



**PEMODELAN PERUBAHAN TATAGUNA LAHAN TERHADAP DEBIT  
BANJIR DAS TANGGUL, JEMBER MENGGUNAKAN MODEL SWAT  
(*SOIL AND WATER ASSESSMENT TOOL*)**

(MODELING OF LAND USE CHANGES ON FLOOD IN TANGGUL  
WATERSHED, JEMBER USING SWAT MODEL)

**SKRIPSI**

Oleh

DIAH AINUNISA  
NIM. 161910301057

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL  
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2020



**PEMODELAN PERUBAHAN TATAGUNA LAHAN TERHADAP DEBIT  
BANJIR DAS TANGGUL, JEMBER MENGGUNAKAN MODEL SWAT  
(*SOIL AND WATER ASSESSMENT TOOL*)**

(MODELING OF LAND USE CHANGES ON FLOOD IN TANGGUL  
WATERSHED, JEMBER USING SWAT MODEL)

**SKRIPSI**

Diajukan guna memenuhi tugas akhir dan salah satu syarat untuk menyelesaikan  
Program Studi Strata I Jurusan Teknik Sipil dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

DIAH AINUNISA  
NIM. 161910301057

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL  
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2020

## PERSEMBAHAN

Puji syukur kepada Allah SWT telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya yang menjadi penuntun dalam setiap langkah kehidupan hingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Segenap ketulusan dan penuh rasa bangga saya persembahkan Tugas Akhir ini untuk:

1. Kedua orangtua, Bapak Noer Hariri dan Ibu Bahriyah yang selalu memberikan bantuan dalam bentuk moril maupun materil hingga saat ini. Terimakasih atas segala pengorbanan, kasih sayang dan doa terbaiknya disepanjang waktu;
2. Adik saya, Adam Dwi Alfiansyah yang selalu mengajarkan saya untuk menjadi anak dan kakak yang bertanggungjawab;
3. Keluarga saya yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu, terimakasih atas segala doa dan motivasinya;
4. Bapak Dr. Gusfan Halik, S.T., M.T dan Ibu Wiwik Yunarni Widiarti selaku dosen pembimbing akademik sekaligus pembimbing Tugas Akhir, terimakasih memberikan banyak bimbingan, arahan, ilmu pengetahuan dengan penuh kesabaran dan ketulusan disetiap waktunya.
5. Teman-teman seluruh Fakultas Teknik, terutama kepada teman-teman Prodi S1 Teknik Sipil 2016 (Biji Besi) yang telah memberikan banyak semangat dan motivasi sejak awal hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.
6. Guru-guru sejak TK hingga di Perguruan tinggi, atas jasa dan seluruh ilmu pengetahuannya.
7. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember

**MOTTO**

Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.

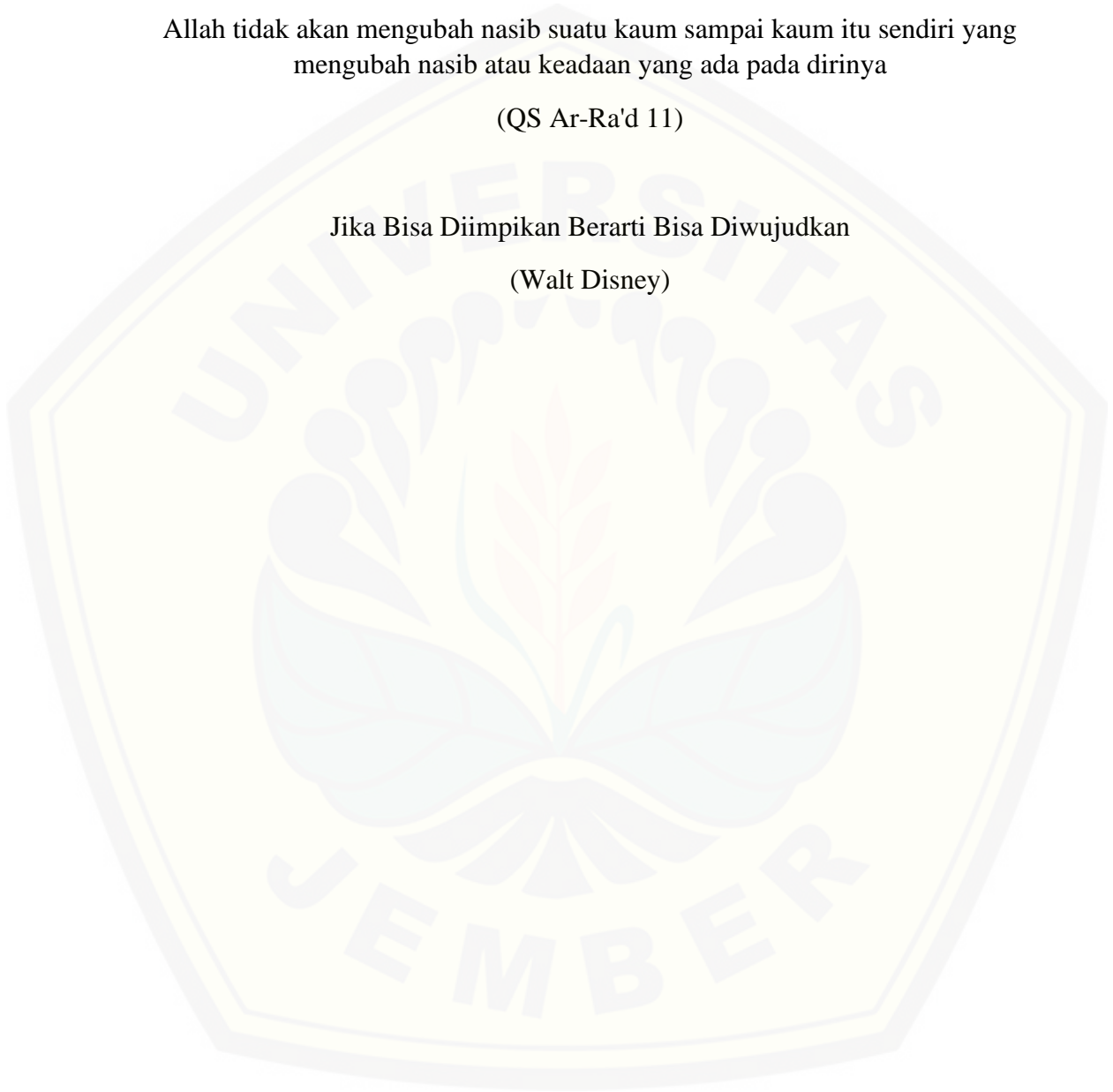
(QS. Alam Nasyroh: 6)

Allah tidak akan mengubah nasib suatu kaum sampai kaum itu sendiri yang mengubah nasib atau keadaan yang ada pada dirinya

(QS Ar-Ra'd 11)

Jika Bisa Diimpikan Berarti Bisa Diwujudkan

(Walt Disney)



**PERNYATAAN**

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Diah Ainunisa

NIM : 161910301057

Menyatakan dengan sungguh bahwa skripsi yang berjudul: *Pemodelan Perubahan Tataguna Lahan Terhadap Debit Banjir DAS Tanggul, Jember menggunakan Model SWAT (Soil and Water Assessment Tool)* adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam kutipan substansi disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada institusi manapun serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapatkan sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Januari 2020

Yang Menyatakan

Diah Ainunisa  
NIM. 161910301057

**SKRIPSI**

**PEMODELAN PERUBAHAN TATAGUNA LAHAN TERHADAP DEBIT  
BANJIR DAS TANGGUL, JEMBER MENGGUNAKAN MODEL SWAT  
(*SOIL AND WATER ASSESSMENT TOOL*)**

Oleh

DIAH AINUNISA

NIM. 161910301057

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama

: Dr. Ir. Gusfan Halik, M.T.

Dosen Pembimbing Anggota

: Ir. Wiwik Yunarni W., M.T.

PENGESAHAN

Tugas Akhir berjudul “Pemodelan Perubahan Tataguna Lahan Terhadap Debit Banjir DAS Tanggul, Jember menggunakan Model SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*)” telah diuji dan disahkan pada:

Hari, Tanggal : Kamis, 09 Januari 2020

Tempat : Fakultas Teknik, Universitas Jember

Tim Penguji

Pembimbing Utama (DPU)

Dr. Ir. Gusfan Halik, M.T  
NIP. 19710804 199803 1 002

Penguji 1

Retno Utami A.W., S.T., M.Eng, Ph.D  
NIP. 760017219

Pembimbing Anggota (DPA)

Ir. Wiwik Yunarni Widiarti, M.T  
NIP. 19700613 199803 2 001

Penguji 2

Ir. Sri Sukmawati, M.T  
NIP. 19650622 199803 2 001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik



Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM  
NIP. 19661215 199503 2 001

## PRAKATA

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Pemodelan Perubahan Tataguna Lahan Terhadap Debit Banjir DAS Tanggul, Jember menggunakan Model SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*)” dengan baik. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan Pendidikan Strata Satu Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Ibu Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember
2. Bapak Dr. Ir. Gusfan Halik, M.T, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Dosen Pembimbing Akademik sekaligus Dosen Pembimbing Utama Tugas Akhir
3. Ibu Dr. Anik Ratnaningsih, S.T., M.T, selaku Kepala Prodi S1 Teknik Sipil
4. Ibu Ir. Wiwik Yunarni Widiarti, M.T, selaku Dosen Pembimbing Anggota
5. Ibu Retno Utami Agung W, S.T., M.Eng, Ph.D, selaku Dosen Penguji I
6. Ibu Ir. Sri Sukmawati, M.T, selaku Dosen Penguji II
7. Kedua orangtua saya Bapak Noer Hariri dan Ibu Bahriyah yang selalu memberikan motivasi dan mendoakan dengan tulus serta penuh kasih sayang
8. Dinas PSDA Lumajang dan BPDAS Sidoarjo yang telah memberikan bantuan berupa data-data untuk kelengkapan Tugas Akhir
9. Serta semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu-persatu baik secara langsung maupun tidak langsung telah membantu dan memberikan semangat dan doa dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan Tugas Akhir ini. Penulis berharap, semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat.

Jember, Januari 2020

Penulis



## RINGKASAN

**Pemodelan Perubahan Tataguna Lahan Terhadap Debit Banjir DAS Tanggul, Jember menggunakan Model SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*); Diah Ainunisa, 161910301057; 2019; 99 halaman; Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember**

Perubahan tataguna lahan dapat meningkatkan debit banjir. Banjir merupakan salah satu bencana tahunan yang terjadi di DAS Tanggul. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh perubahan tataguna lahan terhadap debit banjir di DAS Tanggul menggunakan model SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*). Uji keandalan model SWAT pada penelitian ini menggunakan kalibrasi dan validasi yang dievaluasi terhadap nilai NSE dan R2.

Tahap kalibrasi 1 periode 2007-2010 menggunakan tataguna lahan 2009 menghasilkan nilai NSE sebesar 0.78 dan R2 sebesar 0.84 yang masuk dalam kategori sangat baik. Sedangkan pada tahap validasi 1 periode 2011-2012 menggunakan tataguna lahan 2009 mengalami kenaikan nilai NSE sebesar 0.87 dan R2 sebesar 0.91 juga masuk dalam kategori sangat baik.

Tahap kalibrasi 2 periode 2013-2016 menggunakan tataguna lahan 2017 menghasilkan nilai NSE sebesar 0.74 dan R2 sebesar 0.94 yang masuk dalam kategori baik. Sedangkan pada tahap validasi 2 periode 2017-2018 menggunakan tataguna lahan 2017 mengalami kenaikan nilai NSE sebesar 0.85 dan R2 sebesar 0.96 masuk dalam kategori sangat baik.

Tahap simulasi perubahan tataguna lahan pada penelitian ini menggunakan data tataguna lahan 2004, 2009, 2014 dan 2017. Analisis perbandingan tataguna lahan terhadap debit banjir hanya dilakukan terhadap perubahan tataguna lahan hutan. Hal ini dilakukan karena nilai perubahan tataguna lahan hutan konsisten mengalami penurunan dibandingkan tataguna lahan lainnya. Perubahan tataguna lahan hutan yang terjadi sebesar 3.58% dan nilai debit naik sebesar 2% dari debit awal. Berdasarkan hasil pemodelan ini, perubahan tataguna lahan berpengaruh signifikan terhadap nilai debit hasil model.

## SUMMARY

**Modeling of Land Use Changes On Flood in Tanggul Watershed, Jember Using SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) Model;** Diah Ainunisa, 161910301057; 2019; 99 pages; Department of Civil Engineering; Faculty of Engineering; University of Jember.

Land-use change can increase the value of run off. Flood is one of the annual disasters that occur in Tanggul watershed. This study aims to analyze the effect of land-use change on flood flow out in the Tanggul watershed using SWAT (Soil and Water Assessment Tool) model. The results of calibration and validation are evaluated against the values of NSE and  $R^2$ .

The first step of calibration for the 2007-2010 period using the 2009 land-use produced a value of  $NSE=0.78$  and  $R^2=0.84$  which included in the very good category. While in the first validation for the 2011-2012 period using the 2009 land-use, the value increased  $NSE=0.87$  and  $R^2=0.91$  also included in the very good category.

The second step of calibration for the 2013-2016 period using 2017 land-use produced a value of  $NSE=0.74$  and  $R^2=0.94$  which included in the good category. While in the second validation for the 2017-2018 period using the 2017 land-use the value increased  $NSE=0.85$  and  $R^2=0.96$  was included in the very good category.

The simulation step of land-use change in this study uses land-use data 2004, 2009, 2014 and 2017. Changes in forest land use occurred by 3.58% and the flow out value increased by 2% from the initial flow out. Based on the results of this model, land-use change significantly influences the discharge value of the model results.

DAFTAR ISI

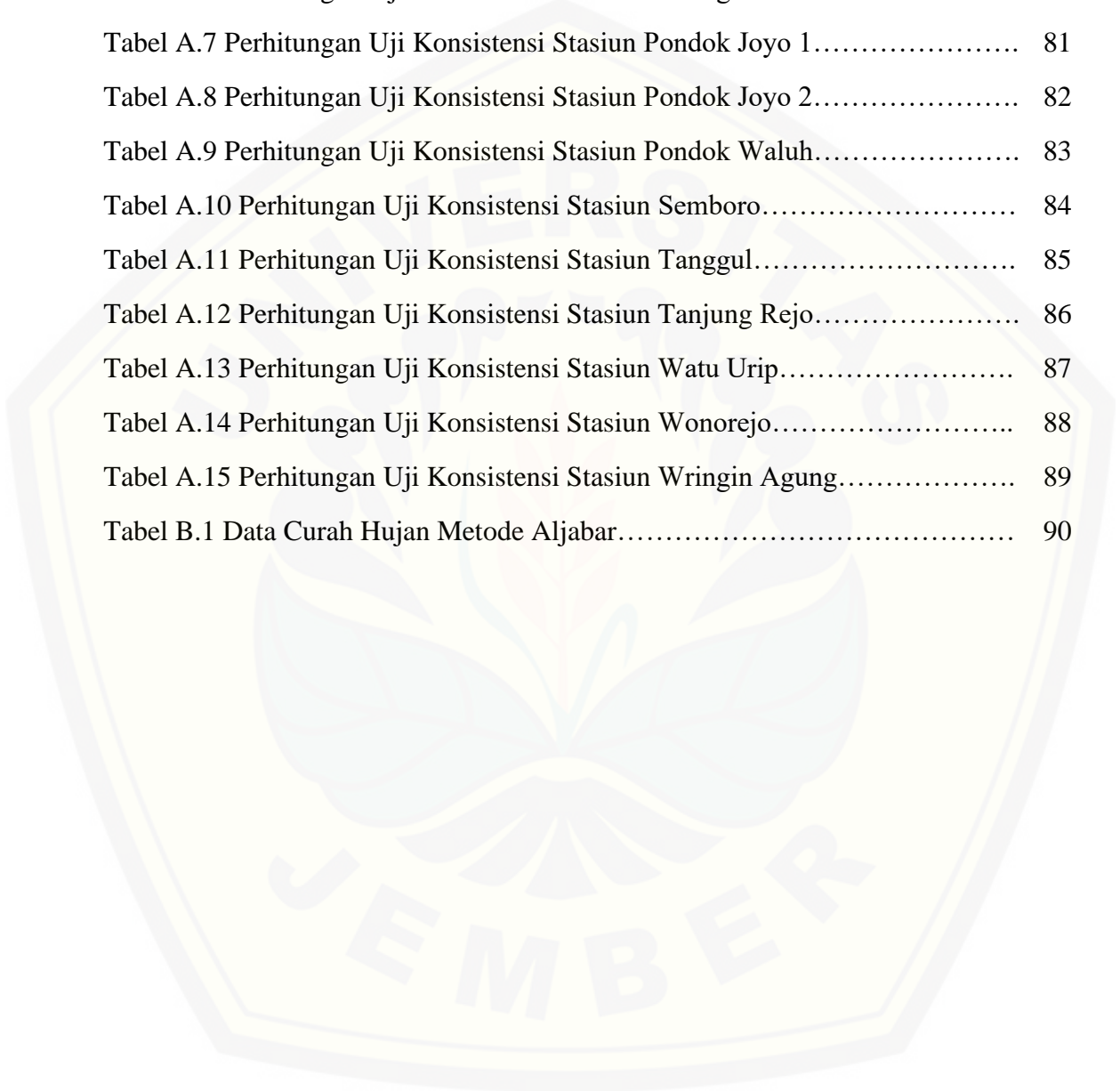
<b>HALAMAN SAMPUL</b> .....	i
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	ii
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	iii
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	iv
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	v
<b>HALAMAN PEMBIMBINGAN</b> .....	vi
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	vii
<b>PRAKATA</b> .....	viii
<b>RINGKASAN</b> .....	ix
<b>SUMMARY</b> .....	x
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiii
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Siklus Hidrologi.....	5
2.2 Daerah Aliran Sungai (DAS).....	7
2.3 Analisis Hidrologi.....	11
2.4 Model Hidrologi.....	16
2.5 Arc-SWAT ( <i>Soil and Water Assessment Tool</i> ).....	19

<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>24</b>
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	24
3.2 Pengumpulan Data.....	25
3.3 Tahapan Penelitian.....	25
3.4 Analisis Data.....	32
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>33</b>
4.1 Analisis Hidrologi.....	33
4.2 Pengecekan Data Curah Hujan Hilang.....	34
4.3 Pengecekan Kualitas Data Curah Hujan.....	34
4.4 Pengolahan Data Input ArcSWAT.....	37
4.5 Pemodelan ArcSWAT.....	44
4.6 Analisis Debit Banjir Terhadap Perubahan Tataguna Lahan.....	60
4.7 Uji Signifikansi Debit Hasil Pemodelan Perubahan Tataguna Lahan	70
<b>BAB 5. PENUTUP.....</b>	<b>71</b>
5.1 Kesimpulan.....	71
5.2 Saran.....	72
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>73</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>75</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai Koefisien Kekasaran Manning.....	14
Tabel 2.2 Faktor Aliran Dasar.....	14
Tabel 2.3 Nilai Konduktivitas Hidrolik Efektif.....	15
Tabel 2.4 Nilai Cn untuk Penggunaan Kelompok Tataguna Lahan.....	15
Tabel 2.5 <i>File Data Input</i> dalam SWAT untuk Analisis Hidrologi.....	21
Tabel 2.6 Kriteria Hasil Simulasi Nilai NSE dan R <sup>2</sup> .....	23
Tabel 4.1 Stasiun Hujan.....	33
Tabel 4.2 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Data Curah Hujan.....	34
Tabel 4.3 Rekapitulasi Hasil Uji Konsistensi.....	35
Tabel 4.4 Perhitungan Uji Konsistensi Stasiun Bedodo.....	36
Tabel 4.5 Tataguna Lahan DAS Tanggul.....	39
Tabel 4.6 Jenis Tanah DAS Tanggul.....	40
Tabel 4.7 Kemiringan Lereng DAS Tanggul.....	41
Tabel 4.8 Data Curah Hujan Metode Rerata Aljabar 2007.....	42
Tabel 4.9 Hasil Pembentukan Sub DAS.....	45
Tabel 4.10 Perbandingan Kondisi Simulasi Awal Model.....	48
Tabel 4.11 Kisaran Nilai Parameter.....	52
Tabel 4.12 Nilai Parameter Kalibrasi.....	52
Tabel 4.13 Hasil Simulasi Kalibrasi.....	53
Tabel 4.14 Nilai Debit Validasi Model.....	57
Tabel 4.15 Persentase Tataguna Lahan.....	61
Tabel 4.16 Debit Hasil Simulasi.....	63
Tabel 4.17 Perubahan Persentase tataguna Lahan Hutan.....	67
Tabel 4.18 Perubahan Debit Puncak Simulasi.....	68
Tabel 4.19 Perbandingan Persentase Tataguna Lahan terhadap Debit Puncak.....	69
Tabel 4.20 Hasil Uji T .....	70
Tabel A.1 Perhitungan Uji Konsistensi Stasiun Darungan.....	75
Tabel A.2 Perhitungan Uji Konsistensi Stasiun GumukMas KT.....	76

Tabel A.3 Perhitungan Uji Konsistensi Stasiun GumukMas BT.....	77
Tabel A.4 Perhitungan Uji Konsistensi Stasiun Kencong 1.....	78
Tabel A.5 Perhitungan Uji Konsistensi Stasiun Kencong 2.....	79
Tabel A.6 Perhitungan Uji Konsistensi Stasiun Pladingan.....	80
Tabel A.7 Perhitungan Uji Konsistensi Stasiun Pondok Joyo 1.....	81
Tabel A.8 Perhitungan Uji Konsistensi Stasiun Pondok Joyo 2.....	82
Tabel A.9 Perhitungan Uji Konsistensi Stasiun Pondok Waluh.....	83
Tabel A.10 Perhitungan Uji Konsistensi Stasiun Semboro.....	84
Tabel A.11 Perhitungan Uji Konsistensi Stasiun Tanggul.....	85
Tabel A.12 Perhitungan Uji Konsistensi Stasiun Tanjung Rejo.....	86
Tabel A.13 Perhitungan Uji Konsistensi Stasiun Watu Urip.....	87
Tabel A.14 Perhitungan Uji Konsistensi Stasiun Wonorejo.....	88
Tabel A.15 Perhitungan Uji Konsistensi Stasiun Wringin Agung.....	89
Tabel B.1 Data Curah Hujan Metode Aljabar.....	90



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Siklus Hidrologi.....	5
Gambar 2.2 Daerah Aliran Sungai.....	7
Gambar 2.3 Komponen Sistem Daerah Aliran Sungai.....	8
Gambar 3.1 DAS Tanggul.....	24
Gambar 3.2 Deliniasi Areal Penelitian.....	26
Gambar 3.3 Pembentukan HRU.....	27
Gambar 3.4 SWAT <i>Setup and Run</i> .....	28
Gambar 3.5 Diagram Alir Penelitian.....	29
Gambar 3.6 Diagram Alir <i>Arc-SWAT</i> .....	31
Gambar 4.1 Grafik Uji Konsistensi Stasiun Bedodo.....	36
Gambar 4.2 Peta <i>Digital Elevation Model</i> (DEM).....	37
Gambar 4.3 Peta Tataguna Lahan Tahun 2009.....	38
Gambar 4.4 Peta Tataguna Lahan Tahun 2017.....	39
Gambar 4.5 Peta Jenis Tanah.....	40
Gambar 4.6 Peta Kemiringan Lereng.....	41
Gambar 4.7 Peta Deliniasi DAS.....	44
Gambar 4.8(a) Peta <i>Overlay</i> DAS Tanggul 2009.....	46
Gambar 4.8(b) Peta <i>Overlay</i> DAS Tanggul 2017.....	46
Gambar 4.9 <i>Set Up Running</i> Model Tataguna Lahan 2009.....	47
Gambar 4.10 <i>Set Up Running</i> Model Tataguna Lahan 2017.....	47
Gambar 4.11 Grafik Kondisi Awal Model Tataguna Lahan 2009.....	50
Gambar 4.12 Grafik Kondisi Awal Model Tataguna Lahan 2017.....	50
Gambar 4.13 <i>Scatter plot</i> Kondisi Awal Tataguna Lahan 2009.....	51
Gambar 4.14 <i>Scatter plot</i> Kondisi Awal Tataguna Lahan 2017.....	51
Gambar 4.15 Grafik Kalibrasi Model Tataguna Lahan 2009.....	55
Gambar 4.16 Grafik Kalibrasi Model Tataguna Lahan 2017.....	55
Gambar 4.17 <i>Scatter Plot</i> Kalibrasi Model Tataguna Lahan 2009.....	56
Gambar 4.18 <i>Scatter Plot</i> Kalibrasi Model Tataguna Lahan 2017.....	56

Gambar 4.19 Grafik Hasil Validasi Model Tataguna Lahan 2009.....	58
Gambar 4.20 <i>Scatter Plot</i> Hasil Validasi Model Tataguna Lahan 2009.....	59
Gambar 4.21 Grafik Hasil Validasi Model Tataguna Lahan 2017.....	59
Gambar 4.22 <i>Scatter Plot</i> Hasil Validasi Model Tataguna Lahan 2017.....	60
Gambar 4.23 Tataguna Lahan 2009.....	61
Gambar 4.24 Tataguna Lahan 2011.....	62
Gambar 4.25 Tataguna Lahan 2014.....	62
Gambar 4.26 Tataguna Lahan 2017.....	63
Gambar 4.27 Grafik Perubahan tatguna Lahan Hutan.....	68
Gambar 4.28 Grafik Perubahan Debit Pemodelan.....	68
Gambar 4.27 Grafik Perbandingan Tataguna Lahan dengan Debit Puncak.....	69
Gambar A.1 Grafik Uji Konsistensi Stasiun Darungan.....	75
Gambar A.2 Grafik Uji Konsistensi Stasiun GumukMas KT.....	76
Gambar A.3 Grafik Uji Konsistensi Stasiun GumukMas BT.....	77
Gambar A.4 Grafik Uji Konsistensi Stasiun Kencong 1.....	78
Gambar A.5 Grafik Uji Konsistensi Stasiun Kencong 2.....	79
Gambar A.6 Grafik Uji Konsistensi Stasiun Pladingan.....	80
Gambar A.7 Grafik Uji Konsistensi Stasiun Pondok Joyo 1.....	81
Gambar A.8 Grafik Uji Konsistensi Stasiun Pondok Joyo 2.....	82
Gambar A.9 Grafik Uji Konsistensi Stasiun Pondok Waluh.....	83
Gambar A.10 Grafik Uji Konsistensi Stasiun Semboro.....	84
Gambar A.11 Grafik Uji Konsistensi Stasiun Tanggul.....	85
Gambar A.12 Grafik Uji Konsistensi Stasiun Tanjung Rejo.....	86
Gambar A.13 Grafik Uji Konsistensi Stasiun Watu Urip.....	87
Gambar A.14 Grafik Uji Konsistensi Stasiun Wonorejo.....	88
Gambar A.15 Grafik Uji Konsistensi Stasiun Wringin Agung.....	89



## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Menurut data Perserikatan Bangsa Bangsa (PBB) pada tahun 2018, penduduk Indonesia telah mencapai jumlah 266,79 juta jiwa. Berdasarkan data jumlah tersebut Indonesia berada di urutan keempat sebagai negara dengan populasi terbesar di dunia setelah Tiongkok, India dan Amerika Serikat. Diperkirakan populasi penduduk Indonesia akan terus mengalami pertumbuhan dan akan mencapai puncaknya pada tahun 2062 yaitu hingga mencapai jumlah 324,76 juta jiwa (<https://databoks.katadata.co.id/datapublish>). Berdasarkan publikasi survei jumlah penduduk yang dilakukan oleh Badan Kependudukan dan Keluarga Berencana Nasional (BKKBN) hingga tahun 2018 penduduk di Indonesia mengalami kenaikan sebesar 1,49% yang setara dengan empat juta penduduk setiap tahunnya (<https://regional.kompas.com>). Jember merupakan salah satu Kabupaten di Indonesia yang memiliki jumlah penduduk banyak, hingga 12 Maret 2015 berdasarkan data BPS (Badan Pusat Statistik) Kabupaten Jember dengan luas lahan 3.292 km<sup>2</sup>, Jember memiliki penduduk sebanyak 2,333 juta jiwa dan belum ditambah dengan penduduk rantau yang menetap di Jember untuk keperluan pendidikan, pekerjaan, maupun urusan lainnya.

Berdasarkan data pertumbuhan penduduk di atas maka kebutuhan penggunaan lahan juga semakin meningkat untuk dijadikan sebagai tempat tinggal maupun penunjang kebutuhan lainnya. Pengolahan tataguna lahan yang baik akan berbanding lurus dengan tingkat kesejahteraan penduduk sekitar lahan begitu pula sebaliknya. Namun sampai saat ini yang terjadi adalah semakin bertambahnya penduduk, lahan produksi semakin sedikit karena berubah menjadi tempat tinggal, pertokoan, maupun bangunan-bangunan lain yang dapat memicu timbulnya bencana alam banjir.

Banjir dapat terjadi akibat naiknya permukaan air karena curah hujan yang di atas normal, tanggul atau bendungan yang bobol, pencairan salju yang cepat, terhambatnya aliran air di tempat lain (Sebastian, 2008). Berdasarkan pengamatan, penyebab banjir secara umum diakibatkan oleh dua kategori yaitu banjir akibat alami

dan banjir akibat aktivitas manusia. Banjir akibat alami merupakan bencana alam yang timbul secara alami dan biasanya dipengaruhi oleh curah hujan, pengaruh air pasang, kapasitas sungai, fisiografi, kapasitas drainase, erosi dan sedimentasi. Sedangkan banjir akibat aktivitas manusia yaitu banjir yang disebabkan oleh ulah manusia yang menyebabkan perubahan-perubahan lingkungan seperti : rusaknya drainase lahan, perubahan kondisi dikarenakan kawasan pemukiman di sekitar bantaran, kerusakan bangunan pengendali banjir, rusaknya hutan, perubahan kondisi Daerah Aliran Sungai (DAS) dan perencanaan sistim pengendali banjir yang tidak tepat (Sebastian, 2008).

Setiap musim hujan banjir sering terjadi di Kabupaten Jember. DAS Tanggul yang berada di Kabupaten Jember termasuk salah satu DAS yang sering meluap pada saat musim hujan (<https://faktualnews.co/2019/01/08/antisipasi-banjir-susulan-tanggul-darurat-sungai-pojen-jember-selesaidikerjakan/117049/>). Luapan yang ditimbulkan dari aliran sungai yang sering terjadi ini dikarenakan curah hujan yang tinggi maupun akibat perubahan tataguna lahan di sekitar DAS Tanggul. Luapan yang terjadi dapat diidentifikasi melalui pendekatan beberapa pemodelan yang telah dilakukan seperti penelitian-penelitian yang telah ada sebelumnya.

Pemodelan yang dilakukan pada umumnya banyak menggunakan perangkat lunak atau *software* yang dapat memudahkan analisis terjadinya banjir. SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) merupakan model yang digunakan untuk memprediksi hidrologi suatu DAS, pengaruh penggunaan lahan terhadap aliran air, sedimen, dan zat kimia lainnya yang masuk ke sungai atau badan air dalam suatu DAS. Sebelumnya, model SWAT telah banyak diaplikasikan untuk memodelkan dampak perubahan tataguna lahan terhadap banjir di dalam dan luar negeri. Adapun beberapa DAS yang telah berhasil dimodelkan menggunakan SWAT dalam mengidentifikasi banjir akibat pengaruh tataguna lahan adalah sebagai berikut: Zanjanrood, Barat Daya Iran (Ghaffari, Keesstra, Ghodousi, & Ahmadi, 2010); Sungai Nzoia, Kenya (Githui, Mutua, & Bauwens, 2009); Sungai Njoro, Afrika Utara (Baker & Miller, 2013) ; Cihorang Pondok, Indonesia (Utamahadi, 2017) dan Sungai Sub-DAS Metro, Indonesia (Harifa dkk., 2017).

Berdasarkan latar belakang di atas, terjadinya bencana banjir dipengaruhi oleh perubahan tataguna lahan. Oleh karena itu, penelitian ini akan menganalisis pengaruh perubahan tataguna lahan terhadap debit banjir di DAS Tanggul menggunakan model SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*).

## 1.2 Rumusan Masalah

Perubahan tataguna lahan di DAS Tanggul akan memberikan dampak terhadap perubahan debit banjir. Berdasarkan identifikasi masalah ini maka dapat dibuat rumusan masalah sebagai berikut:

1. Berapa persentase perubahan tataguna lahan tahun 2004, 2009, 2014 dan 2017?
2. Bagaimana keandalan model SWAT dalam memodelkan hujan aliran?
3. Bagaimana pengaruh perubahan tataguna lahan terhadap debit banjir dengan model SWAT?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian adalah untuk:

1. Mengetahui persentase perubahan tataguna lahan tahun 2004, 2009, 2014 dan 2017
2. Menganalisis nilai keandalan model SWAT dalam memodelkan hujan aliran.
3. Menganalisis pengaruh perubahan tataguna lahan terhadap debit banjir berdasarkan hasil pemodelan dengan SWAT.

## 1.4 Manfaat Penelitian

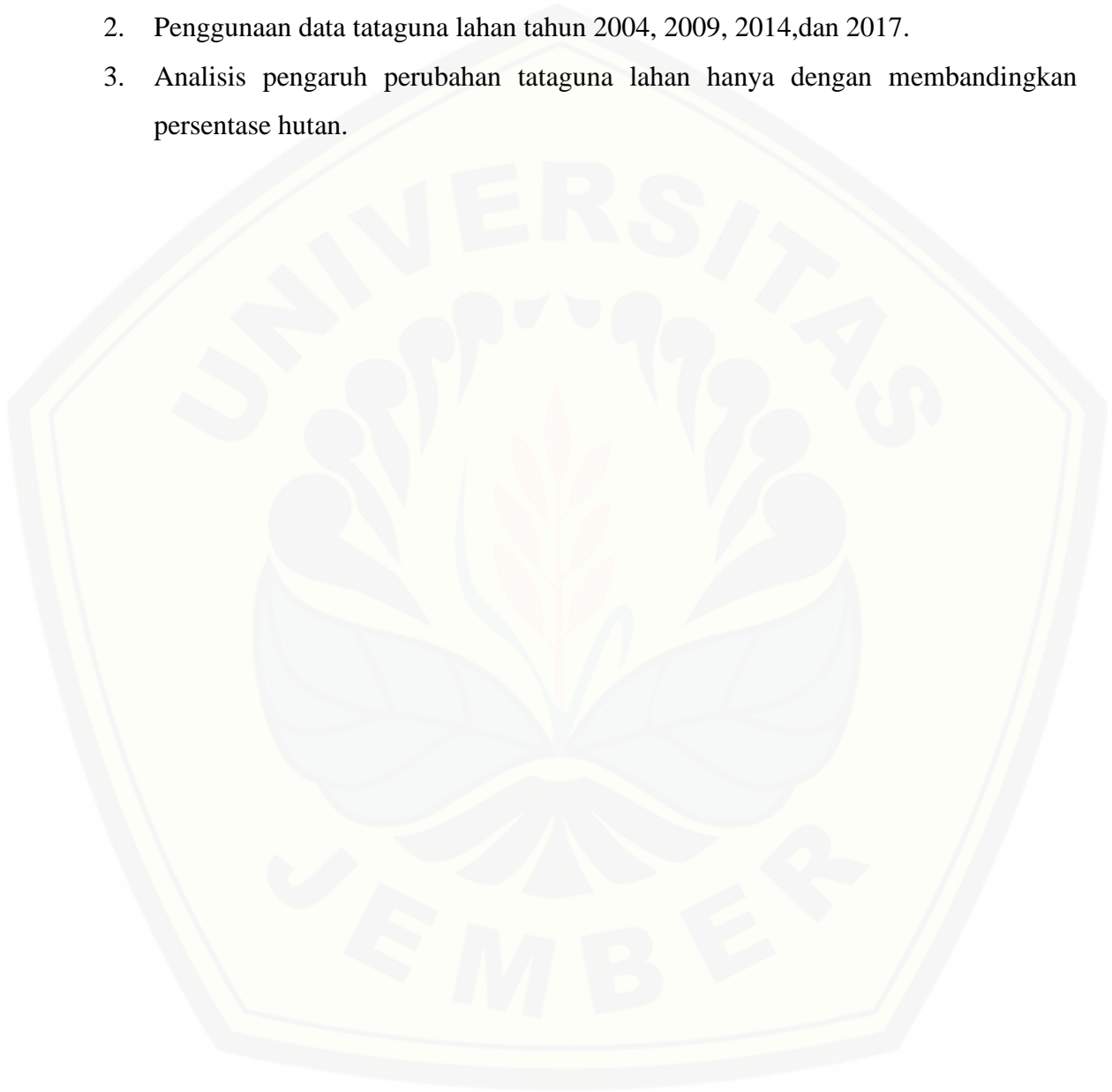
Adapun manfaat penelitian yang diharapkan dari penelitian ini, antara lain:

1. Memberikan informasi mengenai pengaruh perubahan tataguna lahan untuk dijadikan acuan perbaikan tataguna lahan sekitar DAS Tanggul.
2. Hasil pada penelitian dapat digunakan sebagai acuan rancangan perbaikan DAS Tanggul berupa perbaikan atau penambahan bangunan air.

### 1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Optimalisasi perencanaan pengaturan tataguna lahan untuk perbaikan tidak dibahas.
2. Penggunaan data tataguna lahan tahun 2004, 2009, 2014, dan 2017.
3. Analisis pengaruh perubahan tataguna lahan hanya dengan membandingkan persentase hutan.

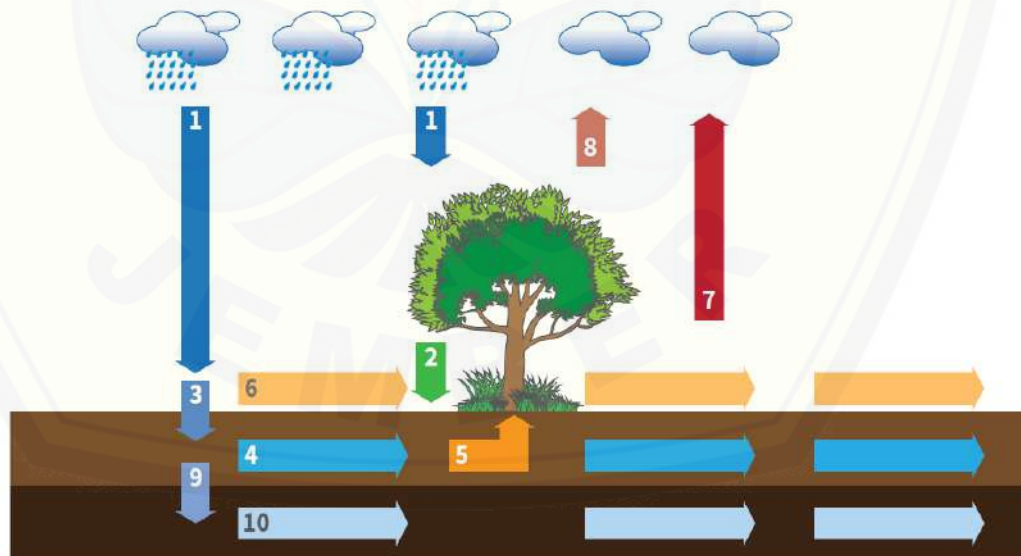


## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Siklus Hidrologi

Siklus hidrologi adalah sirkulasi air dari atmosfer ke bumi dan kembali lagi ke atmosfer melalui kondensasi, presipitasi, evaporasi dan transpirasi. Pemanasan air laut oleh sinar matahari merupakan kunci proses siklus hidrologi tersebut dapat berjalan secara kontinu. Air menguap, kemudian jatuh sebagai presipitasi dalam bentuk hujan, salju, hujan batu, hujan es dan salju, hujan gerimis atau kabut. Pada perjalanan menuju bumi air dapat berevaporasi kembali ke atas atau langsung jatuh yang kemudian diintersepsi oleh tanaman sebelum mencapai tanah. Setelah mencapai tanah, siklus hidrologi terus terjadi secara kontinu.

Siklus hidrologi memegang peran penting bagi kelangsungan hidup organisme bumi. Melalui siklus ini, ketersediaan air di daratan bumi dapat tetap terjaga, mengingat teraturnya suhu lingkungan, cuaca, hujan, dan keseimbangan ekosistem bumi dapat tercipta karena proses siklus hidrologi (Naharuddin, 2018). Tahapan siklus hidrologi dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Siklus Hidrologi(Tanika & Rahayu, 2016)

Adapun penjelasan mengenai proses terjadinya siklus hidrologi menurut Tanika dan Rahayu, 2016 berdasarkan Gambar 2.1 adalah sebagai berikut:

1. Hujan (*precipitation*) yaitu jatuhnya tetes-tetes uap air yang berasal dari awan
2. Intersepsi (*interception*) yaitu proses tertahannya air hujan oleh tanaman yang kemudian sampai ke permukaan tanah melalui aliran batang dan tetesan kanopi tanaman (*stemflow and throughfall*)
3. Infiltrasi (*infiltration*) yaitu proses meresapnya air ke dalam tanah
4. Aliran bawah permukaan (*sub-surface flow*) yaitu aliran air secara horizontal yang terjadi di bawah permukaan tanah
5. Penyerapan oleh tanaman (*uptake*) yaitu air tanah yang diserap atau digunakan oleh tanaman
6. Aliran limpasan permukaan (*surface flow*) yaitu air hujan yang mengalir secara horizontal yang terjadi di atas permukaan tanah. Aliran permukaan terjadi jika tanah sudah tidak mampu menyerap air yang jatuh ke atas permukaan tanah.
7. Evaporasi (*evaporation*) yaitu proses perubahan bentuk air ke dalam uap air dan membur di atmosfer yang kemudian membentuk kabut dan awan melalui proses kondensasi.
8. Transpirasi (*transpiration*) yaitu proses pelepasan uap air oleh tanaman ke atmosfer yang kemudian membentuk kabut dan awan melalui proses kondensasi
9. Perkolasi (*percolation*) yaitu aliran air dalam tanah secara vertikal melalui lapisan-lapisan tanah yang disebabkan oleh gaya gravitasi dan kapier.
10. Aliran dasar (*baseflow*) yaitu aliran air secara horizontal yang terjadi di lapisan *aquifer* yang mempunyai sifat aliran lambat.

## 2.2 Daerah Aliran Sungai (DAS)

Daerah aliran sungai (DAS) adalah suatu wilayah yang merupakan kesatuan ekosistem yang dibatasi oleh pemisah topografis dan berfungsi sebagai pengumpul, penyimpanan dan penyalur air, sedimen, unsur hara melalui sistem sungai, mengeluarkannya melalui outlet tunggal yaitu ke danau/laut (Naharuddin, 2018). Bentuk DAS (Daerah Aliran Sungai) dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Daerah Aliran Sungai (Naharuddin, 2018)

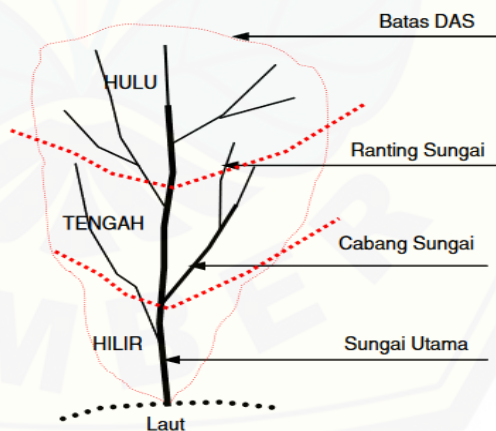
Menurut PP No 37 tentang Pengelolaan DAS, Pasal 1, Daerah Aliran Sungai yang biasa disebut DAS adalah suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya, yang berfungsi menampung, menyimpan dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau ke laut secara alami, yang batas di darat merupakan pemisah topografis dan batas di laut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan. DAS dalam bahasa Inggris disebut *Watershed* atau dalam skala luasan kecil disebut *Catchment Area* adalah suatu wilayah daratan yang dibatasi oleh punggung bukit atau batas-batas pemisah topografi, yang berfungsi menerima, menyimpan dan mengalirkan curah hujan yang jatuh di atasnya ke alur-alur sungai dan terus mengalir ke anak sungai dan ke sungai utama, akhirnya bermuara ke danau/waduk atau ke laut (Naharuddin, 2018).

Sub DAS adalah bagian dari DAS yang menerima air hujan dan mengalirkannya melalui anak sungai ke sungai utama. Setiap DAS terbagi habis ke dalam Sub DAS. Sub DAS adalah suatu wilayah kesatuan ekosistem yang terbentuk secara alamiah, air hujan meresap atau mengalir melalui cabang aliran sungai yang membentuk bagian wilayah DAS. Sub-sub DAS adalah suatu wilayah kesatuan ekosistem yang terbentuk secara alamiah, yaitu saat air hujan meresap atau mengalir

melalui ranting aliran sungai yang membentuk bagian dari Sub DAS. Daerah Tangkapan Air (DTA) adalah suatu kawasan yang berfungsi sebagai daerah penadah air yang mempunyai manfaat penting untuk mempertahankan kelestarian fungsi sumber air di wilayah daerah. Daerah Tangkapan Air (DTA) adalah kawasan di hulu danau yang memasok air ke danau.

Wilayah sungai adalah kesatuan wilayah tata pengairan sebagai hasil pengembangan satu atau lebih daerah pengaliran sungai. (Permen No 39/1989 Tentang pembagian wilayah sungai Pasal 1 ayat 1). Sungai adalah sistem pengaliran air mulai dari mata air sampai muara dengan dibatasi pada kanan dan kirinya serta sepanjang pengalirannya oleh garis sempadan (Permen No 39/1989 Tentang pembagian wilayah sungai Pasal 1 ayat 2).

Bagian Hulu DAS adalah suatu wilayah daratan bagian dari DAS yang dicirikan dengan topografi bergelombang, berbukit dan atau bergunung, kerapatan drainase relatif tinggi, merupakan sumber air yang masuk ke sungai utama dan sumber erosi yang sebagian terangkut menjadi sedimen daerah hilir. Bagian Hilir DAS adalah suatu wilayah daratan bagian dari DAS yang dicirikan dengan topografi datar sampai landai, merupakan daerah endapan sedimen atau aluvial. Adapun komponen sistem DAS dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Komponen Sistem Daerah Aliran Sungai (Naharuddin, 2018)



Macam macam DAS berdasarkan fungsi hulu, tengah dan hilir yaitu:

- a. Bagian hulu didasarkan pada fungsi konservasi yang dikelola untuk mempertahankan kondisi lingkungan DAS agar tidak terdegradasi, yang antara lain dapat diindikasikan dari kondisi tutupan vegetasi lahan DAS, kualitas air, kemampuan menyimpan air (debit), dan curah hujan.
- b. Bagian tengah didasarkan pada fungsi pemanfaatan air sungai yang dikelola untuk dapat memberikan manfaat bagi kepentingan sosial dan ekonomi, yang antara lain dapat diindikasikan dari kuantitas air, kualitas air, kemampuan menyalurkan air, dan ketinggian muka air tanah, serta terkait pada prasarana pengairan seperti pengelolaan sungai, waduk, dan danau.
- c. Bagian hilir didasarkan pada fungsi pemanfaatan air sungai yang dikelola untuk dapat memberikan manfaat bagi kepentingan sosial dan ekonomi, yang diindikasikan melalui kuantitas dan kualitas air, kemampuan menyalurkan air, ketinggian curah hujan, dan terkait untuk kebutuhan pertanian, air bersih, serta pengelolaan air limbah.

Menurut Suripin (2004), faktor meteorologi yang berpengaruh terhadap limpasan adalah karakteristik hujan yaitu intensitas hujan, durasi hujan, dan distribusi curah hujan.

1. Intensitas hujan

Intensitas hujan sangat tergantung pada laju infiltrasi. Jika intensitas hujan melebihi laju infiltrasi maka akan terjadi limpasan permukaan sejalan dengan peningkatan intensitas hujan. Intensitas hujan berpengaruh pada debit maupun volume limpasan.

2. Durasi hujan

Total limpasan berkaitan langsung dengan durasi hujan dengan intensitas tertentu. Setiap DAS memiliki satuan durasi hujan atau hujan kritis. Jika hujan yang terjadi lamanya kurang dari lama hujan kritis, maka lamanya limpasan akan sama dan tidak tergantung pada intensitas hujan.

### 3. Distribusi curah hujan

Secara umum, laju dan volume limpasan maksimum terjadi jika seluruh DAS telah memberi kontribusi aliran. Namun, hujan dengan intensitas tinggi pada sebagian DAS dapat menghasilkan limpasan yang lebih besar dibandingkan dengan hujan biasa yang meliputi seluruh DAS.

Faktor karakteristik DAS yang berpengaruh terhadap besarnya limpasan total diantaranya (Suripin, 2004) :

#### 1. Luas dan bentuk DAS

Laju dan volume aliran permukaan makin bertambah besar dengan bertambahnya luas DAS. Semakin besar luas DAS, semakin besar pula volume aliran permukaan. Bentuk DAS berpengaruh pada pola aliran dalam sungai. Bentuk DAS yang memanjang dan sempit akan menghasilkan aliran permukaan yang kecil dibanding dengan DAS yang memiliki bentuk melebar atau melingkar. Hal ini karena pada DAS yang memanjang, aliran permukaan akan membutuhkan waktu lama untuk terkonsentrasi pada suatu titik.

#### 2. Topografi

Topografi akan berpengaruh terhadap kemiringan lahan, keadaan dan kerapatan parit/saluran. Volume aliran permukaan akan lebih besar pada DAS yang memiliki kemiringan curam dan saluran yang rapat dibanding dengan DAS yang landai, terdapat cekungan-cekungan, dan jarak antar parit/saluran jarang.

#### 3. Tataguna lahan

Penggunaan lahan (*land use*) diartikan sebagai setiap bentuk intervensi (campur tangan) manusia terhadap lahan dalam rangka memenuhi kebutuhan hidupnya baik material maupun spiritual (Arsyad, 2006). Pengaruh tata guna lahan dinyatakan dengan koefisien aliran permukaan (C), yaitu perbandingan antara besar aliran permukaan dengan besar curah hujan. Dengan kisaran 0-1, semakin rusak suatu DAS, harga C mendekati satu yang berarti hampir semua air hujan mengalir sebagai aliran permukaan dan sedikit sekali yang terinfiltrasi ke dalam tanah.

### 2.3 Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi terhadap data curah hujan terdiri dari beberapa tahapan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui mengidentifikasi dan menghasilkan data yang baik agar dapat digunakan untuk proses pemodelan. Adapun tahapan analisis hidrologi adalah sebagai berikut:

#### 2.3.1 Curah Hujan Hilang

Data curah hujan hilang disebabkan oleh beberapa hal, seperti alat ukur yang rusak, tidak ada pengamatan, atau data pengamatan hilang. Perkiraan pengisian data hujan diperlukan untuk melengkapi data hujan yang hilang akibat kesalahan dalam pengamatan stasiun hujan, kerusakan alat dan kesalahan dalam pencatatan data. Pengisian data hujan hilang di stasiun x dapat dilakukan dengan penggunaan metode normal ratio yang dapat dilihat pada persamaan 2.1 (Soemarto, 1987). Data hujan pada penelitian ini diperoleh dari Dinas Pengelolaan Sumber Daya Air Lumajang.

$$D_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i \frac{A_{n_x}}{A_{n_i}} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dengan

$D_x$  = Data hujan hilang (mm)

$A_{n_x}$  = Tinggi hujan rata-rata pada stasiun x (mm)

$A_{n_i}$  = Tinggi hujan rata-rata pada stasiun hujan disekitas stasiun x (mm)

$d_i$  = Hujan pada saat yang sama dengan hujan yang akan dicari dari stasiun lain (mm)

$n$  = jumlah stasiun hujan disekitar stasiun x

#### 2.3.2 Uji Konsistensi Data Curah Hujan

Data hujan yang diperoleh dari lapangan perlu dilakukan pengecekan sebelum digunakan untuk analisis hidrologi lebih lanjut. Pengecekan data dapat dilakukan dengan melakukan uji konsistensi agar data tidak mengandung kesalahan dan mengandung data kosong.

Salah satu cara untuk uji konsistensi data hujan adalah dengan menggunakan metode analisis kurva massa ganda (*double mass curve analysis*) untuk data musiman atau tahunan dari suatu DAS. Dengan metode ini dapat diketahui data hujan yang tidak

konsisten. Langkah yang dilakukan adalah membandingkan nilai kumulatif curah hujan tahunan pada stasiun yang diuji dengan nilai kumulatif curah hujan tahunan pada stasiun pembanding disekitar yang memiliki kondisi meteorologi yang sama dengan stasiun yang diuji.

### 2.3.3 Curah Hujan Rerata

Hujan yang terjadi dapat merata diseluruh kawasan yang luas atau terjadi hanya bersifat setempat. Jika terjadi hujan setempat saja maka kita hanya bisa mendapatkan data curah hujan di area tersebut. Sedangkan dalam suatu daerah terdapat beberapa stasiun penakar atau pencatat data curah hujan, maka dapat diambil nilai rata-rata untuk mendapatkan nilai curah hujan rerata daerah tersebut. Analisis curah hujan rerata pada wilayah DAS Tanggul Kabupaten Jember menggunakan metode Rerata Aljabar (Soemarto,1999) pada persamaan 2.2.

$$d = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + \dots + d_n}{n} \dots\dots\dots(2.2)$$

dengan :

- $d$  = Tinggi curah hujan rata-rata daerah (mm)
- $d_1, d_2, \dots, d_n$  = Tinggi curah hujan pada stasiun hujan 1, 2, ..., n (mm)
- $n$  = Jumlah stasiun hujan

### 2.3.4 Debit Aliran

Debit aliran merupakan komponen yang penting dalam pengelolaan suatu DAS, definisi debit atau aliran sungai adalah laju aliran air (dalam bentuk volume air) yang melewati suatu penampang melintang per satuan waktu dalam sistem satuan SI besarnya debit dinyatakan dalam satuan meter kubik per detik ( $m^3/dt$ ). Dalam laporan-laporan teknis, debit aliran biasanya ditunjukkan dalam bentuk hidrograf aliran.

Hidrograf aliran adalah suatu perilaku sebagai respon adanya perubahan karakteristik biogeofisik yang berlangsung dalam suatu DAS (oleh adanya kegiatan pengelolaan DAS) (Djuniardi, 2012). Nilai debit aliran pada suatu DAS sangat dipengaruhi oleh banyak faktor diantaranya intensitas curah hujan, tataguna lahan,

topografi, jenis tanah, kemiringan lereng, pola aliran (bentuk dan luas), serta faktor lain seperti karakter sungai dan drainase buatan.

Salah satu analisis debit aliran mengenai pengaruh perubahan tata guna lahan dapat dilakukan dengan perhitungan terhadap bilangan kurva aliran CN (*Curve Number*) sebagai salah satu variabel penentu perubahan di DAS. Salah satu metode yang telah dikembangkan SCS (*Soil Conservation Service*) dengan memperhatikan CN (*Curve Number*) yang merupakan fungsi dari karakteristik DAS seperti tipe tanah, tanaman penutup, tataguna lahan, kelembaban dan cara pengerjaan tanah.

Metode SCS dikembangkan dari hasil pengamatan curah hujan selama bertahun-tahun dan melibatkan banyak daerah pertanian di Amerika Serikat. Metode ini berusaha mengkaitkan karakteristik DAS seperti tanah, vegetasi, dan tata guna lahan dengan bilangan kurva air larian CN.

Metode CN didasarkan atas hubungan infiltrasi pada setiap jenis tanah dengan jumlah curah hujan yang jatuh pada setiap kali hujan. Total curah yang jatuh pada setiap hujan (P) di atas tanah dengan NSE maksimal tanah untuk menahan (*retention*) air (S) tertentu, akan terbagi menjadi tiga komponen; Air larian (Q), Infiltrasi (F) dan Abstraksi awal (*Initial Abstraction: Ia*), dengan hubungan (Chow, 1988). Rumus perhitungan awal Q dapat dilihat pada persamaan 2.3.

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a + S)} \dots\dots\dots (2.3)$$

dengan:

Q = Volume Limpasan permukaan (mm)

Ia = Abstraksi awal (*initial abstraction*)

P = Hujan harian (mm)

S = Volume dari total simpanan permukaan (*retention parameter*) (mm)

Penentuan kedalaman dari curah hujan berlebih (*depth excess rainfall*) atau limpasan permukaan dapat ditunjukkan dalam persamaan diatas dengan korelasi nilai Ia dengan S (Chow, 1988). Rumus korelasi nilai Ia data dilihat pada persamaan 2.4.

$$I_a = 0.2 S \dots\dots\dots (2.4)$$

Sehingga persamaan 2.3 dapat dijabarkan dengan persamaan 2.4, sehingga menghasilkan persamaan yang dapat ditulis seperti pada persamaan 2.5.

$$Q = \frac{(P-0.2S)^2}{(P+0.8S)} \dots\dots\dots(2.5)$$

Nilai debit aliran dipengaruhi oleh beberapa parameter, setiap DAS memiliki nilai parameter yang berbeda karena karakteristik yang berbeda. Beberapa karakteristik tersebut meliputi koefisien kekasaran manning, nilai konduktivitas hidrolis efektif serta faktor aliran tersebut yang dapat dilihat pada Tabel 2.1 – 2.3.

Tabel 2.1 Nilai Koefisien Kekasaran Manning

No	Koefisien Saluran	Nilai Kekasaran Manning	
		Rata-rata	Kekasaran
1	Sudah dikeruk atau digali		
	a. Terpelihara, lurus, seragam	0.025	0.016-0.033
	b. Terpelihara, berbelok, tidak seragam	0.035	0.023-0.05
	c. Tidak terpelihara dan banyak tanaman liar	0.075	0.04-0.14
2	Alami		
	a. Sedikit tanaman dan berbatu	0.05	0.025-0.065
	b. Banyak pohon dan berbatu	1	0.05-0.15

Sumber: *Theoretical Documentation ArcSWAT*, 2012

Tabel 2.2 Faktor Aliran Dasar

No	Respon Aliran	Kisaran
1	Lahan memiliki respon lambat terhadap perubahan aliran bawah tanah	0.00-0.30
2	Lahan memiliki respon sedang terhadap perubahan aliran bawah tanah	0.31-0.89
3	Lahan memiliki respon cepat terhadap perubahan aliran bawah tanah	0.90-1.00

Sumber: *Theoretical Documentation ArcSWAT*, 2012

Tabel 2.3 Nilai Konduktivitas Hidrolik Efektif

No	Kelompok Aliran Dasar	Karakteristik Material Dasar	Kecepatan Kehilangan (mm/jam)
1	Kecepatan kehilangan sangat cepat	Tidak ada kerikil dan pasir dengan ukuran besar	> 127
2	Kecepatan kehilangan cepat	Sedikit mengandung kerikil dan pasir	51-127
3	Kecepatan kehilangan sedang	Campuran kerikil dan pasir dengan kandungan liat-debu rendah	25-76
4	Kecepatan kehilangan rendah	Campuran kerikil dan pasir dengan kandungan liat-debu sedang	6-25
5	Kecepatan kehilangan sangat rendah	Campuran kerikil dan pasir dengan kandungan liat-debu tinggi	0.025-2.5

Sumber: *Theoretical Documentation ArcSWAT*, 2012

Dalam memudahkan perhitungan kelembapan awal (*antecedent moisture condition*), tata guna lahan dan konservasi tanah, US SCS menentukan besarnya S yang ditunjukkan pada persamaan 2.6.

$$S = 25.4 \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right) \dots\dots\dots(2.6)$$

Nilai CN pada persamaan 2.6 merupakan bilangan kurva untuk berbagai kompleks penutup/penggunaan tanah yang dapat dilihat pada Tabel 2.4

Tabel 2.4 Nilai CN untuk Penggunaan Kelompok Tutupan Lahan

No	Penggunaan Kelompok Tutupan Lahan	Kode SWAT	Kelompok Jenis Tanah			
			A	B	C	D
1	Tegalan	RNGB	67	78	85	89
2	Hutan	FRST/FRSE	36	60	73	79
3	Tanah Kosong	OAK	39	61	74	80
4	Kebun Campur	ORCD	32	58	72	79
5	Sawah	RICE	61	73	81	84
6	Pemukiman	URBN	31	59	72	79

Sumber: *Theoretical Documentation ArcSWAT*, 2012

## 2.4 Model Hidrologi

Model adalah representasi atau gambaran dari suatu keadaan (*states*), obyek (*objects*), dan kejadian (*events*). Representasi tersebut harus diungkapkan dalam bentuk yang sederhana, yaitu dengan mengeliminasi atau meminimalkan variabel-variabel lain yang rumit dan tidak terkait secara langsung dengan model tersebut. Representasi tersebut dinyatakan dalam bentuk sederhana yang dapat dipergunakan untuk berbagai macam tujuan penelitian.

Menurut Brooks dkk., (1987), Model hidrologi merupakan gambaran sederhana dari suatu sistem hidrologi yang aktual. Model hidrologi biasanya dibuat untuk mempelajari fungsi dan respon suatu DAS dari berbagai masukan DAS. Model hidrologi dapat mempelajari kejadian-kejadian hidrologi yang pada dapat digunakan untuk memprediksi kejadian hidrologi yang akan terjadi. Harto (1993), model hidrologi adalah sebuah sajian sederhana (*simple representation*) dari sebuah sistem hidrologi yang kompleks.

Harto (1993) mengemukakan bahwa tujuan penggunaan suatu model dalam hidrologi, antara lain sebagai berikut :

- a) peramalan (*forecasting*) menunjukkan besaran maupun waktu kejadian yang dianalisis berdasar cara probabilistik;
- b) perkiraan (*predicting*) yang mengandung pengertian besaran kejadian dan waktu hipotetik (*hypotetical future time*);
- c) sebagai alat deteksi dalam masalah pengendalian;
- d) sebagai alat pengenalan (*identification*) dalam masalah perencanaan;
- e) ekstrapolasi data/informasi;
- f) perkiraan lingkungan akibat tingkat perilaku manusia yang berubah/meningkat;
- g) penelitian dasar dalam proses hidrologi.



#### 2.4.1 Klasifikasi Model Hidrologi

Harto (1993) mengemukakan bahwa secara umum model dapat dibagi dalam tiga kategori, yaitu :

- a) model fisik yang menerangkan model dengan skala tertentu untuk menirukan prototipenya;
- b) model analog yang disusun dengan menggunakan rangkaian resistor-kapasitor untuk memecah persamaan-persamaan diferensial yang mewakili proses hidrologi;
- c) model matematik yang menyajikan sistem dalam rangkaian persamaan dan kadang-kadang dengan ungkapan-ungkapan yang menyajikan hubungan antar variabel dan parameter.

#### 2.4.2 Jenis Model

Sinukaban (1995) mengemukakan bahwa sebagai suatu sistem hidrologi, DAS meliputi jasad hidup, lingkungan fisik dan kimia yang berinteraksi secara dinamik, yang di dalamnya terjadi kesetimbangan dinamik antara energi dan material yang masuk dengan energi dan material yang keluar. Dalam keadaan alami, energi matahari, iklim di atas DAS dan unsur-unsur endogenik di bawah permukaan DAS merupakan masukan (*input*). Sedangkan air dan sedimen yang keluar dari muara DAS serta air yang kembali ke udara melalui evapotranspirasi adalah keluaran (*output*) DAS.

Model USLE (*Universal Soil Loss Equation*), MUSLE (*Modified USLE*), RUSLE (*Revised USLE*), CREAMS (*Chemical Runoff And Erosion From Agricultural Management System*) dan GLEAMS (*Groundwater Loading Effect of Agricultural Management System*), tergolong dalam *lumped parameter*, yaitu model yang mentransformasi curah hujan (*input*) ke dalam aliran permukaan (*output*) dengan konsep bahwa semua proses dalam DAS terjadi pada satu titik spasial. WEPP (*Water Erosion Predicting Project*), KINEROS (*Kinematic Erosion Simulation*), EUROSEM (*European Soils Erosion Model*), TOP MODEL (*Topografically And Physically Based, Variable Contributing Area Model of Basin Hydrology*) dan ANSWERS (*Areal*

*Nonpoint Source Watershed Environmental Response Simulation*) tergolong *distributed* parameter, yaitu model yang berusaha menggambarkan proses dan mekanisme fisik dan keruangan, memperlakukan masing komponen DAS atau proses sebagai komponen mandiri dengan sifatnya masing-masing. Model tersebut secara teori sangat memuaskan, tetapi data lapangan sering terbatas untuk mengkalibrasi dan memverifikasi hasil simulasi.

Model HEC-1 adalah event model yang mensimulasikan respon hujan tunggal sebagai *input* data. Sedangkan SWM-IV (*Stanford Watershed Model*) dan SWMM (*Storm Water Management Model*) merupakan *continous model* yang didasarkan pada persamaan kesetimbangan air dalam jangka yang lebih panjang. Model tersebut cocok untuk digunakan pada DAS yang memiliki ukuran yang lebih luas.

Model AGNPS (*Agricultural Non Point Source Pollution Model*) merupakan gabungan antara model distribusi dan model sekuensial. Sebagai model distribusi, penyelesaian persamaan keseimbangan massa dilakukan serempak untuk semua sel. Sedangkan sebagai model sekuensial, air dan cemaran ditelusuri dalam rangkaian aliran dipermukaan lahan dan di saluran secara berurutan (Pawitan, 1999).

Model SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) adalah model yang dikembangkan untuk memprediksi dampak pengelolaan lahan (*land management practices*) terhadap air, sedimen dan bahan kimia pertanian yang masuk ke sungai atau badan air pada suatu DAS yang kompleks, dengan tanah, penggunaan tanah dan pengelolaannya yang bermacam-macam sepanjang waktu yang lama (Arsyad, 2006).

### 2.5 Arc-SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*)

*Soil and Water Assessment Tools* yang disingkat SWAT adalah model prediksi untuk skala daerah aliran sungai (DAS). Analisis hidrologi akan dilakukan dengan menggunakan *software* MW-SWAT 1.5SR yang pertama kali dikembangkan oleh Dr. Jeff Arnold untuk *Agricultural Research Service* (ARS) dari USDA (Thinkuser & Group, 2008). SWAT dikembangkan untuk memprediksi dampak praktek pengolahan lahan (*land management practices*) terhadap air, sedimen, dan bahan kimia pertanian yang masuk ke sungai atau badan air pada suatu DAS yang kompleks dengan tanah, penggunaan lahan dan pengelolaannya yang bermacam-macam sepanjang waktu yang lama. SWAT digunakan untuk memprediksi pengaruh jangka panjang, bukan memprediksi hasil untuk suatu kejadian hujan atau suatu peristiwa banjir.

SWAT memungkinkan sejumlah proses fisik (*physical processes*) yang berbeda untuk disimulasikan pada suatu DAS. Untuk pemodelan, suatu DAS dibagi menjadi beberapa sub-basin. Sub-basin adalah pembagian atau pengelompokan berdasarkan kesamaan penggunaan lahan dan tanah atau sifat lain yang berpengaruh terhadap hidrologi. Informasi masukan untuk setiap sub-basin dikelompokkan atau disusun kedalam kategori berikut : iklim, unit respon hidrologi (*Hydrologic Response Unit/HRU*), genangan/basahan, air bawah tanah, dan saluran utama yang men-drainase sub-basin. HRU adalah kelompok lahan di dalam sub-basin yang memiliki kombinasi tanaman penutup, tanah, dan pengelolaan yang unik. Penggambaran DAS sebagai areal penelitian dilakukan menggunakan *Digital Elevation Model* (DEM). DEM merupakan suatu model digital yang mempresentasikan permukaan topografi bumi secara tiga dimensi dengan menggunakan data elevasi tempat. *Digital Elevation Model* (DEM) membatasi areal penelitian berdasarkan topografi alaminya. Dari data DEM, dapat diperoleh data terrain, yaitu data model tiga dimensi yang mempresentasikan atribut terrain seperti elevasi, *slope*, drainase (Usman dkk, 2008). DEM diturunkan dari data penginderaan jauh, yaitu *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM).

Untuk mendapatkan *Hydrology Response Unit* (HRU) sebagai unit analisis, dilakukan tumpang tindih (*overlay*) antara peta tanah dengan peta penggunaan lahan. HRU yang terbentuk selanjutnya dihubungkan dengan data iklim yang sudah diubah

dalam format *database*. Simulasi dijalankan setelah periode simulasi ditentukan. SWAT merupakan model hidrologi berbasis proses fisik (*physical based model*), sehingga memungkinkan sejumlah proses fisik yang berbeda untuk disimulasikan pada suatu DAS. Proses fisik yang berhubungan dengan pergerakan air, sedimen, pertumbuhan tanaman, siklus hara dan sebagainya yang terjadi pada DAS yang disimulasikan model SWAT. Untuk mensimulasikan proses tersebut model memerlukan informasi spesifik tentang iklim, sifat-sifat tanah, topografi, vegetasi dan praktek pengolahan lahan yang terjadi. Proses dimodelkan SWAT yang terjadi didalam DAS didasarkan pada neraca air. Rumusan neraca yang berlaku pada model SWAT ditunjukkan pada persamaan 2.7.

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - w_{seep} - Q_{gw}) \dots \dots \dots (2.7)$$

dengan:

SWt = kandungan air tanah akhir (mm)

Swo = kandungan air tanah permulaan hari 1 (mm)

t = waktu (hari)

Rday = jumlah curah hujan pada hari i (mm)

Qsurf = jumlah aliran permukaan pada hari i (mm)

Ea = jumlah evapotranspirasi pada hari i (mm)

Wseep = jumlah air yang masuk ke dalam zone vadose pada profil tanah pada hari i (mm)

Qgw = jumlah air yang merupakan air kembali (mm)

Simulasi hidrologi DAS dengan menggunakan SWAT dapat dibagi menjadi dua bagian utama. Bagian pertama adalah fase lahan pada siklus hidrologi dan kedua adalah fase pergerakan air pada siklus hidrologi. Pada fase lahan yaitu mengontrol jumlah air, sedimen, hara dan pestisida yang masuk ke sungai. Pada fase pertama ini merupakan fase lahan dari siklus hidrologi yang dapat dilihat pada tingkat sub DAS dan HRUs. Pada tingkat Sub-DAS dan HRU, informasi yang diperoleh meliputi jumlah curah hujan, evapotranspirasi, kandungan air tanah, perkolasi, aliran permukaan, aliran dasar, aliran lateral, dan total hasil air yang masuk kedalam saluran utama pada setiap sub-basin selama periode simulasi.

Fase kedua adalah fase pergerakan air (fase air) pada siklus hidrologi yang didefinisikan sebagai pergerakan air, sedimen, hara dan pestisida melalui jaringan sungai sampai ke *outlet* (Neitsch dkk., 2011). Pada fase ini dapat diperoleh informasi jumlah aliran yang masuk dan keluar sungai utama, Jumlah air yang hilang melalui penguapan dan rembesan selama periode simulasi (Arsyad, 2006). Penggunaan *software* MWSWAT saat ini sudah cukup menjadi tuntutan untuk menganalisis perkembangan hidrologi dan sifat tanah dengan lebih teliti karena penggunaannya yang praktis dan akurat. Pada analisis hidrologi dalam SWAT, terdapat 17 *File* input yang harus disiapkan, terangkum dalam Tabel 2.5.

Tabel 2.5 *File Data Input* dalam SWAT untuk Analisis Hidrologi

Nama <i>File</i>	Fungsi
CIO	<i>File</i> untuk mengontrol data input dan output
COD	Mengontrol <i>File</i> input dan output
FIG	Mengidentifikasi jaringan hidrologi sungai
BSN	Mengontrol keragaman parameter di tingkat DAS
SUB	Mengontrol keragaman parameter di tingkat Sub DAS
HRU	Mengontrol keragaman parameter di tingkat HRU
GW	<i>File</i> air bawah tanah
RTE	<i>File</i> pergerakan air, sedimen, hara dan pestisida
CROP	<i>File</i> parameter tumbuh tanaman
URBAN	<i>File</i> data lahan terbangun / urban area
PCP	<i>File</i> data curah hujan harian
TMP	<i>File</i> temperature udara maksimum dan minimum harian
SLR	<i>File</i> radiasi matahari harian
HMD	<i>File</i> kelembaban udara harian
WGN	<i>File</i> data generator iklim
SOL	<i>File</i> data tanah
MGT	<i>File</i> scenario pengelolaan dan penutupan lahan

Sumber: Neitsch, 2005

*Output* SWAT terangkum dalam *File-File* yang terdiri dari *File* HRU, SUB dan RCH. *File* HRU berisikan *output* dari masing-masing HRUs, sedangkan SUB berisikan *output* dari masing-masing sub DAS dan RCH merupakan *output* dari masing-masing sungai. Informasi *output* pada *File* SUB dan *File* HRU adalah luas area ( $AREA$  km<sup>2</sup>), jumlah curah hujan (PRECP mm), evapotranspirasi aktual (ET mm), kandungan air (SW), aliran permukaan (SURQ mm), aliran lateral (LATQ), aliran dasar (GWQ), hasil sedimen (SED ton/ha). Informasi *output* yang dibutuhkan dalam penelitian pada *File* ini adalah luas ( $AREA$  km<sup>2</sup>) dan jumlah curah hujan (PRECP mm). Informasi pada masing-masing sungai pada *output* RCH setiap sub DAS adalah jumlah debit yang masuk ( $FLOW\_IN$  m<sup>3</sup>/det), jumlah debit keluar ( $FLOW\_OUT$  m<sup>3</sup>/det).

Penggunaan model suatu DAS harus memperhatikan faktor validitasnya. Untuk itu model perlu dikalibrasi dan validasi. Kalibrasi adalah pengujian model agar dapat menggambarkan keadaan sebenarnya, validasi adalah membandingkan secara visual kurva debit hasil simulasi dengan kurva debit hasil pengukuran stasiun pengamat. Dalam perkembangannya, SWAT telah dikembangkan oleh *Windows*, *Microsoft Visual Basic*, *GRASS* dan *ArcView*.

SWAT juga telah mengalami validasi yang luas. Pengujian model dapat digunakan *SWAT Plot and Graph*. Pada *SWAT Plot and Graph* digunakan koefisien determinasi ( $R^2$ ) dan *Nash-Sutcliffe Model Efficiency* (NSE) (Neitsch dkk., 2011). Beberapa penelitian yang telah berhasil melakukan validasi dengan SWAT antara lain; Optimalisasi Tataguna Lahan DAS Way Betung menggunakan hasil *setting* parameter SWAT dengan nilai  $R^2$  dan NSE masing-masing 0,69 dan 0,71; Prediksi Debit Aliran Sungai DAS Ciliwung Hulu menggunakan hasil *setting* parameter SWAT dengan nilai  $R^2$  dan NSE masing-masing 0,82 dan 0,64; dan Simulasi Perubahan Tataguna Lahan di DAS Zanjano, Barat Daya Iran menggunakan validasi bantuan *software* SUFI-2 dengan nilai  $R^2$  dan NSE masing-masing 0,8 dan 0,79

Koefisien determinasi menunjukkan seberapa dekatnya nilai yang dihasilkan oleh hasil simulasi dengan nilai observasi di lapangan. NSE untuk mengevaluasi model hasil simulasi. Menurut Santi dkk., (2001) hasil simulasi dikategorikan baik jika rata-rata debit hasil simulasi berada pada kisaran -15 % sampai + 15 % dari rata-rata debit

hasil observasi, nilai  $NSE \geq 0,5$  dan  $R^2 \geq 0,6$  dan menurut Van Liew dan Garbrecht, (2003). Klasifikasi indeks NSE dan  $R^2$  dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Kriteria Hasil Simulasi Nilai NSE dan  $R^2$

NSE	$R^2$	Klasifikasi
$0.75 < NSE \leq 1.00$	$0.75 < R^2 \leq 1.00$	Sangat Baik
$0.60 < NSE \leq 0.75$	$0.60 < R^2 \leq 0.75$	Baik
$0.36 < NSE \leq 0.60$	$0.50 < R^2 \leq 0.60$	Memuaskan
$0.00 < NSE \leq 0.36$	$0.25 < R^2 \leq 0.50$	Buruk
$NSE \leq 0.00$	$R^2 \leq 0.25$	Tidak Memenuhi

Sumber: Rafael, 2018

Rumus perhitungan  $R^2$  dan NSE dapat dilihat pada persamaan 2.8 dan 2.9.

$$R^2 = \left( \frac{[\sum_{i=1}^n (Q_{obs.i} - \bar{Q}_{obs.i})(Q_{cal.i} - \bar{Q}_{cal.i})]^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs.i} - \bar{Q}_{obs.i})^2 \sum_{i=1}^n (Q_{cal.i} - \bar{Q}_{cal.i})^2} \right) \dots\dots\dots(2.8)$$

$$NSE = 1,0 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs.i} - Q_{cal.i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs.i} - \bar{Q}_{obs.i})^2} \dots\dots\dots(2.9)$$

dengan:

$Q_{obs.i}$  = debit observasi ( $m^3/det$ )

$Q_{cal.i}$  = debit hasil simulasi ( $m^3/det$ )

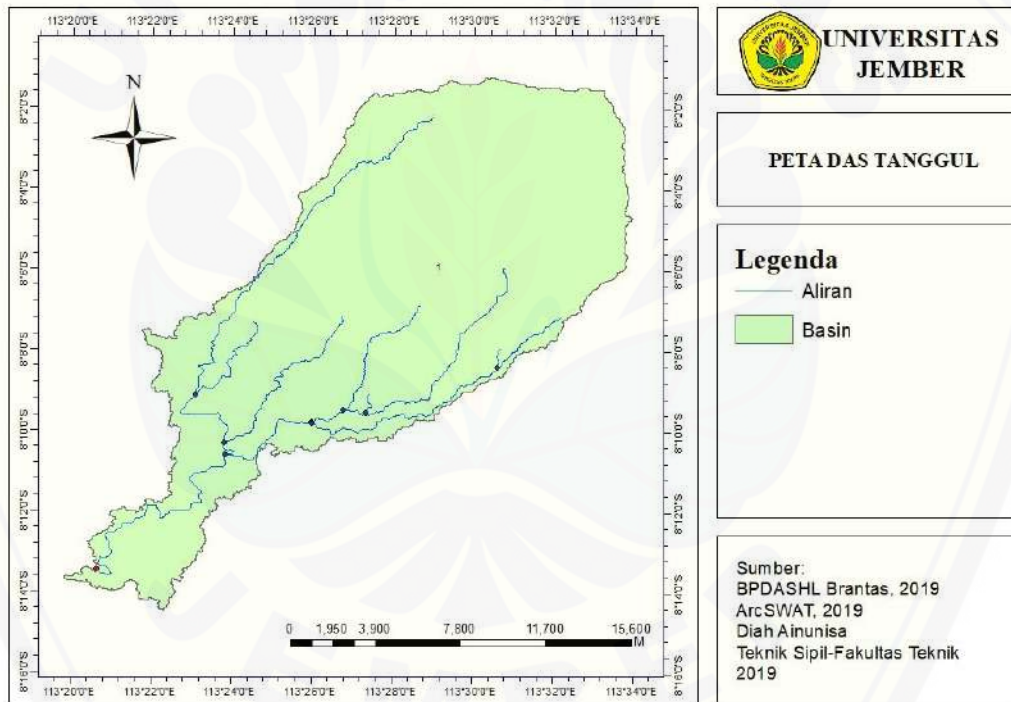
$\bar{Q}_{obs.i}$  = debit observasi rata-rata ( $m^3/det$ )

$\bar{Q}_{cal.i}$  = debit hasil simulasi rata-rata ( $m^3/det$ )

### BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian pemodelan banjir ini dilakukan di DAS Sungai Tanggul yang secara geografis terletak pada  $8^{\circ} 05' 55''$  LS –  $113^{\circ} 30' 00''$  BT. DAS Sungai Tanggul terbagi menjadi dua sub-DAS yaitu subDAS Tanggul hulu dan subDAS Watu Urip yang rutenya melewati 7 Kecamatan, antara lain pada bagian hulu yaitu Kecamatan Sumber Baru dan Kecamatan Tanggul, sedangkan bagian hilir yaitu Kecamatan Gumukmas, Kecamatan Jombang, Kecamatan Kencong, Kecamatan Semboro, serta Kecamatan Umbulsari yang dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 DAS Tanggul



### 3.2 Pengumpulan Data

Adapun data-data yang diperlukan pada penelitian ini berupa data sekunder yang dibagi menjadi dua klasifikasi data yaitu data spasial dan data non spasial. Pada penelitian ini data non-spasial yang diperlukan antara lain:

Data non spasial yang diperlukan antara lain:

1. Data curah hujan dari Dinas Pengairan dan SDA Kabupaten Lumajang.
2. Data debit dari Dinas Pengairan dan SDA Kabupaten Lumajang.
3. Data klimatologi dari Dinas Pengairan dan SDA Kabupaten Lumajang.

Dan data spasial yang diperlukan antara lain:

1. Peta DEM (*Digital Elevation Model*) yang dapat diunduh langsung pada <http://tides.big.go.id/DEMNAS/DEMNAS.php>
2. Peta tataguna lahan dari BPDAS HL Brantas Sidoarjo.
3. Peta jenis tanah dari BPDAS HL Brantas Sidoarjo.
4. Peta kemiringan lereng dari BPDAS HL Brantas Sidoarjo.

### 3.3 Tahapan Penelitian

#### 3.3.1 Analisis Hidrologi

##### a. Analisis Data Curah Hujan Hilang

Analisis data curah hujan yang hilang bertujuan untuk menghasilkan analisis model yang akurat. Hal ini dapat dilakukan dengan metode *National Ratio Method* jika tidak ada data hilang maka langsung menguji data dengan langkah ke-dua.

##### b. Uji Konsistensi Data Curah Hujan

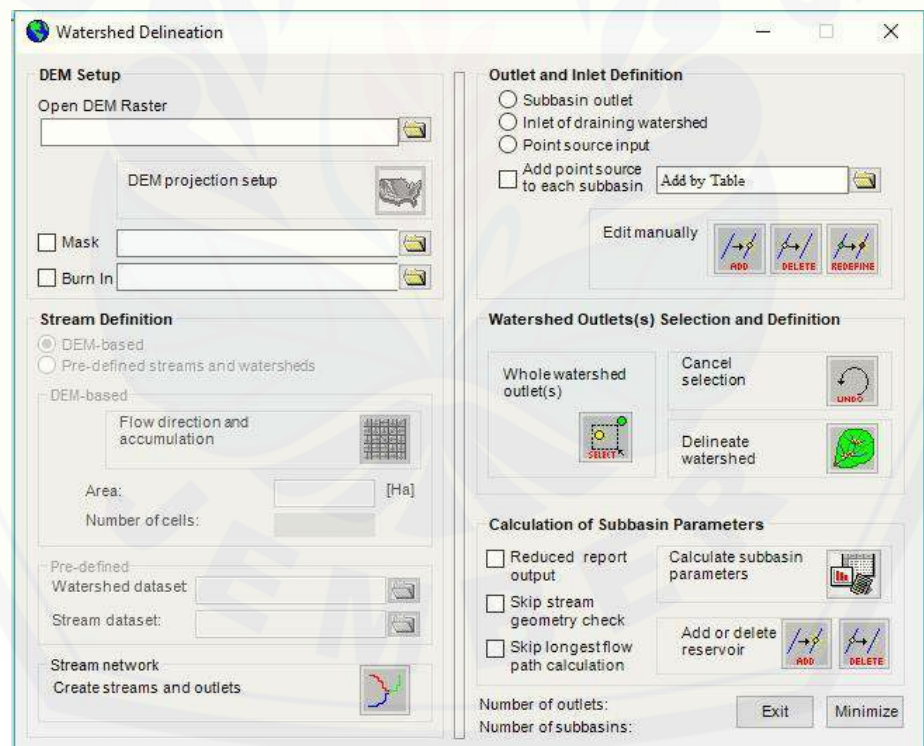
Uji konsistensi data bertujuan untuk memastikan tidak adanya data yang menyimpang. Berdasarkan data hujan yang didapat dari tahun 2007 hingga 2018 diuji konsistensi dengan menggunakan metode kurva massa ganda untuk mengetahui penyimpangan data dengan cara membandingkan data curah hujan rerata tahunan pada stasiun hujan tertentu dengan curah hujan rerata tahunan pada suatu jaringan dasar stasiun yang diuji. Metode ini menggunakan koefisien  $R^2$  dan dikatakan konsisten jika nilainya mendekati 1.

### 3.3.2 Analisis Pemodelan Debit menggunakan Arc-SWAT

Pada tahap SWAT ini terdapat empat tahapan yaitu *Watershed Delineation*, *Create HRUs*, *SWAT Run and Setup*, dan *Visualise*.

#### a. Langkah 1 : *Delineate Watershed* (Delinasi Areal Penelitian)

Pada tahap ini, *input* data yang digunakan adalah peta DEM DAS Tanggul yang diunduh langsung pada <http://tides.big.go.id/DEMNAS/DEMNAS.php>. *Output* dari tahap ini adalah batas DAS, bentuk aliran sungai menuju *outlet* dan batas dari beberapa sub-basin. Sub-basin terbentuk dari batas-batas yang dipengaruhi oleh bentuk topografi pada wilayah tersebut. DEM secara otomatis akan mendeliniasi daerah penelitian berdasarkan topografi alaminya, demikian juga dengan jaringan hidrologi. Menu deliniasi areal penelitian pada SWAT dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Deliniasi Areal Penelitian

b. Langkah 2 : *Create* HRU (Pembentukan HRU)

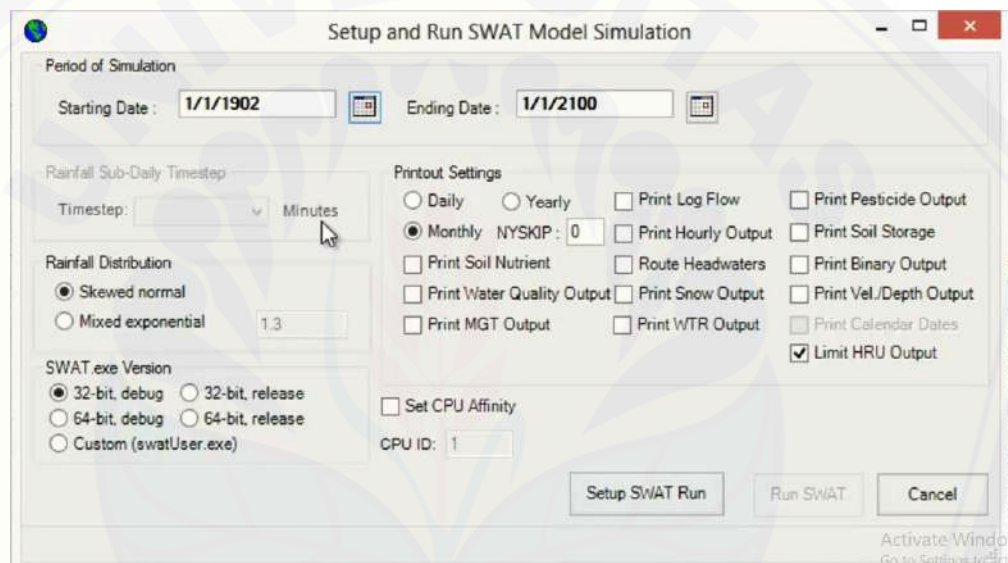
Pada tahap ini, *input* data adalah peta *landuse* dan peta tanah yang telah diubah ke dalam format sistem koordinat proyeksi UTM dan besar interval *slope*. Sub-basin akan dibagi menjadi beberapa *Hydrologic Response Units* (HRUs) dengan satu sub-basin memiliki paling sedikit satu HRU. *Hydrologic Response Units* merupakan unit analisis hidrologi yang mempunyai karakteristik tanah dan penggunaan lahan yang spesifik, sehingga dapat dipisahkan antara satu HRU dengan lainnya. Dengan adanya HRU, prediksi dari setiap sub-basin menjadi lebih akurat. *Hydrology Response Unit* (HRU) sebagai unit analisis diperoleh melalui *overlay* antara peta tanah dengan peta penggunaan lahan. *Output* pada tahap ini adalah bentuk DAS yang terdiri atas beberapa sub-basin yang telah diberi nomor. Pada tahap ini juga dapat ditentukan *threshold* dari persentase total *landuse*, jenis tanah, dan *slope*. Sehingga *land use*, jenis tanah, dan *slope* yang lebih kecil dari *threshold* yang ditentukan akan diabaikan. Pembentukan HRU pada SWAT dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Pembentukan HRU

c. Langkah 3 : *SWAT Setup and Run*.

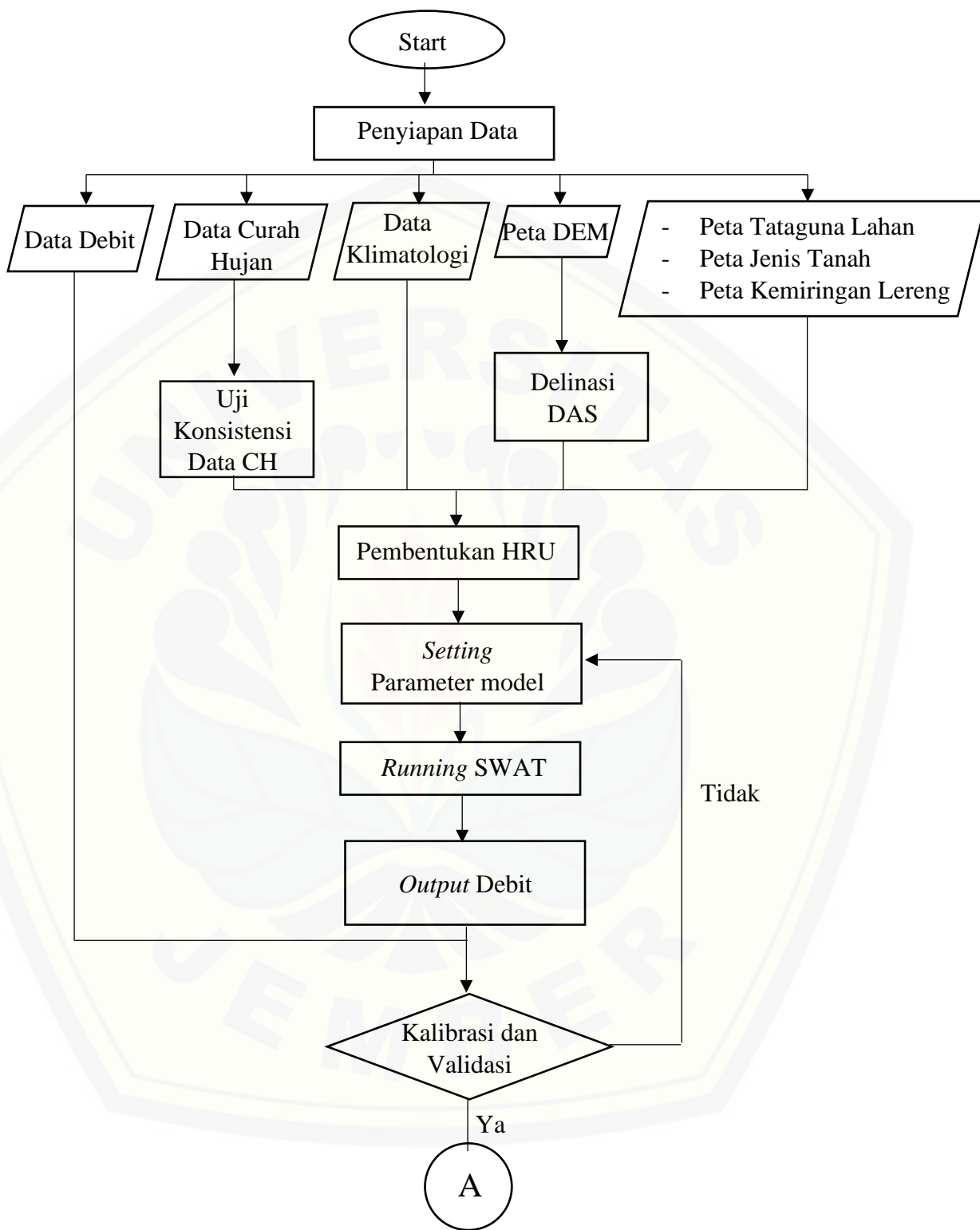
*Input* data yang digunakan pada tahap ini adalah periode simulasi, *file weather generator* (.wgn), dan daftar stasiun iklim global (stnlist.txt). HRU yang terbentuk selanjutnya dihubungkan dengan data iklim. Dalam penelitian ini digunakan metode evapotranspirasi yaitu metode *Priestley-Taylor*. Metode ini merupakan metode yang direkomendasikan untuk daerah beriklim basah, seperti Indonesia. Simulasi dijalankan setelah periode simulasi ditentukan. Hasil *running* dapat dilihat dengan bantuan *SWAT Ploth and Graph*. Menu *SWAT setup and run* dapat dilihat pada Gambar 3.4.

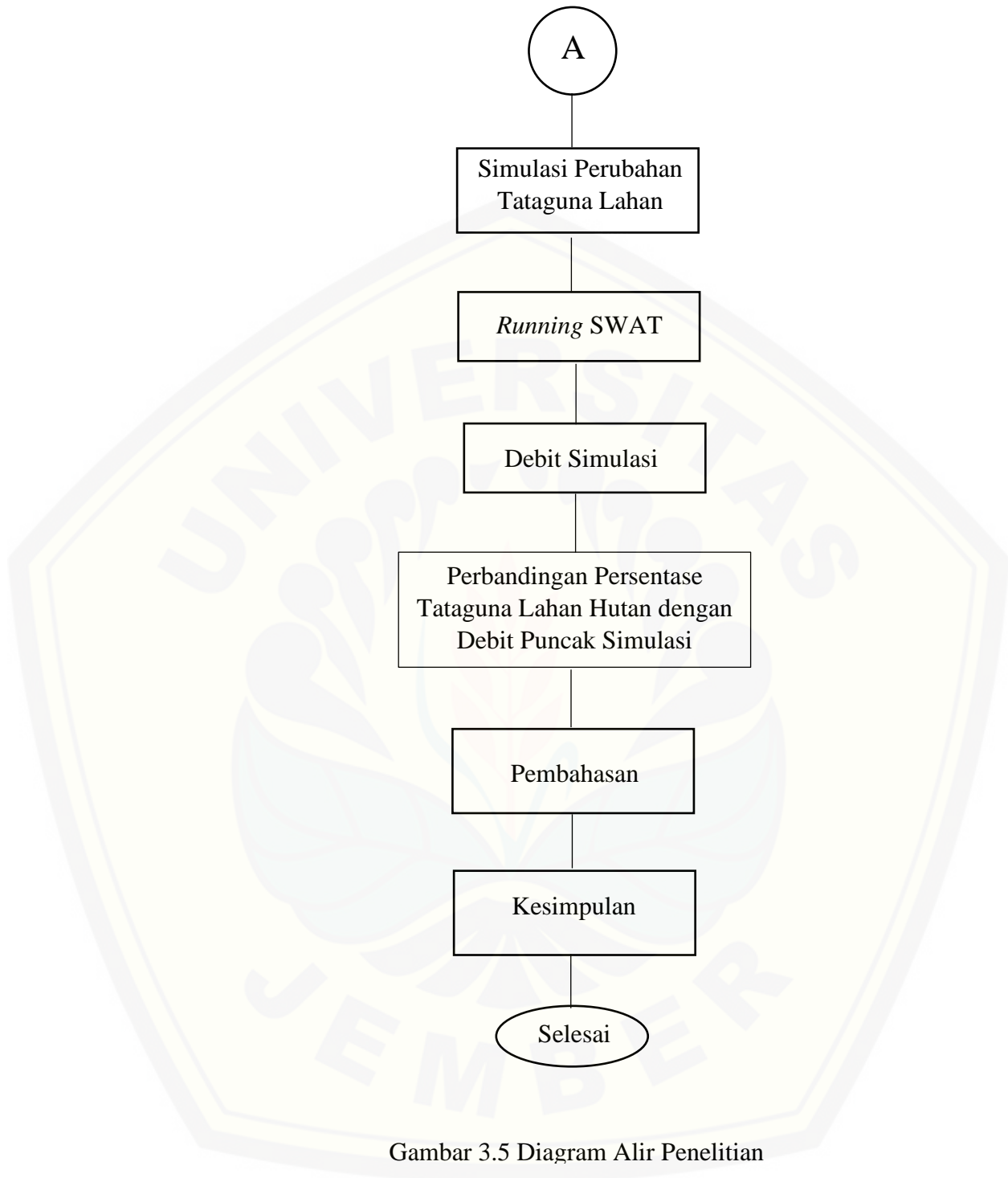


Gambar 3.4 *SWAT Setup and Run*

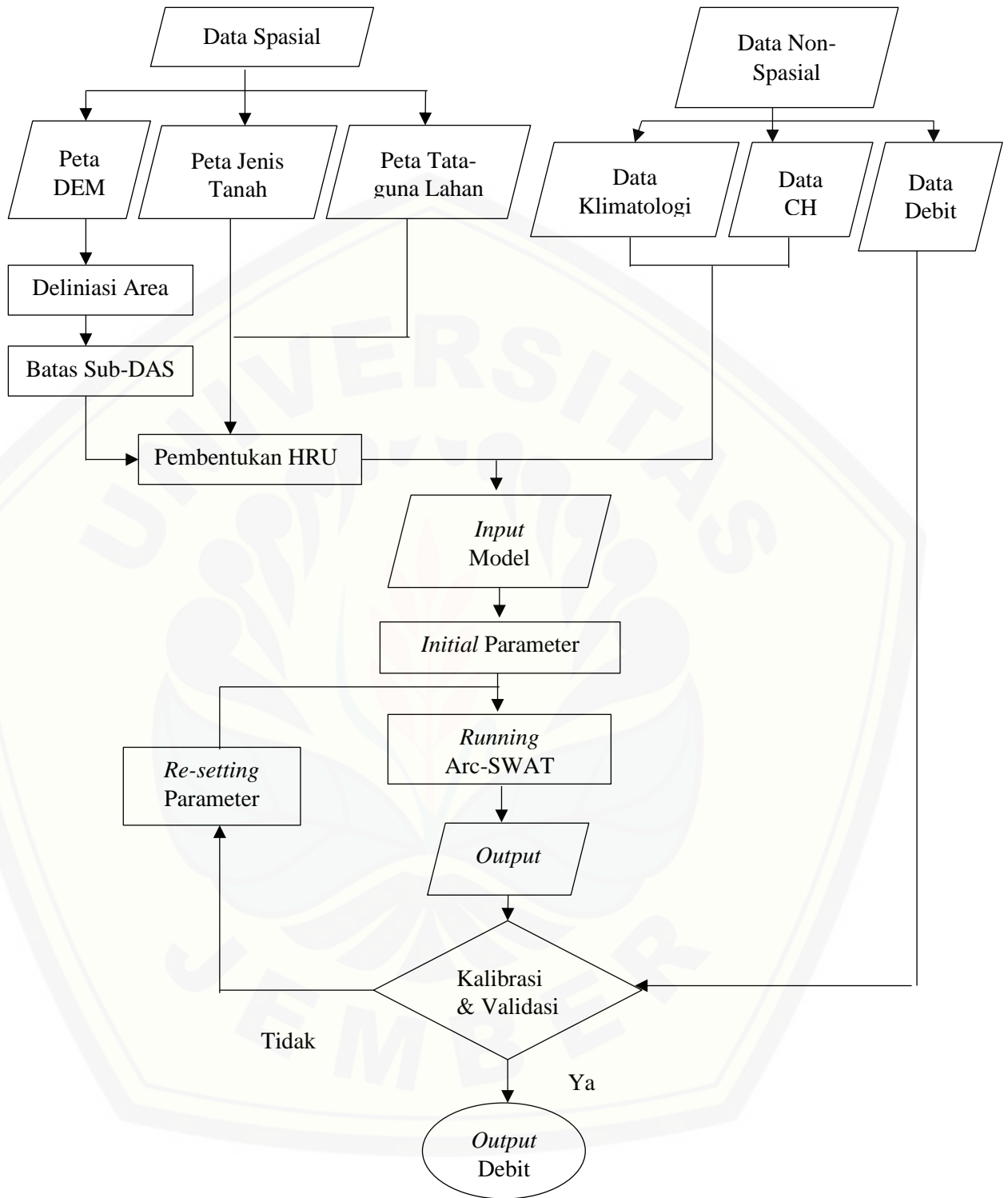
d. Langkah 4 : *Visualise Result*.

Pada tahap ini, visualisasi *output* yang diinginkan dapat dilihat. Misalnya dengan memilih parameter *output* debit aliran sungai harian atau jumlah air rata-rata harian yang menghilang selama dalam aliran. Visualisasi digambarkan dengan perubahan warna menurut nilai *output* parameter yang dipilih. Adapun diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.5 dan untuk diagram alir *software* SWAT pada Gambar 3.6.





Gambar 3.5 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.6 Diagram Alir Arc-SWAT

### 3.4 Analisis Data

Analisis data pada penelitian ini dimulai dari hasil *output* SWAT hingga uji kesesuaian model dengan data debit sesungguhnya. Pada analisis data juga dilakukan kalibrasi pada pengujian keakuratan pemodelan.

#### a. *Output* SWAT

*Output* SWAT terangkum dalam *file-file output* (SWAT *Output File*) yang terdiri dari file HRU, SUB dan RCH. *Output* SWAT yang dilaporkan pada penelitian ini yaitu jumlah air yang keluar (*FLOW\_OUT* m<sup>3</sup>/det).

#### b. Kalibrasi dan validasi

Kalibrasi pada penelitian ini dilakukan dengan mengubah beberapa parameter SWAT hingga menghasilkan keandalan model yang masuk dalam kriteria menggunakan perhitungan koefisien determinasi ( $R^2$ ) dan *Nash-Sutcliffe Model Efficiency* (NSE). Pada tahap kalibrasi parameter yang telah dikalibrasi akan diuji kembali dengan penggunaan data yang berbeda untuk mengetahui keandalan modelnya. Penelitian ini terbagi menjadi dua macam kalibrasi dan validasi dengan model tataguna lahan 2009 dan 2017, hal ini dilakukan karena telah terjadinya perubahan tataguna lahan dan iklim yang signifikan sehingga mempengaruhi debit *output* model dan nilai keandalan model. Tahap kalibrasi tataguna lahan 2009 menggunakan data CH tahun 2007-2010 dan validasi menggunakan data CH 2011-2012. Sedangkan tahap kalibrasi tataguna lahan 2017 menggunakan data CH 2012-2016 dan validasi menggunakan data CH 2017-2018.

#### c. Analisis Perbandingan Tataguna Lahan dengan Debit Puncak Simulasi

Analisis pengaruh perubahan tataguna lahan terhadap debit pada penelitian ini membandingkan persentase tataguna lahan hutan (hutan lahan kering dan hutan tanaman) dengan debit puncak simulasi. Persentase hutan digunakan sebagai pembanding dikarenakan perubahan tataguna lahan hutan lebih signifikan dan konsisten dibandingkan dengan perubahan tataguna lahan yang lain yang kemudian akan ditunjukkan dengan hasil uji T.



## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan pada penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Persentase hutan pada masing-masing tahun antara lain tahun 2004 sebesar 32.94%, 2009 sebesar 32.50%, 2014 sebesar 31.66%, dan 2017 sebesar 29.36%. Berdasarkan data tersebut persentase perubahan tataguna lahan hutan dari tahun 2007 sampai dengan 2017 sebesar 3.58% atau sama dengan 9.47 km<sup>2</sup> dari luas total DAS Tanggul.
2. Pemodelan tataguna lahan tahun 2009 tahap kalibrasi menghasilkan nilai NSE=0.78 dan R<sup>2</sup>=0.84, sedangkan pada tahap validasi menghasilkan nilai NSE=0.87 dan R<sup>2</sup>=0.91. Pemodelan tataguna lahan tahun 2017 tahap kalibrasi menghasilkan nilai NSE=0.74 dan R<sup>2</sup>=0.94, sedangkan pada tahap menghasilkan nilai NSE=0.85 dan R<sup>2</sup>=0.96.
3. Penggunaan program SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) dalam penelitian ini dapat membuktikan bahwa perubahan tataguna lahan hutan signifikan mempengaruhi nilai debit banjir.
4. 5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, adapun saran yang dapat dilakukan untuk perbaikan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Perlu adanya perbaikan pemilihan resolusi dalam penggunaan peta DEM (*Digital Elevation Models*).
2. Perlu adanya penyesuaian terhadap karakteristik fisik DAS di lapangan untuk penyesuaian parameter pemodelan guna mendapatkan hasil keandalan model yang lebih baik

DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad, Sintanala. 2006. *Konservasi Tanah dan Air*. IPB Press. Bogor.
- Dasanto, B.D. 2000. *Penuntun Praktikum Model Hidrologi Daerah Aliran Sungai. Makalah Pelatihan Agroklimatologi*. Jur. Geofisika dan Meteorologi, FMIPA-IPB Bekerjasama Bagpro Peningkatan SDM Ditjen Dikti Depdiknas. Bogor, 14-26 Agustus 2000.
- Djuniardi, F. 2012. *Analisis Debit Aliran Sungai Das Saba dengan Menggunakan MW-SWAT*. Skripsi. Bogor: Fakultas Teknologi Pertanian IPB
- Junaidi, Edy. 2009. *Kajian Berbagai Alternatif Perencanaan Pengelolaan DAS Cisadane Menggunakan Model SWAT*. Tesis. Sekolah Pascasarjana. IPB. Bogor.
- K.C. Abbaspour, dkk (2015) *A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model*, *Journal of Hydrology* 524(2015) 733-752)
- Baker, T. J., & Miller, S. N. (2013). Using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) to assess land use impact on water resources in an East African watershed. *Journal of Hydrology*, 486, 100–111. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.01.041>
- Ghaffari, G., Keesstra, S., Ghodousi, J., & Ahmadi, H. (2010). SWAT-simulated hydrological impact of land-use change in the Zanjanrood Basin, Northwest Iran. *Hydrological Processes*, 24(7), 892–903. <https://doi.org/10.1002/hyp.7530>
- Githui, F., Mutua, F., & Bauwens, W. (2009). Estimating the impacts of land-cover change on runoff using the soil and water assessment tool (SWAT): Case study of Nzoia catchment, Kenya. *Hydrological Sciences Journal*, 54(5), 899–908. <https://doi.org/10.1623/hysj.54.5.899>
- Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., & Williams, J. R. (2011). *Theoretical documentation SWAT*.
- Sebastian, L. (2008). Pendekatan Banjir dan Penanggulangan Banjir. *Dinamika Teknik Sipil*, 8, 162--169.
- Tanika, L., & Rahayu, S. (2016). *Fungsi hidrologi pada Daerah Aliran Sungai*.  
[https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2018/07/08/jumlah-penduduk-indonesia-akan-mencapai-puncaknya-pada-2062-diakses-pada-\(20-Mei-2019\)](https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2018/07/08/jumlah-penduduk-indonesia-akan-mencapai-puncaknya-pada-2062-diakses-pada-(20-Mei-2019))  
[https://regional.kompas.com/read/2016/09/26/11312561/kepala.bkkbn.laju.pertumbuhan.penduduk.4.juta.per.tahun.idealnya.2.juta-diakses-pada-\(20-Mei-2019\)](https://regional.kompas.com/read/2016/09/26/11312561/kepala.bkkbn.laju.pertumbuhan.penduduk.4.juta.per.tahun.idealnya.2.juta-diakses-pada-(20-Mei-2019))  
[https://jemberkab.bps.go.id/statictable/2015/03/12/64/jumlah-penduduk-kabupaten-jember-hasil-sensus-penduduk-tahun-2010-menurut-kecamatan.html-diakses-pada-\(20-mei-2019\)](https://jemberkab.bps.go.id/statictable/2015/03/12/64/jumlah-penduduk-kabupaten-jember-hasil-sensus-penduduk-tahun-2010-menurut-kecamatan.html-diakses-pada-(20-mei-2019))

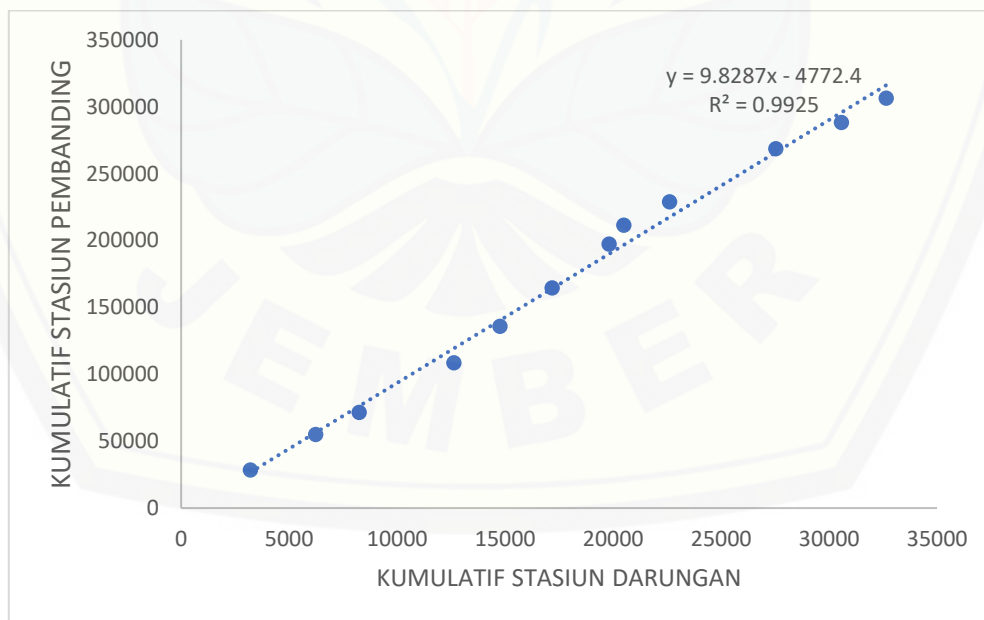
LAMPIRAN

LAMPIRAN A

Tabel A.1 Perhitungan Uji Konsistensi Stasiun Darungan

Tahun	Sta	Kumulatif Sta	Rata-rata Sta Pemanding	Kumulatif Sta Pemanding
2007	3194	3194	28394	28394
2008	3032	6226	26694	55088
2009	2017	8243	16424	71512
2010	4377	12620	36960	108472
2011	2130	14750	27421	135893
2012	2428	17178	28612	164505
2013	2631	19809	32683	197188
2014	685	20494	14262	211450
2015	2118	22612	17333	228783
2016	4920	27532	39847	268630
2017	3039	30571	19445	288075
2018	2063	32634	18310	306385

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019

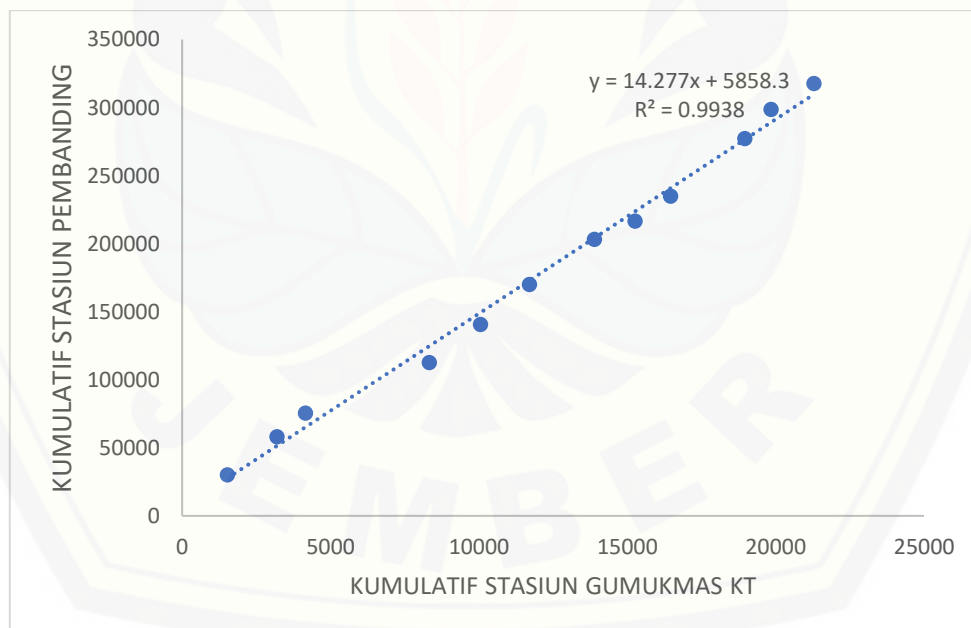


Gambar A.1 Grafik Uji Konsistensi Stasiun Darungan (Pengolahan Data, 2019)

Tabel A.2 Perhitungan Uji Konsistensi Stasiun GumukMas KT

Tahun	Sta	Kumulatif Sta	Rata-rata Sta Pemanding	Kumulatif Sta Pemanding
2007	1525	1525	30063	30063
2008	1672	3197	28054	58117
2009	959	4156	17482	75599
2010	4174	8330	37163	112762
2011	1724	10054	27827	140589
2012	1646	11700	29394	169983
2013	2194	13894	33120	203103
2014	1365	15259	13582	216685
2015	1197	16456	18254	234939
2016	2500	18956	42267	277206
2017	887	19843	21597	298803
2018	1446	21289	18927	317730

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019

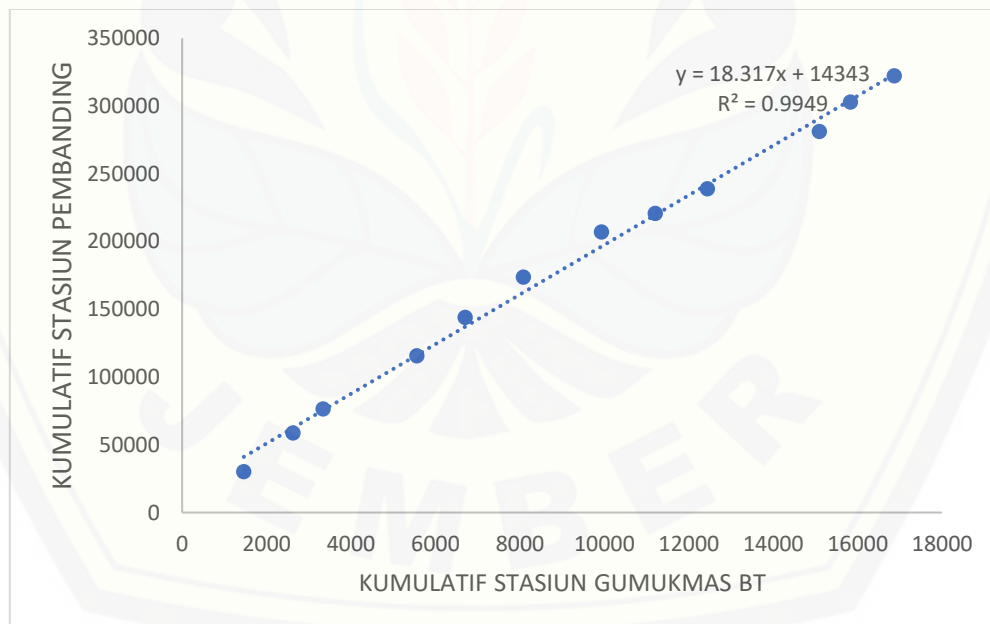


Gambar A.2 Grafik Uji Konsistensi Stasiun GumukMas KT (Pengolahan Data, 2019)

Tabel A.3 Perhitungan Uji Konsistensi Stasiun GumukMas BT

Tahun	Sta	Kumulatif Sta	Rata-rata Sta Pemanding	Kumulatif Sta Pemanding
2007	1459	1459	30129	30129
2008	1166	2625	28560	58689
2009	714	3339	17727	76416
2010	2215	5554	39122	115538
2011	1149	6703	28402	143940
2012	1382	8085	29658	173598
2013	1845	9930	33469	207067
2014	1278	11208	13669	220736
2015	1229	12437	18222	238958
2016	2659	15096	42108	281066
2017	733	15829	21751	302817
2018	1037	16866	19336	322153

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019

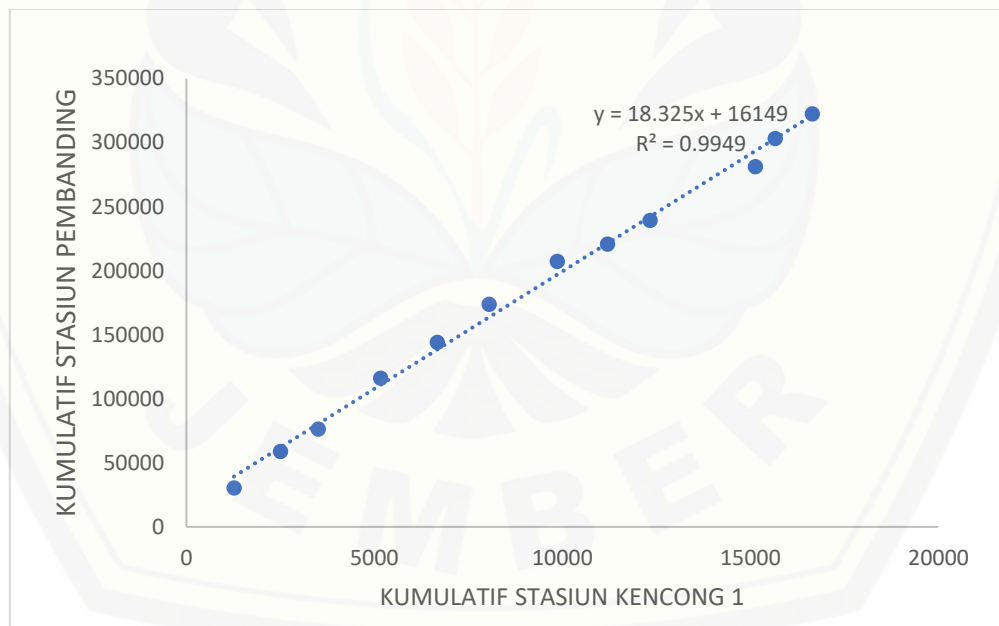


Gambar A.3 Grafik Uji Konsistensi Stasiun GumukMas BT (Pengolahan Data, 2019)

Tabel A.4 Perhitungan Uji Konsistensi Stasiun Kencong 1

Tahun	Sta	Kumulatif Sta	Rata-rata Sta Pemandang	Kumulatif Sta Pemandang
2007	1263	1263	30325	30325
2008	1238	2501	28488	58813
2009	1000	3501	17441	76254
2010	1660	5161	39677	115931
2011	1509	6670	28042	143973
2012	1379	8049	29661	173634
2013	1810	9859	33504	207138
2014	1341	11200	13606	220744
2015	1133	12333	18318	239062
2016	2799	15132	41968	281030
2017	524	15656	21960	302990
2018	987	16643	19386	322376

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019

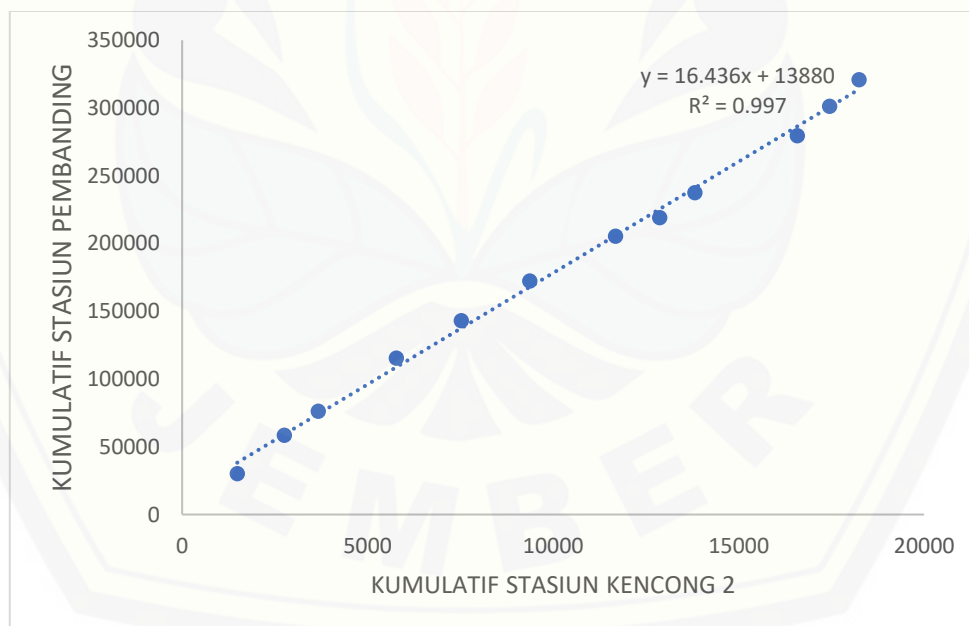


Gambar A.4 Grafik Uji Konsistensi Stasiun Kencong 1 (Pengolahan Data, 2019)

Tabel A.5 Perhitungan Uji Konsistensi Stasiun Kencong 2

Tahun	Sta	Kumulatif Sta	Rata-rata Sta Pemandang	Kumulatif Sta Pemandang
2007	1483	1483	30105	30105
2008	1269	2752	28457	58562
2009	912	3664	17529	76091
2010	2108	5772	39229	115320
2011	1752	7524	27799	143119
2012	1848	9372	29192	172311
2013	2306	11678	33008	205319
2014	1198	12876	13749	219068
2015	947	13823	18504	237572
2016	2756	16579	42011	279583
2017	874	17453	21610	301193
2018	793	18246	19580	320773

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019

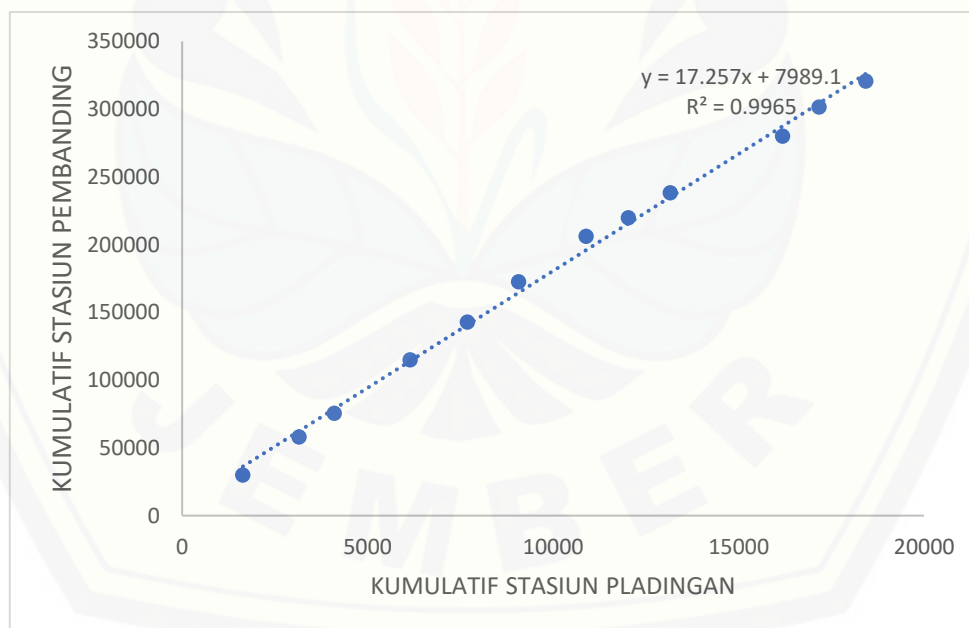


Gambar A.5 Grafik Uji Konsistensi Stasiun Kencong 2 (Pengolahan Data, 2019)

Tabel A.6 Perhitungan Uji Konsistensi Stasiun Pladingan

Tahun	Sta	Kumulatif Sta	Rata-rata Sta Pemanding	Kumulatif Sta Pemanding
2007	1636	1636	29952	29952
2008	1514	3150	28212	58164
2009	952	4102	17489	75653
2010	2043	6145	39294	114947
2011	1541	7686	28010	142957
2012	1381	9067	29659	172616
2013	1825	10892	33489	206105
2014	1134	12026	13813	219918
2015	1131	13157	18320	238238
2016	3026	16183	41741	279979
2017	988	17171	21496	301475
2018	1257	18428	19116	320591

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019



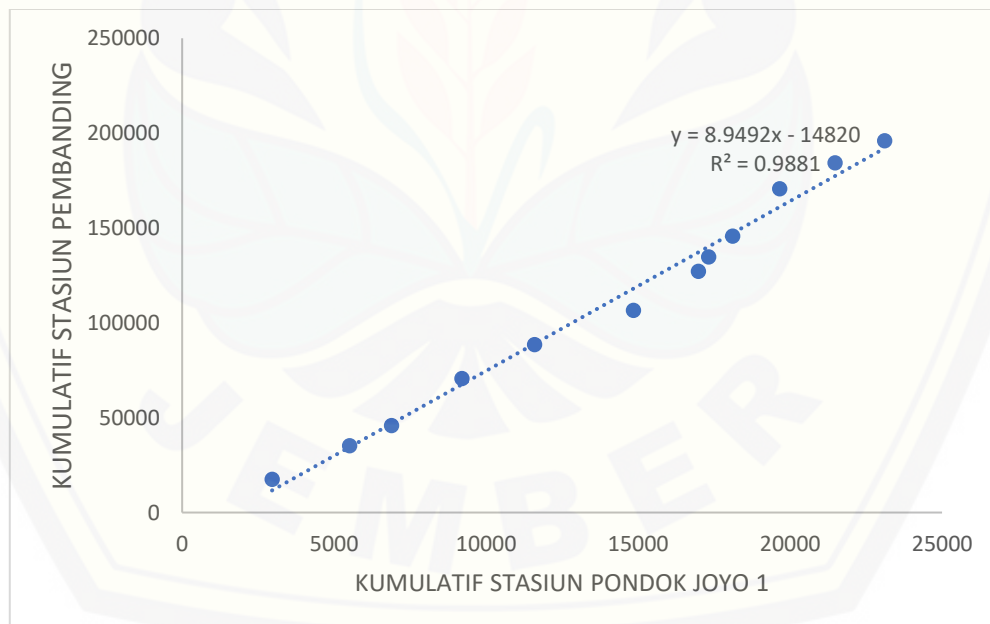
Gambar A.6 Grafik Uji Konsistensi Stasiun Pladingan (Pengolahan Data, 2019)



Tabel A.7 Perhitungan Uji Konsistensi Stasiun Pondok Joyo 1

Tahun	Sta	Kumulatif Sta	Rata-rata Sta Pemanding	Kumulatif Sta Pemanding
2007	2956	2956	17550	17550
2008	2557	5513	17576	35126
2009	1370	6883	10710	45836
2010	2318	9201	24736	70572
2011	2395	11596	17906	88478
2012	3252	14848	18001	106479
2013	2134	16982	20686	127165
2014	337	17319	7578	134743
2015	786	18105	10996	145739
2016	1549	19654	24820	170559
2017	1828	21482	13717	184276
2018	1624	23106	11640	195916

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019

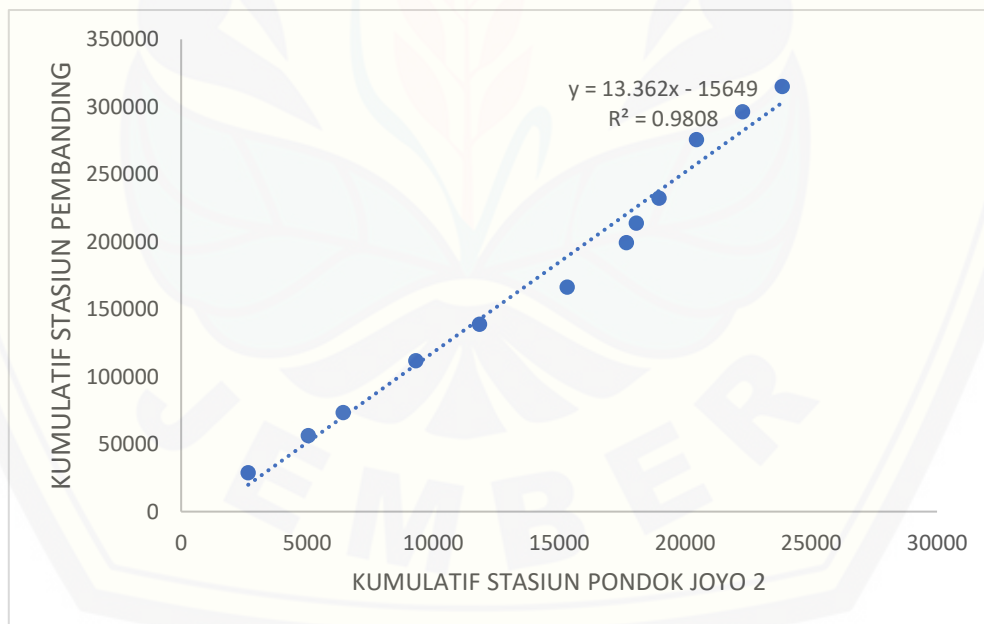


Gambar A.7 Grafik Uji Konsistensi Stasiun Pondok Joyo 1 (Pengolahan Data, 2019)

Tabel A.8 Perhitungan Uji Konsistensi Stasiun Pondok Joyo 2

Tahun	Sta	Kumulatif Sta	Rata-rata Sta Pemanding	Kumulatif Sta Pemanding
2007	2659	2659	28929	28929
2008	2377	5036	27349	56278
2009	1389	6425	17052	73330
2010	2883	9308	38454	111784
2011	2534	11842	27017	138801
2012	3473	15315	27567	166368
2013	2349	17664	32965	199333
2014	395	18059	14552	213885
2015	903	18962	18548	232433
2016	1486	20448	43281	275714
2017	1827	22275	20657	296371
2018	1581	23856	18792	315163

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019

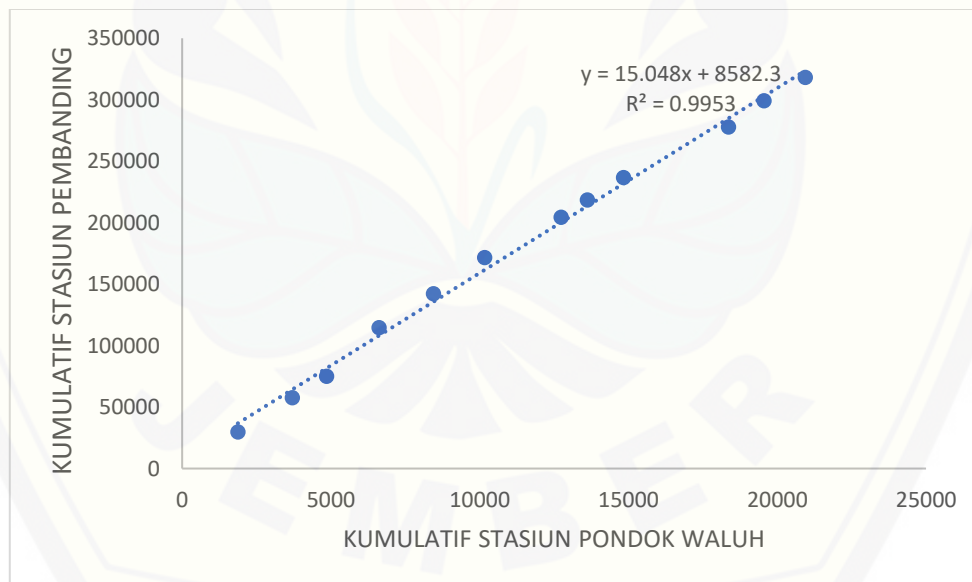


Gambar A.9 Grafik Uji Konsistensi Stasiun Pondok Joyo 2 (Pengolahan Data, 2019)

Tabel A.9 Perhitungan Uji Konsistensi Stasiun Pondok Waluh

Tahun	Sta	Kumulatif Sta	Rata-rata Sta Pemanding	Kumulatif Sta Pemanding
2007	1869	1869	29719	29719
2008	1836	3705	27890	57609
2009	1144	4849	17297	74906
2010	1771	6620	39566	114472
2011	1825	8445	27726	142198
2012	1715	10160	29325	171523
2013	2572	12732	32742	204265
2014	880	13612	14067	218332
2015	1215	14827	18236	236568
2016	3530	18357	41237	277805
2017	1198	19555	21286	299091
2018	1387	20942	18986	318077

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019

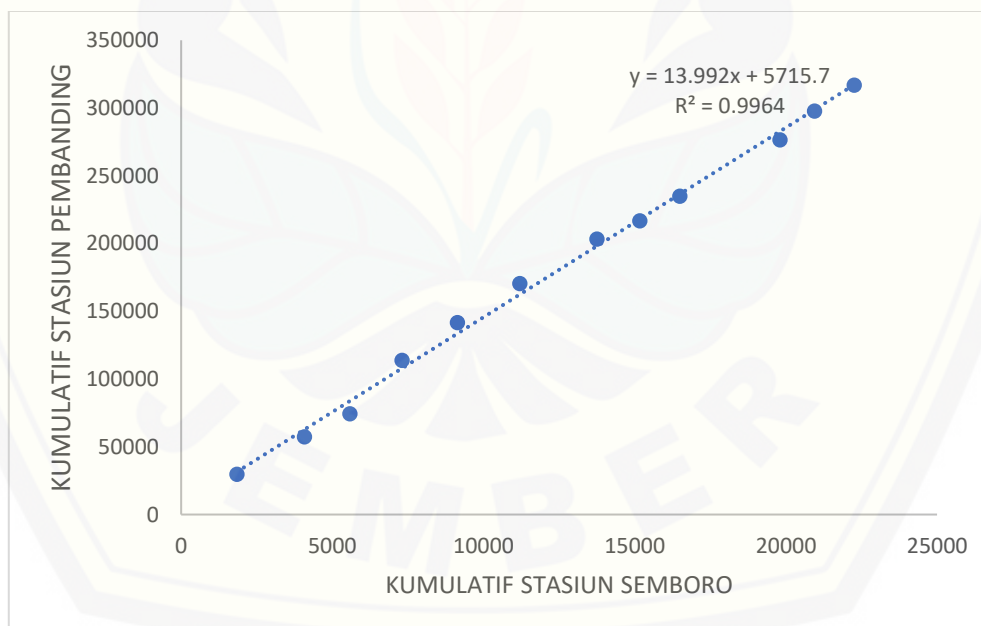


Gambar A.9 Grafik Uji Konsistensi Stasiun Pondok Waluh (Pengolahan Data, 2019)

Tabel A.10 Perhitungan Uji Konsistensi Stasiun Semboro

Tahun	Sta	Kumulatif Sta	Rata-rata Sta Pemanding	Kumulatif Sta Pemanding
2007	1839	1839	29749	29749
2008	2240	4079	27486	57235
2009	1493	5572	16948	74183
2010	1733	7305	39604	113787
2011	1826	9131	27725	141512
2012	2062	11193	28978	170490
2013	2552	13745	32762	203252
2014	1425	15170	13522	216774
2015	1315	16485	18136	234910
2016	3314	19799	41453	276363
2017	1149	20948	21335	297698
2018	1312	22260	19061	316759

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019

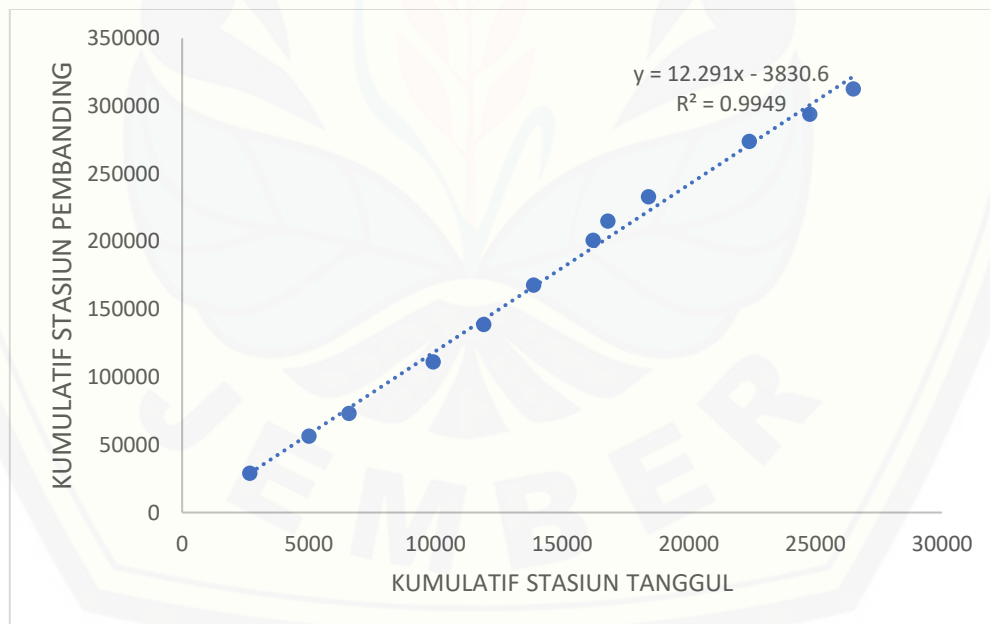


Gambar A.10 Grafik Uji Konsistensi Stasiun Semboro (Pengolahan Data, 2019)

Tabel A.11 Perhitungan Uji Konsistensi Stasiun Tanggul

Tahun	Sta	Kumulatif Sta	Rata-rata Sta Pemanding	Kumulatif Sta Pemanding
2007	2669	2669	28919	28919
2008	2331	5000	27395	56314
2009	1582	6582	16859	73173
2010	3326	9908	38011	111184
2011	1991	11899	27560	138744
2012	1972	13871	29068	167812
2013	2353	16224	32961	200773
2014	580	16804	14367	215140
2015	1603	18407	17848	232988
2016	3978	22385	40789	273777
2017	2394	24779	20090	293867
2018	1719	26498	18654	312521

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019

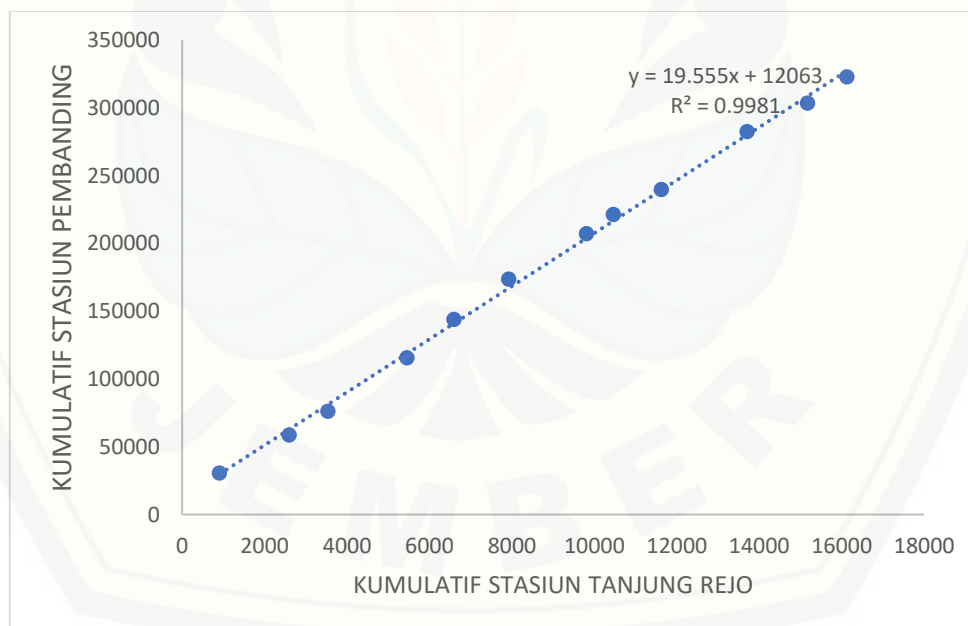


Gambar A.11 Grafik Uji Konsistensi Stasiun Tanggul (Pengolahan Data, 2019)

Tabel A.12 Perhitungan Uji Konsistensi Stasiun Tanjung Rejo

Tahun	Sta	Kumulatif Sta	Rata-rata Sta Pemandang	Kumulatif Sta Pemandang
2007	906	906	30682	30682
2008	1689	2595	28037	58719
2009	942	3537	17499	76218
2010	1915	5452	39422	115640
2011	1144	6596	28407	144047
2012	1321	7917	29719	173766
2013	1888	9805	33426	207192
2014	654	10459	14293	221485
2015	1164	11623	18287	239772
2016	2082	13705	42685	282457
2017	1464	15169	21020	303477
2018	959	16128	19414	322891

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019

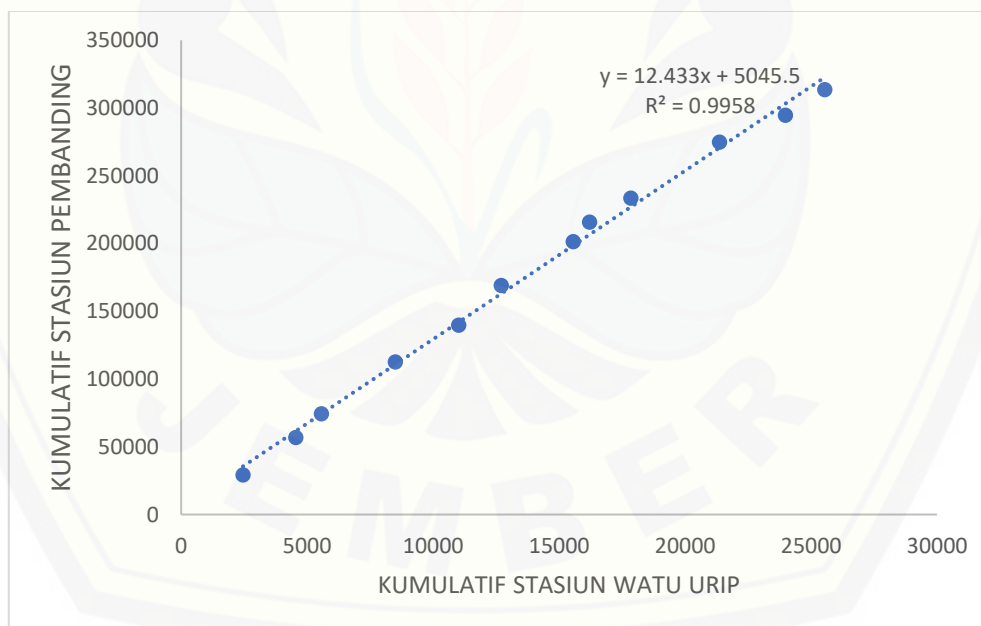


Gambar A.12 Grafik Uji Konsistensi Stasiun Tanjung Rejo (Pengolahan Data, 2019)

Tabel A.13 Perhitungan Uji Konsistensi Stasiun Watu Urip

Tahun	Sta	Kumulatif Sta	Rata-rata Sta Pemanding	Kumulatif Sta Pemanding
2007	2451	2451	29137	29137
2008	2098	4549	27628	56765
2009	1012	5561	17429	74194
2010	2932	8493	38405	112599
2011	2520	11013	27031	139630
2012	1683	12696	29357	168987
2013	2863	15559	32451	201438
2014	647	16206	14300	215738
2015	1631	17837	17820	233558
2016	3522	21359	41245	274803
2017	2617	23976	19867	294670
2018	1561	25537	18812	313482

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019

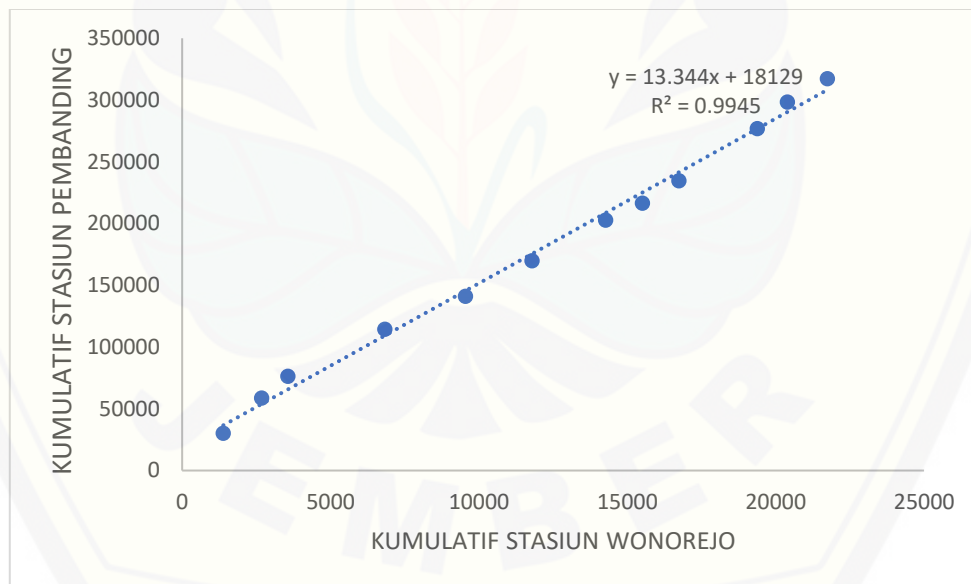


Gambar A.13 Grafik Uji Konsistensi Stasiun Watu Urip (Pengolahan Data, 2019)

Tabel A.14 Perhitungan Uji Konsistensi Stasiun Wonorejo

Tahun	Sta	Kumulatif Sta	Rata-rata Sta Pemanding	Kumulatif Sta Pemanding
2007	1384	1384	30204	30204
2008	1288	2672	28438	58642
2009	888	3560	17553	76195
2010	3270	6830	38067	114262
2011	2714	9544	26837	141099
2012	2247	11791	28793	169892
2013	2478	14269	32836	202728
2014	1236	15505	13711	216439
2015	1231	16736	18220	234659
2016	2641	19377	42126	276785
2017	1017	20394	21467	298252
2018	1345	21739	19028	317280

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019



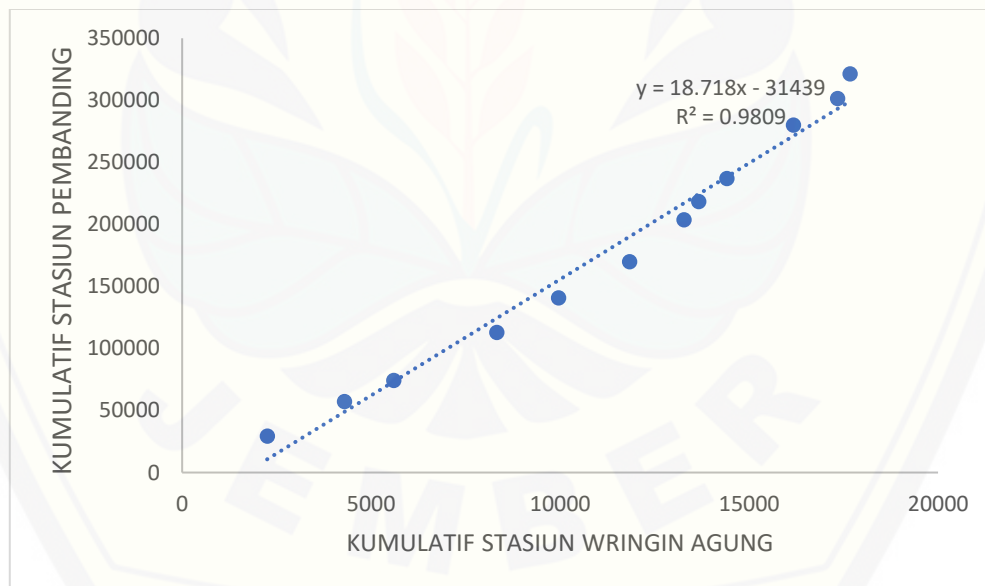
Gambar A.14 Grafik Uji Konsistensi Stasiun Wonorejo (Pengolahan Data, 2019)



Tabel A.15 Perhitungan Uji Konsistensi Stasiun Wringin Agung

Tahun	Sta	Kumulatif Sta	Rata-rata Sta Pemandang	Kumulatif Sta Pemandang
2007	2248	2248	29340	29340
2008	2045	4293	27681	57021
2009	1301	5594	17140	74161
2010	2732	8326	38605	112766
2011	1628	9954	27923	140689
2012	1882	11836	29158	169847
2013	1437	13273	33877	203724
2014	396	13669	14551	218275
2015	737	14406	18714	236989
2016	1767	16173	43000	279989
2017	1164	17337	21320	301309
2018	330	17667	20043	321352

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019



Gambar A.15 Grafik Uji Konsistensi Stasiun Wringin Agung (Pengolahan Data, 2019)

## LAMPIRAN B

Tabel B.1 Data Curah Hujan Metode Aljabar

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jil	Agt	Sep	Okt	Nop	Des
	0	4	1	12	0	17	0	0	0	0	6	2
	0	2	1	8	3	0	0	0	0	0	25	28
	6	11	3	0	0	1	0	0	0	0	1	12
	0	44	2	0	2	11	0	0	0	0	0	5
	0	3	4	2	1	21	0	0	0	0	5	14
	0	5	17	8	1	0	0	0	0	0	4	47
	0	11	13	1	0	0	0	0	0	0	8	32
	2	0	3	2	0	0	0	0	0	0	0	9
	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0	2	11
	0	15	0	2	1	0	0	0	0	0	0	13
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	4
	0	1	0	2	5	0	0	0	0	0	9	38
	1	6	3	2	0	0	0	0	0	0	10	44
	4	1	4	5	7	0	0	0	0	0	8	19
	3	1	8	8	0	0	0	0	0	0	58	7
2007	0	25	22	20	0	0	0	0	0	0	6	17
	0	69	2	2	5	0	0	0	0	0	0	21
	0	15	0	0	3	0	16	0	0	0	0	4
	13	15	13	13	5	0	1	0	0	0	0	5
	11	23	11	11	0	3	0	0	0	0	0	8
	26	41	26	26	6	0	0	0	0	0	0	13
	35	16	35	35	1	0	0	0	0	3	0	17
	13	19	13	14	4	0	0	0	0	0	0	1
	23	2	23	21	0	0	0	0	0	0	0	2
	3	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
	0	10	26	26	0	0	0	0	0	0	0	47
	0	0	26	26	0	0	0	0	0	0	0	54
	0	2	6	6	0	5	0	0	0	4	0	0
	5		1	1	7	8	0	0	0	26	0	14
	1		42	42	2	0	0	0	0	13	3	0
	0		0		35		0	0		7		12
	43	0	7	0	1	0	0	0	0	0	1	4
2008	0	7	15	17	31	0	0	0	1	0	6	4
	18	7	13	0	8	0	0	0	0	5	14	2

	10	25	5	13	0	0	0	0	0	10	7	3
	14	51	7	1	5	0	0	0	0	0	2	0
	0	3	35	2	6	0	0	0	0	0	40	0
	1	0	5	16	3	0	0	0	0	1	3	8
	12	6	0	7	0	0	0	0	0	3	10	15
	0	19	16	3	0	0	0	0	0	6	7	22
	0	2	1	0	0	0	0	0	0	7	4	10
	1	12	18	19	0	0	0	0	0	1	11	43
	0	3	5	4	0	1	0	0	0	2	4	43
	2	1	3	4	0	5	0	0	0	2	14	10
	1	0	14	0	0	0	0	0	0	5	2	33
	1	12	0	3	0	0	0	0	0	2	15	1
	3	2	1	12	0	0	0	0	0	0	8	2
	13	0	10	0	0	0	0	0	0	3	4	2
	21	3	2	0	0	0	0	0	0	12	9	9
	51	1	19	0	0	0	0	0	0	11	16	39
	1	61	16	1	3	1	0	0	0	4	0	3
	2	7	15	0	0	0	0	0	0	1	1	5
	1	4	23	0	0	0	0	0	0	8	1	10
	0	19	10	0	0	0	0	0	0	0	15	8
	0	0	27	2	0	0	0	0	0	6	5	1
	0	0	3	10	0	0	0	0	0	0	45	2
	3	15	1	0	0	2	0	0	0	0	26	0
	0	24	4	2	0	0	0	0	0	45	9	0
	4	6	2	0	1	0	0	0	0	15	4	1
	2	18	1	0	0	0	0	0	0	9	0	32
	14		14	0	0	0	0	0	0	17	0	22
	25		4	0	0	0	0	0	0	1		36
	10	7	0	14	0	2	0	0	0	2	0	1
	6	86	2	4	0	2	0	0	0	1	0	0
	2	33	1	2	0	0	0	0	0	0	3	1
	0	1	21	17	0	0	0	0	0	0	5	0
2009	1	3	4	9	1	0	0	0	0	0	0	22
	2	2	4	9	0	0	0	0	0	0	0	11
	1	0	7	19	1	3	0	0	0	0	4	13
	4	0	21	0	0	1	0	0	0	0	2	5
	1	0	5	2	7	0	0	0	0	0	0	7
	0	1	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0

	0	5	3	1	10	0	0	0	0	0	1	0
	0	6	0	0	10	0	0	0	0	10	0	0
	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	2	14	0
	5	0	0	0	1	0	0	0	0	0	8	0
	1	34	0	0	0	0	0	0	9	0	30	0
	1	4	0	0	0	0	0	0	4	0	7	2
	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	11	1
	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	14	0
	0	0	1	4	15	0	0	0	0	0	7	0
	1	3	0	7	0	0	0	0	0	0	25	0
	12	4	0	1	11	0	0	0	2	0	16	0
	2	5	8	1	0	0	10	0	0	0	7	6
	8	2	0	2	0	0	5	0	0	1	0	3
	0	7	0	1	0	0	6	0	0	10	1	7
	6	23	0	1	1	0	2	0	0	10	0	20
	4	4	11	0	34	0	0	0	0	0	12	9
	9	2	1	0	8	0	0	0	0	0	9	3
	16		6	0	0	0	0	0	0	0	23	28
	7		2	0	1	0	0	0	0	0	0	2
	60		9		1		0	0		0		9
	1	14	15	1	1	1	0	0	1	0	21	6
	12	8	4	11	2	0	0	0	0	5	3	0
	0	4	3	9	18	1	3	2	0	2	10	0
	3	13	1	6	21	1	8	1	0	1	16	6
	6	18	71	12	22	1	12	3	0	6	3	38
	23	27	5	10	3	1	1	0	9	1	8	32
	6	42	15	2	25	0	0	0	10	0	10	24
	1	8	5	0	6	1	3	0	2	2	60	32
2010	27	3	12	1	20	2	3	0	7	2	9	14
	9	7	28	5	15	2	1	0	3	13	18	29
	1	0	6	9	6	17	2	0	8	0	10	1
	2	0	2	3	7	1	9	0	35	17	1	1
	0	7	21	12	19	31	10	1	7	0	1	13
	14	12	3	13	26	1	10	0	11	0	2	2
	31	22	4	11	4	5	2	0	2	0	1	3
	9	2	8	8	0	6	0	0	5	6	4	1
	11	6	2	30	0	1	0	0	5	2	0	4

	1	6	10	7	0	0	2	0	10	1	2	4
	7	8	7	23	1	0	0	0	24	7	0	2
	8	12	5	3	0	0	0	0	6	0	0	13
	27	5	1	3	2	0	0	4	4	1	0	9
	13	0	1	2	0	0	0	13	1	26	0	4
	1	5	13	1	0	0	2	8	23	1	0	0
	0	2	0	13	27	0	0	5	9	24	22	0
	18	3	0	10	0	0	0	0	14	15	22	0
	12	13	3	18	8	0	2	0	8	10	25	1
	32	2	2	17	18	0	2	0	6	21	6	1
	13	0	2	66	5	4	14	0	0	7	19	1
	1		5	12	1	10	10	0	0	5	13	2
	3		24	0	5	0	0	0	0	2	18	1
	7		25		0		0	5		25		1
	28	48	10	10	32	0	0	0	0	0	10	6
	6	15	1	44	10	0	0	0	0	0	18	9
	11	11	0	11	4	3	0	0	0	0	6	9
	49	4	1	17	2	2	0	0	0	0	0	37
	0	6	0	4	1	0	0	0	0	0	1	2
	0	0	3	0	3	0	0	0	0	0	6	5
	59	4	13	0	26	0	0	0	0	0	13	9
	1	2	2	4	1	0	0	0	0	0	41	5
	6	0	20	5	17	0	0	0	0	0	28	8
	7	4	7	8	0	0	0	0	0	0	12	0
	11	1	38	50	0	0	0	0	0	0	2	2
2011	1	12	0	32	3	0	0	0	0	0	9	1
	0	8	2	26	1	0	0	0	0	0	4	8
	1	0	0	10	5	0	0	0	0	0	17	10
	7	4	1	1	1	0	0	0	0	0	2	2
	9	5	2	2	47	0	0	0	0	0	3	8
	16	0	1	0	2	0	0	0	0	0	8	26
	12	0	12	1	0	0	0	0	0	4	5	2
	1	1	2	1	2	0	0	0	0	1	11	25
	0	4	6	2	2	0	0	0	0	5	21	1
	27	0	1	2	0	0	0	0	0	0	2	11
	4	12	0	4	1	0	0	0	0	1	28	2
	0	10	0	1	0	0	0	0	0	2	23	4
	30	24	18	3	0	0	0	0	0	8	0	38

	1	15	7	0	0	0	0	0	0	1	0	7
	25	15	5	0	0	0	0	0	0	10	0	22
	0	0	0	7	0	1	0	0	0	13	0	7
	0	0	3	1	0	0	0	0	0	2	8	12
	5		3	2	0	0	0	0	0	6	9	39
	1		15	5	0	0	0	0	0	2	28	3
	12		0		16	0	0			3		14
	6	20	3	12	4	0	0	0	0	0	4	12
	53	2	34	33	0	0	0	0	0	0	5	8
	2	10	12	13	0	0	0	0	0	0	4	12
	24	14	14	29	0	0	0	0	0	0	4	0
	1	24	11	13	6	0	0	0	0	0	0	11
	6	1	3	12	15	0	0	0	0	0	0	12
	30	6	1	13	3	0	0	0	0	0	0	5
	9	7	78	1	1	2	0	0	0	5	0	24
	24	21	3	11	0	0	0	0	0	0	1	16
	7	4	6	1	0	0	0	0	0	0	2	13
	0	1	1	21	0	0	0	0	0	0	0	18
	36	4	0	12	0	0	0	0	0	0	0	34
	10	6	3	13	4	0	0	0	0	8	0	10
	7	0	48	3	11	0	2	0	0	0	2	3
	32	7	0	1	1	0	1	0	0	0	23	3
2012	21	8	0	5	16	0	0	0	0	20	13	5
	13	33	1	7	2	0	0	0	0	11	4	6
	3	3	5	8	0	0	12	0	0	1	7	26
	17	12	10	1	3	0	46	0	0	0	13	8
	62	26	27	0	0	0	0	0	0	0	22	0
	2	29	4	0	0	0	0	0	0	0	1	6
	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	10	3
	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	15	2
	12	11	0	0	0	0	1	0	0	0	3	2
	0	44	0	0	3	0	1	0	0	0	8	5
	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	5	3
	2	6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	13
	16	36	0	0	0	0	7	0	0	0	16	8
	34	5	1	3	0	0	14	0	0	1	13	1
	34		5	14	0	0	0	0	0	8	3	3
	1		5		0		0	0		1		25



23	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	11	5	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	8	
5	1	10	0	0	0	0	0	0	0	3	9	
2	4	22	0	0	0	0	0	0	0	6	1	
1	1	38	0	0	0	0	0	0	0	5	1	
0	1	4	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	1	11	
0	3	5	0	0	0	0	0	0	0	3	7	
14	0	6	0	0	0	0	0	0	0	22	0	
2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	13	11	
0	2	2	0	0	0	0	0	0	5	3	5	
12	2	1	0	0	0	1	0	0	0	0	8	
10	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	
5	2	1	0	0	0	0	0	0	0	1	3	
53	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	11	
39	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
30	3	1	0	0	0	0	0	0	0	4	6	
0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	13	7	
1	3	13	0	0	0	0	0	0	0	0	10	
2		8	0	0	0	0	0	0	0	8	9	
9		1	0	0	0	0	0	0	1	12	2	
1		13		0	0	0			0		5	
<hr/>												
2	47	11	0	12	0	0	0	0	0	0	7	
2	12	1	15	7	0	0	0	0	0	0	4	
3	0	0	12	17	0	0	0	0	0	0	11	
1	0	1	6	13	1	0	0	0	0	0	7	
3	2	0	4	0	1	0	0	0	0	0	3	
0	11	7	2	0	0	0	0	0	0	0	6	
0	6	16	7	0	0	0	0	0	0	2	7	
2015	0	40	4	14	0	0	0	0	0	3	13	
0	10	11	9	0	0	0	0	0	0	0	10	
0	7	5	10	1	0	0	0	0	0	4	9	
4	9	4	20	15	0	0	0	0	0	30	16	
5	42	4	21	9	0	0	0	0	0	3	15	
27	28	18	11	22	0	0	0	0	0	2	19	
7	4	4	7	5	0	0	0	0	0	1	6	



13	5	17	4	1	0	0	0	0	0	1	4	
8	0	3	8	0	0	0	0	0	0	1	1	
5	5	12	10	0	0	0	0	0	0	2	1	
4	1	2	2	0	0	0	0	0	0	3	32	
1	9	0	4	0	0	0	0	0	0	3	7	
3	18	4	0	0	0	0	0	0	0	2	1	
4	5	1	4	0	0	0	0	0	0	2	0	
5	1	5	11	0	0	0	0	0	0	1	4	
1	1	13	13	0	0	0	0	0	0	3	5	
4	29	8	10	0	3	0	0	0	0	3	5	
2	18	7	18	0	5	0	0	0	0	0	3	
7	0	12	32	0	3	0	0	0	0	0	19	
0	4	15	4	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	3	2	11	0	0	0	0	0	0	0	0	
2		4	2	0	0	0	0	0	0	5	0	
4		0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	
8		4		0		0		0			0	
<hr/>												
0	17	7	5	15	5	1	0	0	0	17	43	
0	77	2	6	12	0	4	0	0	8	5	19	
5	55	2	24	0	0	0	1	0	13	9	71	
0	1	2	13	5	0	1	2	0	16	2	9	
2	6	10	5	2	0	0	7	0	4	5	3	
3	6	8	2	3	1	0	3	0	13	4	22	
4	15	14	15	18	19	0	1	3	26	1	1	
3	26	1	5	0	10	0	4	0	20	9	3	
3	12	4	10	49	5	0	10	1	13	7	65	
4	22	4	12	6	0	2	0	0	34	9	3	
2016	10	10	7	13	1	5	5	0	3	17	30	16
10	43	2	24	23	10	15	0	2	22	1	13	
3	15	2	7	15	0	2	2	0	0	17	9	
1	1	1	18	6	17	3	0	8	0	5	14	
4	7	0	4	4	32	7	0	0	0	4	16	
2	22	1	5	6	2	5	0	3	2	14	4	
2	33	2	3	2	5	0	1	1	1	10	10	
3	1	12	6	0	8	3	0	6	0	4	22	
4	0	0	0	0	29	3	0	2	0	9	11	
21	5	0	0	0	6	4	0	1	3	6	18	
11	8	1	0	0	0	3	0	1	6	11	3	

12	23	17	1	0	0	10	0	20	4	7	5
6	8	3	6	0	0	4	5	4	3	10	6
6	10	9	5	0	0	1	0	13	7	31	0
3	5	8	6	0	0	0	0	14	37	29	1
2	28	7	12	0	1	0	0	14	11	10	0
10	11	12	19	0	13	0	0	19	16	10	0
10	13	2	1	25	6	0	24	6	9	56	0
0	6	1	5	11	11	0	1	9	0	30	2
0		15	8	5	2	0	0	0	2	10	30
0		39		7		0	0		13		3
<hr/>											
22	36	14	2	0	5	0	0	0	0	0	0
1	28	18	1	0	2	0	0	0	0	0	2
2	9	19	13	6	1	0	1	0	0	0	0
8	10	7	15	6	0	0	0	0	0	4	0
6	8	3	0	1	0	0	0	0	0	9	20
26	0	29	1	6	0	0	0	0	11	9	7
6	0	9	0	0	0	0	0	0	4	5	3
17	4	13	11	0	0	0	0	0	8	1	0
3	27	1	5	0	3	0	0	0	7	1	0
3	9	1	4	2	0	0	0	0	19	1	0
12	3	2	2	0	2	1	1	0	8	1	28
4	21	3	2	0	5	1	0	0	1	2	14
9	13	12	2	0	3	1	0	0	0	9	8
24	4	9	0	0	0	0	0	0	0	9	6
2017	2	2	0	0	0	0	0	0	0	1	3
6	0	5	0	1	0	0	0	0	1	8	0
14	1	1	2	2	0	0	0	0	0	5	2
13	4	2	4	1	0	0	0	0	0	18	1
22	0	4	8	0	0	0	0	0	2	7	29
16	2	5	13	0	0	0	0	0	0	8	1
8	0	12	1	1	0	0	0	0	0	6	2
5	2	3	3	0	1	0	0	0	0	4	2
6	2	11	6	1	3	0	0	0	0	5	1
12	7	8	7	1	4	0	0	2	11	6	1
3	12	2	12	2	4	0	0	15	3	6	0
7	2	21	0	0	5	0	0	9	14	15	2
8	22	20	2	2	9	0	0	1	3	16	2
14	0	1	3	2	1	1	0	5	2	5	2

	6		2	7	5	0	0	0	0	0	4	2
	2		0	0	7	0	0	0	0	0	1	16
	14		1		0		0	0		0		2
	33	48	5	2	0	0	0	0	0	0	0	6
	3	54	11	3	0	0	0	0	0	0	0	7
	5	15	22	25	0	0	0	0	0	0	0	11
	24	13	7	51	0	0	0	0	0	0	0	21
	26	12	9	6	0	2	0	0	0	0	0	18
	32	4	27	3	0	0	0	0	0	0	0	39
	9	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	8
	31	2	16	36	0	0	0	0	0	0	0	25
	9	53	8	16	0	0	0	0	0	0	0	3
	3	6	1	13	2	0	0	0	0	0	0	5
	20	7	3	0	2	3	1	3	0	0	0	40
	3	36	4	0	4	1	1	1	0	0	0	28
	1	15	16	2	0	0	0	0	0	0	0	14
	19	1	24	1	0	0	0	0	0	0	0	3
	4	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	10
2018	12	1	0	4	4	0	0	0	0	0	0	6
	10	2	1	6	7	0	0	0	0	0	0	3
	23	7	2	25	2	0	0	0	0	0	0	0
	28	1	0	26	1	0	0	0	0	0	0	145
	12	2	0	14	0	18	0	0	0	0	0	3
	10	2	0	1	1	2	0	0	0	0	0	7
	5	6	0	4	2	5	0	0	0	0	0	39
	4	5	14	18	4	2	0	0	0	0	0	97
	51	15	3	8	1	4	0	0	2	0	0	5
	3	17	1	2	3	3	0	0	0	0	0	39
	7	2	5	0	1	0	0	0	0	0	0	2
	7	3	21	1	0	0	0	0	0	0	0	7
	11	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	27
	3		2	1	0	0	0	0	3	0	0	12
	1		7	0	0	0	0	0	0	0	0	14
	11		2		0		0	0		0		7

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019

## LAMPIRAN C

## C.1 Hasil Pembentukan HRU Tataguna Lahan 2009

SWAT model simulation Date: 11/9/2019 12:00:00 AM Time: 00:00:00  
 MULTIPLE HRUs LandUse/Soil/Slope OPTION THRESHOLDS : 0 / 0 / 0  
 [%]  
 Number of HRUs: 342  
 Number of Subbasins: 15

		Area [ha]
Area [acres]		
Watershed		26434.7164
65321.5060		
		Area [ha]
Area [acres]	%Wat.Area	
LANDUSE:		
		Forest-Mixed --> FRST
15358.2919	23.51	6215.2898
		Forest-Evergreen --> FRSE
8888.6576	13.61	3597.1177
		Orchard --> ORCD
11733.5797	17.96	4748.4186
		Oak --> OAK
157.8227	0.24	63.8687
		Agricultural Land-Generic --> AGRL
23535.3349	36.03	9524.4268
		Residential --> URBN
3645.0183	5.58	1475.0889
		Rice --> RICE
2002.8010	3.07	810.5060
SOILS:		
		DEERFIELD
36589.8715	56.02	14807.4185
		KEARSARGE
10181.9982	15.59	4120.5149
		ENCHANTED
18549.6362	28.40	7506.7830
SLOPE:		
		0-8
20110.1347	30.79	8138.2953
		8-15
11225.8915	17.19	4542.9641
		15-25
10812.6532	16.55	4375.7323
		40-9999
11421.1304	17.48	4621.9746
		25-40
11751.6962	17.99	4755.7501

C.2 Hasil Pembentukan HRU Tataguna Lahan 2017

SWAT model simulation Date: 11/9/2019 12:00:00 AM Time: 00:00:00  
 MULTIPLE HRUs LandUse/Soil/Slope OPTION THRESHOLDS : 0 / 0 / 0  
 [%]  
 Number of HRUs: 425  
 Number of Subbasins: 15

Area [acres]		Area [ha]
Watershed		26434.7164
65321.5060		
Area [acres]	%Wat.Area	Area [ha]
LANDUSE:		
		Forest-Evergreen --> FRSE
10052.9749	15.39	4068.3009
		Orchard --> ORCD
12688.1437	19.42	5134.7175
		Forest-Mixed --> FRST
13059.8338	19.99	5285.1354
		Range-Brush --> RNGB
1120.8446	1.72	453.5904
		Agricultural Land-Generic --> AGRL
8636.4380	13.22	3495.0479
		Residential --> URBN
4891.1605	7.49	1979.3855
		Rice --> RICE
14872.1105	22.77	6018.5389
SOILS:		
		DEERFIELD
36589.8715	56.02	14807.4185
		KEARSARGE
10181.9982	15.59	4120.5149
		ENCHANTED
18549.6362	28.40	7506.7830
SLOPE:		
		25-40
11751.6962	17.99	4755.7501
		15-25
10812.6532	16.55	4375.7323
		0-8
20110.1347	30.79	8138.2953
		8-15
11225.8915	17.19	4542.9641
		40-9999
11421.1304	17.48	4621.9746