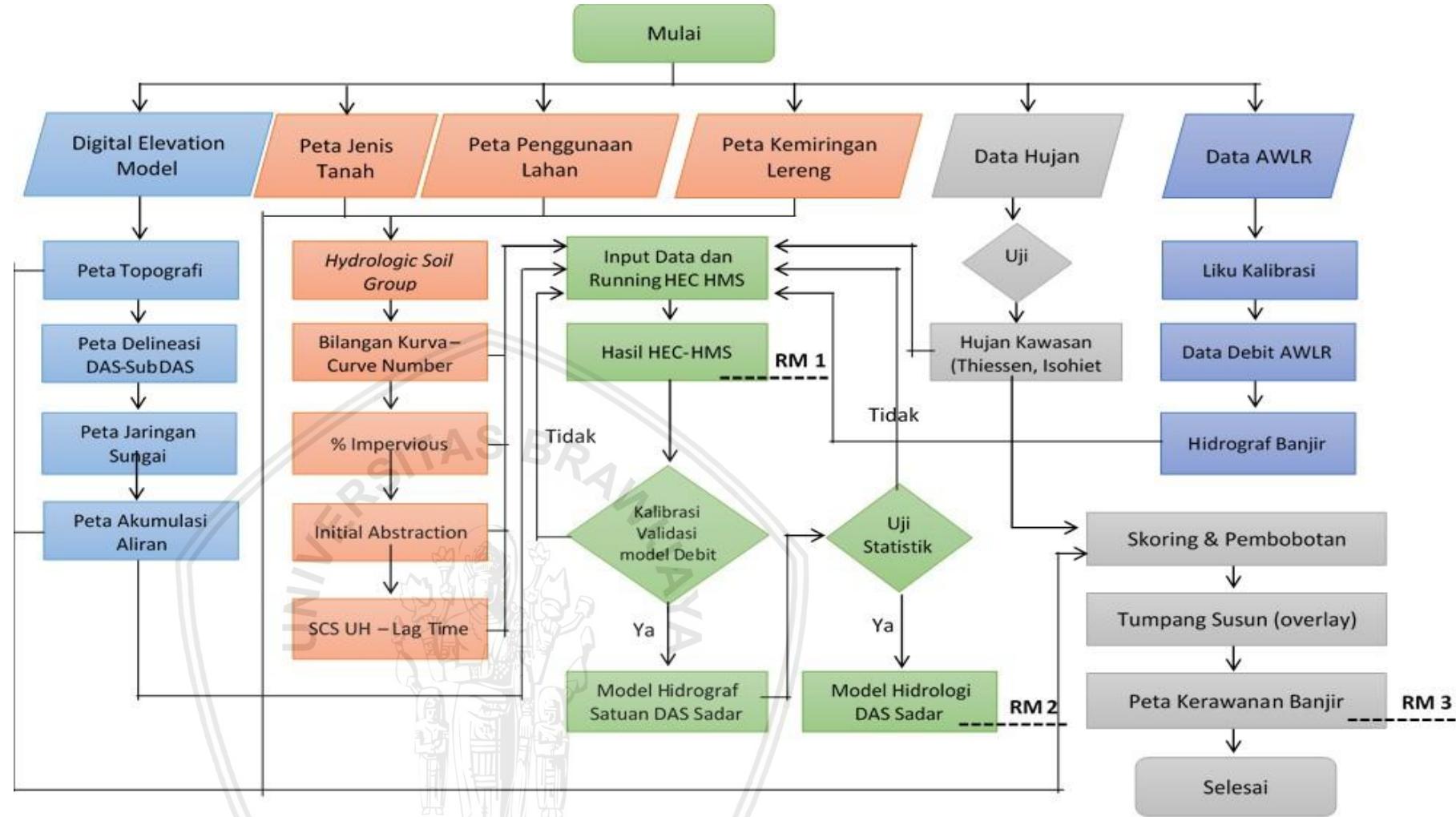
Tahapan analisis rumusan masalah nomor 3 (tiga) dijabarkan sesuai bagan alir (*flowchart*) Gambar 4.11 berikut :



*Gambar 4.11 Diagram alir analisis identifikasi parameter pengaruh daerah kerawanan banjir Sub DAS Sadar*

#### 4.6 Flowchart Studi

Penyelesaian studi dengan *flowchart* keseluruhan sesuai Gambar 4.12 :



Gambar 4.12 Diagram alir penyelesaian studi

Halaman ini sengaja dikosongkan



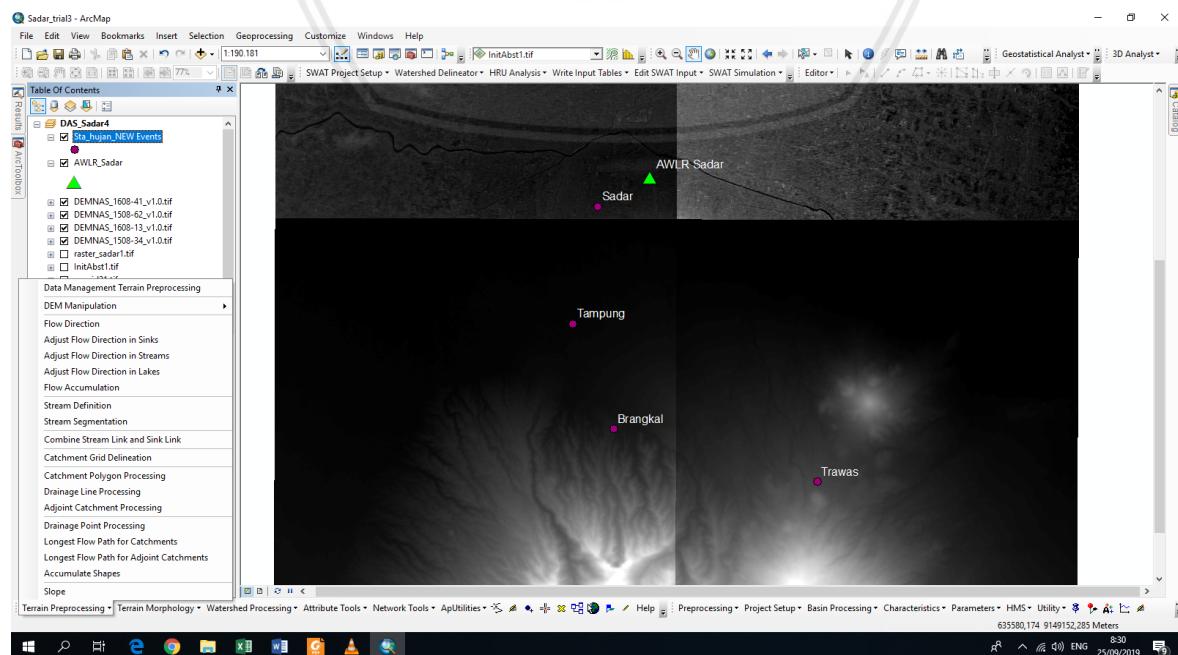
## BAB V

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Delineasi Daerah Aliran Sungai (DAS)

Langkah pertama penelitian yaitu delineasi DAS – Sub DAS berupa penentuan batas wilayah Daerah Aliran Sungai (DAS) Sadar menggunakan aplikasi komputer *ArcGIS* – *ArcMap* versi 10.3 *extension Arc Hydro Tool sub extension Terrain Preprocessing* sesuai bagan alir Gambar 4.4, meliputi data peta *Digital Elevation Model* (DEM), peta jaringan sungai dan penentuan outlet Sungai Sadar. Tahapan pengolahan antara lain penentuan arah aliran (*flow direction*), akumulasi aliran (*flow accumulation*), pendefinisian jaringan sungai, pendefinisian DAS-SubDAS, penentuan outlet sungai, penelusuran aliran, dan kemiringan hulu ke outlet menghasilkan delineasi DAS dan SubDAS.

Delineasi DAS sebagai masukan program HEC-HMS *model basin*, memberikan gambaran pola drainase/sungai daerah aliran air, informasi jaringan geometrik sungai. sumber peta DEMNAS (<http://tides.big.go.id/DEMNAS/>) Tahun 2011 memiliki resolusi 0,27 *arcsecond* (8 m) lebih tinggi dibandingkan data peta DEM *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) dengan resolusi 1 *arcsecond* (30 m). resolusi peta berguna saat mendekripsi cekungan rupa bumi sebagai pengaliran air terutama pengaliran di sungai utama.



*Gambar 5.1 Tampilan ArcMap – Arc Hydro Tool proses delineasi Sub DAS Sadar*  
Sumber : Pengolahan data

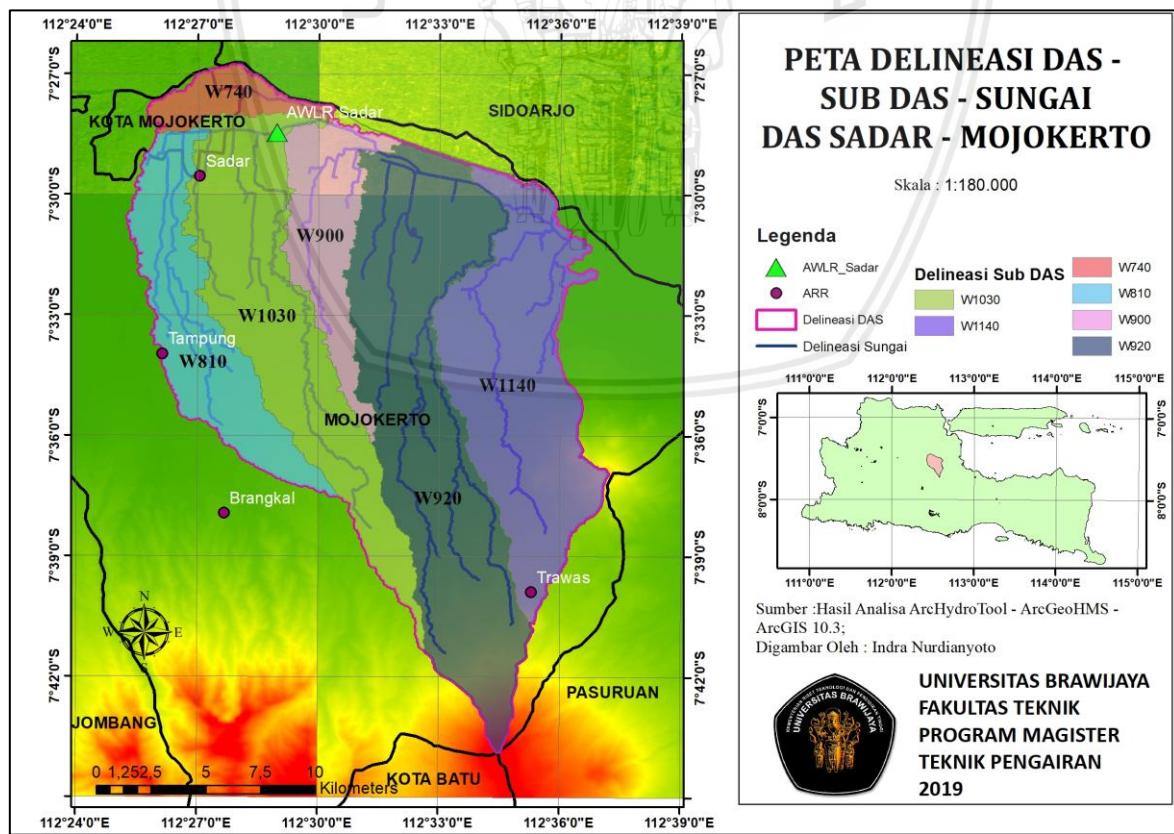


Identifikasi DAS proses delineasi dipengaruhi lokasi outlet pengaliran sungai, posisi outlet Sub DAS Sadar dengan pengaliran utama Sungai Sadar berada di pertemuan Sungai Porong Kecamatan Ngoro Kabupaten Mojokerto, sedangkan AWLR Stasiun Sadar berada bagian tengah Sungai Sadar di Kec. Mojoanyar, Kabupaten Mojokerto.



*Gambar 5.2 Outlet Sungai Sadar pertemuan Sungai Porong dan AWLR Stasiun Sadar*  
Sumber : *Google earth* dan dokumentasi pribadi

Hasil delineasi aplikasi *ArcMap extension Arc Hydro Tool* diperoleh Sub DAS Sadar seluas 376,127 km<sup>2</sup> dibagi menjadi 6 (enam) subDAS sesuai Gambar 5.3.



*Gambar 5.3 Peta delineasi DAS – SubDAS – Sungai Sub DAS Sadar*

Sumber : Pengolahan data

Hasil delineasi pembagian Sub DAS Sadar menjadi 6 (enam), luasan dan kode sesuai Tabel berikut.

Tabel 5.1

Pengelompokan Delineasi Sub DAS Sadar

No	Kode Sub DAS	Luasan (km <sup>2</sup> )	%
1	W740	12,43	3,30
2	W810	47,59	12,65
3	W900	32,81	8,72
4	W920	119,22	31,70
5	W1030	79,32	21,09
6	W1140	84,76	22,54

Sumber : Pengolahan Data Spasial

#### 4.2 Analisis Klasifikasi Tanah dan Lahan

Penelitian menggunakan sistem klasifikasi tanah metode *Soil Conservation Service* (SCS) *United States Department of Agriculture*, penggunaan lahan dan jenis tanah dikelompokkan menjadi 4 kelompok hidrologi (*Hydrologic Soil Groups – HSG*) untuk kondisi kelengasan tanah – *Antecedent Moisture Condition* (AMC) tingkat II.

Metode SCS mengaitkan karakteristik Sub DAS Sadar vegetasi dan penggunaan lahan dengan bilangan kurva - *Curve Number* (CN) rentang nilai 0 sampai 100.

Tabel 5.2

Nilai Bilangan Kurva Penggunaan Lahan Sub DAS Sadar

No	Uraian	Kode	Luas (km <sup>2</sup> )	% Luasan	HSG				Ket
					A	B	C	D	
1	Air Tawar	AT	0,50	0,1	92	92	92	92	
2	Belukar/Semak	B	6,30	1,6	48	67	77	83	
3	Gedung	GD	0,44	0,1	81	88	91	93	
4	Hutan	H	16,12	4,2	30	55	70	74	
5	Kebun	K	32,99	8,5	43	65	76	82	
6	Pemukiman	P	76,24	19,7	51	68	79	84	
7	Rumput	R	3,08	0,8	49	69	79	84	
8	Sawah Irigasi	S	163,08	42,1	58	69	77	80	
9	Sawah Tadah Hujan	SH	43,65	11,3	58	69	77	80	
10	Tanah Berbatu	BB	0,01	0	77	86	91	94	
11	Tanah Ladang/Tegalan	TL	44,54	11,5	59	74	82	86	

Sumber : Pengolahan Data Spasial

Penetapan kelompok hidrologi (*Hydrologic Soil Groups – HSG*) klasifikasi jenis tanah menggunakan sifat dan faktor tanah seperti tekstur, pematatan, kekuatan struktur tanah, mineralogi lempung, dan bahan organik sehingga tersusun klasifikasi HSG Sub DAS Sadar sesuai Tabel 5.3.

Tabel 5.3

Nilai Klasifikasi *Hydrologic Soil Group* Jenis Tanah

<b>No</b>	<b>Uraian</b>	<b>Luas (km<sup>2</sup>)</b>	<b>% Luasan</b>	<b>HSG</b>				<b>Keterangan</b>
				<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	
1	Kompleks Regosol & Litosol	199,79	51,7		50		50	
2	Asosiasi Mediteran Coklat Kemerahan & Grumusol Kelabu	74,32	19,2		100			
3	Latosol Coklat Kemerahan	0,62	0,2			100		
4	Kompleks Andosol Coklat, Andosol Coklat Kekuningan & Litoso	2,03	0,5	50			50	
5	Regosol Kelabu	8,15	2,1		100			
6	Asosiasi Aluvial Kelabu & Aluvial Coklat Kekelabuan	47,91	12,4			100		
7	Asosiasi Latoso Coklat & Regosol Kelabu	37,07	9,6		100			
8	Aluvial Kelabu	16,47	4,3	100				

Sumber : Pengolahan data Spasial

Peta penggunaan lahan dan peta jenis tanah diperoleh dari Direktorat Jenderal Planologi Kehutanan dan Tata Lingkungan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Tahun 2016 berdasarkan peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional (Bakosurtanal), dikarenakan keterbatasan perolehan data peta penggunaan lahan referensi penelitian ini menggunakan 1 sumber tahun 2016.

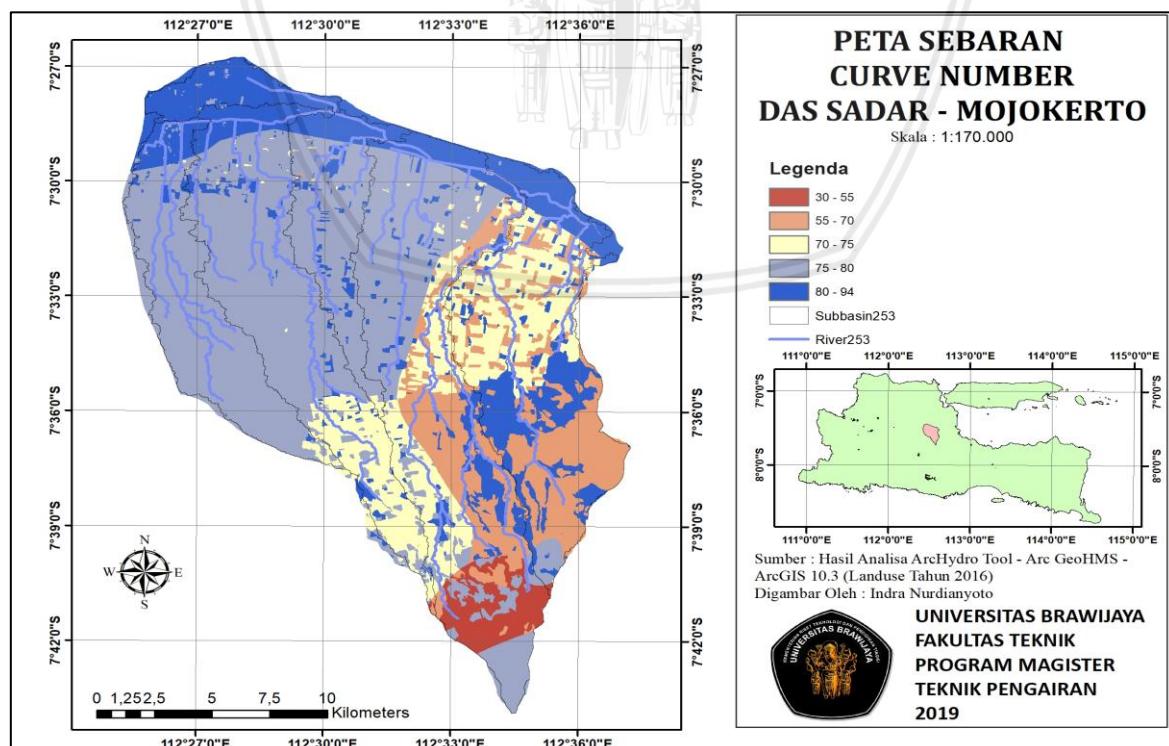
Salah satu faktor mempengaruhi nilai koefisien limpasan yaitu penggunaan lahan DAS, dilakukan pendekatan penelitian terdahulu untuk Sub DAS Sadar nilai koefisien / % *impervious* sebagaimana tabel 5.4.

Tabel 5.4 Nilai Koefisien Aliran % *Impervious*

No	Uraian	Kode	Nilai Koefisien
1	Air Tawar	AT	100
2	Belukar/Semak	B	5
3	Gedung	GD	72
4	Hutan	H	0
5	Kebun	K	5
6	Pemukiman	P	20
7	Rumput	R	7
8	Sawah Irigasi	S	15
9	Sawah Tadah Hujan	SH	15
10	Tanah Berbatu	BB	20
11	Tanah Ladang/Tegalan	TL	5

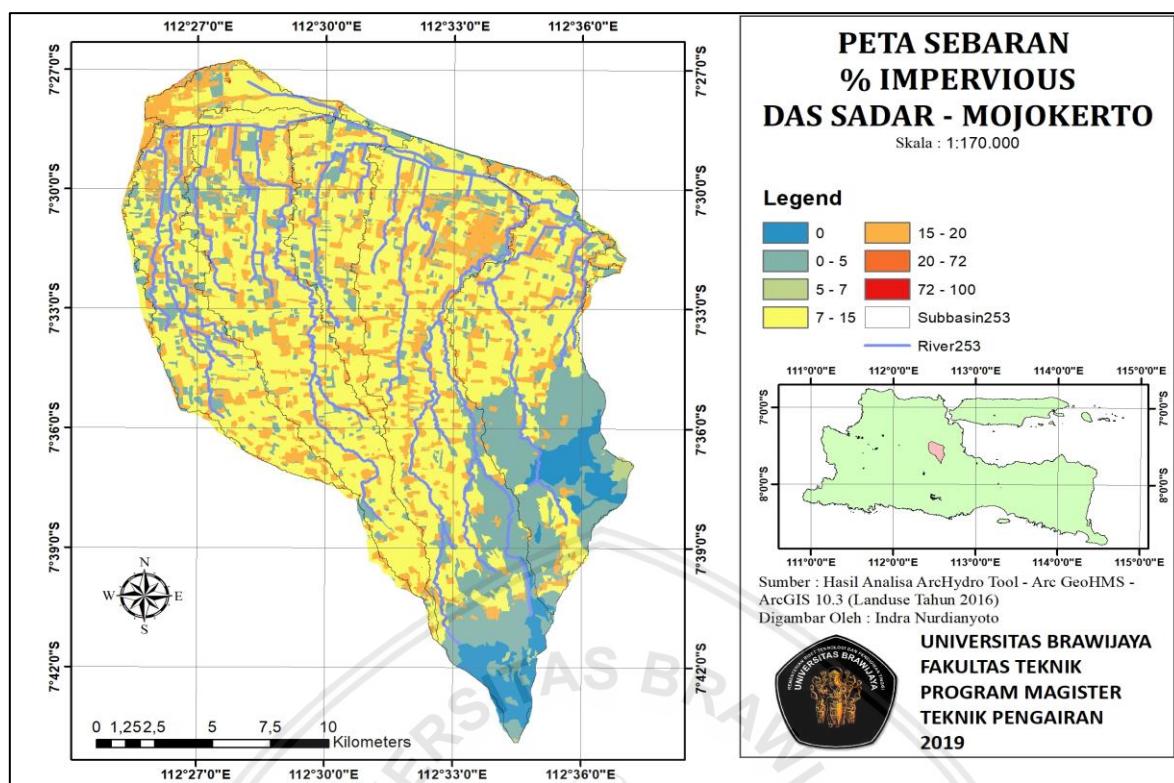
Sumber : Pengolahan Data Spasial

Klasifikasi HSG, bilangan kurva –*curve number* dan koefisien / % *impervious* di integrasikan secara spasial untuk peta penggunaan dan jenis tanah teknik tumpang susun – *overlay* dan *extension Arc Geo HMS Tools*, diperoleh peta spasial sebaran bilangan kurva - % *impervious* sebagai berikut :



Gambar 5.4 Peta spasial sebaran bilangan kurva

Sumber : Pengolahan data



Gambar 5.5 Peta spasial sebaran % *impervious*

Sumber : Pengolahan data

Hasil delineasi DAS, sebaran CN dan % *impervious* dilakukan integrasi nilai ke peta spasial DAS – Sub DAS menggunakan *Arc Hydro Tool*, nilai bilangan kurva, % impervious untuk masing-masing Sub DAS sebagaimana Tabel 5.5.

Tabel 5.5

Nilai Bilangan Kurva - % Impervious Sub Sub DAS Sadar

No	Kode Sub DAS	Luasan (km <sup>2</sup> )	Bilangan Kurva	% Impervious
1	W740	12,431	85,594	16,269
2	W810	47,587	79,318	14,580
3	W900	32,808	81,018	14,641
4	W920	119,218	73,785	12,463
5	W1030	79,318	78,939	15,150
6	W1140	84,764	75,754	10,957

Sumber : Pengolahan Data Spasial

Berdasarkan tabel 5.5, sebaran nilai bilangan kurva Sub DAS Sadar komposit dengan nilai minimal sebesar 73,785 di Sub DAS W920 dan nilai maksimal 85,594 di sub DAS W740. Metode SCS bilangan kurva dipengaruhi vegetasi dan pengunaan lahan Sub

DAS Sadar, penetapan kelompok hidrologi (*Hydrologic Soil Groups* – HSG) klasifikasi jenis tanah Sub DAS Sadar memiliki rentang nilai % impervious sebesar 10,957 – 16,269.

Waktu konsentrasi adalah waktu perjalanan air untuk mengalir dari titik terjauh ke tempat keluar / *outlet*, *extension ArcGeoHMS Tool* digunakan untuk pengolahan data metode SCS UH sehingga diperoleh nilai masing-masing sub DAS seperti tabel berikut :

Tabel 5.6

Nilai waktu konsentrasi – *lag time* Sub Sub DAS Sadar

No	Kode Sub DAS	Luasan (km <sup>2</sup> )	<i>Lag Time</i>	
			Jam	Menit
1	W740	12,431	3 Jam 44 Menit	223,656
2	W810	47,587	1 Jam 42 Menit	102,054
3	W900	32,808	2 Jam 6 Menit	126,344
4	W920	119,218	2 Jam 29 menit	148,903
5	W1030	79,318	2 Jam 41 Menit	160,526
6	W1140	84,764	1 Jam 46 Menit	106,023

Sumber : Pengolahan Data Spasial

Berdasarkan tabel 5.6, nilai waktu konsentrasi – *lag time* Sub DAS Sadar dengan nilai minimal sebesar 102,054 menit atau 1,70 jam di Sub DAS W810 dan nilai maksimal sebesar 223,656 menit atau 3,73 jam di Sub DAS W740.

Abstraksi awal yaitu nilai kehilangan sebelum aliran permukaan termasuk dalam simpanan air, laju infiltrasi tanah, penggunaan lahan, evaporasi dipengaruhi parameter tanah DAS, pendekatan persamaan antara lain :

$$I_a = 0,2 \text{ S} \quad \dots \quad (5.1)$$

Nilai S yaitu retensi potensial maksimum berkaitan jenis tanah dan kondisi tutupan lahan. Metode SCS mengaitkan karakteristik DAS meliputi tanah, vegetasi dan penggunaan lahan dengan bilangan kurva *Curve Number* (CN), pendekatan persamaan S dalam milimeter yaitu :

$$S = \frac{25400 - 254 \cdot CN}{CN} \quad \dots \dots \dots \quad (5.2)$$

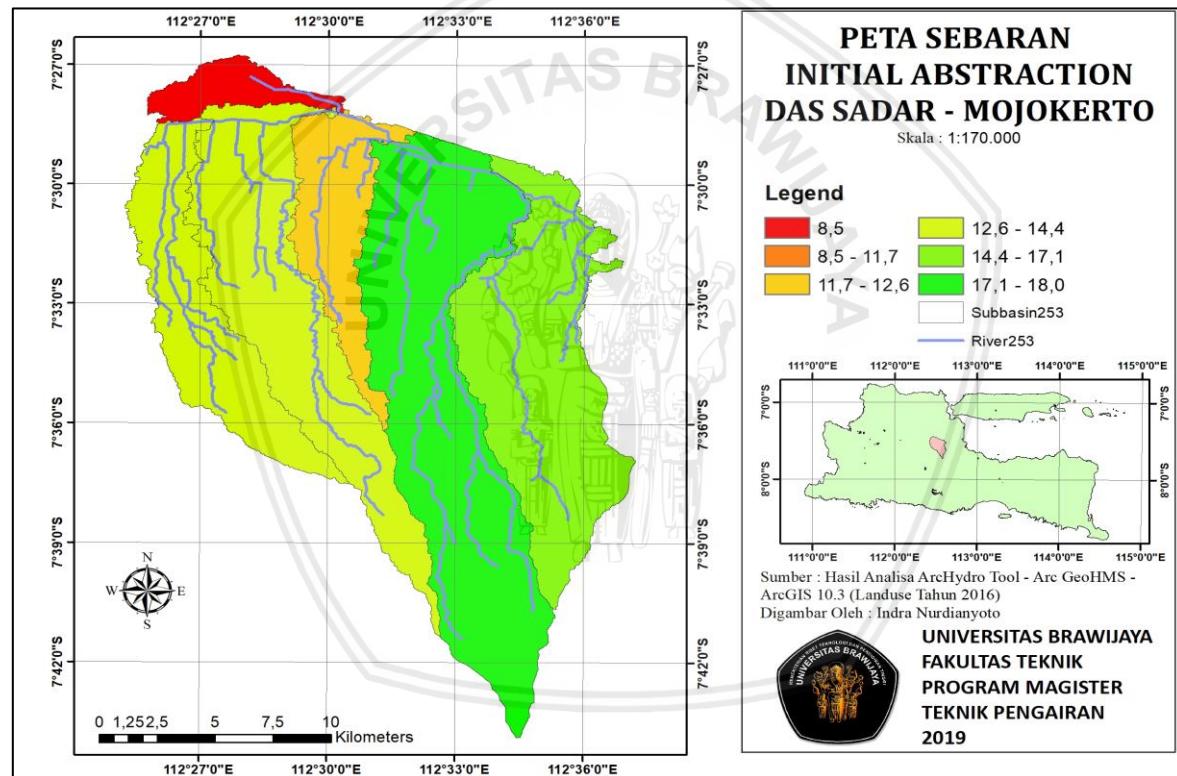
Hasil perhitungan peta spasial sebaran nilai abstraksi awal Sub Sub DAS Sadar sebagaimana pada Tabel 5.7 dan Gambar 5.6 berikut :

Tabel 5.7

Nilai Abstraksi Awal Sub Sub DAS Sadar

No	Kode Sub DAS	Luasan (km <sup>2</sup> )	Retensi Pot. Maks	Abstraksi Awal
			(S-mm)	(Ia - mm)
1	W740	12,43	42,749	8,550
2	W810	47,59	66,228	13,246
3	W900	32,81	59,509	11,902
4	W920	119,22	90,245	18,049
5	W1030	79,32	67,768	13,554
6	W1140	84,76	81,294	16,259

Sumber : Pengolahan Data Spasial



Gambar 5.6 Peta spasial sebaran nilai abstraksi awal

Sumber : Pengolahan data

Berdasarkan tabel 5.7, nilai abstraksi awal Sub DAS Sadar dengan nilai minimal sebesar 8,550 mm di Sub DAS W740 dan nilai maksimal sebesar 18,049 mm di Sub DAS W900.

Hasil evaluasi lahan melalui pengolahan spasial menggunakan perangkat lunak *ArcMap extension ArcHydroTool* digunakan sebagai *input* perangkat lunak HEC-HMS parameter hidrologi *loss* dan *transform* dengan nilai seperti tabel 5.8 berikut.

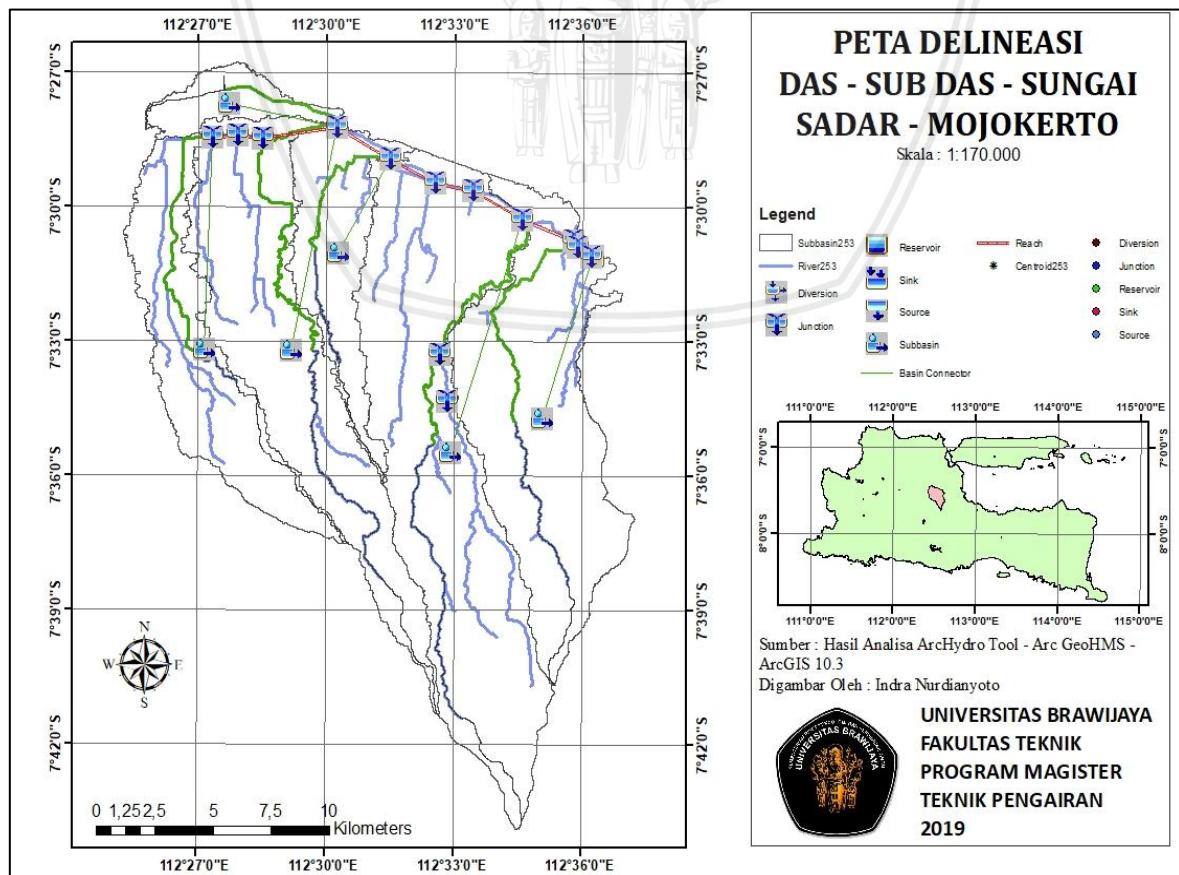
Tabel 5.8  
Nilai Parameter *Loss & Transform*

No.	Uraian	Satuan	Parameter	Sub DAS						Rerata
				I	II	III	IV	V	VI	
1	Kode HEC-HMS			W740	W810	W900	W920	W1030	W1140	
2	Area	km <sup>2</sup>		12,431	47,587	32,808	119,220	79,319	84,764	
3	<i>Imperviousness</i>	%	<i>loss</i>	16,269	14,580	14,641	12,463	15,150	10,957	14,010
4	<i>Initial loss/abstraction</i>	mm	<i>loss</i>	8,550	13,246	11,902	18,049	13,554	16,259	13,593
5	<i>SCS Curve Number</i>		<i>loss</i>	85,594	79,318	81,018	73,785	78,939	75,754	79,068
6	<i>SCS UH Lag</i>	menit	<i>transform</i>	223,656	102,054	126,344	148,903	160,526	106,023	144,584

Sumber : Pengolahan data

Nilai parameter awal model hidrologi HEC-HMS Sub DAS Sadar diperoleh dari analisis *Digital Elevation Model*, penggunaan lahan dan jenis tanah, di Sub DAS W740 hulu Kali Sadar memiliki nilai bilangan kurva dan waktu konsentrasi tertinggi sebesar 85,594 dan 223,656 menit dengan nilai abstraksi awal terendah sebesar 8,550.

*Model basin HEC-HMS* berupa peta / model fisik menggambarkan kondisi lapangan Sub DAS Sadar meliputi batas-batas, alur sungai, waduk, pertemuan sungai, delineasi peta spasial *ArcMap extension ArcGeoHMS* dengan hasil sebagaimana Gambar 5.7.



*Gambar 5.7 Peta masukan HEC-HMS basin model*  
Sumber : Pengolahan data

### 4.3 Analisis Hidrologi

#### 4.3.1 Data Curah Hujan

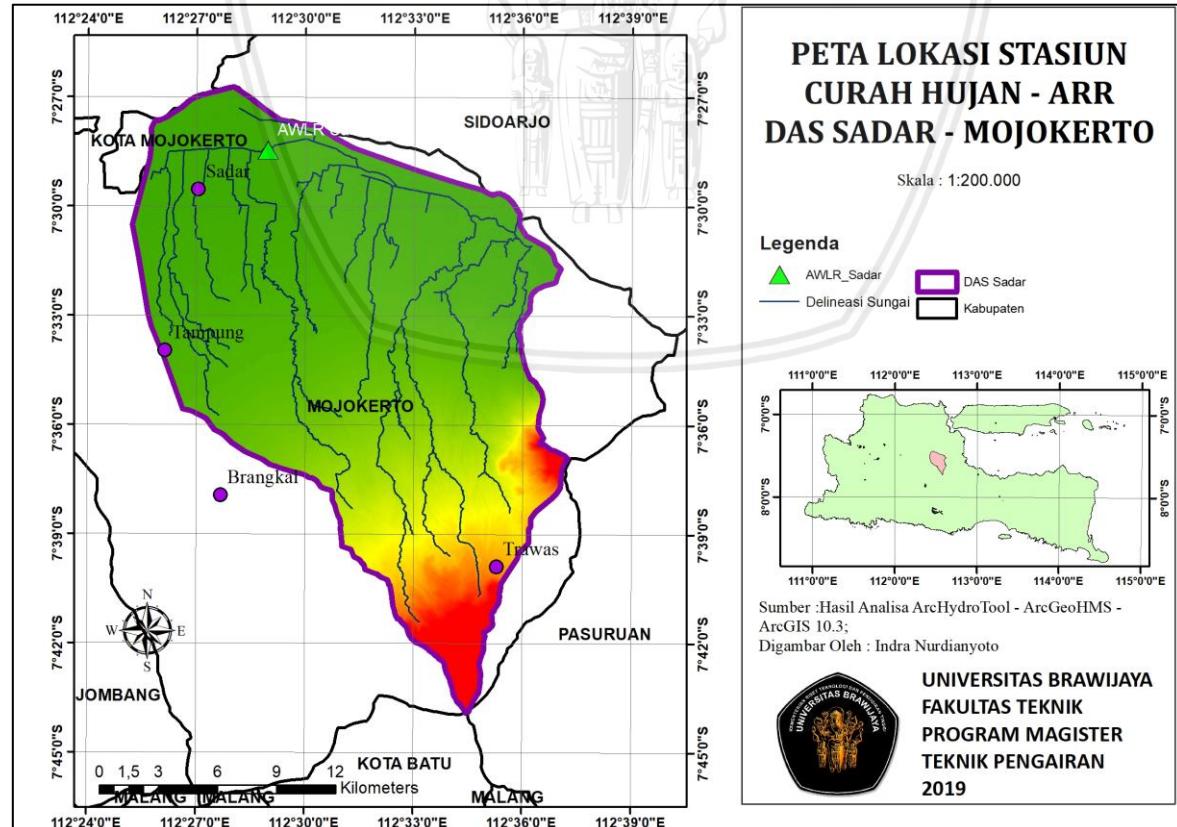
Pencatatan data curah hujan secara otomatis yaitu ARR di 4 stasiun Perum Jasa Tirta I periode tahun 2012 – 2018 yaitu Stasiun ARR Sadar, Stasiun ARR Tampung, Stasiun ARR Brangkal dan Stasiun ARR Trawas. Koordinat stasiun, posisi di Sub DAS Sadar sebagaimana Tabel 5.9 dan Gambar 5.8.

Tabel 5.9

Stasiun ARR Sub DAS Sadar

No	Nama Stasiun ARR	Koordinat		Keterangan
		BT	LS	
1	Sadar	112,4509	7,4923	
2	Tampung	112,6596	7,8163	
3	Brangkal	112,4613	7,6322	
4	Trawas	112,5882	-7,6648	

Sumber : Perum Jasa Tirta I



*Gambar 5.8 Peta lokasi stasiun curah hujan ARR Sub DAS Sadar*

Sumber : Pengolahan data

Studi menggunakan data curah hujan periode Tahun 2012 – 2018 di lokasi Stasiun ARR Sadar, Stasiun ARR Tampung, Stasiun ARR Brangkal dan Stasiun ARR Trawas, data curah hujan maksimum bulanan dan kumulatif tahunan periode tersebut sebagaimana Tabel 5.10 dan Tabel 5.11.

Tabel 5.10

Data Curah Hujan Maksimum Stasiun ARR Sadar - Trawas

Bulan	Stasiun Sadar (mm)							Stasiun Trawas (mm)						
	Tahun							Tahun						
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Januari	-	15	15	231	56	67	79	15	14	14	46	33	71	29
Februari	1	12	15	244	59	217	61	15	15	15	38	30	62	61
Maret	-	15	14	64	107	83	66	15	14	15	68	45	66	53
April	9	15	15	72	-	-	116	15	15	15	26	17	37	49
Mei	13	11	15	241	-	-	3	13	15	15	42	39	14	3
Juni	11	10	6	-	-	-	8	11	12	15	1	29	44	13
Juli	-	15	14	-	-	-	-	1	15	14	-	17	2	7
Agustus	-	-	-	1	-	-	6	-	-	5	1	34	-	-
September	4	-	-	-	-	-	2	-	-	3	-	16	7	-
Oktober	-	-	-	-	-	-	7	6	1	-	-	34	26	-
November	15	12	9	41	-	-	34	15	11	7	34	27	38	41
Desember	15	14	28	83	-	-	41	15	15	60	38	58	54	19

Sumber : Perum Jasa Tirta I

Tabel 5.10 Lanjutan

Data Curah Hujan Maksimum Stasiun ARR Brangkal - Tampung

Bulan	Stasiun Brangkal (mm)							Stasiun Tampung (mm)						
	Tahun							Tahun						
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Januari	-	14	15	118	38	41	46	9	11	227	-	49	29	28
Februari	-	15	14	71	91	79	29	13	15	131	-	39	72	28
Maret	-	15	15	114	53	80	31	11	11	279	-	40	57	34
April	7	15	15	62	5	45	28	15	10	78	-	22	21	32
Mei	12	15	15	53	25	24	44	9	-	-	1	27	1	3
Juni	7	15	9	1	20	34	-	9	-	-	-	24	22	7
Juli	-	14	3	-	15	22	1	-	1	-	-	7	8	-
Agustus	-	5	-	-	3	-	1	8	1	-	-	5	-	-
September	-	-	-	6	1	5	2	2	1	-	-	16	17	2
Oktober	4	12	-	-	1	33	5	4	-	-	-	33	31	-
November	10	15	80	45	1	67	46	14	-	-	133	36	30	46
Desember	14	13	203	58	36	51	19	14	28	-	76	36	34	25

Sumber : Perum Jasa Tirta I

Tabel 5.11

Data Curah Hujan Kumulatif Stasiun Telemetri ARR Sub DAS Sadar Tahun 2012 - 2018

Tahun	Stasiun Sadar (mm)	Stasiun Trawas (mm)	Stasiun Brangkal (mm)	Stasiun Tampung (mm)
2012	511	1.310	434	691
2013	1.597	1.978	1.941	585
2014	1.202	1.701	1.621	2.701
2015	4.767	1.963	2.733	591
2016	1.840	2.926	2.957	2.167
2017	2.298	3.150	2.766	1.850
2018	2.765	1.845	1.404	970

Sumber : Pengolahan Data

#### 4.3.2 Pengujian Data Curah Hujan

Meminimalisir kesalahan analisis peluang, maka data curah hujan dilakukan pengujian secara deret statistik terlebih dahulu, metode uji data hujan penelitian yaitu :

##### 1. Uji konsistensi

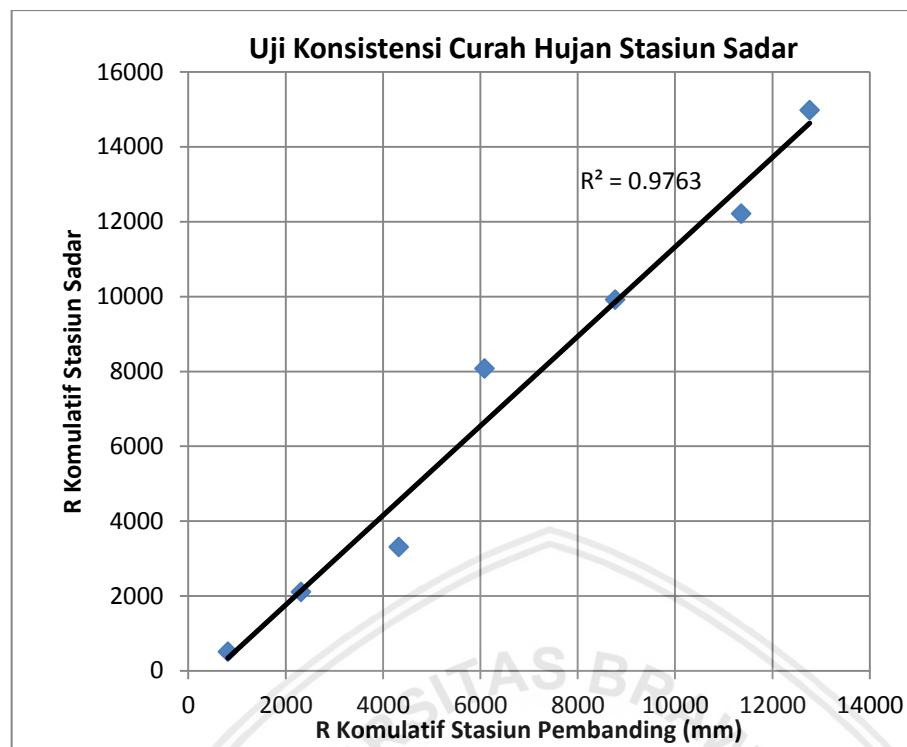
Menggunakan metode kurva massa ganda (*double mass curve*), perhitungan uji konsistensi di stasiun curah hujan sadar Tabel 5.12 dan Gambar 5.9.

Tabel 5.12

Pengujian Konsistensi Data Curah Hujan Stasiun Sadar

Tahun	R Sadar (mm)	R Sadar Komulatif	R Trawas (mm)	R Brangkal (mm)	R Tampung (mm)	R Rerata St Pembanding	R Komulatif St Pembanding
2012	511	511	1,310	434	691	812	812
2013	1,597	2,108	1,978	1,941	585	1,501	2,313
2014	1,202	3,310	1,701	1,621	2,701	2,008	4,321
2015	4,767	8,077	1,963	2,733	591	1,762	6,083
2016	1,840	9,917	2,926	2,957	2,167	2,683	8,766
2017	2,298	12,215	3,150	2,766	1,850	2,589	11,355
2018	2,765	14,980	1,845	1,404	970	1,406	12,761

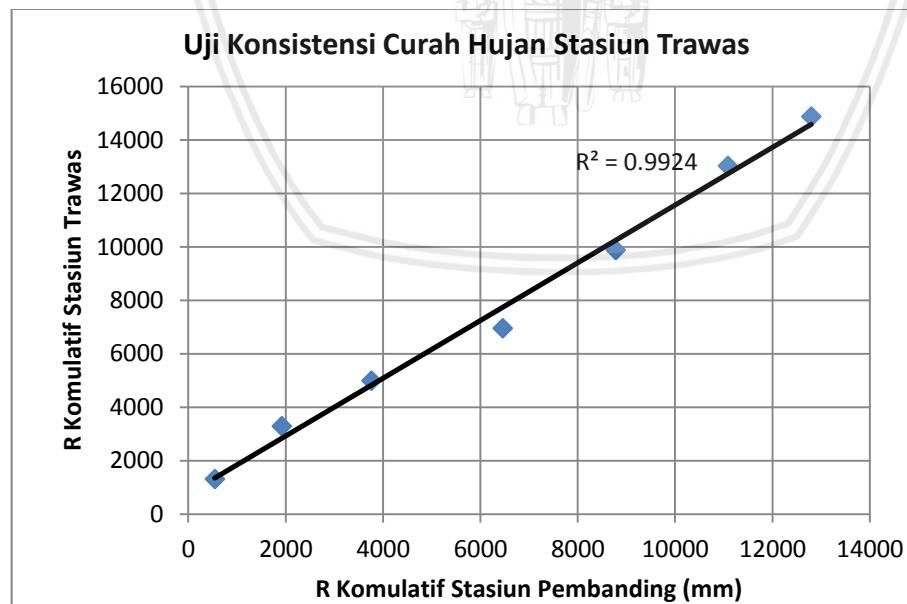
Sumber : Pengolahan data



Gambar 5.9 Grafik uji konsistensi data curah hujan Stasiun Sadar

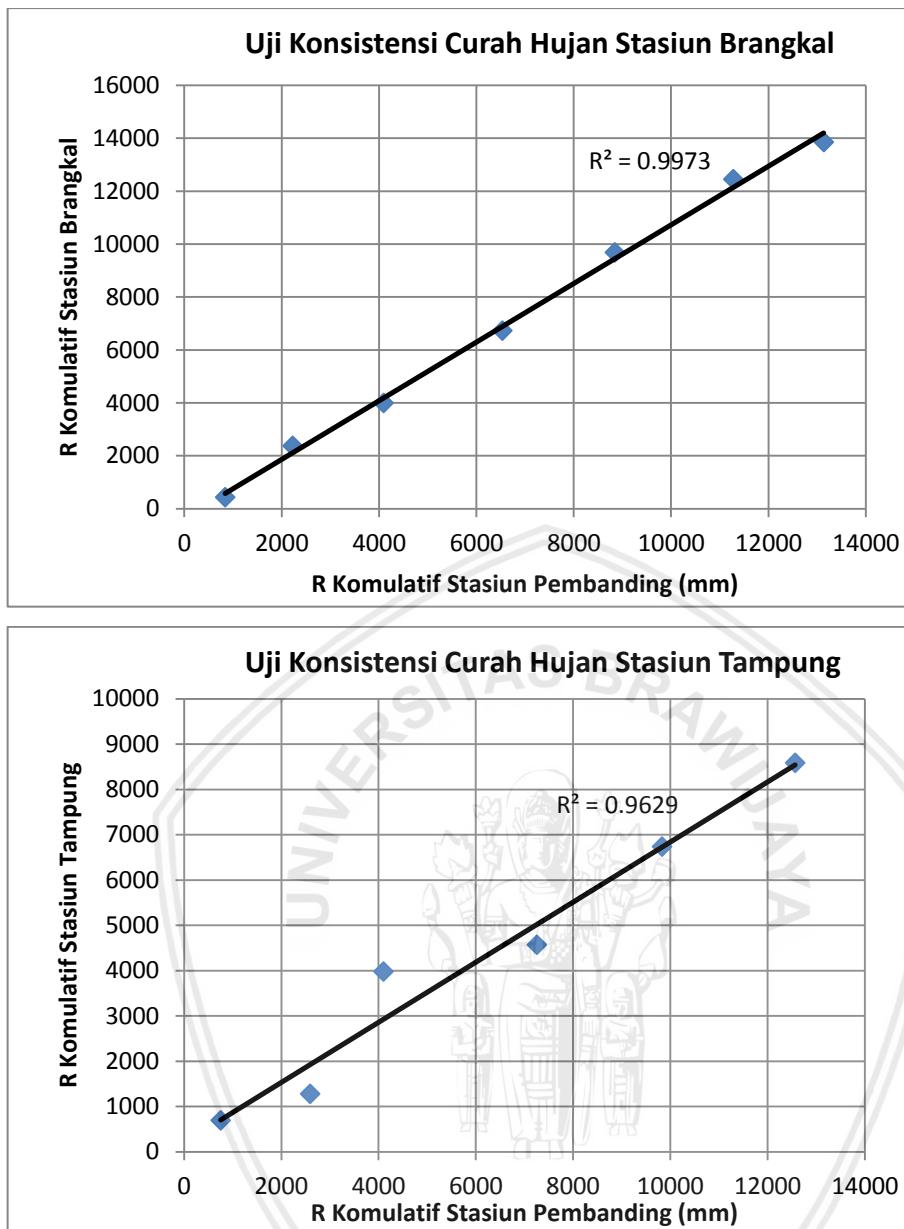
Sumber : Pengolahan data

Uji konsistensi stasiun curah hujan Tampung, Trawas dan Brangkal memiliki hasil seperti pada Gambar 5.10.



Gambar 5.10 Grafik Uji Konsistensi Data Curah Hujan Stasiun Trawas, Brangkal, Tampung

Sumber : Pengolahan data



Gambar 5.10 Lanjt. Grafik Uji Konsistensi Data Curah Hujan Stasiun Trawas, Brangkal, Tampung

Sumber : Pengolahan data

Hasil pengujian konsistensi data curah hujan diperoleh nilai  $R^2$  Stasiun Sadar sebesar 0,9763, nilai  $R^2$  Stasiun Trawas sebesar 0,9924, nilai  $R^2$  Stasiun Brangkal sebesar 0,9973 dan nilai  $R^2$  Stasiun Tampung sebesar 0,9629, diperoleh kesimpulan mendekati nilai 1.

## 2. Uji ketiadaan trend

Metode pengujian ketiadaan trend data curah hujan penelitian menggunakan metode *Spearman*, uji 2 sisi *level of significant 5 %* (masing-masing 2,5%), derajat bebas ( $dk = n-2$ ) nilai  $t_c$  kritis berdasarkan Tabel 2.2.

Hasil perhitungan pengujian Stasiun Sadar sebagaimana Tabel 5.13 berikut

Tabel 5.13

Pengujian Ketiadaan Trend Data Curah Hujan Stasiun Sadar

No	Tahun	Xi	Peringkat, Tt		Peringkat Rt	dt	dt2
			Tahun	Xi			
1	2012	511	2.015	4.767	4	3	9
2	2013	1.597	2.018	2.765	7	5	25
3	2014	1.202	2.017	2.298	6	3	9
4	2015	4.767	2.016	1.840	5	1	1
5	2016	1.840	2.013	1.597	2	-3	9
6	2017	2.298	2.014	1.202	3	-3	9
7	2018	2.765	2.012	511	1	-6	36
28	Jumlah				28		98,00
	n						7,00
	KP					-	0,75
	t					-	1,34

Sumber : Pengolahan data

Hipotesa :

$H_0$  : tidak terdapat trend data

$H_1 \neq H_0$  : terdapat trend data

$$dk = n - 2 = 7 - 2 = 5$$

Uji 2 sisi *level of significant* 5% (masing-masing sisi menjadi 2,5%) dan derajat bebas ( $dk$ ) = 5, berdasarkan Tabel 2.2 diperoleh nilai  $t_c$  kritis ( $t_{0,975}$ ) = 2,571. Hasil perhitungan tabel 5.12 di Stasiun Sadar, pengujian ketiadaan trend stasiun curah hujan Trawas, Brangkal dan Tampung diperoleh hasil nilai t hitung dan perbandingan terhadap  $t_c$  kritis sesuai Tabel 5.14.

Tabel 5.14

Nilai t Hitung Pengujian Ketiadaan Trend

	Nilai t hitung	Nilai t kritis	Hasil	Keterangan
Sadar	-1,34	2,571	$t$ kritis > $t$ hitung	$H_0$ diterima
Trawas	-1	2,571	$t$ kritis > $t$ hitung	$H_0$ diterima
Brangkal	-0,818	2,571	$t$ kritis > $t$ hitung	$H_0$ diterima
Tampung	-0,752	2,571	$t$ kritis > $t$ hitung	$H_0$ diterima

Sumber : Pengolahan data

Hasil uji ketiadaan trend data curah hujan Sub DAS Sadar Tabel 5.14, nilai  $t$  kritis >  $t$  hitung, kesimpulan data hujan periode tahun 2012 – 2018 di Stasiun telemetri ARR Sub DAS Sadar tidak terdapat trend.

### 3. Uji stasioner

Bertujuan menguji kestabilan nilai varian dan rata-rata, pengujian nilai varian deret berkala dilakukan dengan uji-F (*Fisher test*), nilai F kritis diperoleh dari korelasi tabel 2.3 dan perhitungan stabilitas nilai rata-rata data deret berkala dengan uji-t (*student test*).

Hasil perhitungan pengujian Stasiun Sadar sebagaimana Tabel 5.15 berikut

Tabel 5.15

Pengujian Stasioner Data Curah Hujan Stasiun Sadar

No	Kelompok I	$X_i$ (curah hujan)		No	Kelompok II	$X_i$ (curah hujan)
1	2012	511		1	2015	4.767
2	2013	1.597		2	2016	1.840
3	2014	1.202		3	2017	2.298
				4	2018	2.765
N1		3,00		N2		4,00
X1		1.103,33		X2		2.917,50
S1		549,68		S2		1.289,53
dk1		2,00		dk2		3,00

Sumber : Pengolahan data

#### Uji Kestabilan Varian

Menggunakan persamaan (2.8),  $F_{hitung} = 0,136$ ; nilai  $F_{kritis} = 9,550$  (Tabel 2.3) maka  $F_{kritis} > F_{hitung}$ . Kesimpulan data hujan di lokasi studi berdasarkan uji kestabilan varian adalah stasioner atau homogen.

#### Uji Kestabilan Rata-rata

Menggunakan persamaan (2.9) dan persamaan (2.10),  $\sigma = 1.229,475$ , nilai t hitung = 1,932. Nilai t kritis Tabel 2.2 dk = 5 dan uji 2 arah diperoleh nilai 2,571, sehingga  $t_{kritis} > t_{hitung}$ . Kesimpulan data hujan adalah stasioner.

Pengujian stasiun curah hujan Sadar Trawas, Brangkal dan Tampung diperoleh hasil nilai F hitung dan t hitung serta perbandingan terhadap F kritis dan t kritis sesuai tabel 5.16 berikut.

Tabel 5.16

Nilai F &amp; t Hitung Pengujian Stasioner

	<b>Nilai F hitung</b>	<b>Nilai F kritis</b>	<b>Nilai t hitung</b>	<b>Nilai t kritis</b>	<b>Hasil</b>
Trawas	0,192	9,550	1,634	2,571	F kritis > F hitung t kritis > t hitung
Brangkal	0,922	9,550	1,675	2,571	F kritis > F hitung t kritis > t hitung
Tampung	1,962	9,550	0,079	2,571	F kritis > F hitung t kritis > t hitung

Sumber : Pengolahan data

Hasil Pengujian stasioner data curah hujan Sub DAS Sadar sebagaimana Tabel 5.16, nilai F kritis > F hitung dan nilai t kritis > t hitung, kesimpulan pencatatan data hujan periode tahun 2012 – 2018 yang di Stasiun telemetri ARR Sub DAS Sadar adalah stasioner.

#### 4. Uji persistensi

Pengujian persistensi berdasarkan besar nilai koefisien korelasi serial, salah satu metode menentukan koefisien korelasi serial adalah metode *Spearman*.

Hasil perhitungan pengujian Stasiun Sadar sebagaimana Tabel 5.17.

Tabel 5.17

Pengujian Persistensi Data Curah Hujan Stasiun Sadar

No	Tahun	Xi	Peringkat Rt	di	di2
1	2012	511	4	0	
2	2013	1.597	7	3	9
3	2014	1.202	6	-1	1
4	2015	4.767	5	-1	1
5	2016	1.840	2	-3	9
6	2017	2.298	3	1	1
7	2018	2.765	1	-2	4
28	Jumlah		28		25
	m				6

Sumber : Pengolahan data

Tabel 5.17 menunjukkan koefisien korelasi serial data hujan tahunan lokasi studi. Dengan menggunakan persamaan (2.11) diperoleh nilai  $KS = 0,286$  dan dengan persamaan (2.12) diperoleh nilai  $t$  hitung = 0,596. Dari hasil analisis uji persistensi dimana nilai  $t$  kritis >  $t$  hitung maka dapat disimpulkan bahwa data hujan yang tersedia adalah persisten.

Untuk pengujian stasiun curah hujan Trawas, Brangkal dan Tampung diperoleh hasil nilai t hitung serta perbandingannya terhadap t kritis.

Tabel 5.18

Nilai F & t Hitung Pengujian Persistensi

	<b>Nilai t hitung</b>	<b>Nilai t kritis</b>	<b>Hasil</b>
Sadar	0,596	2,132	t kritis > t hitung
Trawas	-0,470	2,132	t kritis > t hitung
Brangkal	-2,092	2,132	t kritis > t hitung
Tampung	-1,393	2,132	t kritis > t hitung

Sumber : Pengolahan data

Pengujian persistensi data curah hujan Sub DAS Sadar diperoleh hasil pada Tabel 5.18 dengan nilai F kritis > F hitung dan nilai t kritis > t hitung, sehingga data hujan periode tahun 2012 – 2018 yang tercatat pada Stasiun telemetri ARR Sub DAS Sadar adalah persisten.

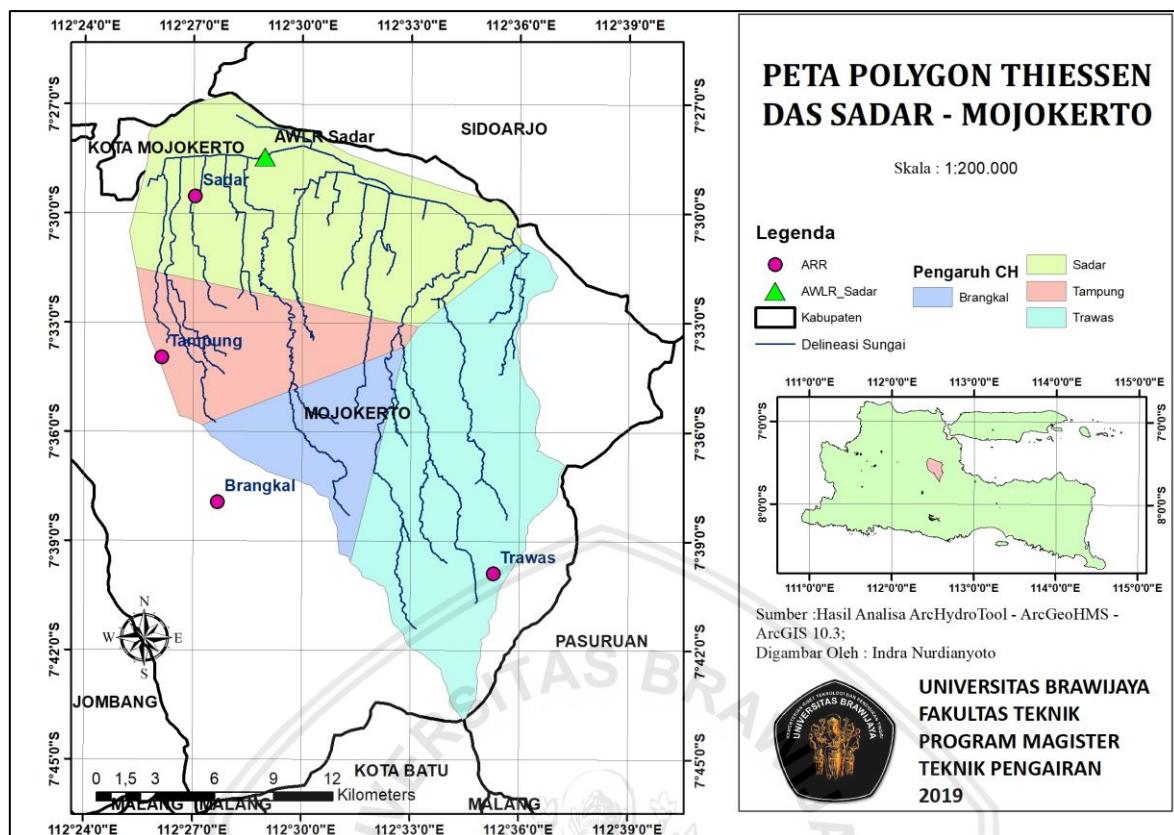
Hasil keseluruhan pengujian statistik data curah hujan di Stasiun Sadar, Trawas, Brangkal dan Tampung telah diuraikan secara detail meliputi : uji konsistensi, uji ketiadaan trend, uji stasioner dan uji persistensi. Kesimpulan pencatatan data hujan periode 2012 – 2018 layak dan valid digunakan dalam analisis hidrologi meliputi analisis peluang dan simulasi model.

#### 4.3.3 Analisis Hujan Kawasan

Analisis perhitungan hujan kawasan rata-rata penelitian menggunakan metode poligon Thiessen untuk pengolahan menggunakan aplikasi HEC-HMS dan metode isohiet untuk analisis kerawanan bencana banjir menggunakan aplikasi *ArcGIS-ArcMap*.

##### 1. Metode Poligon Thiessen

Analisis daerah pengaruh stasiun curah hujan menggunakan bantuan aplikasi ArcGIS –ArcMap extension *Analyst Tools* diperoleh hasil seperti Gambar 5.11.



Gambar 5.11 Peta polygon thiessen pengaruh stasiun curah hujan

Sumber : Pengolahan data

Hasil luas pengaruh stasiun curah hujan Sub DAS Sadar hasil pengolahan data ArcGIS dapat dilihat pada Tabel 5.19.

Tabel 5.19

Nilai Luasan Pengaruh Curah Hujan Stasiun Sadar Metode Thiessen

Stasiun	Luasan (km <sup>2</sup> )	%
Sadar	142,55	36,9
Trawas	138,35	35,8
Brangkal	44,41	11,5
Tampung	60,93	15,8

Sumber : Pengolahan Data

Hasil perhitungan sesuai persamaan (2.15) diperoleh nilai curah hujan rerata Sub DAS Sadar, nilai maksimum bulanan periode tahun 2012 – 2018 pada Tabel 5.20.

Tabel 5.20

Nilai Curah Hujan Maksimum Bulanan Thiessen Sub DAS Sadar

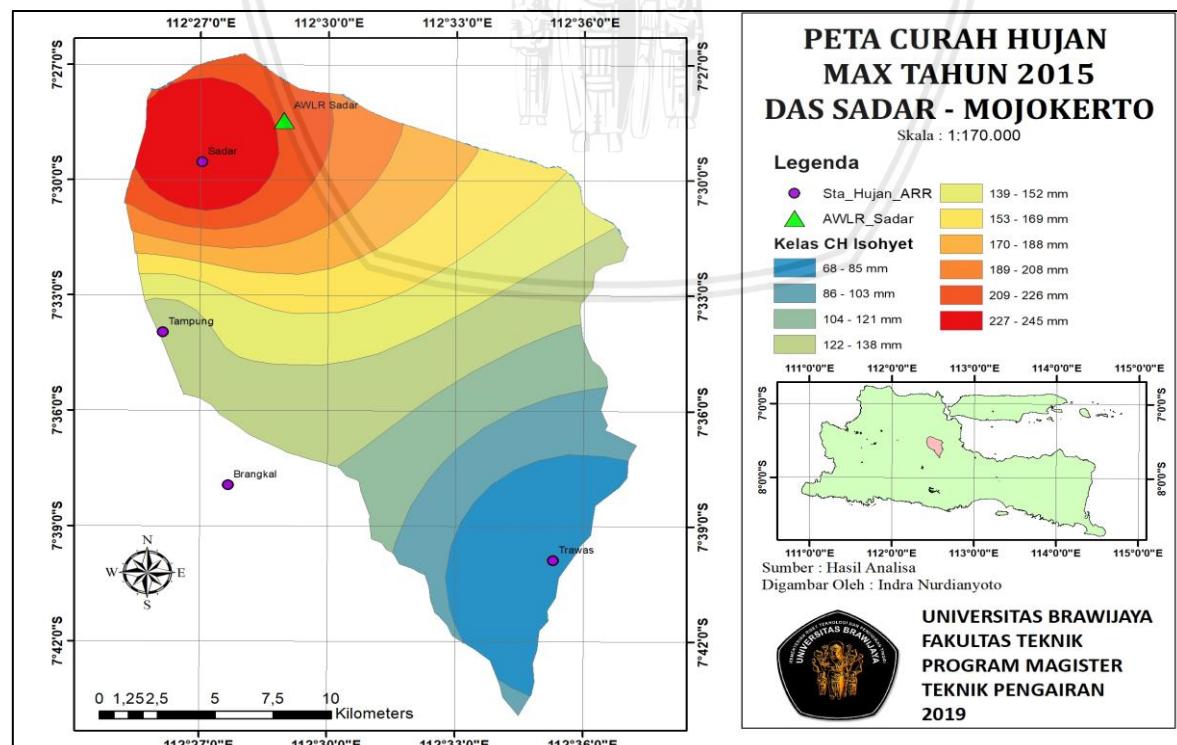
<b>Bulan</b>	<b>Tahun</b>						
	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>
JAN	5,38	9,90	38,21	85,83	29,25	51,28	35,43
FEB	6,01	6,81	25,76	90,66	23,90	87,95	29,32
MAR	5,38	9,12	43,65	26,29	39,76	39,87	26,00
APR	5,38	8,34	16,60	28,80	6,44	14,56	43,10
MEI	5,68	7,31	6,63	89,54	14,11	5,02	5,14
JUN	6,02	6,25	6,04	0,36	12,67	15,79	4,77
JUL	0,36	6,48	5,20	-	6,72	2,49	2,51
AGT	1,25	0,57	1,79	0,37	12,20	-	2,23
SEP	1,49	0,16	1,08	0,68	7,77	5,74	0,74
OKT	2,15	1,72	-	-	15,02	9,49	2,60
NOV	9,60	7,52	9,05	21,15	9,69	13,75	22,92
DES	7,48	9,87	22,97	34,83	23,94	24,60	15,95

Sumber : Pengolahan Data

Hasil hujan kawasan metode Thiessen bulanan tahun 2012-2018 diperoleh nilai minimum 0 mm dan nilai maksimum 90,66 mm (bulan Februari 2015).

## 2. Metode Isohiet

Analisis hujan kawasan menggunakan *ArcMap*, metode interpolasi *Inverse Distance Weighted* (IDW) digunakan dalam analisis kerawanan bencana banjir, input data curah hujan maksimum tahun 2015 sebagaimana Gambar 5.12



Gambar 5.12 Peta curah hujan isohiet Sub DAS Sadar Tahun 2015

Sumber : Pengolahan data

#### 4.4 Analisis Aliran Dasar (*baseflow*)

Perhitungan nilai debit aliran dasar Sungai Sadar penelitian menggunakan pendekatan persamaan Hidrograf Satuan Sintetis Gama I (Harto, 2010) yaitu :

$$Q_B = 0,4751 A^{0,6444} D^{0,9430} \dots \quad (5.3)$$

dengan:

$$A = \text{luas DAS (km}^2\text{)} = 376,129 \text{ km}^2$$

D = kerapatan jaringan

$$= \frac{\text{Jumlah Panjang Sungai Semua Orde } (L_N)}{\text{Luas DAS}} = \frac{472,84 \text{ km}}{376,129} = 1,257$$

$$\text{Nilai } Q_B = 0,4751 \times (376,129)^{0,6444} (1,257)^{0,9430} = 26,918 \text{ m}^3/\text{dt.}$$

Nilai debit aliran dasar (*baseflow*) Sungai Sadar sesuai persamaan 5.3 menghasilkan nilai sebesar  $26,918 \text{ m}^3/\text{dt}$ , merupakan debit aliran dasar Sub DAS Sadar, nilai debit aliran dasar di 6 Sub DAS hasil delineasi DAS seperti pada Tabel 5.21 :

Tabel 5.21

## Nilai Debit Aliran Dasar Sub DAS Delineasi Sadar

No	Sub DAS	Area (A)	Panjang (LN)	Kerapatan Jaringan Kuras (D)	Debit Aliran Dasar
		km <sup>2</sup>	km		m3/dt
1	2	3	4	5 = 3/4	6
1	W810	47,587	62,969	1,323	7,455
2	W740	12,431	9,852	0,793	1,936
3	W920	119,220	165,541	1,389	14,100
4	W900	32,808	40,699	1,241	5,520
5	W1030	79,319	112,564	1,419	11,069
6	W1140	84,764	81,212	0,958	7,976

Sumber : Pengolahan Data

Nilai debit aliran dasar (*baseflow*) di 6 Sub DAS delineasi Sadar sebagai masukan HEC-HMS parameter hidrologi *baseflow*, diperoleh nilai minimal sebesar 5,520 m<sup>3</sup>/dt di W900 dan nilai maksimal sebesar 14,100 m<sup>3</sup>/dt di W920. Besaran nilai aliran dasar berdasarkan kerapatan jaringan kuras, yaitu luas area dibagi panjang total sungai di DAS, Sub DAS dengan luas area tinggi serta memiliki total panjang keseluruhan sungai tinggi menghasilkan nilai debit aliran dasar tinggi.

Parameter konstanta resesi berdasarkan studi Pilgrim dan Cordery (1992) DAS luasan 300 – 16.000 km<sup>2</sup> di Amerika, Australia dan lainnya menghasilkan nilai sesuai Tabel 5.22, penelitian menggunakan nilai konstanta resesi komponen aliran permukaan sebesar 0,3 – 0,8 untuk komponen aliran permukaan.

Tabel 5.22 Nilai Konstanta Resesi

Komponen Aliran	Konstanta Resesi
Air Bawah Tanah	0,95
Aliran Antara	0,8 – 0,9
Aliran Permukaan	0,3 – 0,8

Sumber : HEC-HMS Technical Reference Manual (2000)

#### 4.5 Analisis Penelusuran Banjir (*flood routing*)

Penelitian penelusuran aliran banjir menggunakan metode Muskingum, persamaan kontinuitas dalam penelusuran banjir (Soemarto, 1987) sebagaimana persamaan (2.34) dan persamaan Muskingum (2.35). Nilai tampungan dinyatakan sebagai fungsi linear masukan dengan persamaan menyangkut hubungan S dan Q di palung sungai.

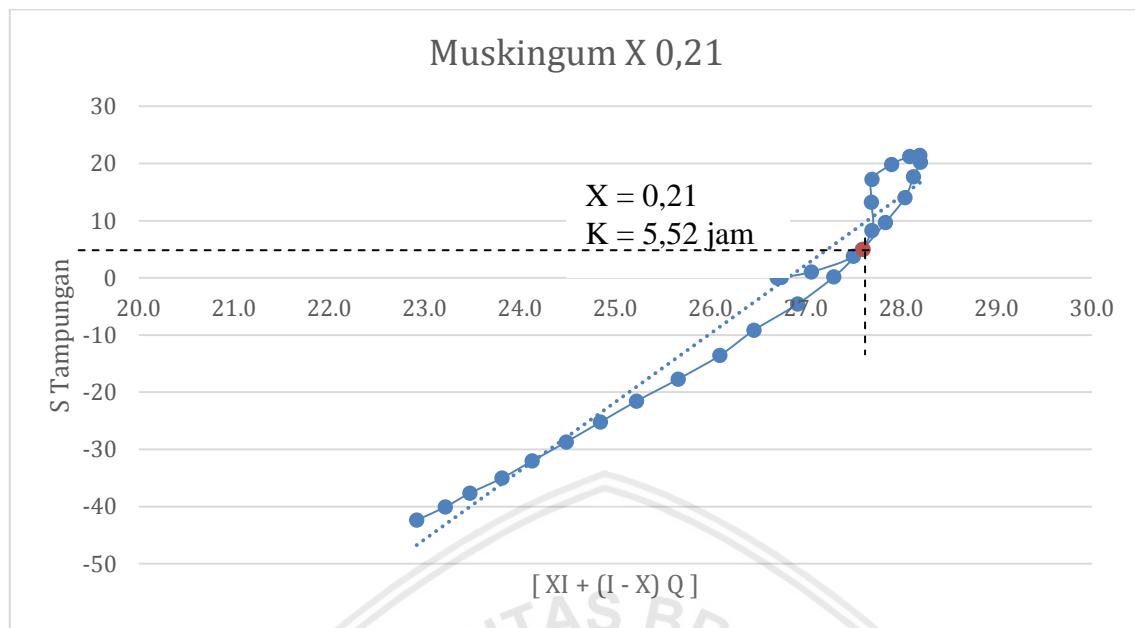
Analisis perhitungan nilai k dan x penelitian ini melalui data trial awal HEC-HMS di segmen sungai (*reach*) R-40, dihitung grafik hubungan antara S dan  $XI + (1-X)Q$  dengan prinsip coba-coba (*trial error*) sehingga diperoleh garis mendekati garis lurus, perhitungan dijabarkan pada Tabel 5.23.

Tabel 5.23

Perhitungan Muskingum Sungai Sadar

Segmen Sungai (Reach) R-40						$\Delta t =$	1 jam		Trial X	
No	Waktu	Inflow	Outflow	(I - Q)	(I - Q) rerata	$\Delta S$	S	[ $XI + (1 - X) Q$ ]	X	
	(hari)	(m <sup>3</sup> /dt)	(m <sup>3</sup> /dt)	(m <sup>3</sup> /dt)		(m <sup>3</sup> /dt).h	(m <sup>3</sup> )	0,21	0,14	
1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1	1	26,7	26,7	-		-	-	26,7	26,7	
2	2	26,9	26,7	0,2	0,1	-	-	28,3	28,5	
3	3	28,4	26,7	1,7	0,9	-	-	40,3	42,0	
4	4	30,5	26,7	3,8	2,8	-	-	57,1	60,9	
5	5	31,8	26,6	5,2	4,5	-	-	68,2	73,4	
6	6	31,4	26,7	4,7	5,0	-	-	64,3	69,0	
7	7	30,3	27,0	3,3	4,0	-	-	53,4	56,7	
8	8	29,4	27,5	1,9	2,6	-	-	42,7	44,6	
9	9	28,8	27,9	0,9	1,4	-	-	35,1	36,0	
10	10	27,8	28,3	-	0,5	0,2	-	24,3	23,8	
11	11	26,7	28,6	-	1,9	-	1,2	-	13,4	
12	12	25,6	28,8	-	3,2	-	2,6	-	-	
13	13	24,8	28,9	-	4,1	-	3,7	-	3,9	
14	14	24,2	28,8	-	4,6	-	4,4	-	8,0	
15	15	23,8	28,6	-	4,8	-	4,7	-	12,6	
16	16	23,5	28,3	-	4,8	-	4,8	-	9,8	
17	17	23,2	27,9	-	4,7	-	4,8	-	14,6	
18	18	22,9	27,4	-	4,5	-	4,6	-	14,4	
19	19	22,7	27,0	-	4,3	-	4,4	-	13,1	
20	20	22,5	26,5	-	4,0	-	4,2	-	11,7	
21	21	22,3	26,0	-	3,7	-	3,9	-	9,5	
22	22	22,0	25,6	-	3,6	-	3,7	-	-	
23	23	21,8	25,2	-	3,4	-	3,5	-	5,4	
24	24	21,6	24,8	-	3,2	-	3,3	-	4,0	
25	25	21,6	24,4	-	2,8	-	3,0	-	0,8	
26	26	21,5	24,0	-	2,5	-	2,7	-	0,8	
27	27	21,4	23,7	-	2,3	-	2,4	-	1,5	
28	28	21,1	23,4	-	2,3	-	2,3	-	3,0	

Sumber : Pengolahan data



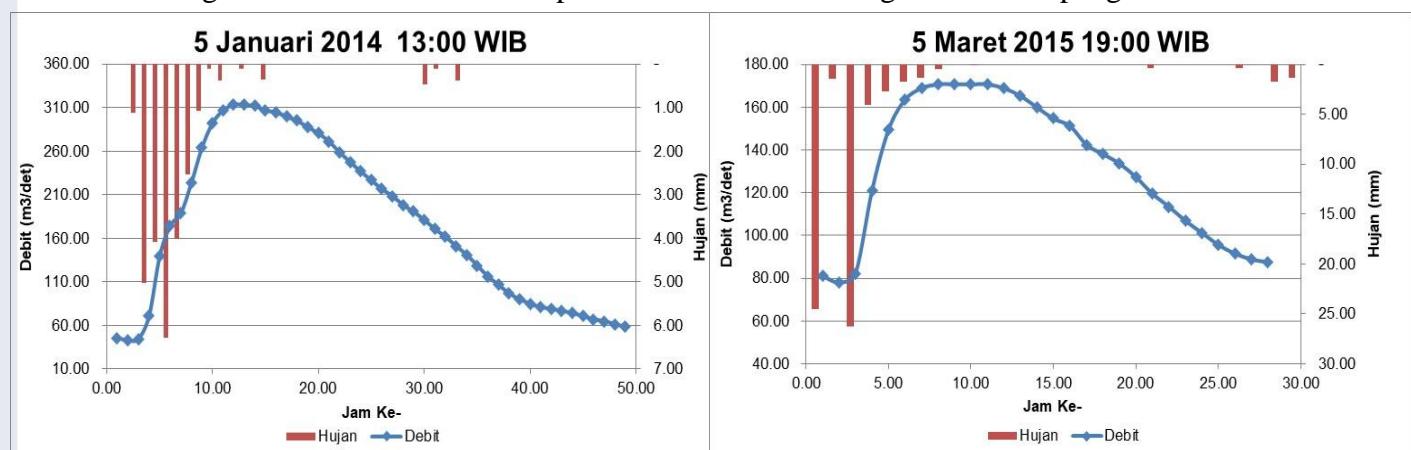
Gambar 5.13 Grafik koefisien muskingum k dan x

Sumber : Pengolahan data

Nilai koefisien K dan X Sungai Sadar persamaan Muskingum menghasilkan nilai K sebesar 5,52 jam dan X sebesar 0,21, digunakan sebagai masukan model HEC-HMS parameter hidrologi *routing*.

#### 4.6 Analisis Debit Kejadian Banjir

Ketentuan *input control spesification* model HEC-HMS dipilih kejadian hidrograf banjir per-jam, puncak debit > 100,00 m<sup>3</sup>/dt, pemilihan kejadian terutama tipe hidrograf terpisah (*isolated*), satu puncak/puncak tunggal (*single peak*) dan hujan (rerata thiesien) cukup. Identifikasi kejadian banjir digunakan sebagai periode kalibrasi – validasi model Hidrograf HEC HMS untuk memperoleh model sesuai dengan kondisi lapangan.

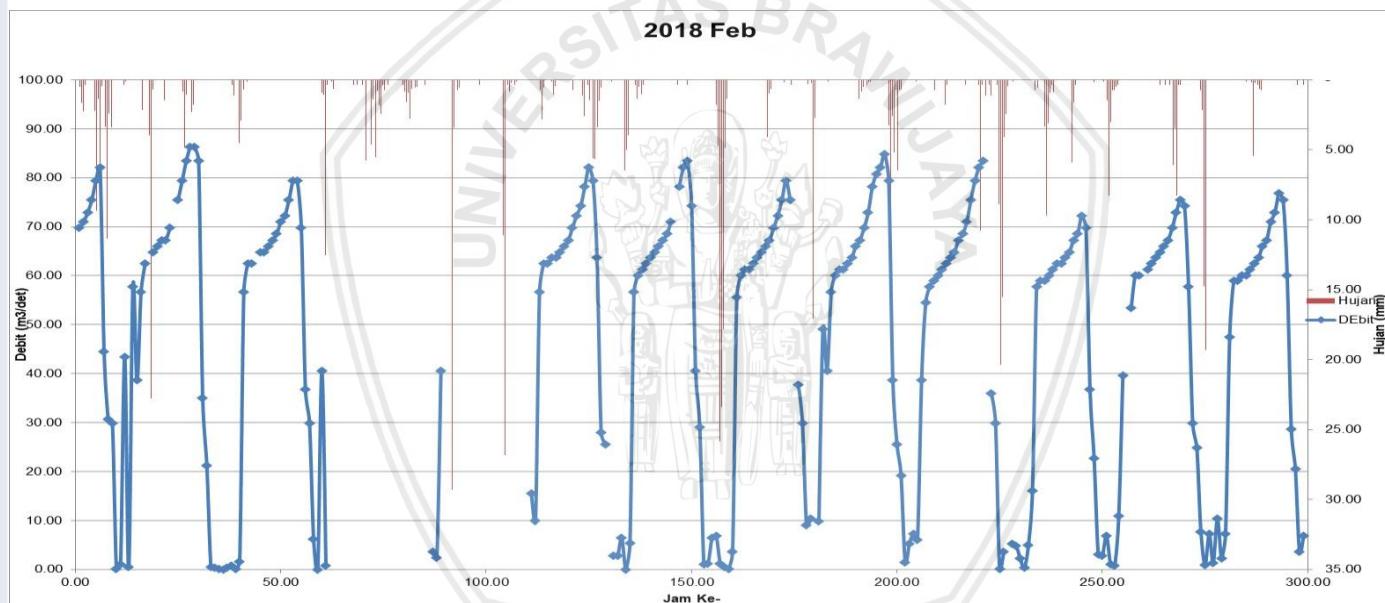


Gambar 5.14 Grafik hidrograf kejadian banjir

Sumber : Pengolahan data

Identifikasi kejadian banjir periode kalibrasi dan validasi model, parameter hidrologi dengan spesifikasi sesuai penetapan Tabel 2.13 untuk memperoleh model HEC-HMS mendekati kondisi lapangan. Hasil identifikasi pencatatan data AWLR Sungai Sadar Tahun 2012 – 2018 terdapat beberapa hal yaitu :

1. Data tahun 2012 tidak dapat digunakan karena terdapat koreksi pembacaan hingga bulan April 2013 (pembacaan elevasi Kali Sadar sama dengan pembacaan elevasi Kali Porong).
2. Data tahun 2016 terdapat kerusakan alat telemetri sehingga tidak terdapat pembacaan.
3. Data tahun 2018 terdapat anomali pembacaan elevasi-debit, tidak terdapat kurva hidrograf lengkung resesi dan sepanjang tahun 2018 tidak terdapat debit aliran >  $100,00 \text{ m}^3/\text{dt}$  sehingga data pembacaan tahun 2018 tidak digunakan.



Gambar 5.15 Grafik hidrograf AWLR Februari 2018

Sumber : Pengolahan data

Data pembacaan tinggi muka air dan debit Sungai Sadar digunakan penelitian ini sebagai identifikasi komponen HEC-HMS *control specification* yaitu data tahun 2013, 2014, 2015 dan 2017.

Hasil identifikasi diperoleh kejadian tanggal waktu kejadian, debit puncak dan curah hujan kumulatif, periode kalibrasi - validasi seperti tabel 5.24 digunakan untuk memperoleh model HEC-HMS mendekati kondisi lapangan. Komponen HEC-HMS *control specification* berupa rentang waktu simulasi, waktu perhitungan dan waktu akhir dari simulasi hidrologi.

Hasil identifikasi pembacaan data AWLR Kali Sadar diperoleh nilai debit puncak maksimum sebesar 313,50 m<sup>3</sup>/dt pada tanggal 5 Januari 2014 dan 31 Januari 2014 dan debit puncak minimum sebesar 116,00 m<sup>3</sup>/dt pada tanggal 19 Februari 2017.

Tabel 5.24

Identifikasi Kejadian Banjir Masukan Program HEC-HMS Periode Kalibrasi - Validasi

No	Tanggal Kejadian				Debit Puncak m <sup>3</sup> /dt	Curah Hujan Kumulatif Thiessen mm	Keterangan	
1	26 Mei 2013	16:00	-	28 Mei 2013	20:00	271,50	16,51	KALIBRASI
2	28 Mei 2013	20:00	-	30 Mei 2013	16:00	141,10	8,65	
3	16 Jun 2013	21:00	-	17 Jun 2013	23:00	127,20	3,37	
4	14 Juli 2013	17:00	-	16 Juli 2013	05:00	245,50	10,14	
5	25 Nov 2013	15:00	-	26 Nov 2013	19:00	141,10	11,96	
6	09 Des 2013	16:00	-	10 Des 2013	17:00	177,30	8,06	
7	11 Des 2013	15:00	-	12 Des 2013	18:00	141,10	9,11	
8	14 Des 2013	11:00	-	15 Des 2013	15:00	169,00	19,38	
9	05 Jan 2014	13:00	-	07 Jan 2014	13:00	313,50	18,87	KALIBRASI
10	31 Jan 2014	13:00	-	01 Feb 2014	18:00	313,50	11,33	
11	06 Feb 2014	15:00	-	07 Feb 2014	15:00	177,30	24,78	
12	10 Feb 2014	15:00	-	11 Feb 2014	13:00	186,80	24,12	
13	13 Mar 2014	13:00	-	14 Mar 2014	23:00	174,60	16,83	
14	22 Apr 2014	15:00	-	24 Apr 2014	10:00	130,40	6,50	
15	14 May 2014	23:00	-	16 May 2014	05:00	172,70	5,25	
16	20 Des 2014	15:00		21 Des 2014	23:00	239,00	-	
17	29 Jan 2015	13:00	-	30 Jan 2015	16:00	206,50	11,74	KALIBRASI
18	19 Feb 2015	13:00	-	21 Feb 2015	21:00	241,20	18,25	
19	01 Mar 2015	15:00	-	02 Mar 2015	15:00	261,20	21,52	
20	05 Mar 2015	16:00	-	06 Mar 2015	19:00	170,90	35,48	
21	28 Mar 2015	0,75	-	29 Mar 2015	0,792	214,70	8,71	
22	18 Apr 2015	20:00	-	20 Apr 2015	0,417	163,60	43,65	
23	27 Apr 2015	14:00	-	28 Apr 2015	16:00	154,70	23,78	
24	01 Mei 2015	13:00	-	02 Mei 2015	15:00	153,00	29,72	
25	02 Mei 2015	11:00	-	03 Mei 2015	23:00	217,80	2,97	VALIDASI
26	19 Feb 2017	18:00	-	20 Feb 2017	23:00	116,00	155,39	
27	20 Feb 2017	20:00	-	21 Feb 2017	21:00	141,40	102,29	
28	24 Feb 2017	19:00	-	25 Feb 2017	20:00	381,30	89,25	
29	25 Mar 2017	16:00	-	26 Mar 2017	15:00	186,40	74,42	
30	30 Mar 2017	14:00	-	31 Mar 2017	18:00	167,50	58,34	

Sumber : Pengolahan data

Periode kalibrasi terpilih kejadian banjir menggunakan data tahun 2013, 2014, 2015 dan periode validasi terpilih kejadian banjir menggunakan data tahun 2017, hasil identifikasi terdapat 25 data kejadian banjir periode kalibrasi dan 5 kejadian banjir periode validasi.

#### 4.7 Parameter Input Model Hidrologi

Hasil analisis awal, nilai parameter masukan model hidrologi HEC - HMS Sub DAS Sadar sebagaimana tabel 5.25.

Tabel 5.25

Nilai Masukan Parameter HEC-HMS

No.	Uraian	Satuan	Parameter	Sub DAS					
				I	II	III	IV	V	VI
1	Kode HEC-HMS			W740	W810	W900	W920	W1030	W1140
2	Area	km <sup>2</sup>		12,431	47,587	32,808	119,220	79,319	84,764
3	Imperviousness	%	loss	16,269	14,580	14,641	12,463	15,150	10,957
4	Initial loss/abstraction	mm	loss	8,550	13,246	11,902	18,049	13,554	16,259
5	SCS Curve Number		loss	85,594	79,318	81,018	73,785	78,939	75,754
6	SCS UH Lag	menit	transform	223,656	102,054	126,344	148,903	160,526	106,023
7	Initial baseflow discharge	m <sup>3</sup> /dt	baseflow	1,936	7,455	5,520	14,481	11,069	7,976
8	Recession Constant		baseflow	0,800	0,800	0,800	0,800	0,800	0,800
9	Treshold type (ratio to peak)		baseflow	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300
10	Muskingum K	Jam	Routing	5,520	5,520	5,520	5,520	5,520	5,520
11	Muskingum X		Routing	0,210	0,210	0,210	0,210	0,210	0,210

Sumber : Pengolahan data

Nilai masukan parameter yaitu parameter hidrologi *loss*, *transform*, *baseflow* dan *routing* serta delineasi peta spasial menggunakan ArcGIS extension *ArcGeoHMS* dengan 6 Sub DAS, menghasilkan komponen *basin model* HEC-HMS sebagaimana Gambar 5.16.

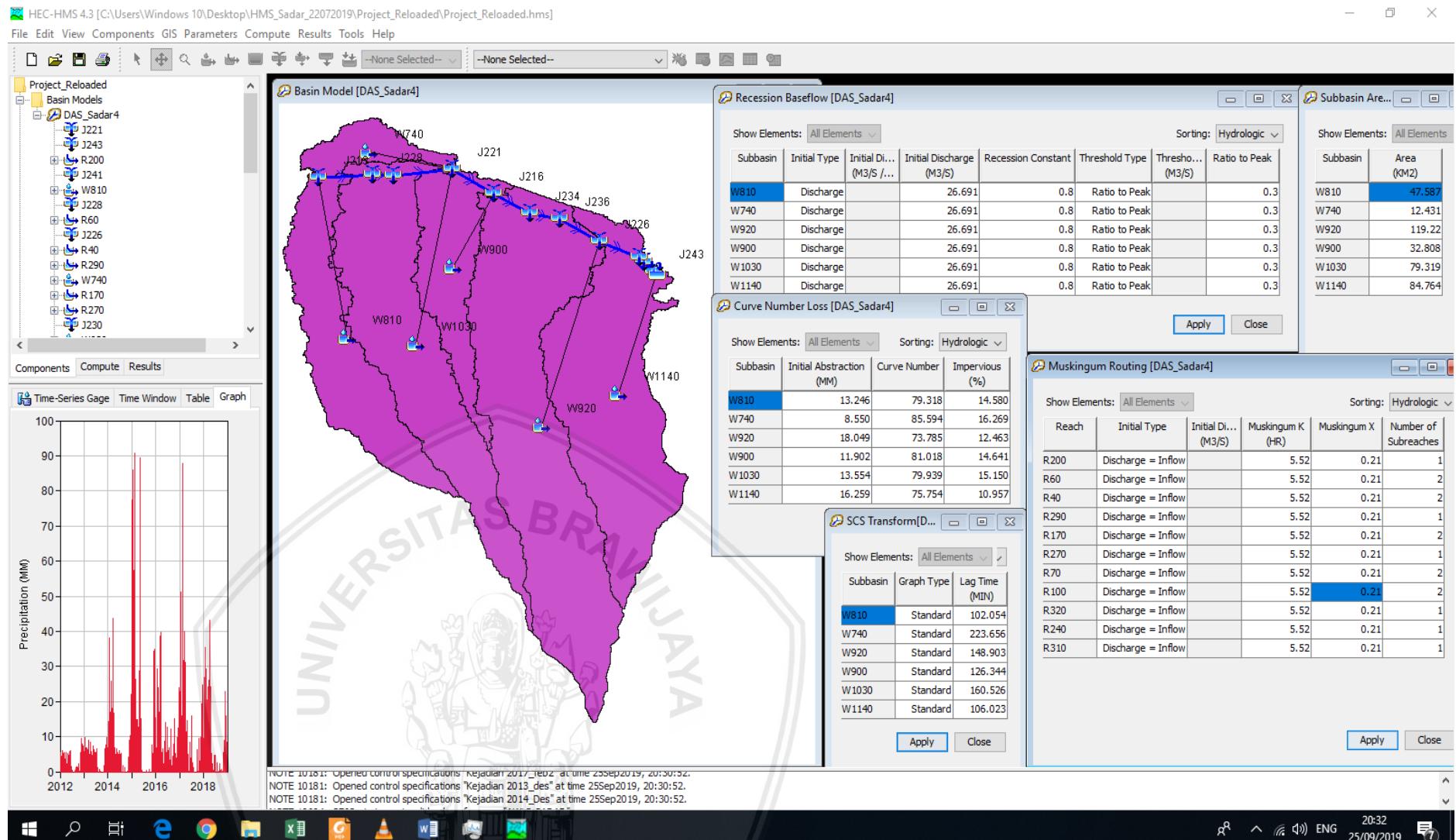
Komponen *meteorological model* HEC-HMS menggunakan data hujan kawasan Thiessen dari poligon luas daerah pengaruh curah hujan Sub DAS Sadar, pengaruh stasiun telemetri ARR terhadap pembacaan stasiun AWLR Sungai Sadar sebagai kalibrasi-validasi model yaitu stasiun curah hujan Sadar, Brangkal dan Tampung (Stasiun Trawas tidak diperhitungkan).

Tabel 5.26

Nilai Hujan Maksimum Bulanan Thiessen Sub DAS Sadar (Sadar, Brangkal, Tampung)

<b>Bulan</b>	<b>Tahun</b>						
	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>
JAN	1,41	6,79	38,21	85,83	28,53	25,80	31,84
FEB	2,03	6,81	25,41	90,66	23,90	87,95	23,03
MAR	1,72	6,48	43,65	23,78	39,76	39,87	26,00
APR	3,34	5,74	12,66	26,87	3,44	13,07	43,10
MEI	4,83	4,67	5,57	89,54	4,23	2,72	5,14
JUN	5,66	5,41	2,23	0,11	4,89	5,03	2,97
JUL	-	6,48	5,20	-	1,70	2,49	0,11
AGT	1,25	0,57	-	0,37	0,78	-	2,23
SEP	1,49	0,16	-	0,68	2,62	3,23	0,74
OKT	0,63	1,36	-	-	5,16	4,85	2,60
NOV	7,88	5,36	9,05	21,15	5,63	7,58	17,90
DES	6,73	6,37	22,97	34,47	6,12	6,30	15,23

Sumber : Pengolahan Data



Gambar 5.16 Masukan Model Hidrologi HEC-HMS  
Sumber : Pengolahan data

#### 4.8 Analisis Kalibrasi - Validasi Model HEC-HMS

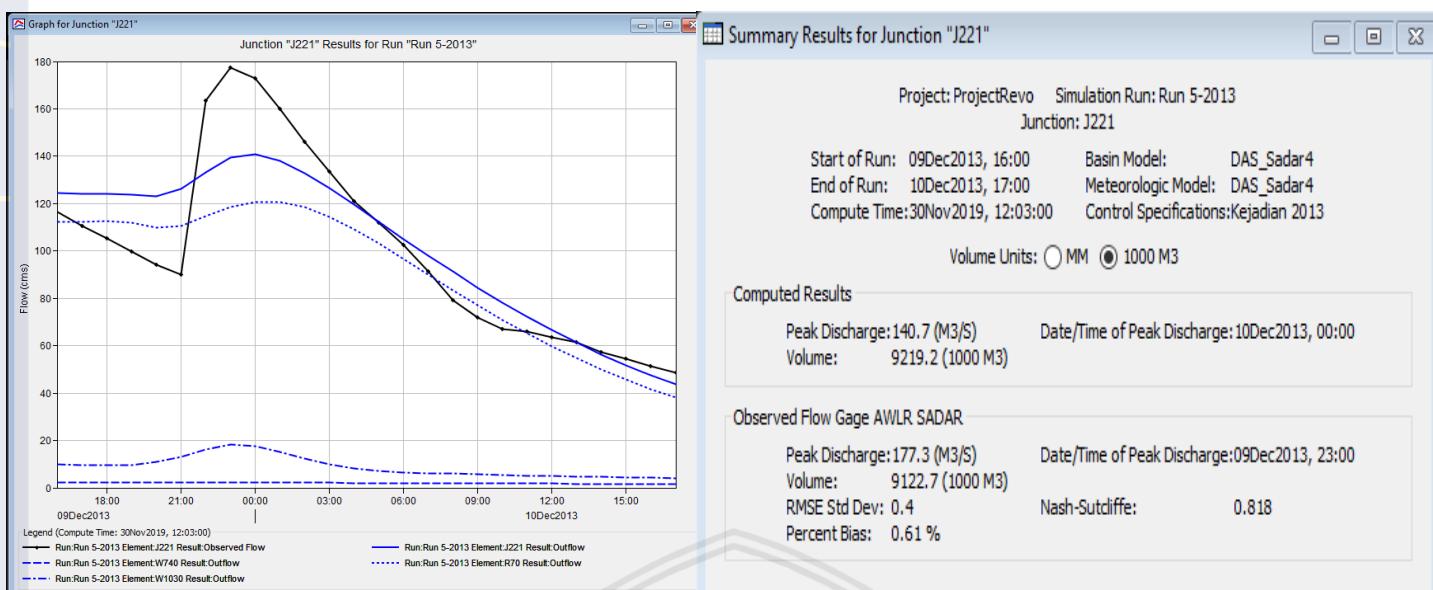
Analisis kalibrasi dan validasi model dilakukan untuk memperoleh model HEC-HMS sesuai dengan kondisi lapangan, optimasi nilai parameter metode coba-coba (*trial error*) berdasarkan justifikasi peneliti sesuai batasan Tabel 2.10. Periode kalibrasi model HEC-HMS dengan data debit AWLR Stasiun Sadar tahun 2013, 2014 dan 2015, periode validasi model HEC-HMS dengan data debit AWLR tahun 2017.

Lokasi AWLR tidak berada di *outlet* Sub DAS namun berada di tengah DAS, optimasi parameter model dilakukan di segmen Sub DAS, Sungai (*Reach*) hulu hingga tengah aliran Sungai Sadar yaitu Sub DAS W740, W810, W1030, *reach* R-40, R-60, R70 sebagai periode kalibrasi – validasi model.

Proses kalibrasi dan validasi model dilakukan secara manual dengan metode coba-coba (*trial and error*), aplikasi HEC-HMS tidak dapat melakukan optimasi parameter kombinasi, urutan (*sequence*) nilai parameter sensitif hasil justifikasi secara optimum penelitian ini yaitu : *initial abstraction, curve number, initial baseflow discharge, recession constant, ratio to peak, muskingum k dan x, lag time*.

Tahapan optimasi periode kalibrasi dan validasi model HEC-HMS metode coba-coba (*trial and error*) dimulai pada parameter *loss* yaitu *initial abstraction* dan *curve number*, dilanjutkan parameter *baseflow* yaitu *initial baseflow discharge, recession constant, dan ratio to peak*. Parameter *routing* yaitu *muskingum k dan x* merupakan parameter lanjutan proses kalibrasi – validasi dan parameter *transform* yaitu *lag time*. Proses tersebut dilakukan berulang dan runut untuk menghasilkan hasil kalibrasi dan validasi optimum, hasil kalibrasi dan validasi model HEC-HMS diperoleh minimum 1 x secara berurutan terhadap parameter HEC-HMS, beberapa model HEC-HMS optimum diperoleh dari 4 – 5 x kalibrasi-validasi parameter terutama pada parameter *baseflow, routing* dan *transform*.

Hasil kalibrasi periode tahun 2013 dengan contoh kejadian tanggal 9 Desember 2013 – 10 Desember 2013 sebagaimana Gambar 5.17.



Gambar 5.17 Hasil kalibrasi model HEC-HMS tanggal 9 Desember 2013

Sumber : Pengolahan data

Model HEC-HMS Kejadian banjir (periode kalibrasi) tanggal 9 Desember 2013 pukul 16:00 WIB sampai 10 Desember 2013 pukul 17:00 WIB diperoleh model HEC-HMS dengan debit puncak sebesar  $140,70 \text{ m}^3/\text{dt}$  (debit puncak lapangan  $177,3 \text{ m}^3/\text{dt}$ ), Puncak debit model pada tanggal 10 Desember 2013 pukul 00.00 WIB (puncak lapangan tanggal 9 Desember 2013 pukul 23:00 WIB). Nilai kalibrasi *Nash-Sutcliffe* sebesar 0,818, *RMSE Std Dev* (RSR) sebesar 0,4 dan *Percent Bias* (PBIAS) sebesar 0,61%.

Perbandingan parameter hidrologi awal dan hasil kalibrasi model tanggal 9 Desember 2013 seperti Tabel 5.27.

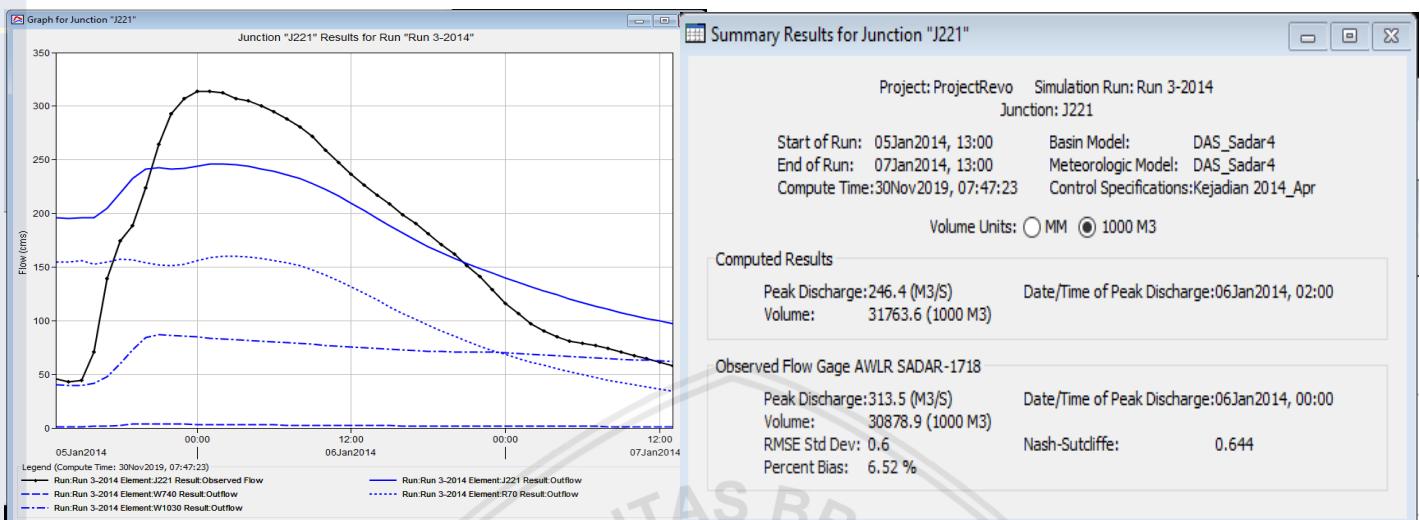
Tabel 5.27

Hasil Kalibrasi Model HEC-HMS 9 Desember 2013

No	Parameter	Sub DAS					
		W740		W810		W1030	
		nilai awal	kalibrasi	nilai awal	kalibrasi	nilai awal	kalibrasi
1	<i>Initial loss/abstraction</i>	8,550	35,237	13,246	65,813	13,554	1,001
2	<i>SCS Curve Number</i>	85,594	87,849	79,318	83,843	78,939	99,000
3	<i>SCS UH Lag</i>	223,656	237,890	102,054	499,660	160,526	201,940
4	<i>Initial baseflow discharge</i>	1,936	5,005	7,455	85,955	11,069	20,182
5	<i>Recession Constant</i>	0,800	0,776	0,800	0,100	0,800	0,344
6	<i>Treshold type (ratio to peak)</i>	0,300	0,335	0,300	0,266	0,300	0,360
		<b>R - 40</b>		<b>R - 60</b>		<b>R - 70</b>	
7	Muskingum K	5,520	10,000	5,520	2,332	5,520	1,025
8	Muskingum X	0,210	0,499	0,210	0,500	0,210	0,100

Sumber : Pengolahan data

Hasil kalibrasi periode tahun 2014 dengan contoh kejadian tanggal 5 Januari 2014 – 7 Januari 2014 pada Gambar 5.18.



Gambar 5.18 Hasil kalibrasi model HEC-HMS tanggal 5 Januari 2014

Sumber : Pengolahan data

Model HEC-HMS Kejadian banjir (periode kalibrasi) tanggal 5 Januari 2014 pukul 13:00 WIB sampai 7 Januari 2014 pukul 13:00 WIB diperoleh model HEC-HMS dengan debit puncak sebesar  $246,40 \text{ m}^3/\text{dt}$  (debit puncak lapangan  $313,50 \text{ m}^3/\text{dt}$ ), puncak debit model pada tanggal 6 Januari 2014 pukul 02.00 WIB (puncak lapangan tanggal 6 Januari 2014 pukul 00:00 WIB). Nilai kalibrasi *Nash-Sutcliffe* sebesar 0,644, *RMSE Std Dev* (RSR) sebesar 0,6 dan *Percent Bias* (PBIAS) sebesar 6,52%.

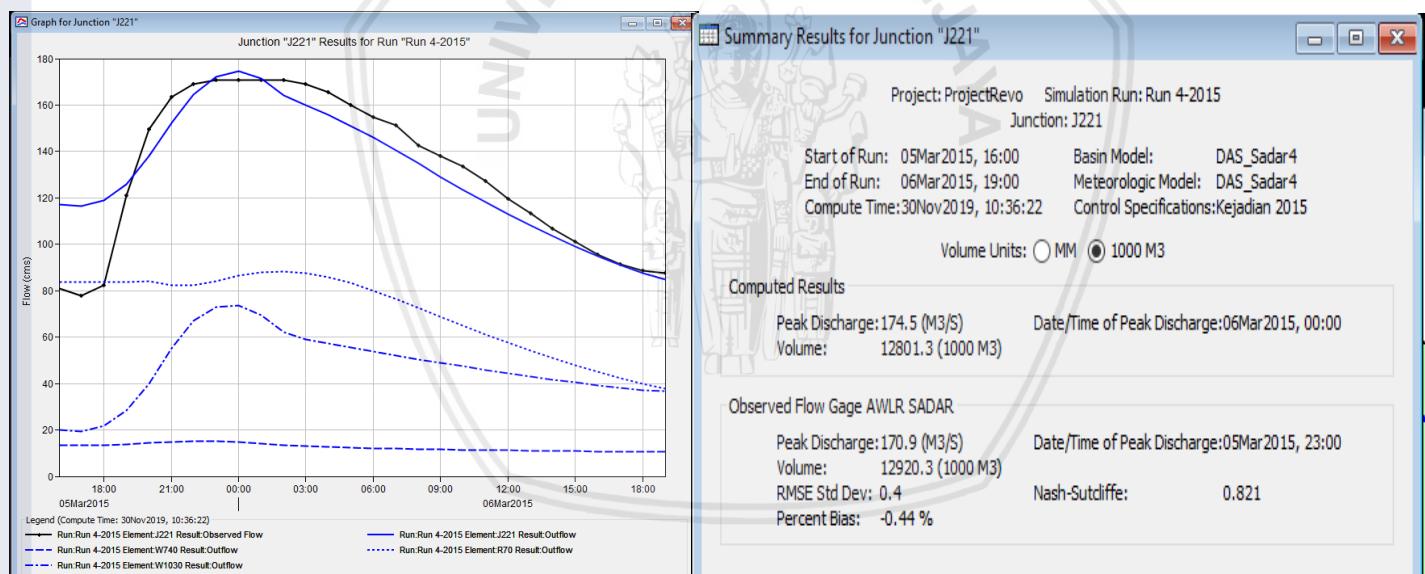
Perbandingan parameter hidrologi awal dan hasil kalibrasi model tanggal 5 Januari 2014 seperti Tabel 5.28.

Tabel 5.28  
Hasil Kalibrasi Model HEC-HMS 5 Januari 2014

No	Parameter	Sub DAS					
		W740		W810		W1030	
		nilai awal	kalibrasi	nilai awal	kalibrasi	nilai awal	kalibrasi
1	Initial loss/abstraction	8,550	7,810	13,246	20,985	13,554	1,002
2	SCS Curve Number	85,594	88,504	79,318	72,531	78,939	98,978
3	SCS UH Lag	223,656	123,180	102,054	108,720	160,526	201,370
4	Initial baseflow discharge	1,936	1,043	7,455	154,800	11,069	40,000
5	Recession Constant	0,800	0,457	0,800	0,277	0,800	0,799
6	Threshold type (ratio to peak)	0,300	0,994	0,300	0,324	0,300	0,999
			R - 40		R - 60		R - 70
7	Muskingum K	5,520	6,707	5,520	4,629	5,520	8,295
8	Muskingum X	0,210	0,500	0,210	0,500	0,210	0,500

Sumber : Pengolahan data

Hasil kalibrasi periode tahun 2015 dengan contoh kejadian tanggal 5 Maret 2015 – 6 Maret 2015 pada Gambar 5.19.



Gambar 5.19 Hasil kalibrasi model HEC-HMS tanggal 5 Maret 2015

Sumber : Pengolahan data

Model HEC-HMS Kejadian banjir tanggal 5 Maret 2015 pukul 16:00 WIB (periode kalibrasi) diperoleh model HEC-HMS dengan debit puncak sebesar  $174,50 \text{ m}^3/\text{dt}$  (debit puncak lapangan  $170,90 \text{ m}^3/\text{dt}$ ), puncak debit model pada tanggal 6 Maret 2015 pukul 00.00 WIB (puncak lapangan tanggal 5 Maret 2015 pukul 23:00 WIB). Nilai kalibrasi *Nash-Sutcliffe* sebesar 0,821, *RMSE Std Dev* (RSR) sebesar 0,4 dan *Percent Bias* (PBIAS) sebesar -0,44%.

Perbandingan parameter hidrologi awal dan hasil kalibrasi model tanggal 5 Maret 2015 seperti Tabel 5.29.

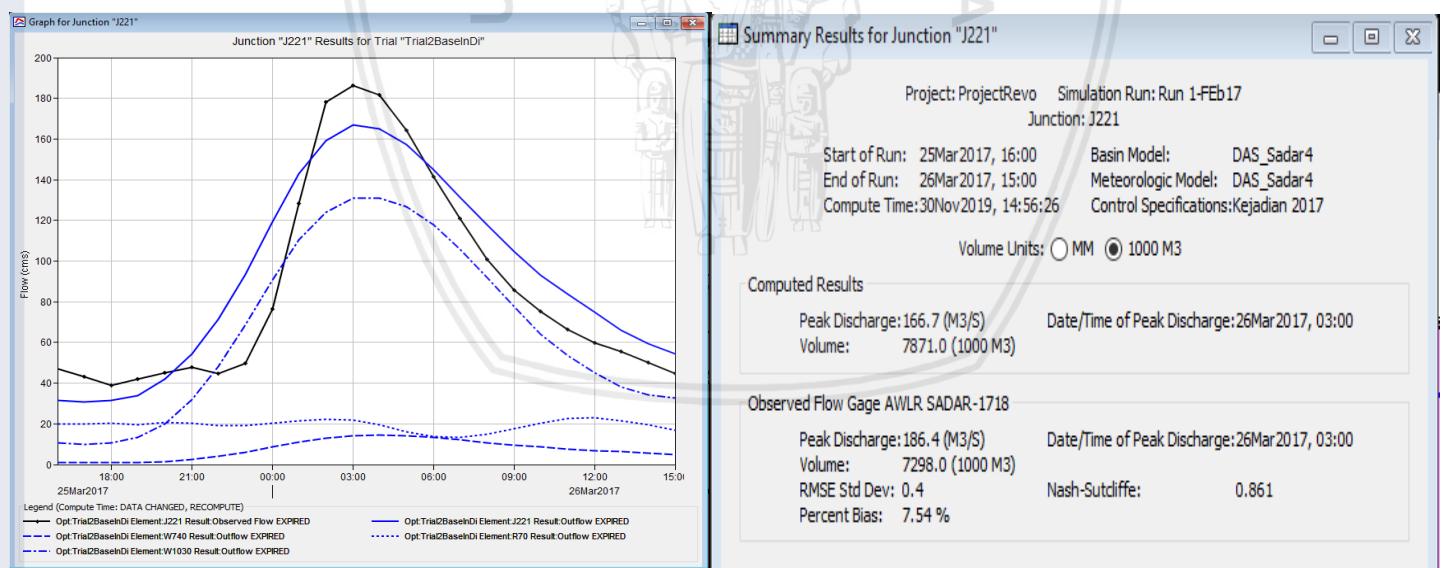
Tabel 5.29

Hasil Kalibrasi Model HEC-HMS 5 Maret 2015

No	Parameter	Sub DAS					
		W740		W810		W1030	
		nilai awal	kalibrasi	nilai awal	kalibrasi	nilai awal	kalibrasi
1	<i>Initial loss/abstraction</i>	8,550	47,177	13,246	59,068	13,554	2,040
2	<i>SCS Curve Number</i>	85,594	84,566	79,318	70,868	78,939	95,229
3	<i>SCS UH Lag</i>	223,656	272,150	102,054	999,250	160,526	328,560
4	<i>Initial baseflow discharge</i>	1,936	13,471	7,455	83,719	11,069	20,003
5	<i>Recession Constant</i>	0,800	0,793	0,800	0,187	0,800	0,470
6	<i>Threshold type (ratio to peak)</i>	0,300	0,499	0,300	0,102	0,300	0,826
			<b>R - 40</b>		<b>R - 60</b>		<b>R - 70</b>
7	Muskingum K	5,520	9,913	5,520	2,626	5,520	2,144
8	Muskingum X	0,210	0,500	0,210	0,456	0,210	0,450

Sumber : Pengolahan data

Hasil validasi periode tahun 2017 dengan contoh kejadian tanggal 25 Maret 2017 – 26 Maret 2017 pada Gambar 5.20.



Gambar 5.20 Hasil kalibrasi model HEC-HMS tanggal 25 Maret 2017

Sumber : Pengolahan data

Model HEC-HMS Kejadian banjir tanggal 25 Maret 2017 pukul 16:00 WIB (periode validasi) diperoleh model HEC-HMS dengan debit puncak sebesar  $166,70 \text{ m}^3/\text{dt}$  (debit puncak lapangan  $186,40 \text{ m}^3/\text{dt}$ ), puncak debit model pada tanggal 26 Maret 2015 pukul 03.00 WIB (puncak lapangan tanggal 26 Maret 2017 pukul 03:00 WIB). Nilai validasi *Nash-Sutcliffe* sebesar 0,861, *RMSE Std Dev* (RSR) sebesar 0,4 dan *Percent Bias*

(PBIAS) sebesar 7,54%. Untuk parameter hidrologi, hasil validasi model seperti Tabel 5.30.

Tabel 5.30

Hasil Validasi Model HEC-HMS 25 Maret 2017

No	Parameter	Sub DAS					
		W740		W810		W1030	
		nilai awal	validasi	nilai awal	validasi	nilai awal	validasi
1	<i>Initial loss/abstraction</i>	8,550	25,115	13,246	77,860	13,554	1,000
2	<i>SCS Curve Number</i>	85,594	98,570	79,318	50,002	78,939	99,000
3	<i>SCS UH Lag</i>	223,656	493,780	102,054	272,380	160,526	500,000
4	<i>Initial baseflow discharge</i>	1,936	1,081	7,455	27,645	11,069	10,000
5	<i>Recession Constant</i>	0,800	0,077	0,800	0,010	0,800	0,262
6	<i>Treshold type (ratio to peak)</i>	0,300	0,711	0,300	0,328	0,300	0,271
		<b>R - 40</b>		<b>R - 60</b>		<b>R - 70</b>	
7	Muskingum K	5,520	4,625	5,520	4,983	5,520	4,068
8	Muskingum X	0,210	0,500	0,210	0,500	0,210	0,487

Sumber : Pengolahan data

Model HEC-HMS Kejadian banjir periode kalibrasi tahun 2013, 2014, 2015 dan periode validasi tahun 2017 diperoleh debit puncak ( $m^3/dt$ ), volume debit banjir ( $\times 10^3 m^3$ ) model HEC-HMS dan lapangan, nilai kalibrasi-validasi *Nash-Sutcliffe*, *RMSE Std Dev* (RSR) dan *Percent Bias* (PBIAS) seperti Tabel 5.31.



Tabel 5.31

Hasil Kalibrasi Periode Tahun 2013, 2014, 2015 dan Validasi Periode Tahun 2017 Model HEC-HMS Sub DAS Sadar

<b>No</b>	<b>Tanggal Kejadian</b>	<b>Debit (m<sup>3</sup>/dt)</b>			<b>Vol. Debit Banjir (x10<sup>3</sup>)</b>			<b>CH Kumul</b>	<b>NSE</b>	<b>RSR</b>	<b>PBIAS</b>
		<b>Lapangan</b>	<b>Model</b>	<b>%</b>	<b>Lapangan</b>	<b>Model</b>	<b>%</b>				
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5 = 4/3</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8 = 7/8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
1	26 Mei 2013	271,500	192,100	70,755	23.296,500	22.822,700	97,966	16,511	0,530	0,700	-0,950%
2	28 Mei 2013	141,100	120,200	85,188	12.151,600	11.950,900	98,348	8,645	0,729	0,500	-0,870%
3	16 Jun 2013	127,200	72,300	56,840	5.702,200	5.666,200	99,369	3,371	0,196	0,900	0,110%
4	14 Juli 2013	245,500	154,700	63,014	12.041,400	11.705,300	97,209	10,136	0,540	0,700	-1,570%
5	25 Nov 2013	141,100	93,000	65,911	5.059,700	4.951,300	97,858	11,965	0,631	0,600	-2,310%
6	09 Des 2013	177,300	140,700	79,357	9.122,700	9.219,200	101,058	8,058	0,818	0,400	0,610%
7	11 Des 2013	141,100	84,500	59,887	5.505,800	5.468,000	99,313	9,114	0,552	0,700	-6,810%
8	14 Des 2013	169,000	122,800	72,663	9.996,000	10.327,400	103,315	19,377	0,616	0,600	0,550%
9	05 Jan 2014	313,500	246,400	78,596	30.878,900	31.763,600	102,865	18,870	0,644	0,600	6,520%
10	31 Jan 2014	313,500	236,000	75,279	20.663,500	20.349,800	98,482	11,334	0,501	0,700	1,020%
11	06 Feb 2014	177,300	137,300	77,439	8.213,800	8.291,500	100,946	24,783	0,745	0,500	1,270%
12	10 Feb 2014	186,800	147,700	79,069	8.659,900	8.564,300	98,896	24,123	0,605	0,600	-7,170%
13	13 Mar 2014	174,600	151,400	86,712	15.377,000	15.421,800	100,291	16,829	0,710	0,500	0,620%
14	22 Apr 2014	130,400	95,600	73,313	10.399,200	10.306,300	99,107	6,496	0,747	0,500	-3,830%
15	14 May 2014	172,700	98,700	57,151	8.479,800	8.616,200	101,609	5,251	0,282	0,800	2,620%
16	20 Des 2014	239,000	182,000	76,151	13.601,000	13.622,300	100,157	-	0,710	0,500	1,040%
17	29 Jan 2015	206,500	145,900	70,654	9.658,200	9.859,500	102,084	11,736	0,633	0,600	3,000%
18	19 Feb 2015	241,200	193,000	80,017	23.787,800	23.646,000	99,404	18,249	0,705	0,500	-0,130%
19	01 Mar 2015	261,200	194,700	74,541	13.072,800	12.717,300	97,281	21,516	0,360	0,800	-0,870%
20	05 Mar 2015	170,900	174,500	102,106	12.920,300	12.801,300	99,079	35,477	0,821	0,400	-0,440%
21	28 Mar 2015	214,700	134,600	62,692	8.866,000	8.879,400	100,151	8,715	0,462	0,700	0,550%
22	18 Apr 2015	163,600	146,400	89,487	15.253,800	15.246,600	99,953	43,651	0,740	0,500	0,510%
23	27 Apr 2015	154,700	141,800	91,661	10.246,400	9.843,300	96,066	23,779	0,770	0,500	-3,390%
24	01 Mei 2015	153,000	143,300	93,660	10.038,500	9.867,700	98,299	29,724	0,726	0,500	-1,120%
25	02 Mei 2015	217,800	162,500	74,610	17.018,400	17.428,300	102,409	2,972	0,404	0,800	3,220%
26	19 Feb 2017	116,000	52,200	45,000	2.264,600	2.159,800	95,372	155,388	0,615	0,600	-4,530%
27	20 Feb 2017	141,400	77,300	54,668	2.333,000	2.571,400	110,219	102,293	0,658	0,600	9,730%
28	24 Feb 2017	381,300	171,800	45,056	13.465,200	13.027,600	96,750	89,253	0,192	0,900	-2,640%
29	25 Mar 2017	186,400	166,700	89,431	7.298,000	7.871,000	107,851	74,420	0,861	0,400	7,540%
30	30 Mar 2017	167,500	127,400	76,060	7.185,800	7.105,200	98,878	58,343	0,722	0,500	0,220%
	Rerata	196,593	143,583	73,566	11.751,927	11.735,707	100,019	29,013	0,608	0,603	0,083%
	Max	381,300	246,400	102,106	30.878,900	31.763,600	110,219	155,388	0,861	0,900	9,730%
	Min	116,000	52,200	45,000	2.264,600	2.159,800	95,372	-	0,192	0,400	-7,170%

Sumber : Pengolahan data



Tabel 5.31 menunjukkan hasil kalibrasi model HEC-HMS Periode Tahun 2013, debit puncak kejadian banjir tertinggi tanggal 26 Mei 2013 sebesar  $271,50 \text{ m}^3/\text{dt}$ . Model HEC-HMS menghasilkan debit puncak model sebesar  $192,10 \text{ m}^3/\text{dt}$ , volume debit banjir model HEC-HMS sebesar  $23.822,70 \times 10^3 \text{ m}^3$  (volume debit banjir lapangan  $23.296,50 \times 10^3 \text{ m}^3$ ), nilai parameter statistik NSE sebesar 0,53, RSR sebesar 0,70 dan PBIAS sebesar -0,95%.

Hasil kalibrasi model HEC-HMS Periode Tahun 2014, debit puncak kejadian banjir tertinggi tanggal 5 Januari 2014 sebesar  $313,50 \text{ m}^3/\text{dt}$ . Model HEC-HMS menghasilkan debit puncak model sebesar  $246,40 \text{ m}^3/\text{dt}$ , volume debit banjir model HEC-HMS sebesar  $31.763,60 \times 10^3 \text{ m}^3$  (volume debit banjir lapangan  $30.878,90 \times 10^3 \text{ m}^3$ ), nilai parameter statistik NSE sebesar 0,644, RSR sebesar 0,60 dan PBIAS sebesar 6,52%.

Hasil kalibrasi model HEC-HMS Periode Tahun 2015, debit puncak kejadian banjir tertinggi tanggal 19 Februari 2015 sebesar  $241,20 \text{ m}^3/\text{dt}$ . Model HEC-HMS menghasilkan debit puncak model sebesar  $193,00 \text{ m}^3/\text{dt}$ , volume debit banjir model HEC-HMS sebesar  $23.646,00 \times 10^3 \text{ m}^3$  (volume debit banjir lapangan  $23.787,80 \times 10^3 \text{ m}^3$ ), nilai parameter statistik NSE sebesar 0,705, RSR sebesar 0,50 dan PBIAS sebesar -0,13%.

Hasil validasi model HEC-HMS Periode Tahun 2017, debit puncak kejadian banjir tertinggi tanggal 25 Maret 2017 sebesar  $186,40 \text{ m}^3/\text{dt}$ . Model HEC-HMS menghasilkan debit puncak model sebesar  $161,00 \text{ m}^3/\text{dt}$ , volume debit banjir model HEC-HMS sebesar  $7.871,00 \times 10^3 \text{ m}^3$  (volume debit banjir lapangan  $7.298,00 \times 10^3 \text{ m}^3$ ), nilai parameter statistik NSE sebesar 0,861, RSR sebesar 0,40 dan PBIAS sebesar 7,54%.

Rerata hasil periode kalibrasi dan validasi untuk 30 kejadian banjir diperoleh nilai debit puncak model  $143,583 \text{ m}^3/\text{dt}$ , volume debit  $11.735,707 \times 10^3 \text{ m}^3$ , parameter statistik NSE sebesar 0,608, RSR sebesar 0,603 dan PBIAS sebesar 0,83%.

#### **4.9 Evaluasi Kehandalan Model HEC-HMS**

Model HEC-HMS kemudian dievaluasi tingkat kehandalan model dengan parameter statistik *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE), *Root Mean Squared Error* (RMSE)-*standard deviation ratio* (RSR), dan *Percent Bias* (PBIAS). Rekomendasi pelaksanaan evaluasi yaitu kombinasi ketiga parameter tersebut untuk memperoleh tingkat kehandalan model HEC-HMS sesuai dengan klasifikasi kategori Tabel 2.11 sebagaimana pada Tabel 5.32.

Parameter statistik NSE membandingkan trend/bentuk hidrograf model dengan hidrograf kondisi lapangan, nilai NSE mendekati nilai 1 merupakan model semakin baik.

RSR dan PBIAS adalah parameter statistik deteksi kesalahan/*error*, nilai RSR dan PBIAS semakin baik mendekati 0 (nol), berarti memiliki kesalahan/*erorr* rendah.

Tabel 5.32

## Hasil Evaluasi Kehandalan Model HEC-HMS

No	Tanggal Kejadian	Kehandalan Model HEC-HMS		
		NSE	RSR	PBIAS
1	26 Mei 2013	MEMUASKAN	MEMUASKAN	SANGAT BAIK
2	28 Mei 2013	BAIK	SANGAT BAIK	SANGAT BAIK
3	16 Jun 2013	TIDAK MEMUASKAN	TIDAK MEMUASKAN	SANGAT BAIK
4	14 Juli 2013	MEMUASKAN	MEMUASKAN	SANGAT BAIK
5	25 Nov 2013	MEMUASKAN	BAIK	SANGAT BAIK
6	09 Des 2013	SANGAT BAIK	SANGAT BAIK	SANGAT BAIK
7	11 Des 2013	MEMUASKAN	MEMUASKAN	BAIK
8	14 Des 2013	MEMUASKAN	BAIK	SANGAT BAIK
9	05 Jan 2014	MEMUASKAN	BAIK	BAIK
10	31 Jan 2014	MEMUASKAN	MEMUASKAN	SANGAT BAIK
11	06 Feb 2014	BAIK	SANGAT BAIK	SANGAT BAIK
12	10 Feb 2014	MEMUASKAN	BAIK	BAIK
13	13 Mar 2014	BAIK	SANGAT BAIK	SANGAT BAIK
14	22 Apr 2014	BAIK	SANGAT BAIK	SANGAT BAIK
15	14 May 2014	TIDAK MEMUASKAN	TIDAK MEMUASKAN	SANGAT BAIK
16	20 Des 2014	BAIK	SANGAT BAIK	SANGAT BAIK
17	29 Jan 2015	MEMUASKAN	BAIK	SANGAT BAIK
18	19 Feb 2015	BAIK	SANGAT BAIK	SANGAT BAIK
19	01 Mar 2015	TIDAK MEMUASKAN	TIDAK MEMUASKAN	SANGAT BAIK
20	05 Mar 2015	SANGAT BAIK	SANGAT BAIK	SANGAT BAIK
21	28 Mar 2015	TIDAK MEMUASKAN	MEMUASKAN	SANGAT BAIK
22	18 Apr 2015	BAIK	SANGAT BAIK	SANGAT BAIK
23	27 Apr 2015	BAIK	SANGAT BAIK	SANGAT BAIK
24	01 Mei 2015	BAIK	SANGAT BAIK	SANGAT BAIK
25	02 Mei 2015	TIDAK MEMUASKAN	TIDAK MEMUASKAN	SANGAT BAIK
26	19 Feb 2017	MEMUASKAN	BAIK	SANGAT BAIK
27	20 Feb 2017	MEMUASKAN	BAIK	BAIK
28	24 Feb 2017	TIDAK MEMUASKAN	TIDAK MEMUASKAN	SANGAT BAIK
29	25 Mar 2017	SANGAT BAIK	SANGAT BAIK	BAIK
30	30 Mar 2017	BAIK	SANGAT BAIK	SANGAT BAIK

Sumber : Pengolahan data

Evaluasi 30 kejadian banjir Model HEC-HMS terhadap parameter statistik NSE, RSR dan PBIAS dilakukan untuk mengetahui tingkat kehandalan model sehingga diperoleh model hidrologi mendekati kondisi lapangan. Hasil evaluasi untuk parameter statistik NSE diperoleh klasifikasi “Tidak Memuaskan” sebanyak 6 model, “Memuaskan” sebanyak 11 model, klasifikasi “Baik” sebanyak 10 model dan klasifikasi “Sangat Baik” sebanyak 3 model.

Parameter RSR diperoleh klasifikasi “Tidak Memuaskan” sebanyak 5 model, “Memuaskan” sebanyak 5 model, klasifikasi “Baik” sebanyak 7 model dan klasifikasi

“Sangat Baik” sebanyak 13 model. Parameter PBIAS diperoleh klasifikasi “Baik” sebanyak 5 model dan klasifikasi “Sangat Baik” sebanyak 25 model.

Evaluasi kehandalan model HEC-HMS rerata nilai 30 kejadian banjir model HEC-HMS Sub DAS Sadar yaitu parameter NSE, RSR dan PBIAS diperoleh hasil seperti Tabel 5.33.

Tabel 5.33

Evaluasi Nilai Rerata Model HEC-HMS Sub DAS Sadar

Debit Puncak ( $m^3/dt$ )		Volume Debit ( $\times 10^3 m^3$ )		Parameter Statistik		
Lapangan	Model	Lapangan	Model	NSE	RSR	PBIAS
196,593	143,583	11.751,927	11.735,707	0,608	0,603	0,08%
			Memuaskan <i>satisfactory</i>			Sangat Baik <i>very good</i>

Sumber : Pengolahan data

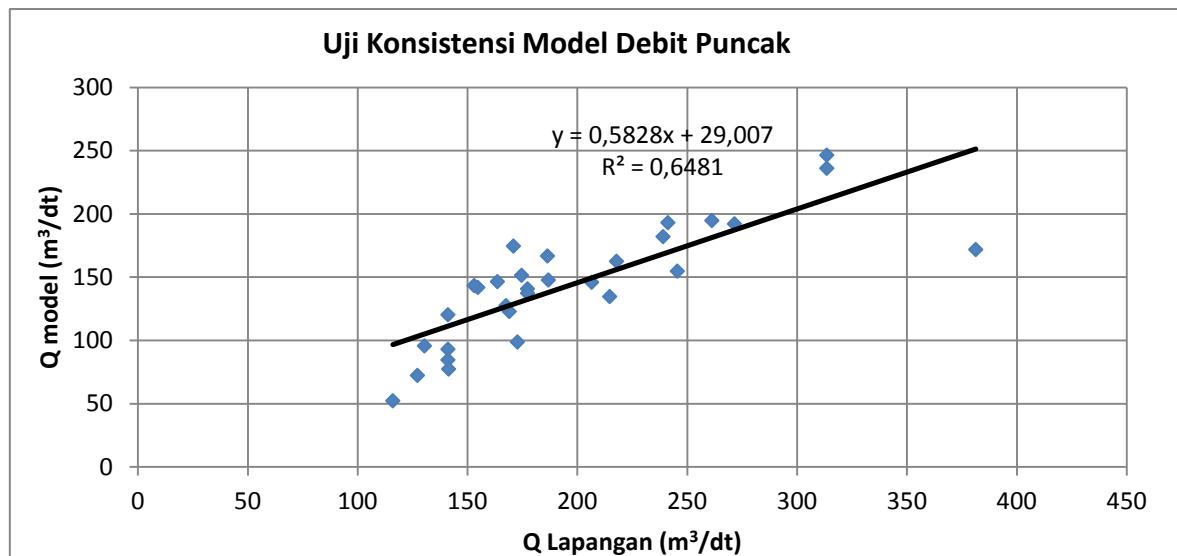
Parameter Tabel 5.33 nilai rerata model diperoleh hasil parameter statistik NSE sebesar 0,608 dengan evaluasi “Memuaskan”, parameter RSR sebesar 0,603 dengan evaluasi “Memuaskan” dan parameter PBIAS sebesar 0,08 % dengan evaluasi “Sangat Baik”.

#### 4.10 Analisis Pengujian Statistik Debit Lapangan

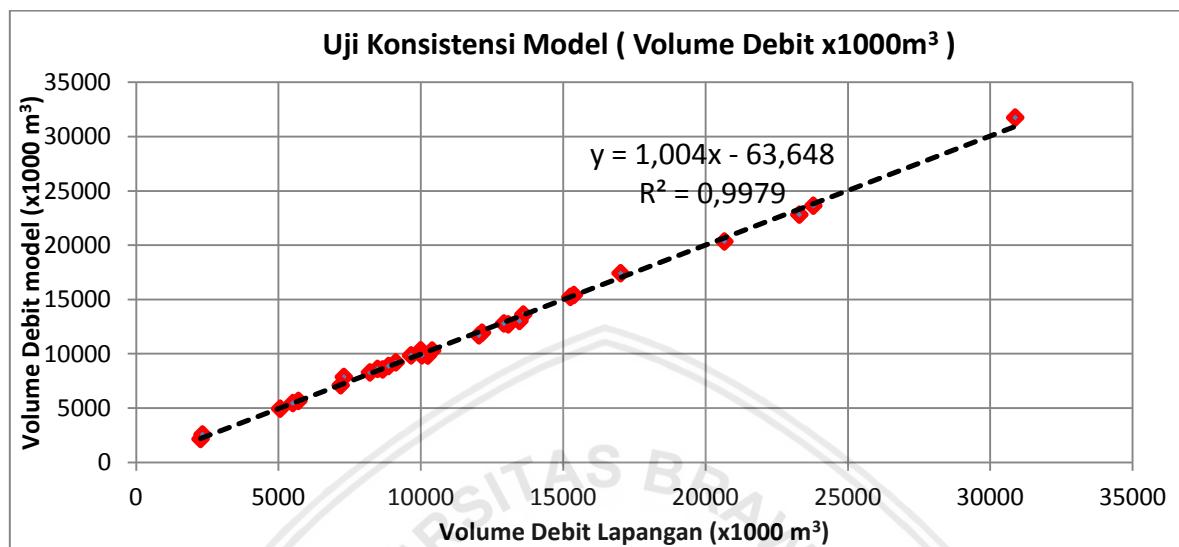
Beberapa pengujian dilakukan terhadap variabel data debit puncak lapangan ( $m^3/dt$ ) dalam penelitian ini dengan metode statistik uji konsistensi (kurva massa ganda, *Rescaled Adjusted Partial Sums -RAPS*) dan uji stationer.

##### 1. Uji Konsistensi

Pengujian dilakukan dengan metode kurva massa ganda, variabel data debit puncak ( $m^3/dt$ ) dan volume debit kejadian banjir ( $\times 10^3 m^3$ ) antara data model terhadap perolehan data lapangan dengan hasil berikut.



*Gambar 5.21 Pengujian konsistensi debit puncak model HEC-HMS  
Sumber : Pengolahan data*



*Gambar 5.22 Pengujian Konsistensi Volume Debit Model HEC-HMS  
Sumber : Pengolahan data*

Hasil pengujian konsistensi untuk nilai debit puncak model dan lapangan diperoleh nilai  $R^2$  sebesar 0,6481 dan nilai volume debit model dan lapangan diperoleh nilai  $R^2$  sebesar 0,9979 mendekati nilai 1.

Metode statistik *Rescaled Adjusted Partial Sums* (RAPS) digunakan pengujian variabel data debit lapangan, diidentifikasi sebagai input *control* model, data ditunjukkan dengan nilai komulatif penyimpangannya terhadap nilai rata-rata, kemudian perhitungan nilai  $Q/\sqrt{n}$  hitung dan  $R/\sqrt{n}$  hitung. Hasil dibandingkan dengan nilai ijin, apabila lebih kecil tingkat kepercayaan tertentu maka data masih dalam batasan konsisten.

Uji konsistensi metode RAPS penelitian ini seperti pada Tabel 5.34.

Tabel 5.34  
Perhitungan Uji Konsistensi Metode RAPS

No	Kelompok	$\bar{x}_i$ (Qlap- $m^3/dt$ )	Sk*	Sk**
1	26 Mei 2013	271,50	83,50	1,50
2	28 Mei 2013	141,10	- 46,90	- 0,84
3	16 Jun 2013	127,20	- 60,80	- 1,09
4	14 Juli 2013	245,50	57,50	1,03
5	25 Nov 2013	141,10	- 46,90	- 0,84
6	09 Des 2013	177,30	- 10,70	- 0,19
7	11 Des 2013	141,10	- 46,90	- 0,84
8	14 Des 2013	169,00	- 19,00	- 0,34
9	05 Jan 2014	313,50	125,50	2,25
10	31 Jan 2014	313,50	125,50	2,25

Sumber : Pengolahan data

Tabel 5.34 Lanjutan  
Perhitungan Uji Konsistensi Metode RAPS

No	Kelompok	$\bar{x}_i$ (Qlap- $m^3/dt$ )	Sk*	Sk**
10	31 Jan 2014	313,50	116,91	1,85
11	06 Feb 2014	177,30	- 19,29	- 0,31
12	10 Feb 2014	186,80	- 9,79	- 0,16
13	13 Mar 2014	174,60	- 21,99	- 0,35
14	22 Apr 2014	130,40	- 66,19	- 1,05
15	14 May 2014	172,70	- 23,89	- 0,38
16	20 Des 2014	239,00	42,41	0,67
17	29 Jan 2015	206,50	9,91	0,16
18	19 Feb 2015	241,20	44,61	0,71
19	01 Mar 2015	261,20	64,61	1,02
20	05 Mar 2015	170,90	- 25,69	- 0,41
21	28 Mar 2015	214,70	18,11	0,29
22	18 Apr 2015	163,60	- 32,99	- 0,52
23	27 Apr 2015	154,70	- 41,89	- 0,66
24	01 Mei 2015	153,00	- 43,59	- 0,69
25	02 Mei 2015	217,80	21,21	0,34
26	19 Feb 2017	116,00	- 80,59	- 1,28
27	20 Feb 2017	141,40	- 55,19	- 0,88
28	24 Feb 2017	381,30	184,71	2,93
29	25 Mar 2017	186,40	- 10,19	- 0,16
30	30 Mar 2017	167,50	- 29,09	- 0,46
Jumlah		5.897,80	Sk** min	- 1,28
Rerata		196,59	Sk** max	2,93
N		30,00	R	4,21
S		63,05	Q	2,93

Sumber : Pengolahan data

Hasil analisis sebagaimana Tabel 5.34 di atas, diperoleh nilai  $Q = 2,93$  dan nilai  $R = 4,21$ . Maka nilai  $Q/\sqrt{n}$  hitung = 0,53 dan  $R/\sqrt{n}$  hitung = 0,77; dimana n adalah jumlah data. *Level of significant* (tingkat kepercayaan) 95% sesuai Tabel 2.1, maka nilai  $Q/\sqrt{n}$  kritis = 1,24 dan  $R/\sqrt{n}$  kritis = 1,50. Berdasarkan hasil tersebut maka kriteria  $Q/\sqrt{n}$  kritis >  $Q/\sqrt{n}$  hitung dan  $R/\sqrt{n}$  kritis >  $R/\sqrt{n}$  hitung, disimpulkan bahwa data debit lapangan ( $m^3/dt$ ) yang digunakan lokasi studi adalah konsisten.

## 2. Uji Stationer

Setelah data tidak menunjukkan trend, maka dilanjutkan uji Stasioner bertujuan menguji kestabilan nilai varian dan rata-rata.

Pengujian nilai varian dari deret berkala dilakukan dengan uji-F (*Fisher test*) sesuai persamaan (2.8), untuk nilai F kritis diperoleh dari korelasi tabel 2.3 dan perhitungan stabilitas nilai rata-rata data deret berkala diuji dengan uji-t (*student test*) dengan persamaan (2.9) dan (2.10).

Hasil perhitungan pengujian stasioner debit lapangan sebagaimana Tabel 5.35 berikut Tabel 5.35

Perhitungan Uji Stasioner Data Debit

No	Kelompok I	$X_i (Q_{lap-} m^3/dt)$	No	Kelompok II	$X_i (Q_{lap-} m^3/dt)$
1	26 Mei 2013	271,50	1	20 Des 2014	172,70
2	28 Mei 2013	141,10	2	29 Jan 2015	239,00
3	16 Jun 2013	127,20	3	19 Feb 2015	206,50
4	14 Juli 2013	245,50	4	01 Mar 2015	241,20
5	25 Nov 2013	141,10	5	05 Mar 2015	261,20
6	09 Des 2013	177,30	6	28 Mar 2015	170,90
7	11 Des 2013	141,10	7	18 Apr 2015	214,70
8	14 Des 2013	169,00	8	27 Apr 2015	163,60
9	05 Jan 2014	313,50	9	01 Mei 2015	154,70
10	31 Jan 2014	313,50	10	02 Mei 2015	153,00
11	06 Feb 2014	177,30	11	19 Feb 2017	217,80
12	10 Feb 2014	186,80	12	20 Feb 2017	116,00
13	13 Mar 2014	174,60	13	24 Feb 2017	141,40
14	22 Apr 2014	130,40	14	25 Mar 2017	381,30
15	14 May 2014	172,70	15	30 Mar 2017	186,40
N1		15,00	N2		15,00
X1		192,17	X2		201,36
S1		63,32	S2		64,49
dk1		14,00	dk2		14,00

Sumber : Pengolahan data

### Uji Kestabilan Varian

Menggunakan persamaan (5.16) diperoleh  $F$  hitung = 0,900; sedangkan nilai  $F$  kritis = 2,460 (Tabel 2.3) maka  $F$  kritis >  $F$  hitung. Sehingga disimpulkan bahwa data debit

lapangan kejadian banjir lokasi studi berdasarkan uji kestabilan varian adalah stasioner atau homogen.

#### Uji Kestabilan Rata-rata

Menggunakan persamaan (5.17) dan persamaan (5.18) diperoleh  $\sigma = 66,154$  sehingga nilai  $t$  hitung = -0,380. Sedangkan nilai tkritis berdasarkan Tabel 2.2 untuk  $dk = 5$  dan uji 2 arah diperoleh nilai 2,048 sehingga  $t$  kritis >  $t$  hitung. Sehingga disimpulkan bahwa data debit lapangan kejadian banjir adalah stasioner.

### **4.11 Hasil Kalibrasi - Validasi Parameter Model HEC-HMS**

Parameter-parameter hidrologi model HEC-HMS dihasilkan kalibrasi model periode tahun 2013, 2014, 2015 dan validasi model periode tahun 2017 untuk variabel nilai *initial abstraction, curve number, initial baseflow discharge, recession constant, ratio to peak, muskingum k dan x* serta *lag time* dapat dilihat pada tabel berikut.

1. Parameter *Loss - Initial abstraction* (Ia) mm

Tabel 5.36

Nilai Parameter *Initial Abstraction* Model HEC-HMS



<b>No.</b>	<b>Tanggal Kejadian</b>	<b>Sub DAS</b>		
		<b>W740</b>	<b>W810</b>	<b>W1030</b>
	Nilai awal	8,550	13,246	13,554
1	26 Mei 2013	3,103	27,623	3,001
2	28 Mei 2013	19,841	66,861	0,667
3	16 Jun 2013	40,109	48,448	17,704
4	14 Juli 2013	5,021	16,056	1,000
5	25 Nov 2013	20,687	26,995	0,766
6	09 Des 2013	35,237	65,813	1,001
7	11 Des 2013	25,059	67,223	0,032
8	14 Des 2013	47,177	59,068	2,040
9	05 Jan 2014	7,810	20,985	1,002
10	31 Jan 2014	3,005	22,274	1,000
11	06 Feb 2014	5,003	11,827	1,002
12	10 Feb 2014	8,550	13,246	13,554
13	13 Mar 2014	8,550	13,246	13,554
14	22 Apr 2014	5,930	13,293	1,002
15	14 May 2014	5,930	13,293	1,002
16	20 Des 2014	19,841	66,861	0,667
17	29 Jan 2015	1,407	10,081	0,011
18	19 Feb 2015	3,972	47,936	3,272
19	01 Mar 2015	1,496	13,333	0,100
20	05 Mar 2015	47,177	59,068	2,040
21	28 Mar 2015	34,499	64,046	1,000
22	18 Apr 2015	10,450	10,302	9,036
23	27 Apr 2015	5,260	38,094	1,010
24	01 Mei 2015	45,123	43,603	14,485
25	02 Mei 2015	45,123	43,603	14,485
26	19 Feb 2017	5,013	10,026	99,015
27	20 Feb 2017	59,997	74,982	95,189
28	24 Feb 2017	45,194	10,000	64,818
29	25 Mar 2017	25,115	77,860	1,000
30	30 Mar 2017	44,437	55,386	40,460
	Jumlah	635,115	1.111,432	404,913
	Rerata	21,170	37,048	13,497
	Max	59,997	77,860	99,015
	Min	1,407	10,000	0,011
	Std Dev	18,324	23,826	26,561

Sumber : Pengolahan data

Nilai Parameter *Initial Abstraction* Model HEC-HMS sesuai tabel 5.36 diperoleh nilai rerata untuk W740 sebesar 21,170 mm, W810 sebesar 37,048 mm dan W1030 sebesar 13,497 mm.

## 2. Parameter *Loss - Curve Number*

Tabel 5.37

Nilai Parameter *Curve Number* Model HEC-HMS

No.	Tanggal Kejadian	Sub DAS		
		W740	W810	W1030
	Nilai awal	85,594	79,318	78,939
1	26 Mei 2013	84,649	61,760	99,000
2	28 Mei 2013	71,901	93,612	99,000
3	16 Jun 2013	72,694	89,646	98,970
4	14 Juli 2013	98,988	89,841	99,000
5	25 Nov 2013	71,901	93,612	99,000
6	09 Des 2013	87,849	83,843	99,000
7	11 Des 2013	67,153	78,510	99,000
8	14 Des 2013	86,566	83,127	99,000
9	05 Jan 2014	88,504	72,531	98,978
10	31 Jan 2014	98,998	91,138	98,998
11	06 Feb 2014	71,132	51,020	98,705
12	10 Feb 2014	86,273	76,328	98,977
13	13 Mar 2014	95,341	86,838	97,801
14	22 Apr 2014	98,998	72,069	73,669
15	14 May 2014	58,805	87,823	99,000
16	20 Des 2014	71,901	93,612	99,000
17	29 Jan 2015	84,604	56,834	98,966
18	19 Feb 2015	84,604	56,834	98,966
19	01 Mar 2015	96,227	54,608	98,990
20	05 Mar 2015	84,566	70,868	95,229
21	28 Mar 2015	86,285	75,668	99,000
22	18 Apr 2015	56,149	50,606	77,989
23	27 Apr 2015	98,996	75,713	98,999
24	01 Mei 2015	72,694	89,646	98,970
25	02 Mei 2015	72,694	89,646	98,970
26	19 Feb 2017	98,996	99,000	76,724
27	20 Feb 2017	50,000	98,162	70,456
28	24 Feb 2017	69,745	99,000	98,274
29	25 Mar 2017	98,570	50,002	99,000
30	30 Mar 2017	78,104	77,229	70,000
	Jumlah	2.443,887	2.349,126	2.837,631
	Rerata	81,463	78,304	94,588
	Max	98,998	99,000	99,000
	Min	50,000	50,002	70,000
	Std Dev	13,836	15,615	9,590

Sumber : Pengolahan data

Nilai Parameter *Curve Number* Model HEC-HMS sesuai tabel 5.37 diperoleh nilai rerata untuk W740 sebesar 81,463; W810 sebesar 78,304 dan W1030 sebesar 94,588.

### 3. Parameter *Baseflow – Initial Discharge* ( $m^3/dt$ )

Tabel 5.38

Nilai Parameter *Initial Discharge* Model HEC-HMS

No.	Tanggal Kejadian	Sub DAS		
		W740	W810	W1030
	Nilai awal	1,936	7,455	11,069
1	26 Mei 2013	4,783	123,420	60,247
2	28 Mei 2013	8,769	55,815	39,218
3	16 Jun 2013	2,208	112,030	20,003
4	14 Juli 2013	2,208	112,030	20,003
5	25 Nov 2013	1,546	55,294	10,003
6	09 Des 2013	5,005	85,955	20,182
7	11 Des 2013	1,000	47,386	20,224
8	14 Des 2013	5,002	59,977	10,000
9	05 Jan 2014	1,043	154,800	40,000
10	31 Jan 2014	4,974	164,150	30,025
11	06 Feb 2014	2,171	56,608	20,006
12	10 Feb 2014	5,645	95,493	20,006
13	13 Mar 2014	1,001	119,310	21,050
14	22 Apr 2014	2,935	51,619	39,908
15	14 May 2014	2,031	79,665	11,173
16	20 Des 2014	18,479	152,640	1,973
17	29 Jan 2015	2,127	110,980	5,008
18	19 Feb 2015	1,049	146,580	10,005
19	01 Mar 2015	1,156	145,700	28,793
20	05 Mar 2015	13,471	83,719	20,003
21	28 Mar 2015	2,158	93,690	20,009
22	18 Apr 2015	2,178	86,948	20,993
23	27 Apr 2015	10,537	44,911	31,056
24	01 Mei 2015	13,686	30,000	59,701
25	02 Mei 2015	0,526	132,960	20,010
26	19 Feb 2017	1,311	4,142	1,154
27	20 Feb 2017	1,000	1,001	1,003
28	24 Feb 2017	7,851	20,001	112,080
29	25 Mar 2017	1,081	27,645	10,000
30	30 Mar 2017	1,981	68,964	20,002
	Jumlah	128,911	2.523,432	743,837
	Rerata	4,297	84,114	24,795
	Max	18,479	164,150	112,080
	Min	0,526	1,001	1,003
	Std Dev	4,520	46,301	22,125

Sumber : Pengolahan data

Nilai Parameter *Initial Discharge* Model HEC-HMS sesuai tabel 5.38 diperoleh nilai rerata untuk W740 sebesar  $4,297 \text{ m}^3/\text{dt}$ ; W810 sebesar  $84,114 \text{ m}^3/\text{dt}$  dan W1030 sebesar  $24,795 \text{ m}^3/\text{dt}$ .

4. Parameter *Baseflow – Recession Constant*

Tabel 5.39

Nilai Parameter *Recession Constant* Model HEC-HMS

<b>No.</b>	<b>Tanggal Kejadian</b>	<b>Sub DAS</b>		
		<b>W740</b>	<b>W810</b>	<b>W1030</b>
	Nilai awal	0,800	0,800	0,800
1	26 Mei 2013	0,800	0,112	0,774
2	28 Mei 2013	0,799	0,220	0,800
3	16 Jun 2013	0,798	0,309	0,796
4	14 Juli 2013	0,750	0,100	0,800
5	25 Nov 2013	0,190	0,100	0,435
6	09 Des 2013	0,776	0,100	0,344
7	11 Des 2013	0,800	0,016	0,800
8	14 Des 2013	0,800	0,104	0,800
9	05 Jan 2014	0,457	0,277	0,799
10	31 Jan 2014	0,771	0,070	0,800
11	06 Feb 2014	0,740	0,124	0,800
12	10 Feb 2014	0,770	0,108	0,364
13	13 Mar 2014	0,445	0,313	0,796
14	22 Apr 2014	0,784	0,178	0,800
15	14 May 2014	0,799	0,101	0,800
16	20 Des 2014	0,764	0,100	0,800
17	29 Jan 2015	0,200	0,200	0,200
18	19 Feb 2015	0,220	0,359	0,311
19	01 Mar 2015	0,800	0,204	0,800
20	05 Mar 2015	0,793	0,187	0,470
21	28 Mar 2015	0,731	0,100	0,262
22	18 Apr 2015	0,796	0,206	0,618
23	27 Apr 2015	0,800	0,800	0,800
24	01 Mei 2015	0,799	0,220	0,800
25	02 Mei 2015	0,798	0,309	0,796
26	19 Feb 2017	0,010	0,154	0,182
27	20 Feb 2017	0,101	0,102	0,107
28	24 Feb 2017	0,768	0,682	0,800
29	25 Mar 2017	0,077	0,010	0,262
30	30 Mar 2017	0,387	0,010	0,482
	Jumlah	18,523	5,875	18,398
	Rerata	0,617	0,196	0,613
	Max	0,800	0,800	0,800
	Min	0,010	0,010	0,107
	Std Dev	0,271	0,175	0,247

Sumber : Pengolahan data

Nilai Parameter *Recession Constant* Model HEC-HMS sesuai tabel 5.39 diperoleh nilai rerata untuk W740 sebesar 0,617; W810 sebesar 0,196 dan W1030 sebesar 0,613.

5. Parameter *Baseflow – Ratio To Peak*

Tabel 5.40

Nilai Parameter *Ratio To Peak* Model HEC-HMS

No.	Tanggal Kejadian	Sub DAS		
		W740	W810	W1030
	Nilai awal	0,300	0,300	0,300
1	26 Mei 2013	0,264	0,381	1,000
2	28 Mei 2013	0,234	0,705	0,248
3	16 Jun 2013	0,234	0,705	0,248
4	14 Juli 2013	0,454	0,370	0,463
5	25 Nov 2013	0,275	0,485	0,108
6	09 Des 2013	0,335	0,266	0,360
7	11 Des 2013	0,100	0,433	0,100
8	14 Des 2013	0,533	0,239	1,000
9	05 Jan 2014	0,994	0,324	0,999
10	31 Jan 2014	0,995	0,212	1,000
11	06 Feb 2014	1,000	0,445	0,546
12	10 Feb 2014	0,470	0,730	0,211
13	13 Mar 2014	0,993	0,293	0,442
14	22 Apr 2014	0,984	0,803	0,434
15	14 May 2014	0,322	0,378	0,267
16	20 Des 2014	0,309	0,442	0,422
17	29 Jan 2015	0,950	0,510	1,000
18	19 Feb 2015	0,949	0,839	0,998
19	01 Mar 2015	0,156	0,060	0,523
20	05 Mar 2015	0,499	0,102	0,826
21	28 Mar 2015	0,216	0,251	1,000
22	18 Apr 2015	0,967	0,460	0,972
23	27 Apr 2015	0,285	0,998	0,358
24	01 Mei 2015	0,234	0,705	0,248
25	02 Mei 2015	0,234	0,705	0,248
26	19 Feb 2017	0,640	0,064	0,003
27	20 Feb 2017	0,313	0,066	0,106
28	24 Feb 2017	0,596	0,624	0,278
29	25 Mar 2017	0,711	0,328	0,271
30	30 Mar 2017	0,326	0,234	0,601
	Jumlah	15,570	13,157	15,275
	Rerata	0,519	0,439	0,509
	Max	1,000	0,998	1,000
	Min	0,100	0,060	0,003
	Std Dev	0,314	0,250	0,340

Sumber : Pengolahan data

Nilai Parameter *Ratio To Peak* Model HEC-HMS sesuai tabel 5.40 diperoleh nilai rerata untuk W740 sebesar 0,519; W810 sebesar 0,439 dan W1030 sebesar 0,509.

#### 6. Parameter *Routing* – Muskingum *K*

Tabel 5.41

Nilai Parameter Muskingum K Model HEC-HMS

No.	Tanggal Kejadian	Reach - Sungai		
		R-40	R-60	R-70
	Nilai awal	5,520	5,520	5,520
1	26 Mei 2013	5,822	5,197	3,780
2	28 Mei 2013	4,418	4,424	2,676
3	16 Jun 2013	1,015	10,000	1,740
4	14 Juli 2013	1,000	2,000	9,497
5	25 Nov 2013	2,001	2,717	4,584
6	09 Des 2013	10,000	2,332	1,025
7	11 Des 2013	1,000	2,279	10,561
8	14 Des 2013	11,300	4,068	1,698
9	05 Jan 2014	6,707	4,629	8,295
10	31 Jan 2014	9,402	1,000	9,066
11	06 Feb 2014	9,913	2,626	2,144
12	10 Feb 2014	10,819	1,000	1,000
13	13 Mar 2014	7,033	4,434	6,535
14	22 Apr 2014	11,103	1,000	1,001
15	14 May 2014	1,000	7,821	10,013
16	20 Des 2014	0,016	9,756	2,603
17	29 Jan 2015	2,911	3,416	3,501
18	19 Feb 2015	7,713	4,684	3,878
19	01 Mar 2015	5,540	3,698	1,999
20	05 Mar 2015	9,913	2,626	2,144
21	28 Mar 2015	11,050	1,008	1,000
22	18 Apr 2015	5,520	5,520	5,520
23	27 Apr 2015	1,007	2,002	1,011
24	01 Mei 2015	4,391	5,727	1,006
25	02 Mei 2015	1,015	17,282	2,799
26	19 Feb 2017	2,948	5,015	4,116
27	20 Feb 2017	3,841	3,980	3,681
28	24 Feb 2017	1,000	3,273	1,000
29	25 Mar 2017	4,625	4,983	4,068
30	30 Mar 2017	10,540	1,000	1,000
	Jumlah	164,563	129,494	112,938
	Rerata	5,485	4,316	3,765
	Max	11,300	17,282	10,561
	Min	0,016	1,000	1,000
	Std Dev	3,876	3,384	2,992

Sumber : Pengolahan data

Nilai Parameter Muskingum K Model HEC-HMS sesuai tabel 5.41 diperoleh nilai rerata untuk R-40 sebesar 5,485 jam ; R-60 sebesar 4,316 jam dan R-70 sebesar 3,765 jam.

## 7. Parameter Routing – Muskingum X

Tabel 5.42

Nilai Parameter Muskingum X Model HEC-HMS

No.	Tanggal Kejadian	Reach - Sungai		
		R-40	R-60	R-70
	Nilai awal	0,210	0,210	0,210
1	26 Mei 2013	0,500	0,500	0,500
2	28 Mei 2013	0,499	0,500	0,500
3	16 Jun 2013	0,499	0,500	0,453
4	14 Juli 2013	0,200	0,461	0,500
5	25 Nov 2013	0,424	0,500	0,500
6	09 Des 2013	0,499	0,500	0,100
7	11 Des 2013	0,430	0,500	0,500
8	14 Des 2013	0,500	0,500	0,474
9	05 Jan 2014	0,500	0,500	0,500
10	31 Jan 2014	0,499	0,244	0,500
11	06 Feb 2014	0,500	0,456	0,450
12	10 Feb 2014	0,500	0,090	0,496
13	13 Mar 2014	0,500	0,500	0,500
14	22 Apr 2014	0,497	0,404	0,026
15	14 May 2014	0,398	0,500	0,500
16	20 Des 2014	0,329	0,500	0,378
17	29 Jan 2015	0,500	0,500	0,500
18	19 Feb 2015	0,500	0,500	0,500
19	01 Mar 2015	0,500	0,500	0,497
20	05 Mar 2015	0,500	0,456	0,450
21	28 Mar 2015	0,476	0,420	0,252
22	18 Apr 2015	0,210	0,210	0,210
23	27 Apr 2015	0,243	0,180	0,249
24	01 Mei 2015	0,472	0,499	0,102
25	02 Mei 2015	0,500	0,500	0,500
26	19 Feb 2017	0,500	0,500	0,500
27	20 Feb 2017	0,499	0,500	0,500
28	24 Feb 2017	0,500	0,500	0,254
29	25 Mar 2017	0,500	0,500	0,487
30	30 Mar 2017	0,500	0,496	0,416
	Jumlah	13,673	13,414	12,291
	Rerata	0,456	0,447	0,410
	Max	0,500	0,500	0,500
	Min	0,200	0,090	0,026
	Std Dev	0,090	0,111	0,144

Sumber : Pengolahan data

Nilai Parameter Muskingum X Model HEC-HMS sesuai tabel 5.42 diperoleh nilai rerata untuk R-40 sebesar 0,456; R-60 sebesar 0,447 dan R-70 sebesar 0,410.

8. Parameter *Transform – Lag Time*

Tabel 5.43

Nilai Parameter *Lag Time* Model HEC-HMS

<b>No.</b>	<b>Tanggal Kejadian</b>	<b>Sub DAS</b>		
		<b>W740</b>	<b>W810</b>	<b>W1030</b>
	Nilai awal	223,656	102,054	160,526
1	26 Mei 2013	412,770	400,110	200,030
2	28 Mei 2013	289,570	101,750	296,060
3	16 Jun 2013	184,980	489,460	185,260
4	14 Juli 2013	292,990	100,010	297,940
5	25 Nov 2013	189,480	485,300	200,130
6	09 Des 2013	237,890	499,660	201,940
7	11 Des 2013	100,010	494,440	100,340
8	14 Des 2013	405,920	100,000	194,740
9	05 Jan 2014	123,180	108,720	201,370
10	31 Jan 2014	124,560	100,020	207,950
11	06 Feb 2014	143,430	100,010	321,480
12	10 Feb 2014	244,740	527,930	242,730
13	13 Mar 2014	142,590	131,940	298,610
14	22 Apr 2014	100,100	270,100	333,930
15	14 May 2014	493,490	499,370	435,930
16	20 Des 2014	332,840	495,740	306,120
17	29 Jan 2015	250,640	100,010	242,870
18	19 Feb 2015	138,000	499,970	170,780
19	01 Mar 2015	236,190	100,040	265,040
20	05 Mar 2015	272,150	999,250	328,560
21	28 Mar 2015	340,470	999,950	284,760
22	18 Apr 2015	235,570	143,860	384,620
23	27 Apr 2015	300,580	103,550	392,580
24	01 Mei 2015	822,490	214,140	319,050
25	02 Mei 2015	155,250	100,010	248,670
26	19 Feb 2017	861,550	275,050	869,840
27	20 Feb 2017	473,740	205,250	999,990
28	24 Feb 2017	499,540	215,830	500,000
29	25 Mar 2017	493,780	272,380	500,000
30	30 Mar 2017	164,660	499,930	144,610
	Jumlah	9.063,150	9.633,780	9.675,930
	Rerata	302,105	321,126	322,531
	Max	861,550	999,950	999,990
	Min	100,010	100,000	100,340
	Std Dev	191,239	249,563	192,972

Sumber : Pengolahan data

Nilai Parameter *Lag Time* Model HEC-HMS sesuai tabel 5.43 diperoleh nilai rerata untuk W740 sebesar 302,105 menit (5 jam 2 menit) ; W810 sebesar 321,126 menit (5 jam 21 menit) dan W1030 sebesar 322,531 menit (5 jam 22 menit).

Hasil nilai rerata periode kalibrasi model HEC-HMS Sub DAS Sadar untuk parameter *loss*, *baseflow*, *routing* dan *transform* variabel *initial abstraction*, *curve number*, *initial baseflow discharge*, *recession constant*, *ratio to peak*, *muskingum k* dan *x* serta *lag time* penelitian seperti pada Tabel 5.44 berikut.

Tabel 5.44

Nilai Rerata Model HEC-HMS Sub DAS Sadar

No	Parameter	Sub DAS					
		W740		W810		W1030	
		nilai awal	Rerata	nilai awal	Rerata	nilai awal	Rerata
1	<i>Initial loss/abstraction</i>	8,550	21,170	13,246	37,048	13,554	13,497
2	<i>SCS Curve Number</i>	85,594	81,463	79,318	78,304	78,939	94,588
3	<i>SCS UH Lag (min)</i>	223,656	302,105	102,054	321,126	160,526	322,531
4	<i>Initial baseflow discharge</i>	1,936	4,297	7,455	84,114	11,069	24,795
5	<i>Recession Constant</i>	0,800	0,617	0,800	0,196	0,800	0,613
6	<i>Treshold type (ratio to peak)</i>	0,300	0,519	0,300	0,439	0,300	0,509
		<b>R - 40</b>		<b>R - 60</b>		<b>R - 70</b>	
7	<i>Muskingum K</i>	5,520	5,485	5,520	4,316	5,520	3,765
8	<i>Muskingum X</i>	0,210	0,456	0,210	0,447	0,210	0,410

Sumber : Pengolahan data

#### 4.12 Analisis Kerawanan Bencana Banjir

Penelitian menggunakan evaluasi lahan untuk identifikasi wilayah kerawanan bencana banjir di lokasi Sub DAS Sadar, pendekatan faktor-faktor penyebab kejadian banjir meliputi : akumulasi aliran (*flow accumulation*), kemiringan lahan, ketinggian lahan, curah hujan, jenis tanah dan penggunaan lahan (Kourgialas et al, 2011). Interaksi antara faktor memberikan dampak minor dan mayor sebagaimana Gambar 5.23, interaksi berdampak minor dikonversi dengan poin 1 (satu) dan konversi dampak minor 0,5 (setengah) poin dengan hasil perhitungan Tabel 5.46.

Pengolahan data GIS untuk menghasilkan peta kerawanan bencana banjir menggunakan data-data antara lain :

1. Peta akumulasi aliran diperoleh dari pengolahan DEM (Peta DEMNAS tahun 2011) dengan bantuan extension *Arc Hydro Tool (flow accumulation) – ArcMap*.
2. Peta kemiringan lahan diperoleh dari pengolahan DEM extension *3D Analyst Tool (slope) – ArcMap* (Peta DEMNAS tahun 2011).
3. Peta ketinggian lahan diperoleh dari pengolahan DEM extension *Spatial Tool (contour) – ArcMap* (Peta DEMNAS tahun 2011).

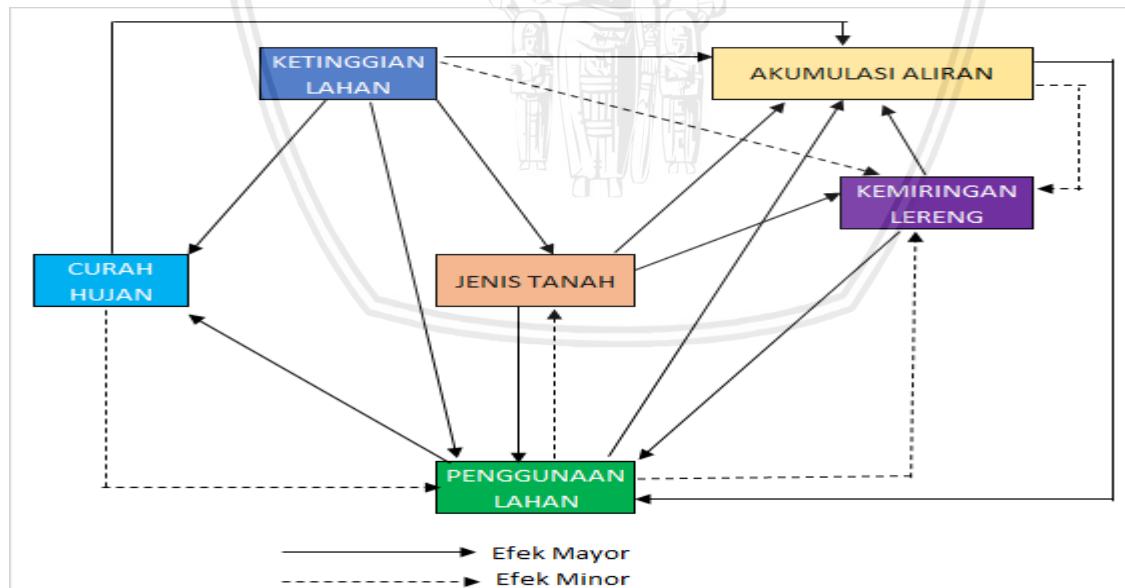
4. Peta jenis tanah diperoleh dari Ditjen PKTL – Kem LHK tahun 2016.
  5. Peta penggunaan lahan diperoleh dari Ditjen PKTL – Kem LHK tahun 2016.
  6. Peta curah hujan diperoleh dari pengolahan data hujan kumulatif di 4 stasiun telemetri rerata tahun 2012-2018 Tabel 5.45, penentuan hujan kawasan menggunakan metode isohiet dan pengolahan pada ArcGIS dibantu *extension spatial analyst tool – inverse distance weighted*.

Tabel 5.45

Rerata Data Curah Hujan Kumulatif Stasiun Telemetri Tahun 2012 - 2018

<b>Tahun</b>	<b>Stasiun Sadar (mm)</b>	<b>Stasiun Trawas (mm)</b>	<b>Stasiun Brangkal (mm)</b>	<b>Stasiun Tampung (mm)</b>
2012	511	1.310	434	691
2013	1.597	1.978	1.941	585
2014	1.202	1.701	1.621	2.701
2015	4.767	1.963	2.733	591
2016	1.840	2.926	2.957	2.167
2017	2.298	3.150	2.766	1.850
2018	2.765	1.845	1.404	970
Rerata	2.140	2.125	1.979	1.365

Sumber : Pengolahan Data



Gambar 5.23 Skema interaksi faktor pengaruh kerawanan banjir

Sumber : Pengolahan Data

Kelompok	Interaksi Antara Faktor	Perhitungan	Hasil
Akumulasi aliran	1 major + 1 minor	(1 x 1) + (1 x 0,5)	1,5 poin
Kemiringan	2 major + 0 minor	(2 x 1) + (0 x 0,5)	2,0 poin
Penggunaan Lahan	2 major + 2 minor	(2 x 1) + (2 x 0,5)	3,0 poin
Curah Hujan	1 major + 1 minor	(1 x 1) + (1 x 0,5)	1,5 poin
Geologi	3 major + 0 minor	(3 x 1) + (0 x 0,5)	3,0 poin
Ketinggian	4 major + 1 minor	(4 x 1) + (1 x 0,5)	4,5 poin

Sumber : Kourgialas et al (2011)

Interaksi antar faktor-faktor mempengaruhi kerawanan banjir berdasarkan tabel 5.46 diperoleh faktor ketinggian memiliki poin tertinggi sebesar 4,5 poin, faktor penggunaan lahan dan geologi memiliki 3,0 poin, faktor kemiringan memiliki 2,0 poin dan faktor akumulasi aliran dan curah hujan memiliki poin masing-masing 1,5 poin.

Analisis perhitungan daerah kerawanan bencana banjir yaitu perkalian bobot dan skor faktor pengaruh sehingga diperoleh nilai total bobot ke enam faktor dengan nilai masing-masing kontribusi faktor terhadap total dalam bentuk persentase sebagaimana pada tabel 5.47 dan tabel 5.48.

Tabel 5.47

Pembobotan Daerah Kerawanan Banjir Faktor Pengaruh Curah Hujan,

Faktor	Klasifikasi	Bobot awal	Skor	Bobot awal x skor	Bobot Total	%
Curah Hujan	< 1400 mm	1,0		1,5	82,5	11,8
Rerata Kumulatif	1400 - 1500 mm	2,0		3,0		
	1500 - 1600 mm	3,0		4,5		
	1600 - 1670 mm	4,0		6,0		
	1670 - 1750 mm	5,0	1,5	7,5		
	1750 - 1830 mm	6,0		9,0		
	1830 - 1900 mm	7,0		10,5		
	1900 - 1980 mm	8,0		12,0		
	1980 - 2060 mm	9,0		13,5		
	> 2060 mm	10,0		15,0		

Sumber : Pengolahan Data

Tabel 5.48

Pembobotan Daerah Kerawanan Banjir Faktor Pengaruh Penggunaan Lahan Jenis Tanah

Kemiringan Lereng, Ketinggian Lahan, *Flow Accumulation*

Faktor	Klasifikasi	Bobot awal	Skor	Bobot awal x skor	Bobot Total	%
Penggunaan Lahan	Hutan	0,1		0,3	165,3	23,6
	Belukar/Semak	1,0		3,0		
	Tanah Ladang/Tegalan	2,0		6,0		
	Kebun	3,0		9,0		
	Rumput	4,0	3,0	12,0		
	Sawah Tadah Hujan	5,0		15,0		
	Sawah Irigasi	6,0		18,0		
	Tanah Berbatu	7,0		21,0		
	Pemukiman	8,0		24,0		
	Gedung	9,0		27,0		
Jenis Tanah	Air Tawar	10,0		30,0		
	Aluvial Kelabu	1,3		3,8	135,0	19,3
	Kompleks Andosol Coklat, Andosol Coklat Kekuningan & Litoso	2,5		7,5		
	Regosol Kelabu	3,8		11,3		
	Asosiasi Latosol Coklat & Regosol Kelabu	5,0	3,0	15,0		
	Asosiasi Mediteran Coklat Kemerahan & Grumusol Kelabu	6,3		18,8		
	Kompleks Regosol & Litosol	7,5		22,5		
	Latosol Coklat Kemerahan	8,8		26,3		
	Asosiasi Aluvial Kelabu & Aluvial Coklat Kekelabuan	10,0		30,0		
Kemiringan Lereng	Terjal (> 40%)	1,0		2,0	52,0	7,4
	Sangat Curam (25 - 40 %)	2,0		4,0		
	Curam (15 - 25%)	5,0	2,0	10,0		
	Agak Curam/Bergelombang (8 - 15)	8,0		16,0		
	Datar/landai (0 - 8%)	10,0		20,0		
Ketinggian Lahan	2000 - 3150 m	0,1		0,5	221,0	31,5
	1500 - 2000 m	1,0		4,5		
	500 - 1500 m	2,0		9,0		
	300 - 500 m	3,0		13,5		
	200 - 300 m	4,0	4,5	18,0		
	150 - 200 m	5,0		22,5		
	100 - 150 m	7,0		31,5		
	50 - 100 m	8,0		36,0		
	25 - 50 m	9,0		40,5		
	< 25 m	10,0		45,0		
Flow Accumulation	0-150.000	2,0		3,0	45,0	6,4
	150.000 - 550.000	4,0		6,0		
	550.000 - 1.200.000	6,0	1,5	9,0		
	1.200.000 - 2.500.000	8,0		12,0		
	2.500.000 - 5.450.000	10,0		15,0		
<b>JUMLAH</b>					<b>700,8</b>	<b>100,0</b>

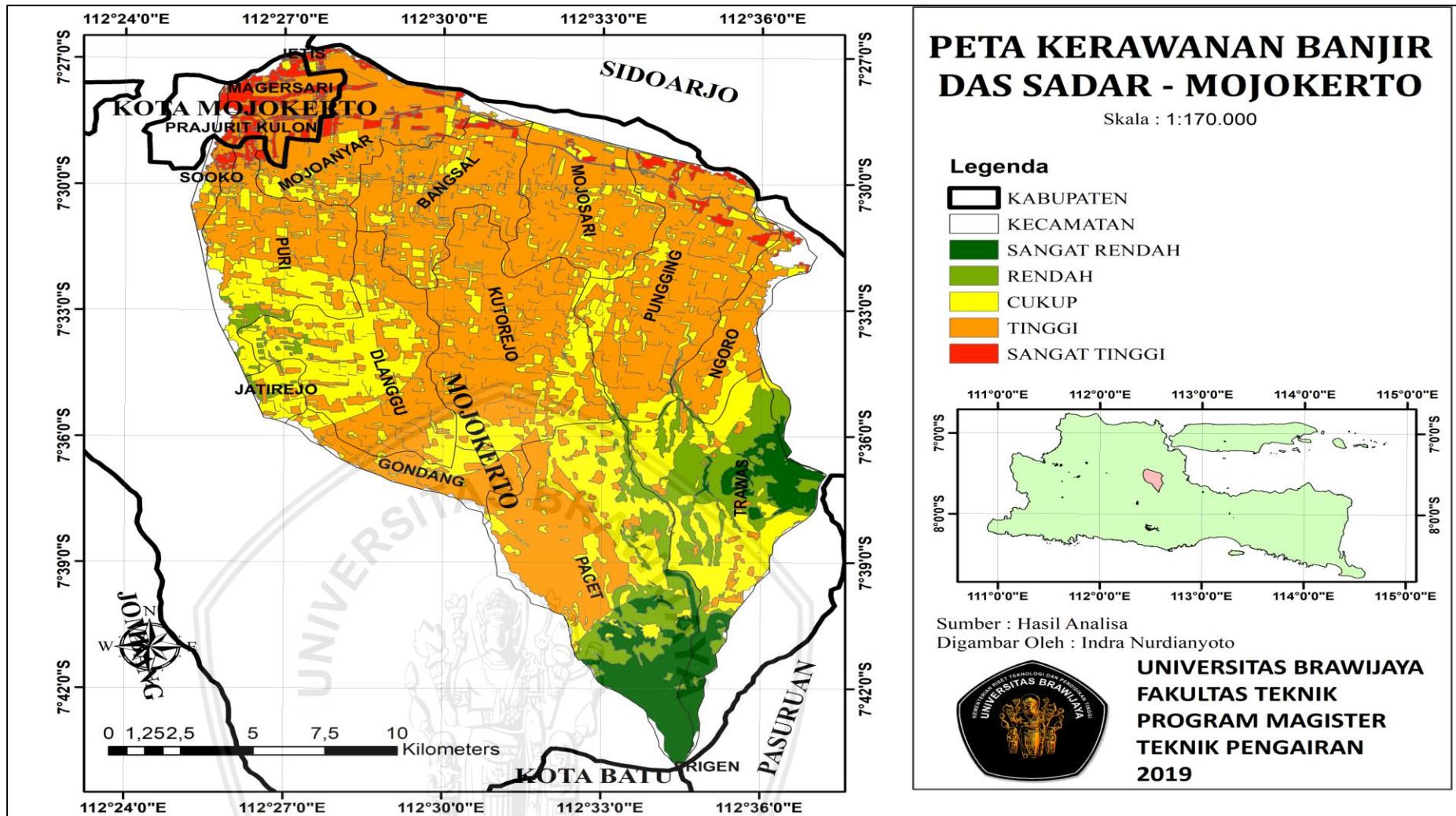
Sumber : Pengolahan Data

Pembobotan antara faktor menghasilkan nilai kontribusi masing-masing faktor dalam persentase nilai secara berurutan dari nilai terbesar yaitu faktor ketinggian lahan

sebesar 31,5%, penggunaan lahan sebesar 23,6%, jenis tanah sebesar 19,3%, curah hujan sebesar 11,8 %, kemiringan lereng sebesar 7,4%, dan akumulasi aliran (*flow accumulation*) 6,4%.

Faktor ketinggian Sub DAS Sadar memiliki daerah dengan 37% area di ketinggian < 50 mdpl dan berada disekitar sungai. Faktor penggunaan lahan Sub DAS Sadar sebanyak 73% area merupakan persawahan, gedung dan pemukiman dimana memiliki koefisien pengaliran tinggi. Faktor jenis tanah sebanyak 51% area klasifikasi kompleks regosol & litosol yaitu tanah dominasi lempung. Faktor curah hujan Sub DAS Sadar kumulatif rerata tahun 2012-2018 70% curah hujan intensitas  $> 1.900$  mm dan masuk kategori tinggi. Faktor kemiringan lereng memiliki 83% area datar/landai yaitu lereng kemiringan 0 – 8% dan faktor akumulasi aliran pada sungai terutama outlet memiliki tingkat kerawanan banjir tinggi.

Hasil penjumlahan keseluruhan bobot dan skor diperoleh nilai total bobot untuk kemudian diklasifikasi menjadi 5 kelas kerawanan bencana banjir yaitu sangat rendah – *very low*, rendah – *low*, cukup – *moderate*, tinggi – *high*, sangat tinggi – *very high* seperti Gambar 5.24.



Gambar 5.24 Peta kerawanan bencana banjir Sub DAS Sadar

Sumber : Hasil pengolahan data

Daerah kerawanan bencana banjir Sub DAS Sadar diklasifikasi menjadi 5 tingkat kerawanan banjir dengan luas area masing-masing tingkat sesuai batas administrasi Kecamatan, Kabupaten dan Kota Mojokerto sebagaimana tabel 5.49 .

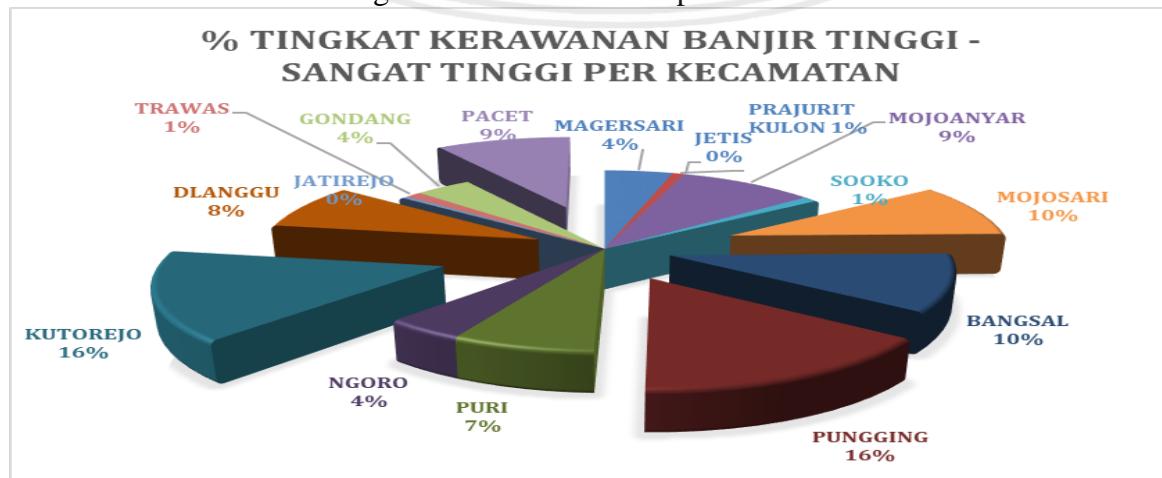
Tabel 5.49

No.	KECAMATAN	KAB./ KOTA	KLASIFIKASI				
			SANGAT RENDAH	RENDAH	CUKUP	TINGGI	SANGAT TINGGI
1	MAGERSARI	KOTA	-	-	0,1%	2,8%	32,5%
2	PRAJURIT KULON	KOTA	-	-	0,0%	0,3%	9,4%
3	JETIS	KAB.	-	-	-	0,0%	0,0%
4	MOJOANYAR	KAB.	-	-	3,7%	8,2%	22,6%
5	SOOKO	KAB.	-	-	0,5%	0,8%	3,9%
6	MOJOSARI	KAB.	-	-	3,8%	9,9%	3,4%
7	BANGSAL	KAB.	-	-	3,9%	10,6%	3,7%
8	PUNGGING	KAB.	-	0,7%	7,5%	15,5%	17,8%
9	PURI	KAB.	-	4,0%	11,1%	7,5%	4,2%
10	NGORO	KAB.	1,6%	3,4%	3,0%	4,2%	2,3%
11	KUTOREJO	KAB.	-	0,4%	10,3%	16,5%	-
12	DLANGGU	KAB.	-	2,7%	18,3%	8,4%	-
13	JATIREJO	KAB.	-	1,2%	2,7%	0,4%	-
14	TRAWAS	KAB.	43,8%	51,4%	16,8%	1,2%	-
15	GONDANG	KAB.	-	-	2,6%	3,9%	-
16	PACET	KAB.	54,6%	36,1%	15,7%	9,7%	-
<b>TOTAL</b>			<b>5,9%</b>	<b>7,4%</b>	<b>27,2%</b>	<b>56,4%</b>	<b>3,2%</b>

Persentase Luas Daerah Kerawanan Banjir Sub DAS Sadar

Sumber : Pengolahan Data

Berdasarkan tabel 5.49, Sub DAS Sadar memiliki tingkat kerawanan banjir “Sangat Rendah” sebesar 5,9%, “Rendah” sebesar 7,4%, “Cukup” sebesar 27,2%, “Tinggi” sebesar 56,4% dan “Sangat Tinggi” sebesar 3,2 %. Wilayah tingkat kerawanan banjir “Tinggi” dan “Sangat Tinggi” berada di Kecamatan Kutorejo, Pungging, Bangsal, Mojosari, serta Pacet berdasarkan luasan tingkat kerawanan terhadap luasan Sub DAS Sadar.



Gambar 5.25 % Tingkat kerawanan banjir klasifikasi tinggi dan sangat tinggi per kecamatan

Sumber : Hasil pengolahan data

Halaman ini sengaja dikosongkan



## BAB VI

### PENUTUP

#### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, kesimpulan penelitian sebagai berikut:

1. Penggunaan Aplikasi ArcGIS untuk analisis input data model HEC-HMS Sub DAS Sadar menggunakan *Digital Elevation Model*, penggunaan lahan dan jenis tanah diperoleh sebaran nilai bilangan kurva – *curve number* aliran komposit sebesar 73,785 – 85,594, nilai % *impervious area* sebesar 12,463 – 16,269, abstraksi awal – *initial abstraction* sebesar 8,550 – 18,049 mm waktu konsentrasi – *lag time* sebesar 102,054 – 223,656 menit, aliran dasar – *baseflow* sebesar 1,936 – 14,100 m<sup>3</sup>/dt, *routing* Muskingum K 5,52 jam dan X 0,21 terbagi di 6 wilayah Sub DAS Sadar.
2. Kalibrasi – validasi parameter model hidrologi HEC-HMS Sub DAS Sadar pada 30 kejadian banjir penelitian, parameter hidrologi *loss (initial abstraction, curve number)* *baseflow (initial baseflow discharge, recession constant, ratio to peak)*, *routing (muskingum k dan x)* serta *transform (lag time)*, dengan periode kalibrasi-validasi model HEC-HMS tahun 2013 - 2017 diperoleh nilai rerata model parameter statistik *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE) sebesar 0,608 (“Memuaskan”), parameter *Root Mean Squared Error (RMSE)-Standard Deviation Ratio (RSR)* sebesar 0,603 (“Memuaskan”), dan parameter *Percent Bias (PBIAS)* sebesar 0,08 % (“Sangat Baik”).
3. Parameter yang berpengaruh terhadap tingkat kerawanan banjir di Sub DAS Sadar dengan nilai pengaruh berurutan yaitu ketinggian lahan sebesar 31,5%, penggunaan lahan sebesar 23,6%, jenis tanah sebesar 19,3%, curah hujan sebesar 11,8%, kemiringan lahan sebesar 7,4%, dan akumulasi aliran (*flow accumulation*) sebesar 6,4%. Tingkat kerawanan bencana banjir Sub DAS Sadar periode tahun 2012 – 2018 dengan % luas tingkat kerawanan bencana “Sangat Rendah” sebesar 5,9%, “Rendah” 7,4%, “Cukup” 27,2%, “Tinggi” 56,4% dan “Sangat Tinggi” 3,2%.

## 6.2 Saran

Adapun saran yang dapat digunakan pada penelitian ini yaitu:

1. Perlunya penelitian lebih lanjut pengembangan Model Hidrologi HEC-HMS di Daerah Aliran Sungai sekitar sehingga diperoleh model Hidrologi DAS secara terpadu.
2. Perlunya penelitian lanjutan dalam pengelolaan wilayah Hulu Sub DAS Sadar sehingga dapat mengurangi besarnya debit banjir Sungai Sadar serta dapat mengurangi daerah kerawanan banjir Sub DAS Sadar.



## DAFTAR PUSTAKA

- Affandy, Nur Azizah et. al.,(2011). Permodelan Hujan-Debit Menggunakan Model HEC-HMS Di DAS Sampean Baru. Makalah dalam Seminar Nasional VII 2011 Teknik Sipil ITS. Surabaya.
- Anugrah, Angga PT., (2005). Study Normalisasi Sungai Kali Sadar Kabupaten Mojokerto. Surabaya: Kementerian Pekerjaan Umum.
- Arsyad, S. (2009). *Konservasi Tanah dan Air*. Bogor : Institut Pertanian Bogor Press.
- Asdak, Chay. (1995). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- BNPB. (2018). Info Bencana Edisi Desember 2017, Jakarta.
- Devianto, Vindha B. (2016). Pengendalian Banjir Di Sub DAS Jeroan Kabupaten Madiun. Malang : *Jurnal Teknik Pengairan*. 8 (2) : 181-191.
- ESRI. (2011). *Arc Hydro Geoprocessing Tools v 2.0 – Tutorial*. USA.
- Hadisusanto, Nugroho. (2011). *Aplikasi Hidrologi*. Malang: Jogja Media Utama.
- Harto, Sri. (1993). *Analisis Hidrologi*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Harto, Sri. (2000). *Hidrologi Teori Masalah Penyelesaian*. Yogyakarta: Nafiri Offset.
- Ideawati et. al., (2015). Analisis Perubahan Bilangan Kurva Aliran Permukaan (Runoff Curve Number) Terhadap Debit banjir di DAS Lesti. *Jurnal Teknik Pengairan*. 6 (1) : 37-45.
- Inayah, Astrina Nur. (2017). Simulasi Retensi Air Permukaan Menggunakan Model HEC-GEOHMS (Studi Kasus : DAS Ciliwung Hulu). Tesis. Bogor : Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Junaidi, Rahmat. (2015). *Modul Pelatihan Sistem Informasi Geografi*, Malang.
- Jyothi, Makkena, (2016). *Modelling the Hydrology of Watershed by Using HEC-HMS*. Tesis. India : Department of Irrigation and Drainage Engineering, Kelappaji College of Agricultural Engineering and Technology, Tavanur, Malappuram.
- Komputer, Wahana. (2017). *Tutorial Lengkap Menguasai ArcGIS 10*, Semarang : Penerbit Andi
- Kourgialas, et. al., (2011). *Flood management and a GIS Modelling Method to Assess Flood Hazard Areas – a Case Study*. Yunani: *Hydrological Science Journal*. 56 (2) :212-225.

- Kustamar. (2008). *Konsep, Strategi dan Contoh Pemodelan Hidrologi Daerah Aliran Sungai*. Malang : UM Press
- Limantara, Lily M., (2010). *Hidrologi Praktis*, Bandung: CV. Lubuk Agung.
- Limantara, Lily M., (2018). *Rekayasa Hidrologi Edisi Revisi*, Yogyakarta: Penerbit ANDI.
- Listyarini, Diah. (2017). Mitigasi Banjir DAS Citarum Hulu Berbasis Model HEC-HMS. Tesis. Bogor : Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Martha, Artiny. (2011). *Pemetaan Kawasan Berpotensi Banjir Menggunakan Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus Kabupaten Indramayu, Jawa Barat)*. Skripsi. Bogor : Mayor Manajemen Sumberdaya Lahan, Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Institus Pertanian Bogor.
- Moriasi, et. al., (2007). *Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulation*. USA : Jurnal ASABE. 50 (3) : 885-900.
- Moriasi, et. al., (2015). *Hydrologic and Water Quality Models : Performance Measures and Evaluation Criteria*. USA : Jurnal ASABE. 58 (6) : 1763-1785.
- Nurdiyanto (2015). Analisis Hujan Dan Tata Guna Lahan Terhadap Limpasan Permukaan Di Sub DAS Pekalen Kabupaten Probolinggo. Malang : *Jurnal Teknik Pengairan*. 7 (1) : 83-94.
- Ogania, et.al., (2019). *GIS – Effect of Digital Elevation Model's Resolution in Producing Flood Hazard Maps*. Filipina : *Global Journal of Environmental Science and Management*. 20 (8) : 95-106.
- Ouédraogo, et. al., (2018). *Continuous Modeling of the Mkurumudzi River Catchmentin Kenya Using the HEC-HMS Conceptual Model: Calibration, Validation, Model Performance Evaluation and Sensitivity Analysis*. Kenya : MDPI *Hydrology Journal*. 5 (44).
- Ozkan, et. al., (2016). *Detection of Flood Hazard in Urban Areas Using GIS : Izmir Case*. Turki: *Jurnal Procedia Technology*. 22 : 373-381.
- Pratiwi, Dimas T. (2011). Analisis Hidrograf Aliran Menggunakan HEC-HMS (Studi Kasus : DAS Citarum Hulu). Skripsi. Bogor : Departemen Geofisika dan Meteorologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.
- Primayuda, Aris. (2006). Pemetaan Daerah Rawan dan Risiko Banjir Menggunakan Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus Kabupaten Trenggalek, Propinsi Jawa Timur). Skripsi. Bogor : Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Institus Pertanian Bogor.

- Ramadan, et.al., (2017). Penentuan Hydrologic Soil Group untuk Perhitungan Debit banjir di Daerah Aliran Sungai Brantas Hulu. *Jurnal Sumber Daya Air*. 13 (2) :69-82.
- Roy, et.al., (2013). *Calibration and Validation of HEC-HMS Model for a River basin in Eastern India*. India : ARPN *Journal of Engineering and Applied Science*. 8 (1) : 33-49.
- Sardoii, et. al., (2012). *Callibration of Loss Estimation Methods in HEC-HMS for Simulation of Surface Runoff (Case Study : Amirkabir Dam Watershed, Iran)*. Iran : *Jurnal Advances in Environmental Biology*. 6 (1) : 343-348.
- Suherlan, Erlan. (2001). Zonasi Tingkat Kerentanan Banjir Kabupaten Bandung Menggunakan Sistem Informasi Geografis. Skripsi. Bogor : Jurusan Geofisika dan Meteorologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.
- Suhartanto, Ery. (2008). *Panduan HEC-HMS dan Aplikasinya di Bidang Teknik Sumberdaya Air*, Malang : CV. Citra Malang.
- Soemarto, C.D. (1987). *Hidrologi Teknik*. Jakarta: Erlangga.
- Sosrodarsono, S. (2003). *Hidrologi untuk Pengairan*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Soewarno. (1995). *Hidrologi Aplikasi Metode Statistik Untuk Analisa Data Jilid 2*. Jakarta: Nova
- Tassew et.al., (2019). *Application of HEC-HMS Model for Flow Simulation in the Lake Tana Basin : The Case of Gilgel Abay Catchment, Upper Blue Nile Basin, Ethiopia*. Ethiopia : MDPI *Hydrology Journal*. 6 (21).
- Triatmojo, Bambang. (2015). *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Universitas Gajahmada.
- US Army Corps of Engineers. (2000). *Hydrologic Modeling System HEC-HMS Technical Reference Manual*. USA.
- US Army Corps of Engineers. (2013). *HEC-GeoHMS Geospatial Hydrologic Modelling Extension User's Manual*. USA.
- US Department of Agriculture. (1986). *Urban Hydrology for Small watershed TR-55*. USA.
- US Department of Agriculture. (1997-2015). *Part 630 Hydrology National Engineering Handbook*. USA: Natural Resources Conservation Service.

