



**PENGARUH PERUBAHAN TATA GUNA LAHAN TERHADAP
DEBIT BANJIR SUB-SUB DAS KEYANG – SLAHUNG –
TEMPURAN (KST) MENGGUNAKAN MODEL SWAT (*SOIL
AND WATER ASSESSMENT TOOL*)**

SKRIPSI

Oleh

**M. Khuzaimy Rurroziq Basthoni
NIM. 161910301087**

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



**PENGARUH PERUBAHAN TATA GUNA LAHAN TERHADAP DEBIT BANJIR
SUB-SUB DAS KEYANG – SLAHUNG – TEMPURAN (KST) MENGGUNAKAN
MODEL SWAT (*SOIL AND WATER ASSESSMENT TOOL*)**

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

**M. Khuzaimy Rurroziq Basthoni
NIM. 161910301087**

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

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan secara tulus untuk :

1. Kedua orang tua dan keluarga yang telah memberikan semangat dan dukungan berupa moril maupun materil yang sangat membantu dalam proses pembuatan skripsi hingga selesai.
2. Seluruh dosen, staff pengajar dan administrasi Fakultas Teknik Universitas Jember yang sangat membantu dalam proses perkuliahan di kampus.
3. BPDAS Bengawasn Solo, BBWS Bengawan Solo, BPKH Wilayah IX Yogyakarta, Bappeda Kabupaten Ponorogo dan Dinas PU Kabupaten Ponorogo yang telah berkenan untuk membantu dalam hal pengumpulan data skirpsi.
4. Keluarga besar Teknik Sipil Angkatan 2016 (Biji Besi).
5. Mahasiswa program pasca-sarjana dan kakak tingkat Teknik Sipil yang telah membantu dalam memahami program bantu ArcSwat.

MOTTO

“Dan tiadalah kehidupan dunia ini melainkan senda gurau dan main-main. Dan sesungguhnya akhirat itulah yang sebenarnya kehidupan, kalau mereka mengetahui”

(Q.S. Al- Ankabut : 64)

“Barang siapa yang menunjuki kebaikan, maka ia akan mendapatkan pahala seperti pahala orang yang mengerjakannya”

(H.R. Muslim)

“Cukuplah Allah menjadi penolong kami dan Allah adalah sebaik-baik pelindung”

(HR. Bukhari no. 4563)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : M. Khuzaimy Rurroziq Basthoni

NIM : 161910301087

Menyatakan bahwa tugas akhir yang berjudul “Prediksi Laju Sedimentasi Pada Sungai Jatiroto” merupakan hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya cantumkan berdasarkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapundan bukan jiplakan karya orang lain. Saya bertanggung jawab atas kebenaran dan keabsahan isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan benar adanya,tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta saya bersedia menadpat sanksi akademik apabila dikemudian hari pernyataan yang telah dibuat tidak benar.

Jember, 9 Januari 2020

Yang Menyatakan,

M. Khuzaimy Rurroziq Basthoni

NIM. 161910301087

SKRIPSI

**PENGARUH PERUBAHAN TATA GUNA LAHAN TERHADAP DEBIT
BANJIR SUB-SUB DAS KEYANG-SLAHUNG-TEMPURAN
MENGUNAKAN MODEL SWAT (*SOIL AND WATER ASSESSMENT
TOOL*)**

Oleh:

M. Khuzaimy Rurroziq Basthoni

161910301087

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Dr., Ir., Gusfan Halik, S.T., M.T.

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

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Debit Banjir Sub-sub DAS Keyang – Slahung – Tempuran (KST) Menggunakan Model SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*), M. Khuzaimy Rurroziq Basthoni, 161910301087” telah diuji dan disahkan pada :

hari, tanggal : Kamis, 9 Januari 2020

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama,



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

Dosen Pembimbing Anggota,



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

Tim Penguji :

Ketua,



Dwi Nurtanto, S.T., M.T.
NIP. 19731015 199802 1 001

Anggota,



Retno Utami A. W., M.Eng., Ph.D.
NRP. 760017219

Mengesahkan
Dekan,



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

RINGKASAN

Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Debit Banjir Sub-sub DAS Keyang-Slahung-Tempuran (KST) Menggunakan Model SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*); M. Khuzaimy Rurroziq Basthoni, 161910301087; 2020; 68 halaman; Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

Perubahan tata guna lahan mempengaruhi puncak debit banjir pada suatu DAS. Setiap tahunnya, Kota Ponorogo dilanda bencana banjir pada saat musim hujan tiba. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh perubahan tata guna lahan terhadap puncak debit banjir di sub-sub DAS KST menggunakan program bantu SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan tata guna lahan berdampak pada peningkatan puncak debit banjir. Puncak debit banjir tertinggi terjadi pada tanggal 12 maret 2018, dengan luas hutan 29.55 % (tata guna lahan tahun 2015) menghasilkan puncak debit banjir 573.70 m³/s . Pada waktu dan penggunaan data curah hujan yang sama, puncak debit banjir terendah terjadi saat luas hutan 31.07 % (tata guna lahan tahun 1990) yaitu 572.50 m³/s. Berdasarkan kondisi existing tata guna lahan saat ini, masih terjadi banjir sehingga diperlukan skenario pola tata guna lahan. Skenario tiga merupakan pola tata guna lahan yang optimal, dengan luasan hutan 45.40 % menghasilkan puncak debit banjir 569.50 m³/s (siaga normal).

SUMMARY

The Influence of Land Use Changes to Flood of sub-sub Watersheds Keyang-SlahungTempuran (KST) Using SWAT (Soil and Water Assessment Tool); M. Khuzaimy Rurroziq Basthoni, 161910301087; 2020; 68 halaman; Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

Land-use change impacts the peak of flood discharge on a watershed. Every year, Ponorogo was hit by a flood during the rainy season came. This study aims to analyze the impact of land-use change to the peak of flood discharge in sub-sub watersheds KST using SWAT (Soil and Water Assessment Tool). The result shows that land-use change has an impact on increasing the peak of flood discharge. The highest peak of flood discharge occurred on March 12, 2018, with a forest cover 29.55 % (land-use in 2015) has a peak of flood discharge $573.70 \text{ m}^3/\text{s}$. At the same time and use of rainfall data, the lowest peak of flood discharge occurred when 31.07 % of forest cover (land-use in 1990) was $572.50 \text{ m}^3/\text{s}$. Based on the existing condition of land-use, floods are still occurring so a land-use scenario is needed. Scenario three is the optimal land-use, with a forest cover 45.40 % obtained a peak of flood discharge $569.50 \text{ m}^3/\text{s}$ (normal alert).

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT, Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang, atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Debit Banjir Sub-sub DAS Keyang-Slahung-Tempuran (KST) Menggunakan Model SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*)”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Sipil Universitas Jember.

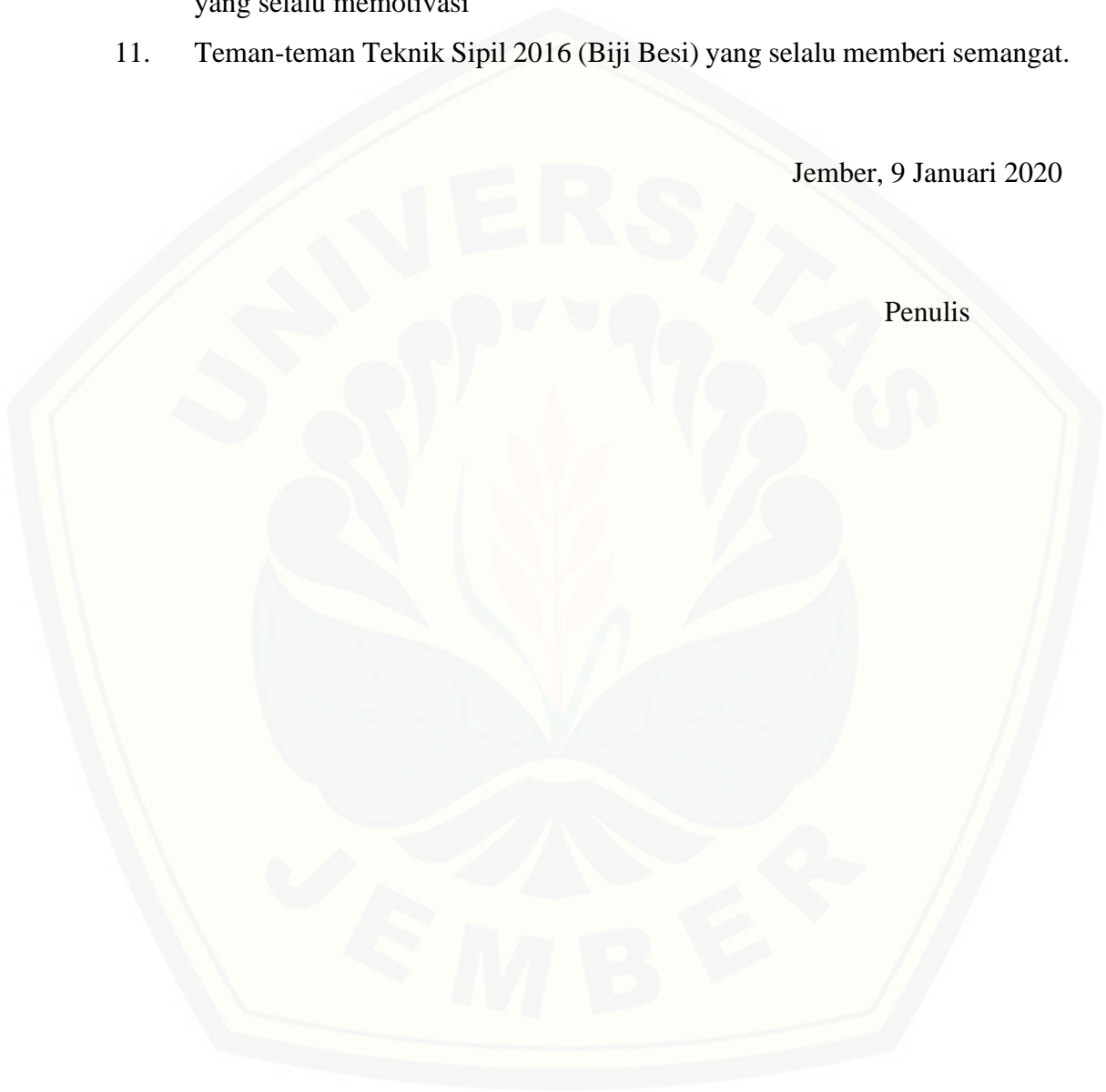
Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Dr., Ir., Entin Hidayah, M.UM. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember
2. Dr., Ir., Gusfan Halik, S.T.,M.T. selaku Ketua Jurusan dan Dr., Anik Ratnaningsih, S.T.,M.T. selaku Ketua Program Studi (S1) Jurusan Teknik Sipil Universitas Jember
3. Dr., Ir., Gusfan Halik, S.T.,M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Dr., Ir., Entin Hidayah, M.UM. selaku Dosen Pembimbing Anggota dalam penyusunan skripsi
4. Paksitya Purnama Putra, S.T.,M.T selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa
5. Keluarga tercinta, kepada Ibu dan Almh. Ayah serta saudara-saudaraku yang ikut membantu memberikan dukungan, motivasi maupun materil
6. BBWS Bengawan Solo, BPDAS Bengawan Solo, BPKH Wilayah IX Yogyakarta, Bappeda Kabupaten Ponorogo dan Dinas PU Kabupaten Ponorogo yang telah berkenan memperlancar pengumpulan data
7. Bapak Ito dan Bapak Tofik (BBWS Bengawan Solo), Ibu Kumala (BPDAS Bengawan Solo), Bapak Fuad (Dinas PU Kab. Ponorogo), dan Bapak Juna (Bappeda Kab. Ponorogo) yang telah berkenan menerima dan mempermudah saya dalam pengumpulan data.

8. Mas Viktor yang telah berkenan memberi panduan mengolah data di Arc-SWAT
9. Rizka Septy Amaliya yang selalu mendukung dan membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir saya.
10. Tim TA Air dan SWAT Fighter yaitu Diah Ainunisa dan Hajar Crisia C yang selalu memotivasi
11. Teman-teman Teknik Sipil 2016 (Biji Besi) yang selalu memberi semangat.

Jember, 9 Januari 2020

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
PERSEMBAHAN	iii
MOTTO	iv
PERNYATAAN	v
PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	ix
PRAKATA	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Siklus Hidrologi	4
2.2 Sistem Hidrologi Daerah Aliran Sungai (DAS).....	4
2.3 Aliran Permukaan.....	6
2.4 Banjir	7
2.5 Penggunaan Lahan	7
2.6 Uji Konsistensi Data.....	8
2.7 Hujan Rata- Rata Wilayah.....	9
2.8 Metode Reciprocal	9
2.9 Sistem Informasi Geografis (<i>Geographic Information System</i>).....	10
2.10 SWAT (<i>Soil and Water Assessment Tool</i>)	10
2.11 Kalibrasi dan Validasi	13

2.12 Lengkung Aliran Debit (<i>Discharge Rating Curve</i>)	14
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	16
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	16
3.2 Pengumpulan Data	17
3.3 Pengolahan Data Analisis Hidrologi	18
3.4 Analisis Pemodelan debit aliran menggunakan <i>ARC-SWAT</i>	19
3.5 Analisis Data	30
3.6 Diagram Alir.....	32
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1 Karakteristik Sub-sub DAS Keyang – Slahung – Tempuran (KST)..	34
4.2 Analisa Hidrologi	34
4.2.1 Pengecekan Data Curah Hujan Hilang	35
4.2.2 Pengecekan Kualitas Data Curah Hujan.....	36
4.3 Pengolahan Data Input Spasial Arcswat	37
4.3.1 Peta DEM.....	38
4.3.3 Peta Jenis Tanah (Soil)	40
4.3.4 Peta Kemiringan lereng (Slope).....	41
4.4 Pengolahan Data Input Non-Spasial Arcswat	42
4.4.1 Hujan Rata-Rata Wilayah	42
4.4.2 Data Iklim	43
4.5 Pengolahan Data di Arcswat	43
4.5.1 Delineasi DAS	43
4.5.2 Pembentukan HRU	44
4.5.3 Memasukan Data Iklim dan Hidrologi	46
4.5.4 Hasil Debit Model.....	46
4.6 Analisa Debit Banjir	56
4.7 <i>Running</i> Perubahan Tata Guna Lahan	57
4.8 Simulasi Tata Guna Lahan Optimal	63
BAB 5 PENUTUP	68
5.1 Kesimpulan.....	68
5.2 Saran	68

DAFTAR PUSTAKA	69
LAMPIRAN	73



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 3.1 Peta DAS Keyang-Slahung-Tempuran (KST)	16
Gambar 3.2 Cara Mengaktifkan <i>Arc-SWAT</i>	20
Gambar 3.3 <i>Toolbar Arc-SWAT</i>	20
Gambar 3.4 Cara menampilkan Jendela <i>SWAT Project</i>	21
Gambar 3.5 Jendela <i>SWAT Project</i>	21
Gambar 3.6 Cara Membuka Jendela <i>Watershed Delineation</i>	22
Gambar 3.7 Jendela <i>Watershed Delineation</i>	22
Gambar 3.8 Jendela <i>Attributes of Watershed</i>	23
Gambar 3.9 Cara membuka HRU <i>Land use/Soils/ Slope Definition</i>	23
Gambar 3.10 Jendela <i>Land Use Data</i>	24
Gambar 3.11 Jendela <i>Soil Data</i>	24
Gambar 3.12 Jendela <i>Slope Data</i>	25
Gambar 3.13 Cara membuka <i>HRU Definition</i>	25
Gambar 3.14 Jendela <i>HRU Definition</i>	26
Gambar 3.15 Cara membuka <i>Weather Stations</i>	26
Gambar 3.16 Jendela <i>Weather Generator Data</i>	27
Gambar 3.17 Jendela <i>Rainfall Data</i>	27
Gambar 3.18 Cara membuka <i>Write Input Table</i>	28
Gambar 3.19 Jendela <i>Write SWAT Database Tables</i>	28
Gambar 3.20 Jendela <i>Setup and Run SWAT Model Simulation</i>	29
Gambar 3.21 <i>Plotting SWAT outflow in Excel</i>	29
Gambar 3.22 Diagram Alir Penelitian	32
Gambar 3.23 Diagram Alir <i>Arc-SWAT</i>	33
Gambar 4.1 Grafik Uji Konsistensi Stasiun Sumorobangun	37
Gambar 4.2 Peta DEM	38
Gambar 4.3 Peta Tata Guna Lahan 2015	39
Gambar 4.4 Peta Jenis Tanah FAO	40
Gambar 4.5 Peta Kemiringan Lereng	41
Gambar 4.6 Peta Sta. CH	42

Gambar 4.7 Peta Hasil Deliniasi	44
Gambar 4.8 Peta Full HRU	45
Gambar 4.9 Grafik Debit Awal Model	47
Gambar 4.10 Grafik R2 Debit Awal Model.....	48
Gambar 4.11 Grafik Kalibrasi Model	49
Gambar 4.12 Grafik R2 Kalibrasi Model.....	49
Gambar 4.13 Grafik Validasi Tahun 2009.....	51
Gambar 4.14 Grafik R2 Validasi Tahun 2009	51
Gambar 4.15 Grafik Validasi Tahun 2010.....	52
Gambar 4.16 Grafik R2 Validasi Tahun 2010	52
Gambar 4.17 Grafik Validasi Tahun 2015	53
Gambar 4.18 Grafik R2 Validasi Tahun 2015	53
Gambar 4.19 Grafik Validasi Tahun 2017.....	54
Gambar 4.20 Grafik R2 Validasi Tahun 2017	54
Gambar 4.21 Grafik Validasi Tahun 2018.....	55
Gambar 4.22 Grafik R2 Validasi Tahun 2018	55
Gambar 4.23 Tata Guna Lahan 1990	58
Gambar 4.24 Titik Puncak Debit Simulasi Tata Guna Lahan Tahun 1990 .58	
Gambar 4.25 Tata Guna Lahan 2000	59
Gambar 4.26 Tata Guna Lahan 2006	59
Gambar 4.27 Tata Guna Lahan 2015	60
Gambar 4.28 Grafik Perubahan Puncak Debit Banjir.....	61
Gambar 4.29 Grafik Man-Kandall	63
Gambar 4.30 Tata Guna Lahan Skenario 3.....	64
Gambar 4.31 Grafik Puncak Debit Skenario 3.....	65
Gambar 4.33 Tata Guna Lahan Skenario 1	65
Gambar 4.34 Grafik Puncak Debit Skenario 1.....	66
Gambar 4.35 Tata Guna Lahan Skenario 2.....	66
Gambar 4.36 Grafik Puncak Debit Skenario 2.....	66
Gambar 4.37 Grafik Perubahan Presentase Titik Puncak Debit	67

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Pengumpulan Data	17
Tabel 4.1 Koordinat Stasiun Curah Hujan	34
Tabel 4.2 Tabel Rekapitulasi Perhitungan Curah Hujan	35
Tabel 4.3 Konsistensi Data Curah Hujan	36
Tabel 4.4 Uji Konsistensi Stasiun Sumorobangun.....	37
Tabel 4.5 Tata Guna Lahan 2015	39
Tabel 4.6 Jenis Tanah FAO.....	40
Tabel 4.7 Kemiringan Lereng	41
Tabel 4.8 Luasan Polygon Thiessen	42
Tabel 4.9 Luas Sub-Basin	45
Tabel 4.10 Debit Awal Model.....	47
Tabel 4.11 Parameter SWAT	48
Tabel 4.12 Kalibrasi Model.....	49
Tabel 4.13 Hasil Validasi	50
Tabel 4.14 Validasi Model Tahun 2009.....	51
Tabel 4.15 Validasi Model Tahun 2010.....	52
Tabel 4.16 Validasi Model Tahun 2015.....	53
Tabel 4.17 Validasi Model Tahun 2017.....	54
Tabel 4.18 Validasi Model Tahun 2018.....	55
Tabel 4.19 Presentase Luasan Hutan	57
Tabel 4.20 Perubahan Tata Guna Lahan	57
Tabel 4.21 Puncak Debit Tata Guna Lahan Tahun 1990.....	58
Tabel 4.22 Hasil Simulasi Perubahan Tata Guna Lahan	60
Tabel 4.23 Tabel Masukan Man Kandall.....	62
Tabel 4.24 Hasil Uji Man-Kandall.....	62
Tabel 4.25 Presentase Luasan Hutan Skenario	63
Tabel 4.26 Presentase Tata Guna Lahan Skenario.....	64
Tabel 4.27 Puncak Debit Skenario 2.....	65
Tabel 4.28 Puncak Debit Banjir Semua Skenario.....	67



BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

DAS adalah suatu megasistem kompleks yang terbentuk atas sistem fisik (*physical systems*), sistem manusia (*human systems*), dan sistem biologis (*biological systems*). Setiap sistem dan sub-sub sistem di dalamnya saling berinteraksi. Dalam proses ini peranan setiap komponen dan hubungan diantara komponen menentukan kualitas ekosistem DAS. Tiap-tiap komponen tersebut memiliki sifat yang khas dan keberadaannya tidak berdiri sendiri, melainkan berhubungan dengan komponen lainnya membentuk kesatuan sistem ekologis (ekosistem). Terganggunya salah satu komponen ekosistem akan dirasakan oleh komponen lain dengan dampak yang berantai. Keseimbangan ekosistem akan terjamin apabila kondisi hubungan timbal balik antar komponen berjalan dengan baik dan optimal (Kartodihardjo, 2008). DAS terbagi menjadi dua bagian yaitu DAS bagian hulu dengan bercirikan dengan topografi yang bergunung atau bergelombang dan sumber air yang masuk di sungai utama, sedangkan DAS bagian hilir bercirikan dengan topografi yang landai sampai datar, dengan banyak ditemukan daerah endapan *alluvial* ataupun sedimen. Perubahan tata guna lahan berpengaruh terhadap keseimbangan ekosistem di dalam maupun di sekitar DAS. Pengelolaan kawasan DAS yang baik, mengakibatkan hubungan timbal balik yang baik juga antara manusia dengan sumber daya alam, yang nantinya memberi keuntungan Sumber Daya Alam bagi manusia secara berkelanjutan dan terjaganya kelestarian bagi ekosistem DAS. Terganggunya keseimbangan ekosistem DAS dapat mengakibatkan beberapa kerugian seperti terjadinya bencana banjir pada kawasan DAS tersebut.

Banjir merupakan genangan air atau aliran sehingga menyebabkan kerugian materil atau kehilangan jiwa (Asdak, 1995). Genangan air atau aliran ini terjadi karena luapan-luapan pada sisi kiri atau kanan sungai akibat kapasitas sungai yang tidak cukup bagi debit aliran yang lewat (Sudjarwadi, 1987). Banjir dapat diakibatkan oleh beberapa faktor dan tidak memungkinkan bahwa perubahan tata guna lahan yang tidak tepat dapat menimbulkan banyak masalah dalam penanganan debit banjir.

Pemodelan debit banjir dapat dilakukan dengan menggunakan program bantu SWAT. *Soil Water Assessment Tool* (SWAT) merupakan model hidrologi skala DAS berbasis deterministik, fisik, kontinyu, yang dikembangkan oleh USDA *Agricultural Research Service* (Arnold dkk., 1998). Dalam penggunaannya, Model SWAT mampu melakukan beberapa simulasi seperti praktek-praktek pengelolaan saluran sungai dan lahan. Simulasi yang dapat dilakukan seperti keberadaan pound (bangunan pengendali sedimen terangkut), perubahan tata guna lahan, konservasi tanah dan air (Neitsch dkk., 2005).

Banjir Ponorogo sering terjadi setiap tahun dan menimbulkan banyak kerugian. Pada bulan maret awal tahun 2019, Ponorogo terjadi bencana banjir dan longsor yang merendam tujuh kecamatan, dan sebanyak 450 orang terpaksa diungsikan ke tempat yang aman. (detikNews, 2019). Wilayah administrasi kota Ponorogo termasuk kedalam kawasan DAS Bengawan Solo yang merupakan wilayah kerja dari BBWS Bengawan Solo.

Lokasi DAS yang diamati merupakan bagian dari wilayah DAS Bengawan Solo yaitu sub-sub DAS Keyang dengan luas 37.668,995 Ha, sub-sub DAS Slahung dengan luas 33.752,44 Ha, dan sub-sub DAS Tempuran dengan luas 32.134,13 Ha. Ketiga sub-sub DAS ini sering disebut sebagai Sub-sub DAS KST (Keyang-Slahung-Tempuran). Perubahan yang signifikan terhadap tata guna lahan terjadi di sekitar DAS KST yang sebagian besar wilayah-nya berada di Kabupaten Ponorogo, mulai dari beralihnya fungsi hutan menjadi lahan pertanian warga, maupun perubahan lahan pertanian warga menjadi pemukiman dan yang lainnya. Perubahan tata guna lahan ini sangat berpengaruh terhadap daerah tangkapan air hujan pada musim penghujan. Air hujan sangat mungkin dapat meresap ke dalam tanah secara tidak efektif dan akan melimpas secara langsung ke sungai menjadi debit air sungai.

Berdasarkan hal di atas, diperlukan penelitian terhadap pengaruh tata guna lahan di wilayah Sub-sub DAS KST dengan penggunaan metode yaitu pemodelan hidrologi SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*). Pertimbangan pemilihan lokasi sub-sub DAS KST yaitu data relatif tersedia di sub-sub DAS KST.

1.2 Rumusan Masalah

Dengan memperhatikan latar belakang di atas, maka permasalahan di dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana keandalan model SWAT dalam memodelkan hujan aliran?
2. Bagaimana pengaruh perubahan tata guna lahan terhadap debit banjir pada sub-sub DAS Keyang-Slahung-Tempuran (KST)?
3. Bagaimana perencanaan tata guna lahan yang optimal terhadap debit sungai sehingga tidak terjadi banjir di sub-sub DAS Keyang-Slahung-Tempuran (KST)?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui keandalan model SWAT yang dihasilkan.
2. Menganalisis pengaruh perubahan tata guna lahan terhadap debit banjir pada sub-sub DAS Keyang-Slahung-Tempuran (KST).
3. Menghasilkan perencanaan tata guna lahan yang optimal terhadap debit sungai sehingga tidak terjadi banjir di sub-sub DAS Keyang-Slahung-Tempuran (KST).

1.4 Manfaat

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah :

1. Sebagai tinjauan atau referensi tentang pemodelan SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*)
2. Memberikan informasi kepada instansi terkait yang berada di wilayah sub-sub DAS Keyang-Slahung-Tempuran (KST) sehingga dapat dijadikan sebagai acuan perbaikan Rencana Tata Ruang dan Wilayah (RTRW) dan perencanaan pengendalian banjir.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah tidak membahas signifikansi parameter SWAT.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Siklus Hidrologi

Siklus hidrologi (*hydrological cycle*) adalah proses pergerakan air dan perubahan fase pada sistem hidrologi (Hendrayanto, 2009). Menurut Sosrodarsono dan Takeda (2006) air hujan yang sampai ke permukaan tanah akan masuk ke dalam tanah menjadi infiltrasi. Sisanya yang tidak terinfiltrasi akan mengisi permukaan tanah, kemudian mengalir ke daerah-daerah yang rendah, masuk ke sungai-sungai dan akhirnya sampai ke laut. Tidak semua air yang mengalir akan sampai ke laut. Dalam perjalanan ke laut sebagian akan menguap dan kembali ke udara. Sebagian air yang masuk ke dalam tanah keluar melalui sungai (*interflow*). Tetapi sebagian besar akan tersimpan sebagai air tanah (*groundwater*) yang akan keluar ke permukaan tanah melalui daerah yang lebih rendah (*groundwater run off*) sedikit demi sedikit dalam jangka waktu yang lama.

Air yang ada di atmosfer akan mengalami kondensasi dan terbentuk awan, kemudian menjadi hujan (presipitasi). Hujan dari atmosfer sebagian akan sampai ke bumi karena beberapa akan berkondensasi kembali (*virga*), sebagian lagi hujan ada yang tertahan dengan permukaan vegetasi pada suatu lahan (intersepsi). Air hujan yang sampai ke permukaan tanah beberapa masuk ke dalam tanah (infiltrasi) sebagian lagi akan menjadi aliran permukaan (*run off*). Air yang masuk ke dalam tanah akan menjadi air tanah (*ground water*) mengalir dikit demi sedikit di dalam tanah kemudian keluar dari tanah ke tempat yang lebih rendah. Air ini kemudian mengalami penguapan (evaporasi) dan transpirasi (pada tumbuhan). Air yang menguap ini akan menuju ke atmosfer kembali (Hendrayanto, 2009).

2.2 Sistem Hidrologi Daerah Aliran Sungai (DAS)

Daerah aliran sungai (DAS) adalah wilayah daratan yang dipisahkan oleh pemisah alam topografi seperti punggung bukit dan gunung, yang menerima, menampung dan mengalirkan air hujan melalui suatu jaringan sungai utama ke suatu outlet, yaitu laut/danau (Asdak, 2002).

Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS) yaitu kegiatan memelihara, melindungi, dan memperbaiki kawasan DAS, sehingga menghasilkan barang dan jasa khususnya, baik kualitas, kuantitas, serta kontinuitas air. Keberhasilan pengelolaan DAS diindikasikan dengan beban sedimen sungai, fluktuasi debit, dan kelestarian sumber-sumber air. Indikator lainnya yang cukup penting yaitu erosi tanah (Nursidah, 2012).

Perubahan tata guna lahan dampaknya akan dirasakan secara bertahap. Perubahan musim hujan dan musim kemarau, khususnya daerah tropis akan mengalami defisit maupun surplus air. Pada saat musim hujan mengalami banjir (surplus) dan musim kemarau mulai mengalami kekeringan (defisit). Sehingga perlu dilakukan pengelolaan DAS secara terpadu dalam menangani permasalahan tersebut, agar sistem hidrologi suatu ekosistem DAS tetap baik (Murtiono 2008).

Menurut Asdak (2002) DAS memiliki karakteristik yang spesifik dalam hal jenis tanah, tata guna lahan, topografi, kemiringan dan panjang lereng. Karakter DAS ini dalam merespon curah hujan yang jatuh di suatu tempat dapat memberikan dampak pada besar kecilnya evapotranspirasi, perkolasi, infiltrasi, laju aliran permukaan, aliran permukaan, aliran sungai, dan kandungan air tanah.

Menurut Miardini, dkk (2016), salah satu tujuan dari pengelolaan DAS adalah untuk mengendalikan banjir dan mengatur hasil air baik dari segi kuantitas, kualitas, maupun dari segi kontinuitas. Dalam memahami dan melaksanakan pengelolaan DAS harus dilihat secara holistik. Pengelolaan yang diharapkan adalah pengelolaan yang mampu mengakomodasi seluruh kepentingan, yaitu ekologis, ekonomis, dan sosial budaya. Pengelolaan DAS merupakan proses pengarahan dan pengorganisasian penggunaan lahan dan sumber daya lainnya pada suatu DAS untuk menyediakan barang dan jasa yang diinginkan tanpa merusak sumber daya tanah dan air (Lestari, 2010).

Kawasan DAS dianggap sebagai ekosistem yang saling terkait antara ekosistem buatan manusia dengan ekosistem alam, sehingga manusia dengan segala aktivitasnya akan mempengaruhi respon DAS terhadap *input* air hujan yang jatuh ke dalam DAS. Aktivitas manusia ini merupakan manifestasi dari suatu tindakan pengelolaan terhadap sumber daya alam yang ada di dalamnya baik itu vegetasi, air maupun tanah dalam rangka pengelolaan DAS (Supangat dan Murtiono, 2002).

2.3 Aliran Permukaan

Aliran permukaan (*run off*) merupakan bagian dari air hujan yang mengalir di atas permukaan tanah (Murtiono 2008). Menurut Rahim (2006) air hujan yang menjadi *run off* sangat bergantung kepada penutupan tanah, intensitas hujan, dan ada tidaknya hujan yang terjadi sebelumnya. Kadar air tanah sebelum terjadinya hujan disebut AMC (*Antecedent Moisture Content*).

Jumlah dan kecepatan aliran permukaan selain bergantung kepada luas areal tangkapan, juga kepada koefisien *run off* serta intensitas hujan maksimum. Aliran permukaan dengan jumlah dan kecepatan yang besar seringkali menyebabkan pemindahan dan pengangkutan massa tanah secara *massive*. Ini yang sering disebut banjir. Banjir adalah meluapnya sedimentasi depresi alami, saluran-saluran, anak-anak sungai, sungai-sungai, dan selanjutnya waduk-waduk (Rahim, 2006).

Menurut Arsyad (2010) faktor-faktor yang mempengaruhi aliran permukaan adalah:

1. Curah hujan: jumlah, intensitas, dan distribusi
2. Temperatur
3. Tanah: tipe, jenis substratum, dan topografi
4. Luas daerah aliran
5. Tanaman/tumbuhan penutup tanah
6. Sistem pengelolaan tanah.

Faktor-faktor di atas sangat kompleks, sehingga untuk menduga aliran permukaan perlu dihitung menggunakan pendekatan keadaan sebenarnya. Untuk itu perlu adanya penelitian keadaan setempat, agar prediksi aliran permukaan mendekati keadaan sebenarnya. Sehingga dapat diketahui seberapa besar tingkat keakuratan suatu model dalam menduga aliran permukaan di lapangan (Arsyad, 2010).

Menurut Rahim (2006) terdapat dua tujuan untuk mengetahui jumlah dan laju aliran permukaan, yaitu

1. merancang jumlah, dimensi saluran atau struktur lain untuk menyimpan aliran permukaan,
2. mengetahui besarnya laju aliran permukaan di suatu wilayah yang digunakan sebagai dasar untuk melakukan mitigasi.

2.4 Banjir

Banjir dapat diberi batasan sebagai laju aliran permukaan yang menyebabkan aliran sungai melebihi kapasitas saluran-saluran drainase (Lee,1980). Menurut Lee (1990) di bagian hulu yang berhutan tidak banyak dibangun tanggul oleh manusia dan banjir-banjir yang utama sedikit menyebabkan kerusakan. Tetapi di bagian hilir, banjir merupakan bencana alam yang paling merusak.

Sebagian besar banjir mampu dikendalikan dengan memakai bangunan-bangunan keteknikan, pengelolaan tata guna lahan bagian hulu dan vegetasi secara umum. Bendungan (*reservoir*) pengendali banjir diperkirakan mampu mengurangi kerugian ekonomis sebesar 60% (Holt dan Langbein 1955 dalam Lee,1980).

Pada umumnya banjir yang keruh lebih merusak daripada banjir yang relatif jernih dan sedimen yang ditinggalkan saat terjadi banjir dapat berdampak suatu bagian besar dari kerusakan totalnya (Anderson, Hoover dan Reinhart 1976).

2.5 Penggunaan Lahan

Penggunaan lahan termasuk dalam komponen penggunaan data satelit penginderaan jauh *Synthetic Aperture Radar* (SAR) untuk pemetaan dan pemantauan penutup penggunaan lahan di Indonesia adalah sangat penting, karena penggunaan data satelit penginderaan jauh optik di wilayah Indonesia memiliki liputan awan yang cukup tinggi sepanjang tahun sering mengalami kendala.

Kebutuhan pemetaan sumber daya alam di antaranya untuk pemetaan penggunaan lahan dan jenis tanah nasional terkait tanggap banjir adalah cukup mendesak dan membutuhkan ketelitian. Akan tetapi metode interpretasi citra satelit SAR untuk pemetaan penutup lahan belum banyak berkembang dibanding metode untuk citra satelit optik seperti Landsat TM atau SPOT (Septian, 2016). Penggunaan lahan adalah semua jenis penggunaan untuk pertanian, lapangan olah raga, rumah mukim hingga rumah sakit dan kuburan. Tata guna lahan dapat ditinjau menurut suatu wilayah (*regional land use*) secara keseluruhan. Karena wilayah terdiri atas pedesaan dan perkotaan, maka tata guna lahan dapat dibedakan menjadi dua, yaitu:

- (1) tata guna lahan pedesaan (*rural land use*) dan
- (2) tata guna lahan perkotaan (*urban land use*).

Pengertian-pengertian tersebut menunjukkan bahwa penggunaan lahan berhubungan erat dengan aktivitas manusia dan sumber daya lahan. Penggunaan lahan sifatnya dinamis, mengikuti perkembangan kehidupan manusia dan budayanya. Masyarakat menghadapi beberapa tantangan khusus dalam mengelola sumber daya lahan. Lahan sebagai tempat bagi pertumbuhan tanaman atau tumbuh tumbuhan maupun kehidupan hewan, bagi aliran air, bangunan, transportasi dan sebagainya. Dengan banyaknya macam penggunaan lahan ini, maka dengan digunakannya sebidang lahan akan mempengaruhi penggunaan yang lain yang sifatnya potensial. Jika suatu wilayah diamati dalam suatu periode waktu tertentu maka akan dijumpai suatu perubahan penggunaan lahan, yang sering juga disebut sebagai konversi lahan. Konversi lahan dapat dibedakan atas dua, yaitu yang bersifat musiman dan yang permanen (Sutrisno, 2011).

2.6 Uji Konsistensi Data

Tujuan Uji Konsistensi yaitu menguji kebenaran data yang diperoleh, karena data hasil dari pengukuran curah hujan bisa terjadi kesalahan. Kesalahan data disebabkan karena lokasi stasiun hujan yang terganggu, perubahan sistem lingkungan atau kesalahan prosedur pengamatan yang sangat berpengaruh terhadap pengukuran curah hujan yang ada. Metode ini membandingkan hujan kumulatif dari stasiun hujan yang diteliti dengan harga-harga kumulatif curah hujan rata-rata dari beberapa stasiun hujan yang berdekatan. Nilai kumulatif tersebut digambarkan pada sistem koordinat kartesian x-y, kurva tersebut diperiksa untuk melihat kemiringan (*trend*). Jika garis berbentuk lurus, berarti data konsisten. Jika kemiringan patah/berubah, berarti perlu dikoreksi dengan mengalikan data setelah kurva berubah dengan perbandingan kemiringan setelah dan sebelum kurva patah.

Uji konsistensi yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan metode kurva massa ganda (*Double Mass Curve*). Model regresi dikatakan sempurna apabila $R^2 = 1$

$$R^2 = \frac{\sum x_i y_i - \frac{\sum x_i \sum y_i}{n}}{\sqrt{\left(\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}\right) \left(\sum y_i^2 - \frac{(\sum y_i)^2}{n}\right)}} \dots \dots \dots (2.1)$$

dengan :

R^2 = koefisien deterministik,

x_i = nilai kumulatif data hujan ke,

y_i = nilai kumulatif rata-rata data hujan ke, n = jumlah data.

2.7 Hujan Rata- Rata Wilayah

Dalam penelitian ini, metode yang digunakan untuk menentukan tinggi curah hujan rata-rata wilayah adalah metode *Polygon Thiessen*. Metode ini digunakan cocok untuk daerah datar dengan luas 500-5.000 km² dan jumlah pos penakar hujan terbatas dibanding luasnya serta memperhitungkan bobot dari masing-masing stasiun yang mewakili luasan di sekitarnya.

$$P_{rata-rata} = \frac{P_1A_1 + P_2A_2 + \dots + P_nA_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \dots \dots \dots (2.2)$$

dengan :

P rata-rata = curah hujan rata-rata DAS (mm),

P_1, P_2, \dots, P_n = curah hujan di stasiun hujan 1, 2, ..., n (mm),

A_1, A_2, \dots, A_n = luas areal poligon dari stasiun hujan 1, 2, ..., n (km²)

2.8 Metode Reciprocal

Metode Reciprocal merupakan metode untuk mencari data hujan yang hilang dengan mempertimbangkan data hujan dari stasiun lainnya yang berada disekitarnya. Pertimbangan untuk digunakan metode ini adalah data hujan dari stasiun lain dan jarak antar stasiun.

$$P_x = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{P_i}{L_i^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{L_i^2}} \dots \dots \dots (2.3)$$

dengan:

P_x = data curah hujan pada stasiun X yang diperkirakan data hilang,

P_i = data hujan disekitarnya pada periode yang sama,

L_i = jarak antar stasiun.

2.9 Sistem Informasi Geografis (*Geographic Information System*)

Menurut Prahasta (2002:55) SIG adalah sistem komputer yang digunakan untuk mengumpulkan, memeriksa, mengintegrasikan, dan menganalisa informasi-informasi yang berhubungan dengan permukaan bumi. Pada dasarnya, istilah sistem informasi geografi merupakan gabungan dari tiga unsur pokok yaitu sistem, informasi, dan geografi. Dengan demikian, pengertian terhadap ketiga unsur-unsur pokok ini akan sangat membantu dalam memahami SIG. Dengan melihat unsur-unsur pokoknya, maka jelas SIG merupakan salah satu sistem informasi. SIG merupakan suatu sistem yang menekankan pada unsur informasi geografi. Istilah “geografis” merupakan bagian dari spasial (keruangan). Kedua istilah ini sering digunakan secara bergantian atau tertukar hingga timbul istilah yang ketiga, geospasial. Ketiga istilah ini mengandung pengertian yang sama di dalam konteks SIG. Penggunaan kata “geografis” mengandung pengertian suatu persoalan mengenai bumi: permukaan dua atau tiga dimensi. Istilah “informasi geografis” mengandung pengertian informasi mengenai tempat-tempat yang terletak di permukaan bumi, pengetahuan mengenai posisi dimana suatu objek terletak di permukaan bumi, dan informasi mengenai keterangan-keterangan (atribut) yang terdapat di permukaan bumi yang posisinya diberikan atau diketahui.

Dengan SIG akan dimudahkan dalam melihat fenomena kebumihan dengan perspektif yang lebih baik. SIG mampu mengakomodasi penyimpanan, pemrosesan, dan penayangan data spasial digital bahkan integrasi data yang beragam, mulai dari citra satelit, foto udara, peta bahkan data statistik. Dengan tersedianya komputer dengan kecepatan dan kapasitas ruang penyimpanan besar seperti saat ini, SIG akan mampu memproses data dengan cepat dan akurat dan menampilkannya. SIG juga mengakomodasi dinamika data, pemutakhiran data yang akan menjadi lebih mudah (Wibowo, 2015).

2.10 SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*)

Salah satu model yang cukup berkembang adalah pemodelan SWAT. Pemodelan berbasis *physical-based* ini sudah banyak dipakai di berbagai jenis dan

kondisi DAS. Pemodelan SWAT dapat memprediksi pengaruh manajemen lahan pada limpasan air, sedimen, dan lahan pertanian dalam suatu hubungan yang kompleks pada suatu DAS termasuk di dalamnya jenis tanah, penggunaan lahan dan manajemen kondisi lahan secara periodik. SWAT memakai rumus MUSLE untuk analisis erosi dan sedimentasi. Penggunaan model SWAT dapat mengidentifikasi, menilai, mengevaluasi tingkat permasalahan suatu DAS dan sebagai alat untuk memilih tindakan pengelolaan dalam mengendalikan permasalahan tersebut, sehingga diharapkan dengan penggunaan model SWAT dapat dikembangkan beberapa skenario guna menentukan kondisi perencanaan pengelolaan DAS terbaik (Junaidi, 2013)

SWAT adalah model yang dikembangkan oleh Dr. Jeff Arnold pada awal tahun 1990-an untuk pengembangan *Agricultural Research Service* (ARS) dari USDA. Model tersebut dikembangkan untuk melakukan prediksi dampak dari manajemen lahan pertanian terhadap air, sedimentasi dan jumlah bahan kimia, pada suatu area DAS yang kompleks dengan mempertimbangkan variasi jenis tanahnya, tata guna lahan, serta kondisi manajemen suatu DAS setelah melalui periode yang lama (Nugroho, 2015).

Pemodelan SWAT dikembangkan oleh *United State Departemen of Agricultural Agricultural Research Services* (USDA-ARS) yang menggabungkan antara model *Chemicals Run off and Erosion from Agricultural Management Systems* (CREAMS) yang dikembangkan oleh Knisel (1980) dan model *Groundwater Loading Effects on Agricultural Management System* (GLEAMS) yang dikembangkan oleh Leonard et al. (1987) dan gabungan model *Environmental Impact Policy Climate* (EPIC) oleh Izaurralde et al. (2006) dan model *Simulation for Water Resouces in Rural Basins* (SWRB) yang dikembangkan oleh Arnold dan Wiliams (1987). Model SWAT terus berkembang dan menggabungkan model kinematik untuk distribusi aliran dan kualitas air dengan model QUAL2K (Mulyana, 2012).

Menurut Gassman et al. (2007, dalam Mulyana, 2012) model SWAT melakukan pemodelan pada berbagai tipe penutupan lahan, tanah, topografi dan bentuk DAS. Pada studi DAS umumnya akan dilakukan klasifikasi berdasarkan tipe penutupan lahan dominan dan jenis tanah dominan. Perhitungan limpasan

menggunakan dengan metode *Soil Conservation Services* (SCS) dan modifikasi nilai *curve number* (CN) yang telah berhasil digunakan pada berbagai tipe group hidrologi.

Model SWAT berbasis DAS, kontinu dengan step waktu harian, yang didesain untuk mengatur sumber daya air, sedimen, dan limbah kimiawi dari pertanian dalam suatu DAS. Pemodelan SWAT dapat mensimulasikan dalam jangka waktu lama, efisien, dengan komponen model yang terdiri dari parameter cuaca, hidrologi, tanah, nutrient, pestisida, bakteri patogen dan sistem pengolahan tanah. Menurut Neitsch et al. (2005, dalam Nugroho, 2015) SWAT memungkinkan untuk diterapkan dalam berbagai analisis serta simulasi dalam suatu DAS. Informasi data masukan pada tiap sub das kemudian dilakukan pengelompokan atau disusun dalam kategori : iklim, unit respon hidrologi (HRU), tubuh air, air tanah, dan sungai utama sampai pada drainase pada sub das. Unit respon hidrologi pada tiap sub DAS terdiri dari variasi penutup lahan, tanah dan manajemen pengelolaan. Siklus hidrologi, proses yang diperhitungkan dalam model SWAT yang terjadi di dalam DAS didasarkan kepada neraca air. Persamaan matematis, komponen hidrologi neraca air yang berlaku pada model SWAT yaitu:

$$SW_t = SW_0 + \sum_t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{sep} - Q_{gw}) \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan:

SW_t = kandungan lengas tanah pada akhir waktu t (mm)

SW_0 = kandungan lengas tanah pada awal waktu i (mm)

R_{day} = presipitasi/hujan harian pada waktu/hari i (mm)

Q_{surf} = jumlah limpasan permukaan pada waktu/hari i, (mm)

E_a = jumlah evapotranspirasi pada waktu/hari i (mm)

W_{sep} = Jumlah air yang memasuki zona vadose pada profil tanah (perkolasi) pada Waktu/hari i (mm)

Q_{gw} = Jumlah air, aliran balik/kembali (mm)

i dan t = i = 1, t = menunjukkan waktu (hari)

Luaran utama model SWAT adalah kondisi hidrologi berupa nilai debit, erosi, dan sedimen terangkut. Nilai-nilai tersebut mencerminkan kondisi hidrologi terkait kinerja DAS seperti Koefisien Regim Sungai (KRS), *Sediment Delivery Ratio* (SDR), dan nilai *coefficient runoff* (C). Kinerja model diukur dengan cara validasi, yaitu kalibrasi dan verifikasi menggunakan kriteria statistik R² (*Coefficient of Determination*), Ef atau NSE (*Nash-Sutcliffe model Efficiency*) dan PBIAS (*Percent bias*) (Hidayat, 2016).

2.11 Kalibrasi dan Validasi

Uji validasi dilakukan dengan koefisien determinasi (R²) dan *Nash-Sutcliffe Index* (NSI). Koefisien determinasi dan *Nash-Sutcliffe Index* (NSI) menunjukkan kedekatan antara nilai yang dihasilkan oleh model SWAT dengan hasil model SCS yang diasumsikan sebagai nilai terdekat dengan kondisi sesungguhnya di lapangan. Koefisien yang mendekati 1 menandakan nilai hasil simulasi memiliki nilai yang cukup dekat dengan nilai sesungguhnya. Secara matematis, persamaan koefisien determinasi dan NSI dirumuskan sebagai (Anwar, 2011):

$$NSI = 1.0 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{scs,i} - Q_{swat,i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{scs,i} - \bar{Q}_{scs})^2} \right) \dots \dots \dots (2.5)$$

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{scs,i} - \bar{Q}_{scs}) (Q_{swat,i} - \bar{Q}_{swat})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{scs,i} - \bar{Q}_{scs})^2 \sum_{i=1}^n (Q_{swat,i} - \bar{Q}_{swat})^2}} \right)^2 \dots \dots \dots (2.6)$$

keterangan:

Q _{SCS,i}	= debit hasil model SCS (m ³ /det)
Q _{SWAT,i}	= debit hasil simulasi model SWAT (m ³ /det)
Q _{SCS,i}	= debit hasil model SCS rata-rata (m ³ /det)
Q _{SWAT,i}	= debit hasil simulasi model SWAT rata-rata (m ³ /det)

Menurut Stehr et al. (2009, dalam Anwar, 2011) kategori simulasi berdasarkan nilai NSI adalah layak jika NSI > 0,75; memuaskan jika 0,36 < NSI < 0,75; dan

kurang memuaskan jika $NSI < 0,36$. NSI digunakan untuk mengevaluasi model pada *SWAT ploth and graph*.

Kisaran nilai R^2 diantara 0 dan 1 yang menggambarkan seberapa banyak sebaran data observasi yang dapat dijelaskan oleh data simulasi. Semakin tinggi nilainya mengindikasikan varian *error* yang rendah. Nilai $R^2 = 0$ berarti tidak terdapat korelasi sama sekali, sedangkan jika $R^2 = 1$ berarti sebaran data prediksi sama dengan data observasi. Pada dasarnya nilai $R^2 \geq 0.5$ dianggap dapat diterima (Moriassi et al. 2007) dalam Amin (2015).

2.12 Lengkung Aliran Debit (*Discharge Rating Curve*)

Lengkung aliran debit (*Discharge Rating Curve*), merupakan kurva yang menunjukkan hubungan antara TMA dengan debit pada penampang sungai tertentu. Debit sungai yaitu volume air yang melalui penampang basah sungai dalam satuan waktu, dan dinyatakan dalam satuan $m^3/detik$ atau $l/detik$. Lengkung aliran debit dibuat berdasarkan data pengukuran aliran yang dilaksanakan pada muka air dan waktu yang berbeda-beda. Kemudian data pengukuran aliran tersebut digambarkan pada kertas aritmatik atau kertas logaritmik, tergantung pada kondisi lokasi yang bersangkutan. TMA digambarkan pada sumbu vertikal sedang debit sumbu horizontal. Untuk menghasilkan gambar dari lengkung aliran dengan data pengukuran aliran yang ada, memerlukan pengalaman dan pengetahuan mengenai sifat hidraulis dan fisik pada suatu sungai.

Apabila penampang sungainya teratur dan stabil, maka baik (A') maupun (V) merupakan fungsi dari nilai tinggi muka air (H), secara matematis persamaan *Rating Curve* dapat ditulis sebagai berikut :

$$Q = A' \times V \dots \dots \dots (2.7)$$

Dengan :

Q = Debit, (m^3/det)

A' = Luas penampang basah (m^2)

V = Kecepatan aliran rata-rata (m/dt)

Fakta dari beberapa penampang sungai di Indonesia pada umumnya yaitu tidak stabil dan tidak teratur, maka titik-titik dengan koordinat (H,Q) pada grafik arithmatik tidak terletak pada suatu garis lengkung.

$$Q = a (H - H_0)^b \dots\dots\dots (2.8)$$

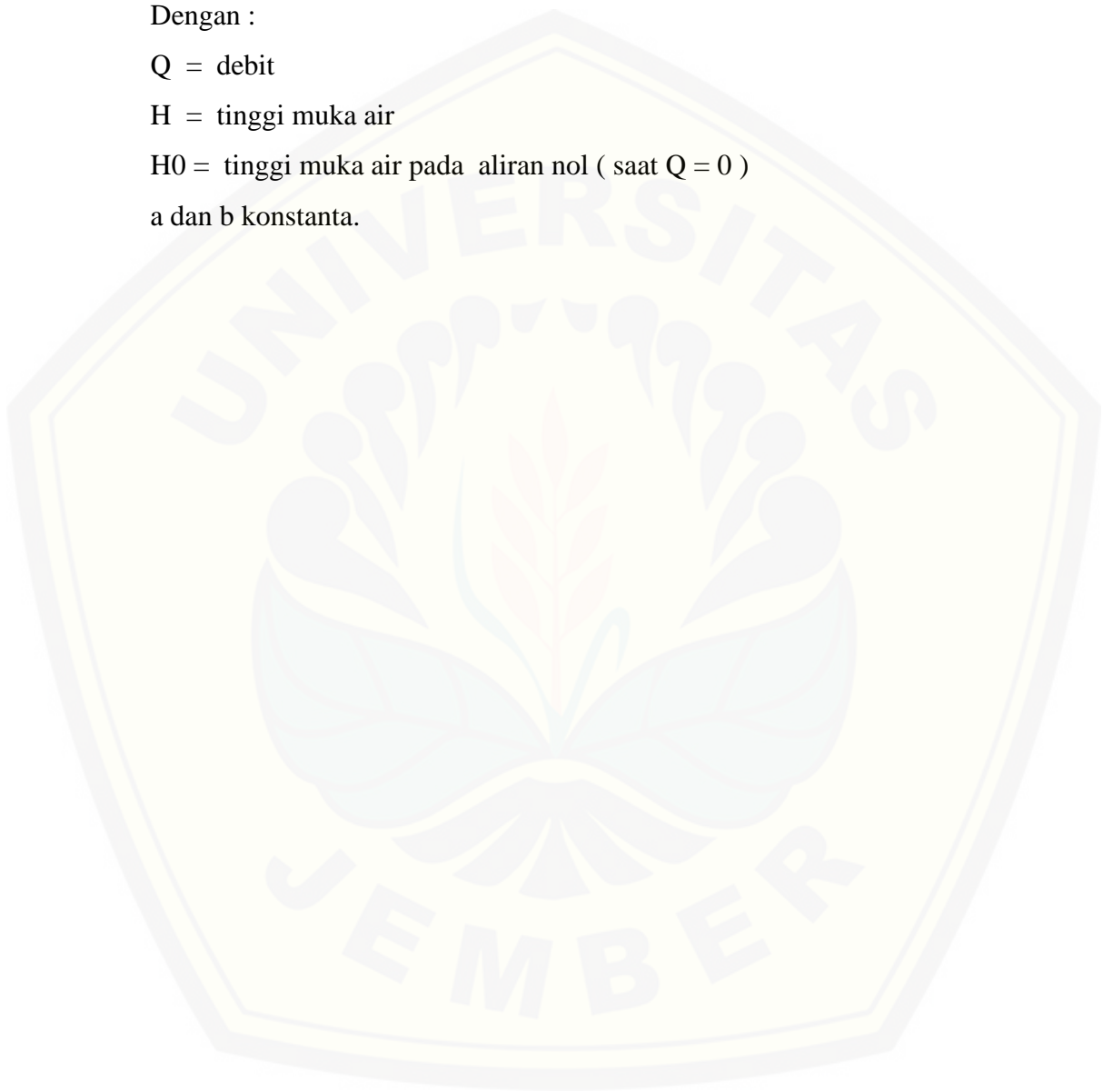
Dengan :

Q = debit

H = tinggi muka air

H₀ = tinggi muka air pada aliran nol (saat Q = 0)

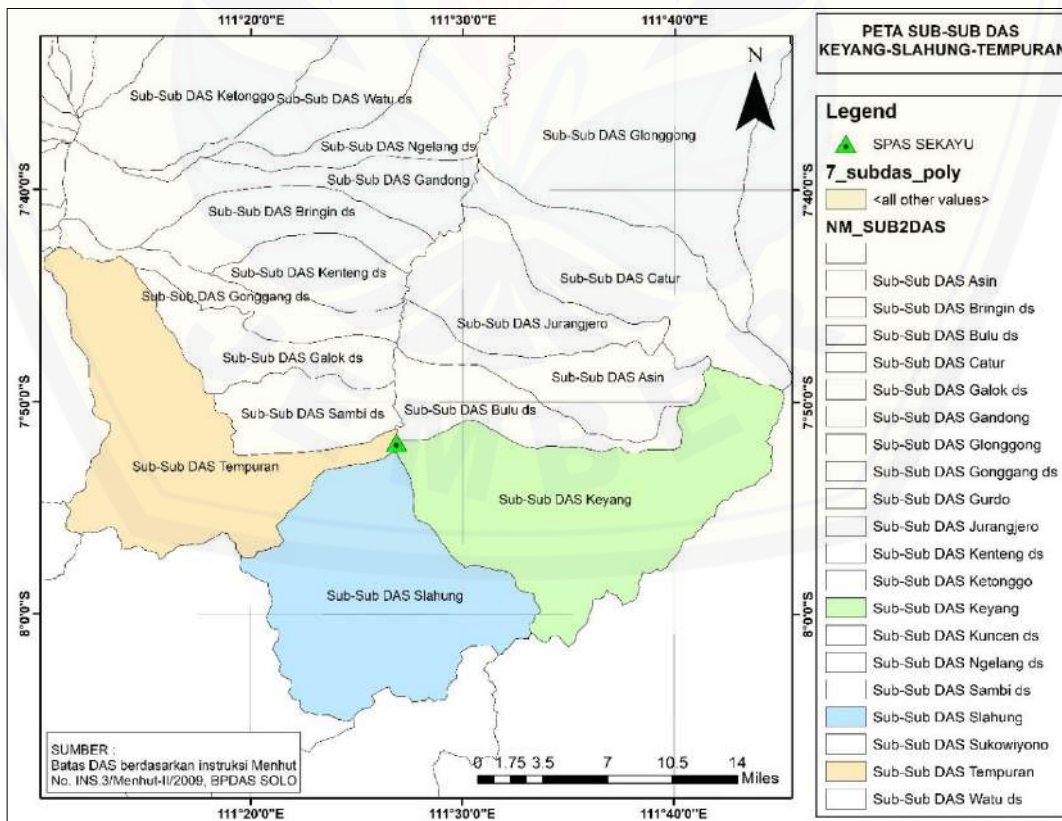
a dan b konstanta.



BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian ini dilakukan pada sub-sub DAS Keyang, sub-sub DAS Slahung, dan sub-sub DAS Tempuran yang selanjutnya disebut sebagai sub-sub DAS KST (Keyang-Slahung-Tempuran). Secara daerah administrasi, Sub-sub DAS KST Sebagian berlokasi di provinsi Jawa Timur dan Jawa Tengah. Beberapa Kabupaten di Provinsi Jawa Timur yang menjadi bagian dari sub-sub DAS KST ini, yaitu Kabupaten Ponorogo, Madiun, Magetan, Trenggalek, dan Kabupaten Pacitan. Sedangkan Kabupaten di Jawa Tengah yang menjadi bagian dari sub-sub DAS KST adalah Kabupaten Wonogiri. Secara letak geografis Sub-sub DAS KST berada di antara $7^{\circ} 48' 14,1''$ – $8^{\circ} 05' 04,3''$ LS dan $111^{\circ} 10' 12,6''$ – $111^{\circ} 45' 11,3''$ BT. Sebagian besar wilayah sub-sub DAS KST ini terletak pada wilayah Kabupaten Ponorogo serta menjadi wilayah hilir dari sub-sub DAS KST. Batas sub-sub DAS KST (Keyang-Slahung-Tempuran) dan batas administrasi dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Peta DAS Keyang-Slahung-Tempuran (KST)

Jangka Waktu penelitian dilakukan selama satu semester (6 bulan) mulai dari bulan Juli sampai dengan bulan Desember tahun 2019. Pengolahan data penelitian diolah dengan menggunakan perangkat keras yaitu komputer dengan perlengkapannya, serta perangkat lunak dan *software interface* yaitu ArcGIS 10.3.1, ArcSWAT 2012.10.3.19., dan Microsoft Excel 2018.

3.2 Pengumpulan Data

Jenis data yang dikumpulkan di dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari instansi terkait. Selengkapnya dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Pengumpulan Data

No	Jenis Data	Sumber	Keterangan	Format Data
1	Peta DEM (Digital Elevation Model) / Topografi.	www.big.go.id	<i>SRTM (Shuttle Radar Topografi Mission)</i> resolusi spasial 90x90m	.shp
2	Peta Penggunaan Lahan (Land Use Map) Tahun 2015. Skala 1:250.000	BAPPEDA / BP DAS Bengawan Solo / BBWS Bengawan Solo	Klasifikasi Citra Landsat (Thematic Mapper) / -	.shp
3	Peta Jenis Tanah (Soil Map).	www.fao.org/home/en/	-	.shp
4	Data Curah Hujan (Rainfall Data) Tahun 2009-2018.	BBWS Bengawan Solo / Dinas PU dan Tata Ruang Kab. Ponorogo / BPDAS HL Bengawan Solo	Tahun 2008 – 2018	.xlsx

No	Jenis Data	Sumber	Keterangan	Format Data
5	Data Iklim : Suhu Maksimum dan Minimum	BMKG	Tahun 2009 – 2018	.xlsx
6	Data TMA / AWLR (Flood Data) Tahun 2009-2018.	BBWS Bengawan Solo	Tahun 2008 – 2018	.xlsx
7.	Data Peta Kemiringan Lereng Tahun 2015.	BPDAS HL Bengawan Solo / BBWS Bengawan Solo	Tahun 2008 – 2018	.shp

3.3 Pengolahan Data Analisis Hidrologi

Pengolahan data hidrologi yang dilakukan dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Distribusi curah hujan daerah wilayah

Titik pos pengambilan data curah hujan yang dipakai perlu untuk diolah datanya sehingga curah hujan pada titik titik pos pengambilan data mampu mewakili data curah hujan pada wilayah tertentu sebagai curah hujan rata-rata wilayah. Pada penelitian ini, digunakan metode *Polygon Thiessen* sebagai analisis distribusi curah hujan daerah/wilayah.

2. Uji konsistensi data curah hujan

Menguji kebenaran data curah hujan diperlukan dengan tujuan kebenaran dan ketelitian data yang dipakai sesuai dengan fenomena yang terjadi pada saat itu, sehingga kesalahan data dapat ditekan. Penggunaan metode untuk uji konsistensi data curah hujan menggunakan metode kurva massa ganda (*double mass curve*).

3. Data curah hujan harian yang hilang

Di dalam proses pengambilan sampel data curah hujan tidak menutup kemungkinan terjadi kesalahan (data hilang) selama proses pengambilan data. Metode Reciprocal dipilih untuk pengecekan data curah hujan yang hilang

4. Perhitungan debit puncak aliran

Perhitungan debit puncak aliran di dalam suatu DAS penting dilakukan sebagai informasi pengendalian banjir suatu DAS. Debit puncak aliran dalam penelitian ini menggunakan debit puncak metode *Soil Conservation Service-Curve Number (SCS-CN)*

5. Pemodelan *ARC-SWAT*

Pemodelan *ARC-SWAT* menggunakan data curah hujan dan data debit AWLR (Data Numerik) serta data karakteristik DAS (Data Spasial). Kalibrasi dilakukan dengan membandingkan data observasi AWLR (*Automatic Water Level Recorder*) sebagai acuan parameter.

6. Kalibrasi dan Validasi

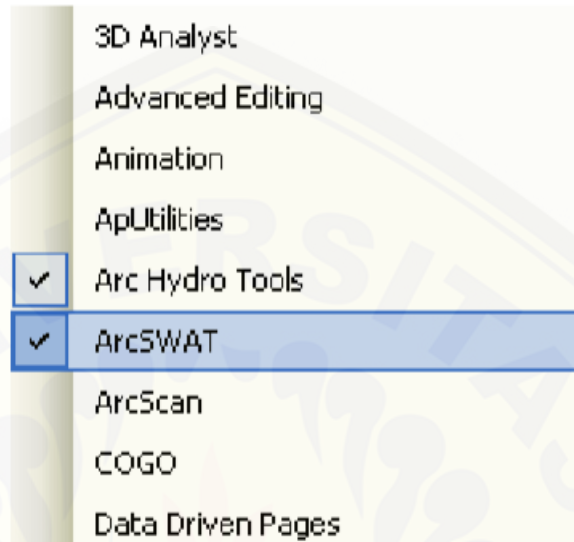
Kalibrasi dilaksanakan dengan cara membandingkan data observasi AWLR (*Automatic Water Level Recorder*) sebagai acuan parameter. Hasil dari nilai pemodelan yang sudah terkalibrasi kemudian di validasi untuk kebenaran penelitian di lapangan.

3.4 Analisis Pemodelan debit aliran menggunakan *ARC-SWAT*

Analisis debit aliran sungai sub-sub DAS KST (Keyang-Slahung-Tempuran) menggunakan pemodelan hidrologi *Soil and Water Assessment Tool (SWAT)* yaitu *Arc-SWAT*. Model data yang dimasukan berupa iklim, karakteristik tata guna lahan, tanah, dan curah hujan yang terdapat pada proses pengumpulan data. Tahapan analisis data yang dilakukan meliputi analisis perubahan tata guna lahan dan HRU (*Hydrologic Response Unit*), analisis data hujan, analisis debit aliran sungai, dan analisis kalibrasi-validasi (Amin, 2015). Analisis dilakukan dengan beberapa tahapan sebagai berikut:

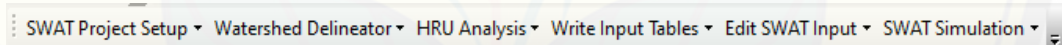
1. Mengaktifkan ArcSWAT Toolbar

Buka ArcMap untuk membuat dokumen kosong. Jika ArcSWAT toolbar tidak dimuat dalam dokumen peta. Klik kanan pada bilah menu untuk melihat menu dari semua alat yang tersedia dan pilih ArcSWAT seperti yang ditunjukkan Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Cara Mengaktifkan *Arc-SWAT*

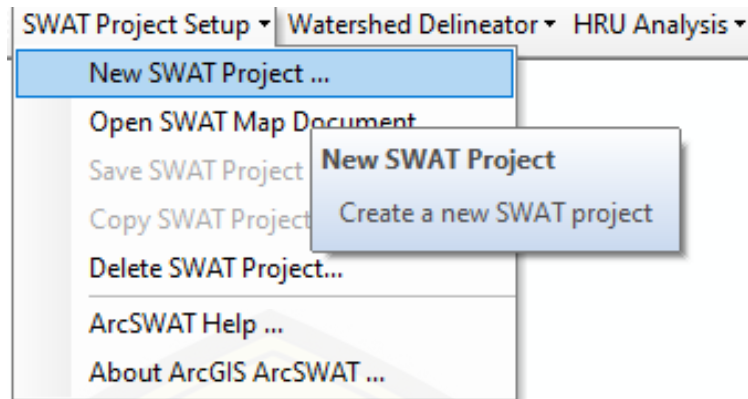
Toolbar ArcSWAT akan terlihat seperti pada Gambar 3.3 :



Gambar 3.3 *Toolbar Arc-SWAT*

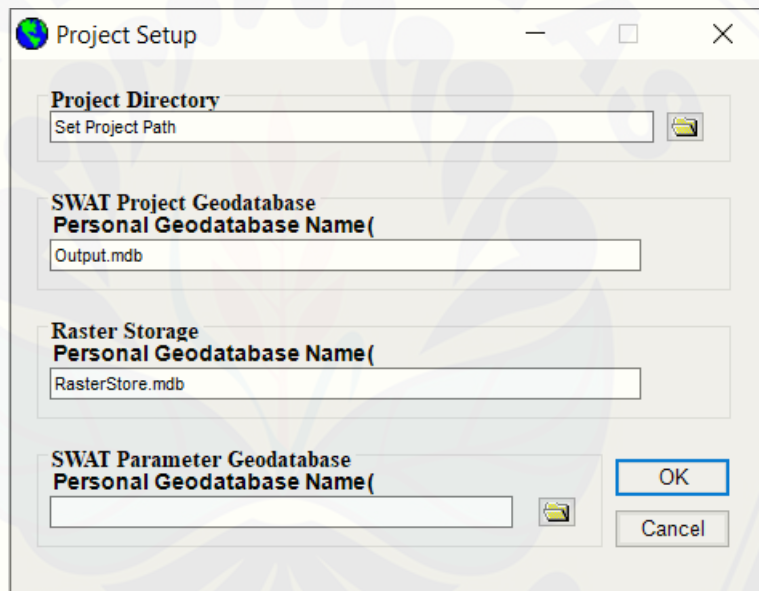
2. Project Setup

Langkah pertama dalam menggunakan ArcSWAT adalah mengatur proyek sehingga folder dan database yang diperlukan dibuat untuk menyimpan semua data. Klik pada SWAT Project Setup – New SWAT Project. Seperti pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Cara menampilkan Jendela *SWAT Project*

Jendela *SWAT Project Setup* akan segera muncul seperti pada Gambar 3.5.

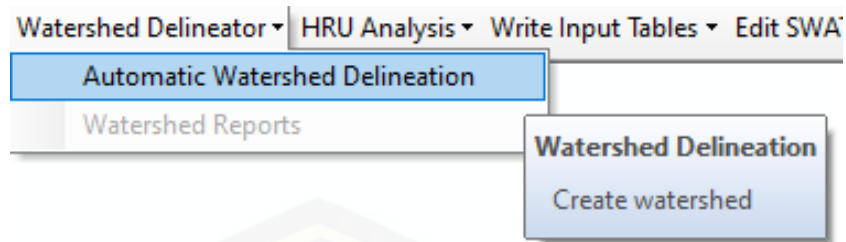


Gambar 3.5 Jendela *SWAT Project*

3. Watershed Delineation

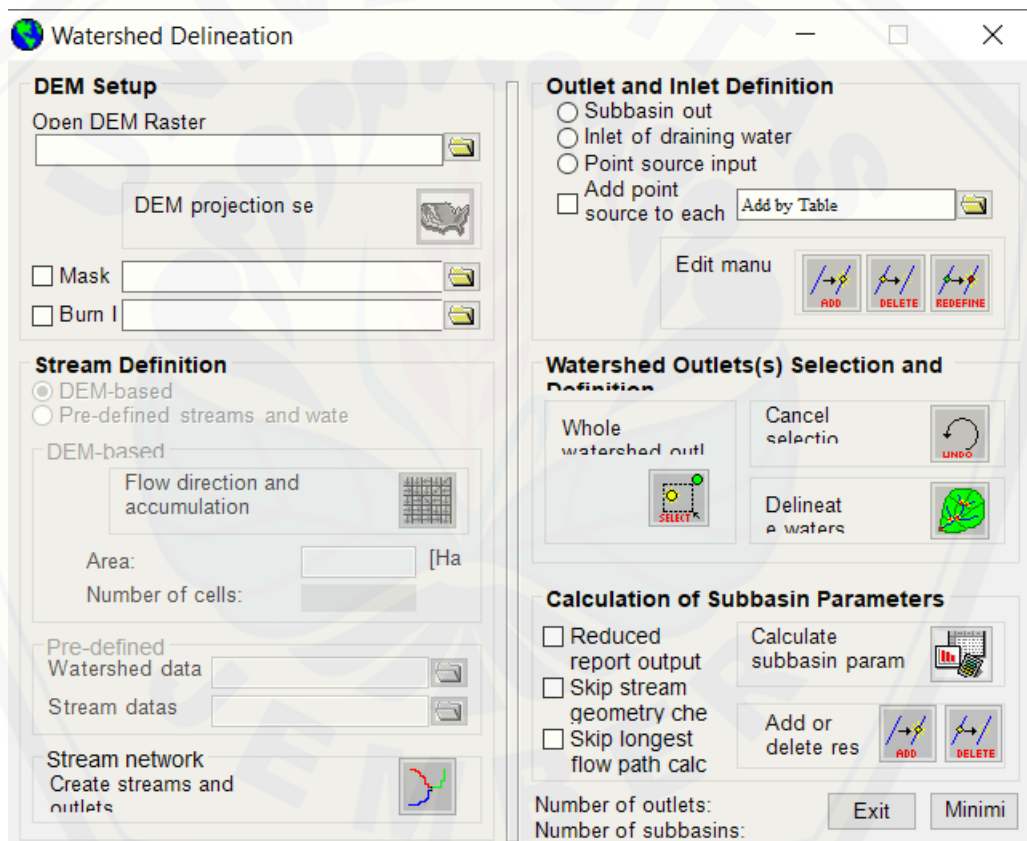
Melakukan *Watershed Delineation* / Penggambaran daerah aliran sungai berdasarkan data DEM wilayah DAS yang akan diteliti, sehingga akan terlihat arah aliran air masing-masing sub-sub Das dari perbedaan topografi lokasi penelitian. Pada penelitian ini, digunakan peta data DEM dengan resolusi 0.27 arcsecond . Daerah observasi akan dideliniasi berdasarkan batas topografi alami DAS. Klik pada *Watershed*

Delineator -Automatic Watershed Delineation, seperti pada Gambar 3.6.



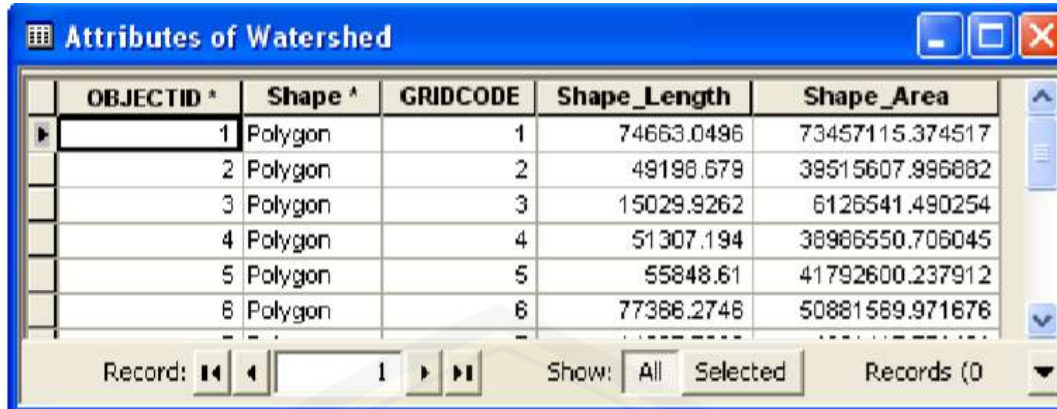
Gambar 3.6 Cara Membuka Jendela *Watershed Delineation*

Jendela *Watershed Delineation* akan muncul seperti pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Jendela *Watershed Delineation*

Melakukan pengaturan pada jendela *Attributes of Watershed*, seperti pada Gambar 3.8.



OBJECTID *	Shape *	GRIDCODE	Shape_Length	Shape_Area
1	Polygon	1	74663.0496	73457115.374517
2	Polygon	2	49198.679	39515607.986882
3	Polygon	3	15029.9262	6126541.490254
4	Polygon	4	51307.194	38986550.706045
5	Polygon	5	55848.61	41792600.237912
6	Polygon	6	77366.2748	50881589.971676

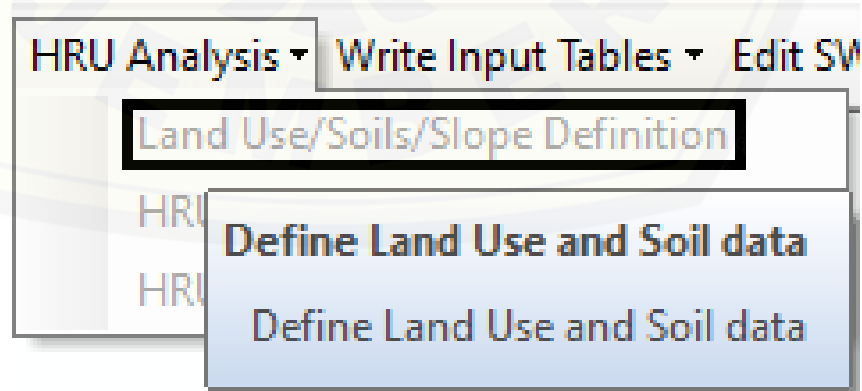
Gambar 3.8 Jendela *Attributes of Watershed*

4. HRU Analysis

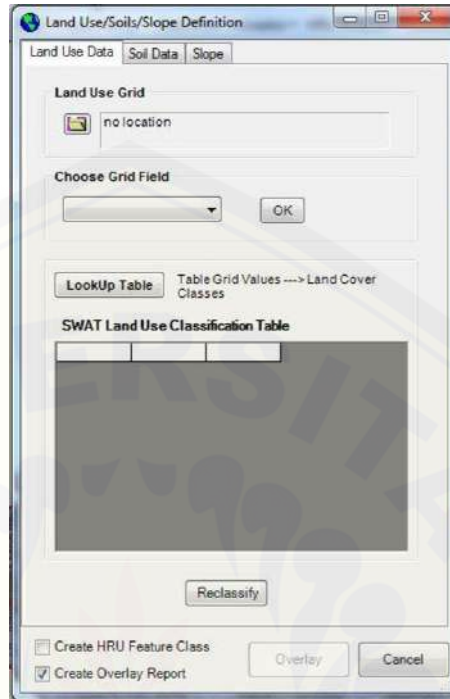
Pembuatan *Hydrological Response Unit* (HRU) setelah proses penggambaran / delineasi, dilanjutkan pembentukan HRU. Pada tahap ini dilakukan *overlay* dari hasil data peta DEM, data penggunaan lahan, data kemiringan lereng, dan data tanah, serta data iklim. Pembuatan HRU terdiri dari *interval slope*, peta raster tanah dan peta raster *landuse* format sistem koordinat proyeksi UTM, dan *threshold* dari presentase total luasan *landuse* 10%, jenis tanah sebesar 5%, dan *slope* sebesar 5% (Arsyad 2006).

4.1 Langkah Membuka HRU *Land use/Soils/ Slope Definition*

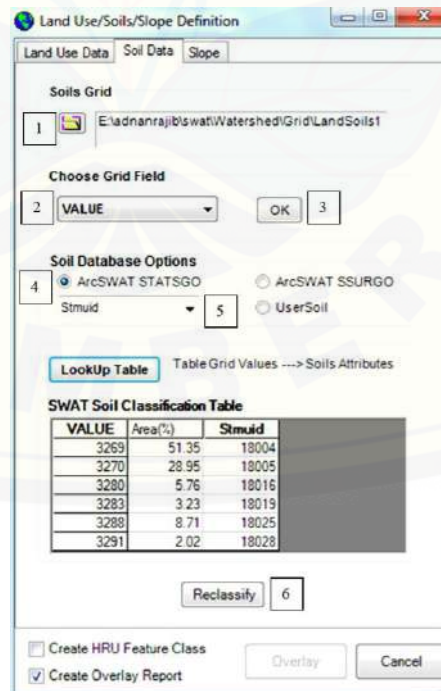
Pilih menu *HRU Analysis* – klik *HRU Land use/Soils/ Slope Definition*. Seperti pada Gambar 3.9.

Gambar 3.9 Cara membuka HRU *Land use/Soils/ Slope Definition*

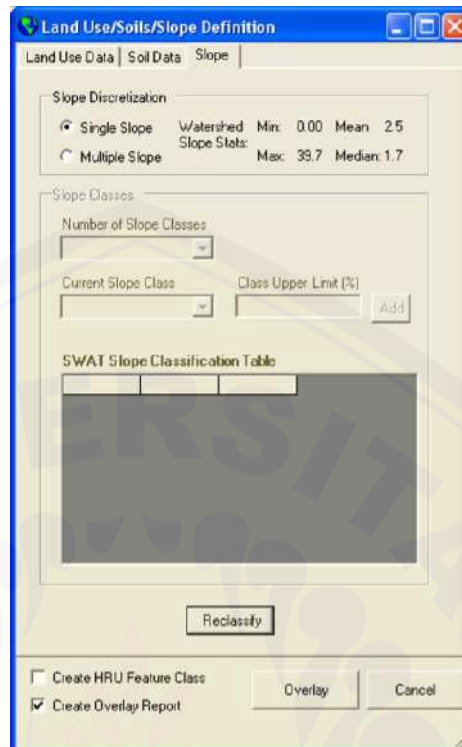
Jendela *Land use/Soils/ Slope Definition* akan terbuka, seperti pada Gambar 3.10, 3.11, dan 3.12.



Gambar 3.10 Jendela *Land Use Data*

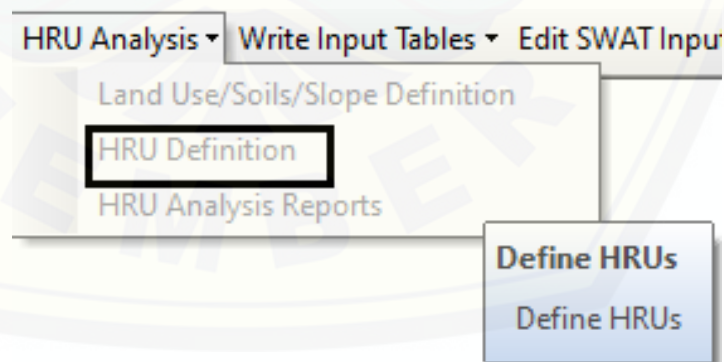


Gambar 3.11 Jendela *Soil Data*

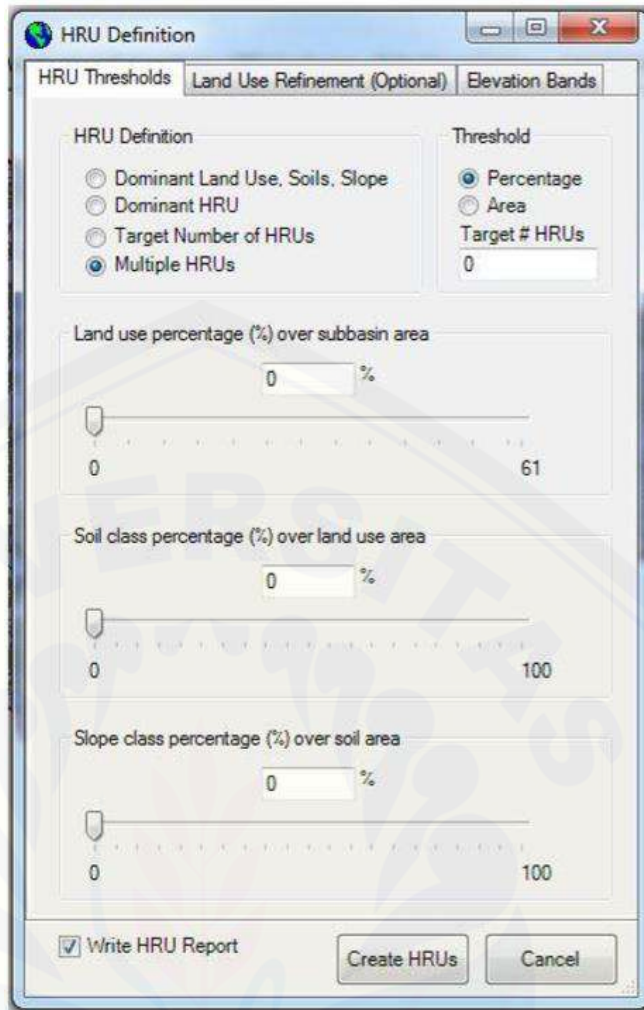
Gambar 3.12 Jendela *Slope Data*

4.2 Langkah Membuka *HRU Definition*

Pilih menu *HRU Analysis* – klik *HRU Definition*. Seperti pada Gambar 3.13

Gambar 3.13 Cara membuka *HRU Definition*

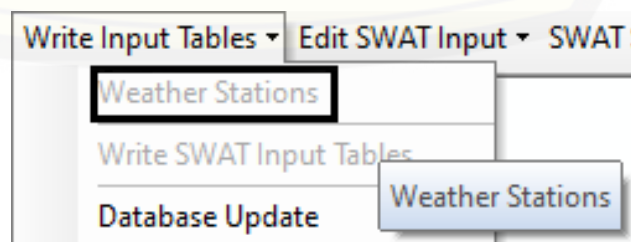
Jendela *HRU Definition* akan muncul, seperti pada Gambar 3.14.



Gambar 3.14 Jendela *HRU Definition*

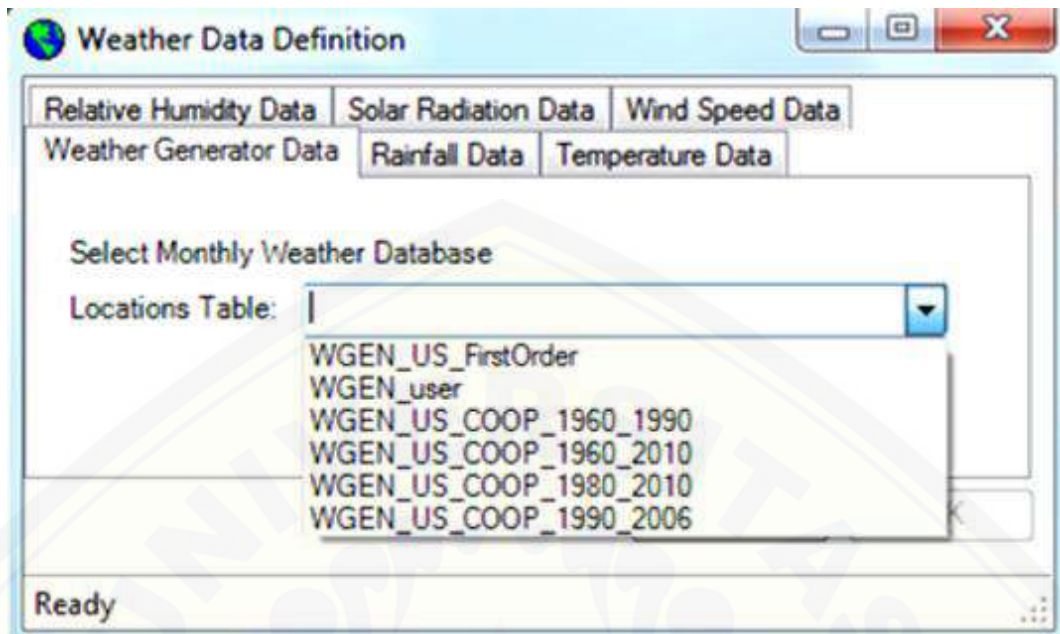
5. *Weather Stations*

Memasukan nilai dari faktor iklim di dalam proses pemodelan SWAT diperlukan guna ketepatan dan ketelitian dari hasil pemodelan SWAT ini. Pilih menu *Write Input Tables* – klik *Weather Stations*. Seperti pada Gambar 3.15

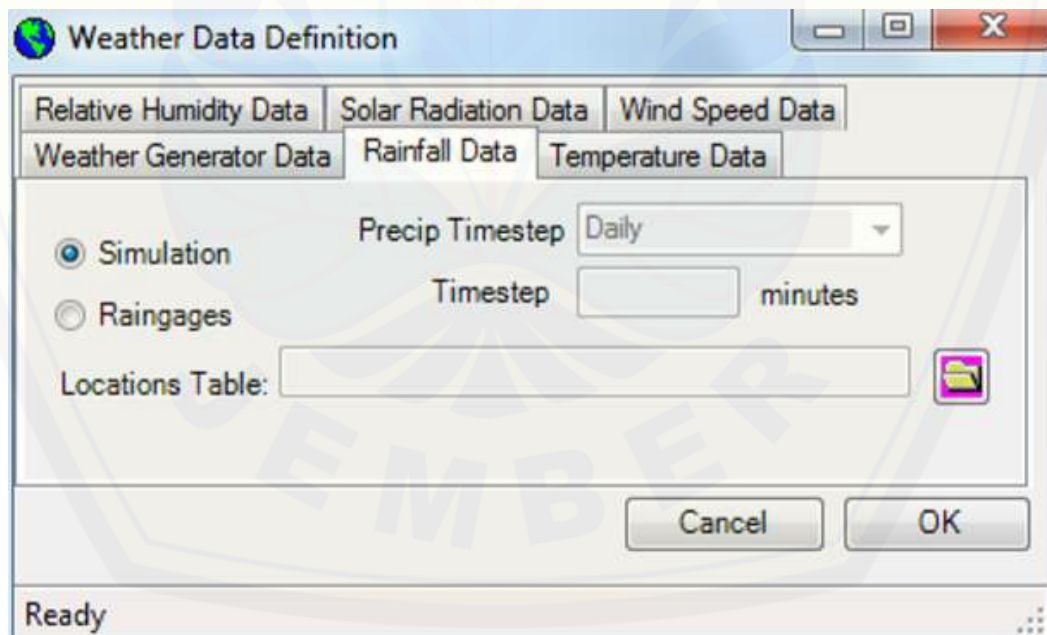


Gambar 3.15 Cara membuka *Weather Stations*

Akan muncul jendela *Weather Stations*, seperti pada Gambar 3.16 dan 3.17.



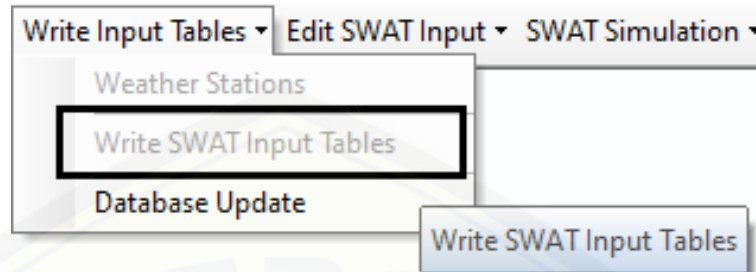
Gambar 3.16 Jendela *Weather Generator Data*



Gambar 3.17 Jendela *Rainfall Data*

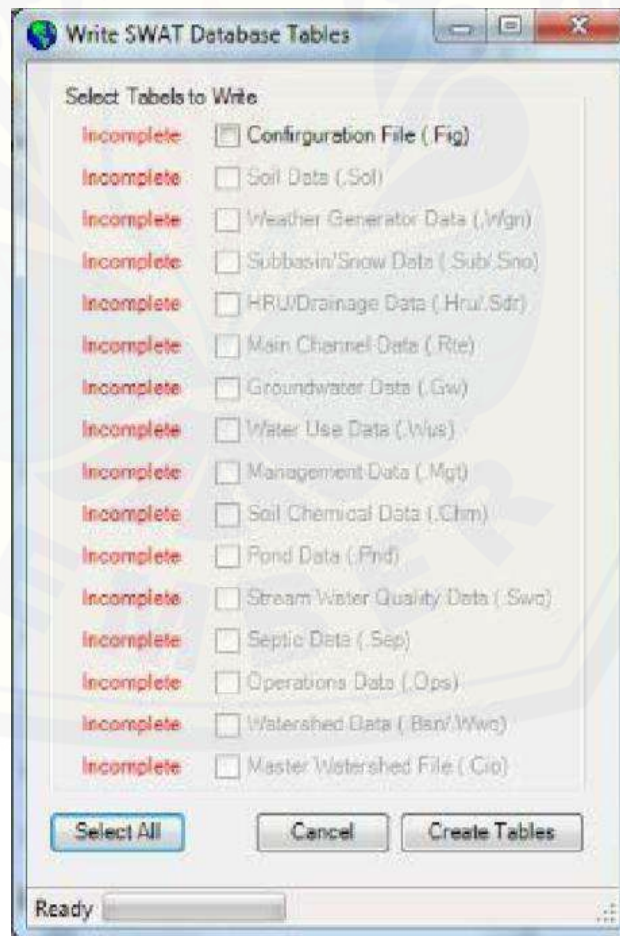
6. Langkah Membuka Jendela *Write SWAT Input Tables*

Pilih menu *Write Input Tables* – klik *Write SWAT Input Tables*. Seperti pada Gambar 3.18.



Gambar 3.18 Cara membuka *Write Input Tables*

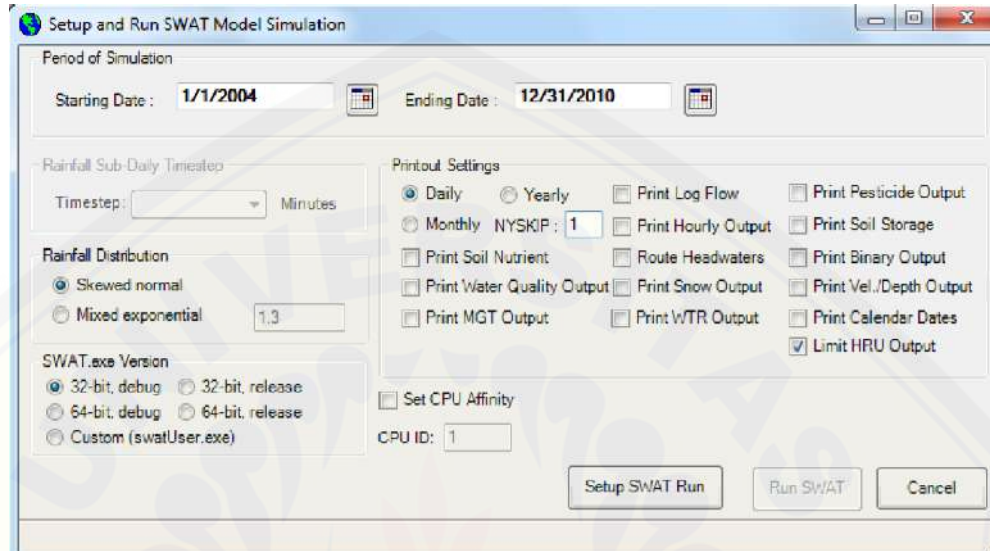
Akan muncul tampilan jendela *Write SWAT Database Tables*, seperti pada Gambar 3.19.



Gambar 3.19 Jendela *Write SWAT Database Tables*

7. Running SWAT Simulation

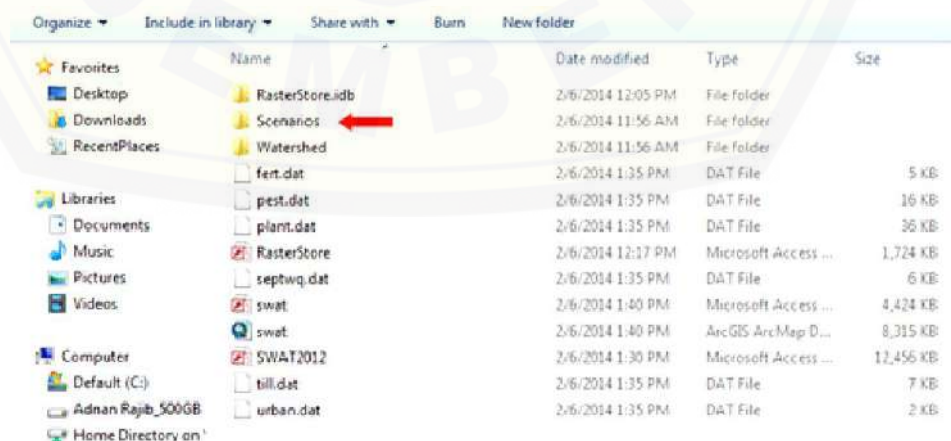
Hasil dari pemodelan *output* akhir SWAT diatur pada tahapan ini sebelum menghasilkan tabel *output* dan grafik *output*. Pilih menu *SWAT Simulation* – klik *Run SWAT*. maka akan muncul jendela *Setup and Run SWAT Model Simulation*, Seperti pada Gambar 3.20.



Gambar 3.20 Jendela *Setup and Run SWAT Model Simulation*

8. Plotting SWAT outflow in Excel

Setelah melakukan pemodelan SWAT, folder pekerjaan akan ditemukan item-item seperti pada Gambar 3.21. Terdapat folder *TxtInOut* di dalam folder Skenario, yang sebagian besar merupakan informasi *input* / *output* untuk model. Pemodelan SWAT ini akan menghasilkan dua bentuk pemodelan yaitu tabel dan grafik.



Gambar 3.21 *Plotting SWAT outflow in Excel*

3.5 Analisis Data

Kegiatan analisis data hasil penelitian dilakukan melalui beberapa proses tahapan, seperti pemilihan model, analisis pendukung data model, melakukan kalibrasi-validasi model (Setiawan, 2017). Pemodelan hidrologi yang dipilih dalam penelitian ini berupa SWAT.

1. Simulasi Awal

Simulasi pada tahapan ini dilakukan dengan membiarkan parameter-parameter pada program *Arc-SWAT* sesuai dengan parameter program *Arc-SWAT* secara *default*. Tujuan dari tahapan ini untuk mengetahui apakah parameter program *Arc-SWAT* secara default sudah sesuai dengan data AWLR model observasi.

2. Parameterisasi dan Kalibrasi *Input* Simulasi

Parameterisasi dan Kalibrasi *Input* Simulasi perlu dilakukan apabila perbandingan keluaran model *Arc-SWAT* dengan model observasi AWLR terlalu jauh, sehingga tidak baik untuk dilakukan pengolahan data di tahap selanjutnya. Tahapan ini dilakukan dengan iterasi pada tahun tertentu hingga didapatkan keluaran yang mendekati hasil model observasi sehingga bisa dijadikan parameter-parameter untuk tahun-tahun berikutnya dan bisa untuk dijadikan pengolahan data ke tahapan selanjutnya

3. Kesesuaian SWAT Terkalibrasi dengan Debit DAS

Setelah model SWAT terkalibrasi sesuai dengan data sebenarnya AWLR DAS, dilakukan analisis kesesuaian antara debit aliran banjir sungai terhadap data AWLR dari DAS KST dengan menggunakan R² dan NSE. Pada tahap akhir ini, dapat diperoleh persentase debit aliran banjir sungai model SWAT terhadap Debit aliran banjir sungai DAS KST. Model ini akan terus digunakan untuk kegiatan prediksi opsi pola tata guna lahan.

4. Simulasi Perubahan Tata Guna Lahan

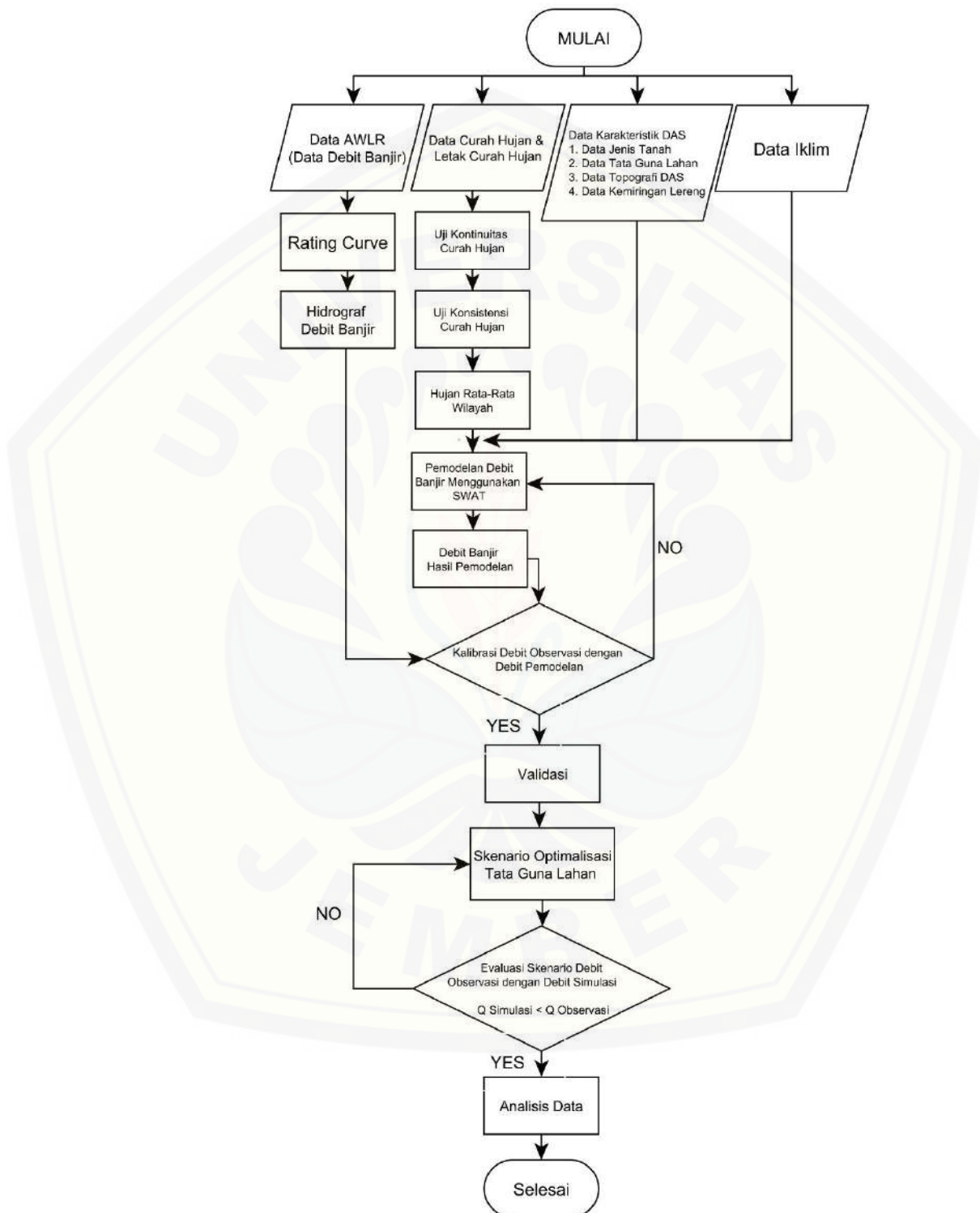
Setelah didapatkan hasil pemodelan debit aliran banjir sungai model SWAT maka dipilih presentase perubahan tata guna lahan yang sesuai

dengan keadaan sub-sub DAS KST tanpa ada perubahan parameter-parameter pada program bantu *Arc-SWAT*.

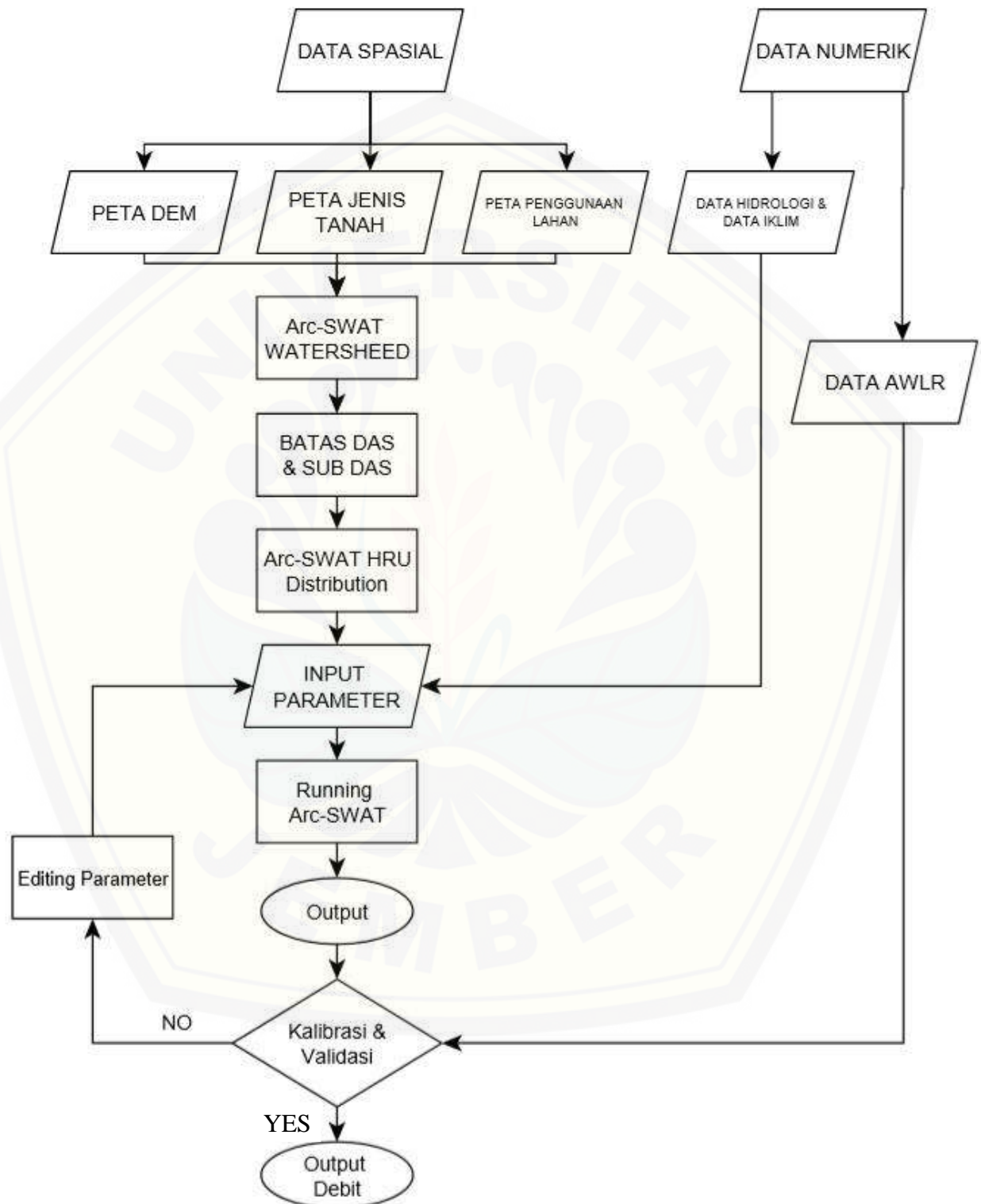


3.6 Diagram Alir

Langkah-langkah penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.22 dan 3.23 sebagai berikut:



Gambar 3.23 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.23 Diagram Alir Arc-SWAT

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

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

- 1) Pemodelan hujan aliran menggunakan Arc-SWAT di sub-sub DAS KST menghasilkan nilai keandalan model sangat baik. Pada tahap kalibrasi (2016) memiliki nilai NSE sebesar 0.751. Pada tahap validasi tahun 2009, 2010, 2015, 2017, dan 2018 menghasilkan nilai NSE masing-masing sebesar 0.812, 0.916, 0.666, 0.765, 0.922.
- 2) Hasil running model tata guna lahan tahun 1990, 2000, 2006, dan 2015, secara berurutan menghasilkan puncak debit banjir yaitu $572.50 \text{ m}^3/\text{s}$, $573.10 \text{ m}^3/\text{s}$, $573.50 \text{ m}^3/\text{s}$, dan $573.70 \text{ m}^3/\text{s}$. Peningkatan nilai puncak debit banjir berbanding terbalik dengan penurunan luasan hutan.
- 3) Skenario tiga merupakan kondisi optimal tata guna lahan DAS KST supaya tidak terjadi banjir.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka saran untuk instansi yang berwenang yaitu :

- 1) Perlu dilakukan pengelolaan konservasi tata guna lahan agar tidak terjadi banjir pada sub-sub DAS KST.
- 2) Sebaiknya dibangun pos pencatat TMA otomatis (AWLR) disetiap outlet sub-sub DAS.

DAFTAR PUSTAKA

- Amin, M. 2015. *Simulasi Tata Guna Lahan Untuk Pengelolaan DAS Garang Jawa Tengah*. (Desertasi). Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada.
- Anderson, H.W., Hoover, M.D., and Reinhart, K.G. 1976. *Forests and water: Effects of forest management on floods, sedimentation, and water supply*: U.S. Forest Service General Technical Report PSW-18/1976, 115 p.
- Anwar, M., H., Pawitan, K., Murti Laksono. 2011. *Respons Hidrologi Akibat Deformasi di DAS Barito Hulu, Kalimantan Tengah*. JMHT. 3:119-126.
- Arnold, J.G., Allen, P.M., Volk, M., Williams, J.R. dan Bosch, D.D. 2010. *Assessment of different representations of spatial variability on SWAT model performance*. The ASABE SWAT 2010 Special Collection. Transaction of The ASABE 53(5): 1433-1443.
- Arnold, J.G., R. Srinivasan., Muttiah R. S., dan Williams, J.R. (1998). *Large-area hydrologic modeling and assessment: Part I. Model development*. J. American Water Resour. Assoc. 34(1): 73-89.
- Arsyad, S. (2010). *Konservasi Tanah dan Air Edisi 2. UPT Produksi Media Informasi Lembaga Sumberdaya*. IPB. Bogor Press.
- Asdak, C. 1995. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Asdak, C. 2002. *Hidrologi dan Pengelolaan DAS*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Budiawan, S.S. (2012). *Pendugaan Debit Puncak Menggunakan Model Rasional dan SCS-CN (Soil Conservation Service – Curve Number)*. Skripsi. Program Sarjana Departemen Manajemen Hutan Fakultas Kehutanan. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Hendrayanto. 2009. *Modul Mata Kuliah Hidrologi Hutan*. Bogor: Departemen Manajemen Hutan Fakultas Kehutanan IPB.

- Hidayat, L., Putu, S., Susanto. S., Jayadi. R. (2016). *Validasi Model Hidrologi SWAT di Daerah Tangkapan Air Waduk Mrica*. AGRITECH, Vol. 36, No. 4. Hal. 467-474.
- Junaidi, Edy. (2013). *Peranan Penerapan Agroforestry Terhadap Hasil Air Daerah Aliran Sungai(DAS) Cisadane*. Jurnal Penelitian Agroforestry Vol 1 No. 1, Agustus 2013 (Hal 41-53).
- Kartodihardjo, H. 2008. *Analisis kelembagaan pengelolaan daerah aliran sungai : konsep, Paradox dan Masalah, serta Upaya Peningkatan Kinerja*. Makalah Lokakarya.
- Kurniawan RD, Hadiani R, Setiono. 2017. *Mengisi Data Hujan Yang Hilang Dengan Metode Autoregressive dan Metode Reciprocal Dengan Pengujian Debit Kala Ulang (Studi Kasus Di DAS Bakalan)*. E-jurnal MATRIKS TEKNIK SIPIL,1315.
- Lee R. 1980. *Hidrologi Hutan*. Subagio S, penerjemah; Prawirohatmodjo S, editor. 1986. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press. Terjemahan dari: Forest Hydrology.
- Lestari, Moerniti Pudji. (2010). *Prdiksi Erosi Menggunakan Metode MUSLE (Studi Kasus: Sub DAS Laban Kab. Boyolali dan DAS Kupang Kab. Pekalongan Jawa Tengah)*. Tesis. Program Studi Ilmu Kehutanan Program Pascasarjana Fakultas Kehutanan UGM. Yogyakarta
- Miardini, Arina, Totok Gunawan, Sigit Heru Murti. (2016). *Kajian Degradasi Lahan Sebagai Dasar Pengendalian Banjir di DAS Juwana*. Majalah Geografi indonesia Vol. 30 No 2 September 2016 (134-141).
- Mulyana, N. 2012. *Analisis Luas Tutupan Hutan Terhadap Ketersediaan Green Water dan Blue Water di Sub DAS Gumbasa dan Sub DAS Cisadane Hulu Dengan Aplikasi Model SWAT*. (Disertasi). Sekolah Pasca Sarjana, Institut Pertanian Bogor

- Murtiono UH. 2008. *Kajian Model Estimasi Volume Limpasan Permukaan, Debit Puncak Aliran, dan Erosi Tanah Dengan Model Soil Conservation Service (SCS), Rasional dan Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE) (Studi Kasus di Das Keduang, Wonogiri)*. Jurnal Forum Geografi Volume (22, No. 2, Desember 2008: 169-185).
- Nasjono, K.J., Utomo, S., Marawali, U.D.B. (2018). *Keandalan Metode Soil Conservation Service – Curve Number untuk Perhitungan Debit Puncak DAS Manikin*. Jurnal Teknik Sipil, Vol. VII, No. 2.
- Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R. dan Williams, J.R. (2005). *Soil and Water Assessment Tool Theoretical and Documentation, Version 2005*. Grassland, Soil and Water Research Laboratory-Agricultural Research Service 808 East Blackland Road-Temple, Texas 76502. Blackland Research Center-Texas Agricultural Experiment Station 720 East Blackland Road-Temple, Texas 76502.
- Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R. dan Williams, J.R. (2004). *Soil and Water Assessment Tool Input / Output File Documentation, Ver. 2005*. Temple, Tex.: USDARS Grassland, Soil and Water Research Laboratory.
- Nugroho, P. 2015. *Model Soil Water Assesment Tool (SWAT) Untuk Prediksi Laju Erosi dan Sedimentasi Di Sub DAS Keduang Kabupaten Wonogiri*. (Skripsi). Fakultas Geografi, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Nursidah. (2012). *Pengembangan Institusi untuk Membangun Kemandirian Dalam Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Terpadu (Studi Kasus Pada Satuan Wilayah Pengelolaan Daerah Sungai Arau Sumatera Barat)*. Disertasi. Sekolah Pascasarjana IPB. Bogor.
- Pebrianti, C. 2019. *Banjir Melanda 7 Kecamatan di Ponorogo, 450 Warga Mengungsi*. DetikNews, 7 Maret 2019.
- Prahasta, Eddy. 2002. *Sistem Informasi Geografis: Konsep-Konsep Dasar Informasi Geografis*. Bandung: Informatika Bandung.

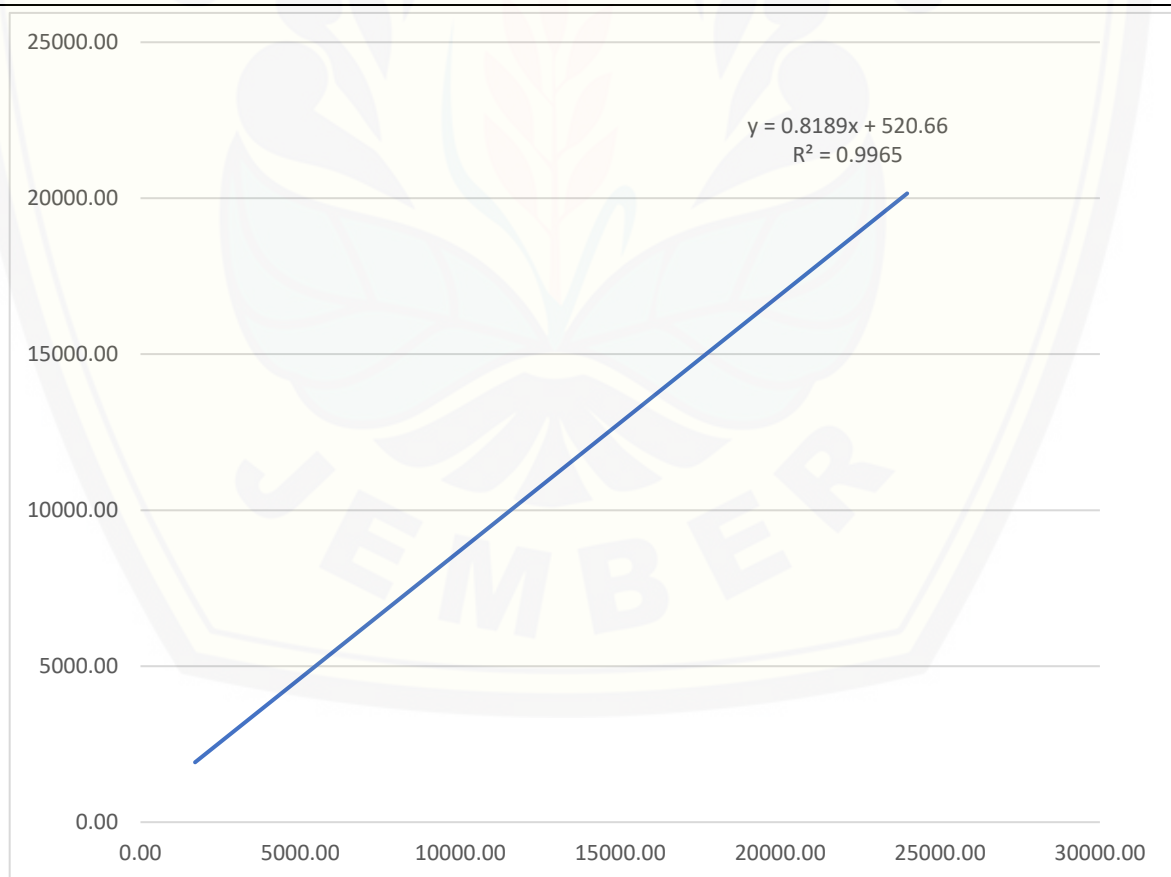
- Rahim SE. 2006. *Pengendalian Erosi Tanah: Dalam Rangka Pelestarian lingkungan Hidup*, Jakarta: PT. Bumi Aksara.
- Seyhan E. 1990. *Dasar-Dasar Hidrologi*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Sosrodarsono S, Takeda K. 2006. *Hidrologi Untuk Pengairan*. Jakarta: PT. Pradnya Paramitha.
- Sudjarwardi. (1987). *Teknik Sumber Daya Air*. PAU Ilmu Teknik UGM. Yogyakarta.
- Supangat AB, Murtiono UH. 2002. *Kajian Koefisien Aliran Pada Beberapa Sub DAS di DAS Solo Hulu (Studi Kasus di Sub DAS Padas, Goseng, Dumpul, Keduang dan Gobeh)*. Di dalam: *Monitoring dan Evaluasi Pengelolaan DAS*. Prosiding Seminar; Surakarta, 23 Desember 2002.
- Wibowo, K. M., I., Kanedi, J., Jumadi. 2015. *Sistem Informasi Geografis (SIG) Menentukan Lokasi Pertambangan Batu Bara di Provinsi Bengkulu Berbasis Website*. Jurnal Media Infotama. 11:No. 1.
- Williams, J.R., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Gassman, P.W. dan Green, C.H. (2008). *History of model development at Temple, Texas*. Hydrological Sciences Journal. 53(5): 948-960.

LAMPIRAN

Lampiran A. Uji Konsistensi Curah Hujan

Tabel A.1 Uji Konsistensi Stasiun Hujan Sooko

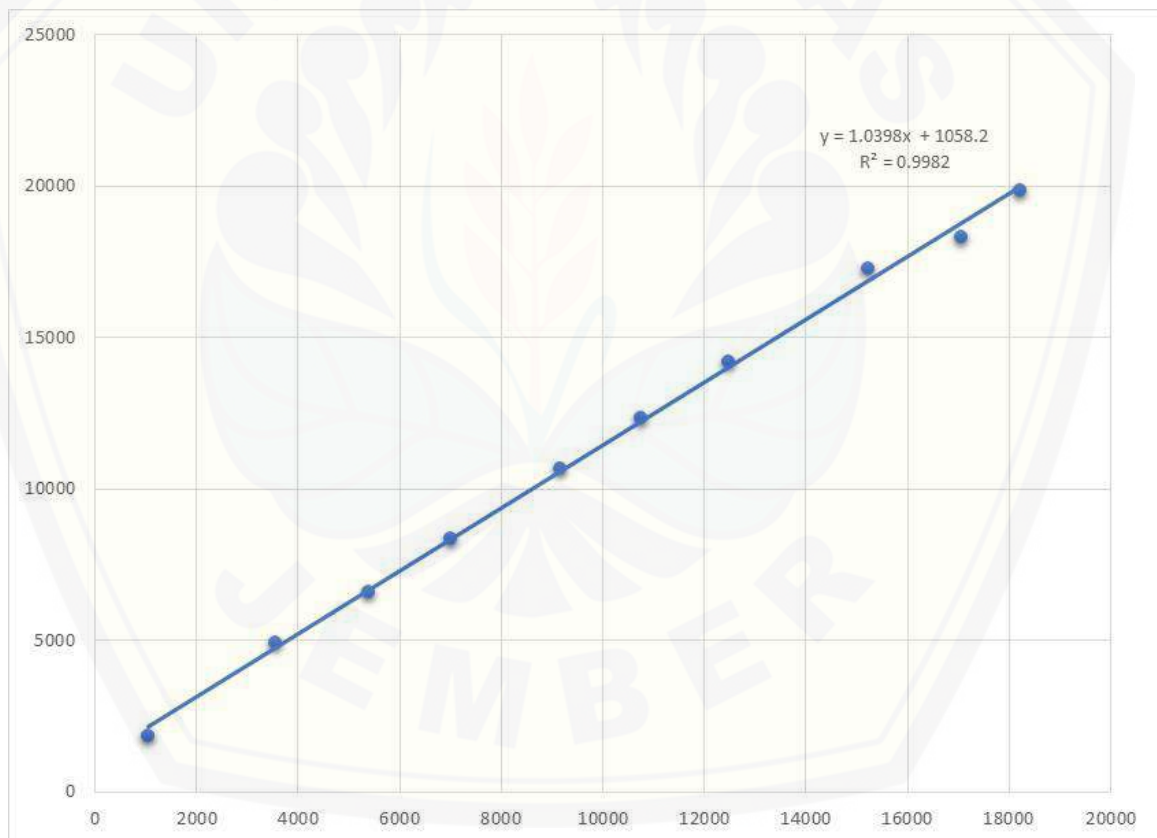
Uji Konsistensi Stasiun Hujan Sooko					
No	Tahun	Stasiun Sooko	Kumulatif Stasiun Sooko	Rerata Stasiun Lain	Kumulatif Stasiun Lain
1	2009	1707.00	1707.00	1811.68	1811.68
2	2010	3917.00	5624.00	3024.63	4836.32
3	2011	1768.00	7392.00	1676.16	6512.47
4	2012	2185.00	9577.00	1693.84	8206.32
5	2013	2455.00	12032.00	2324.84	10531.16
6	2014	1772.00	13804.00	1656.84	12188.00
7	2015	2066.00	15870.00	1858.42	14046.42
8	2016	3839.00	19709.00	3005.53	17051.95
9	2017	2012.00	21721.00	1012.42	18064.37
10	2018	2253.30	23974.30	1507.29	19571.66



Gambar A.1 Grafik Uji Konsistensi Stasiun Hujan Sooko

Tabel A.2 Uji Konsistensi Stasiun Hujan Slahung

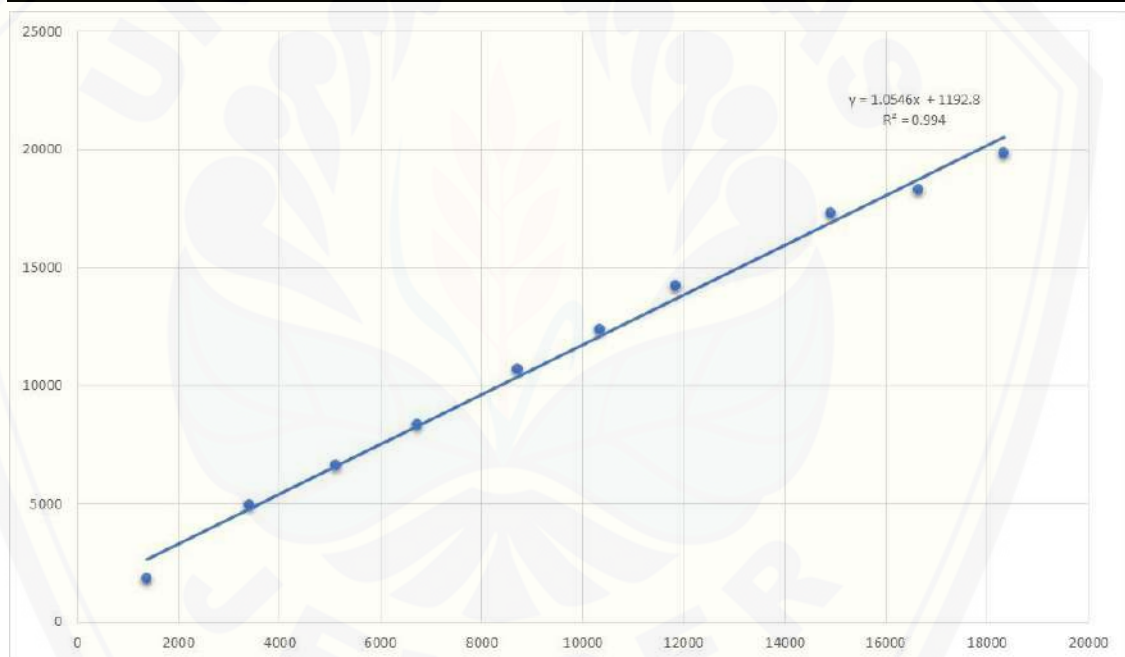
Uji Konsistensi Stasiun Hujan Slahung					
No	Tahun	Stasiun Slahung	Kumulatif Stasiun Slahung	Rerata Stasiun Lain	Kumulatif Stasiun Lain
1	2009	1053.00	1053.00	1846.11	1846.11
2	2010	2505.00	3558.00	3098.95	4945.05
3	2011	1842.00	5400.00	1672.26	6617.32
4	2012	1616.00	7016.00	1723.79	8341.11
5	2013	2144.00	9160.00	2341.21	10682.32
6	2014	1597.00	10757.00	1666.05	12348.37
7	2015	1729.00	12486.00	1876.16	14224.53
8	2016	2739.00	15225.00	3063.42	17287.95
9	2017	1829.00	17054.00	1022.05	18310.00
10	2018	1157.50	18211.50	1564.96	19874.96



Gambar A.2 Grafik Uji Konsistensi Stasiun Hujan Slahung

Tabel A.3 Uji Konsistensi Stasiun Hujan Purwanto

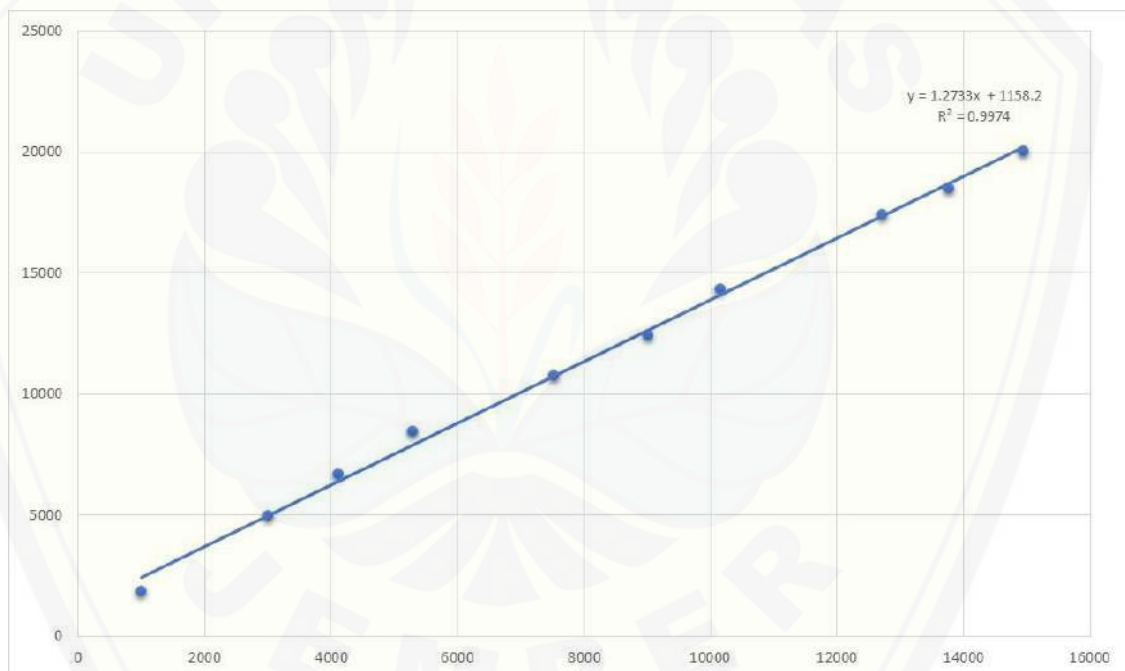
Uji Konsistensi Stasiun Hujan Purwanto					
No	Tahun	Stasiun Purwanto	Kumulatif Stasiun Purwanto	Rerata Stasiun Lain	Kumulatif Stasiun Lain
1	2009	1378.00	1378.00	1829.00	1829.00
2	2010	2025.00	3403.00	3124.21	4953.21
3	2011	1710.00	5113.00	1679.21	6632.42
4	2012	1609.00	6722.00	1724.16	8356.58
5	2013	1984.00	8706.00	2349.63	10706.21
6	2014	1636.00	10342.00	1664.00	12370.21
7	2015	1500.00	11842.00	1888.21	14258.42
8	2016	3056.00	14898.00	3046.74	17305.16
9	2017	1734.00	16632.00	1027.05	18332.21
10	2018	1699.00	18331.00	1536.46	19868.67



Gambar A.3 Grafik Uji Konsistensi Stasiun Hujan Purwanto

Tabel A.4 Uji Konsistensi Stasiun Hujan Babadan

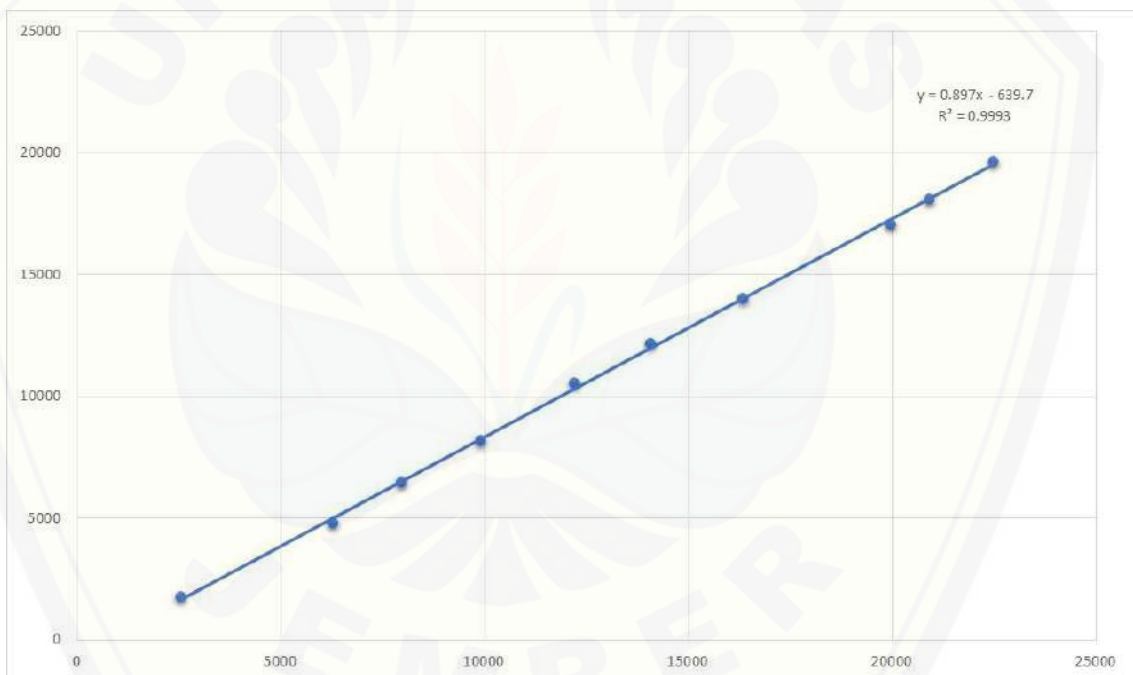
Uji Konsistensi Stasiun Hujan Babadan					
No	Tahun	Stasiun Babadan	Kumulatif Stasiun Babadan	Rerata Stasiun Lain	Kumulatif Stasiun Lain
1	2009	998.00	998.00	1849.00	1849.00
2	2010	2009.00	3007.00	3125.05	4974.05
3	2011	1114.00	4121.00	1710.58	6684.63
4	2012	1177.00	5298.00	1746.89	8431.53
5	2013	2231.00	7529.00	2336.63	10768.16
6	2014	1492.00	9021.00	1671.58	12439.74
7	2015	1128.00	10149.00	1907.79	14347.53
8	2016	2571.00	12720.00	3072.26	17419.79
9	2017	1046.00	13766.00	1063.26	18483.05
10	2018	1192.00	14958.00	1563.15	20046.20



Gambar A.4 Grafik Uji Konsistensi Stasiun Hujan Babadan

Tabel A.5 Uji Konsistensi Stasiun Hujan Pulung

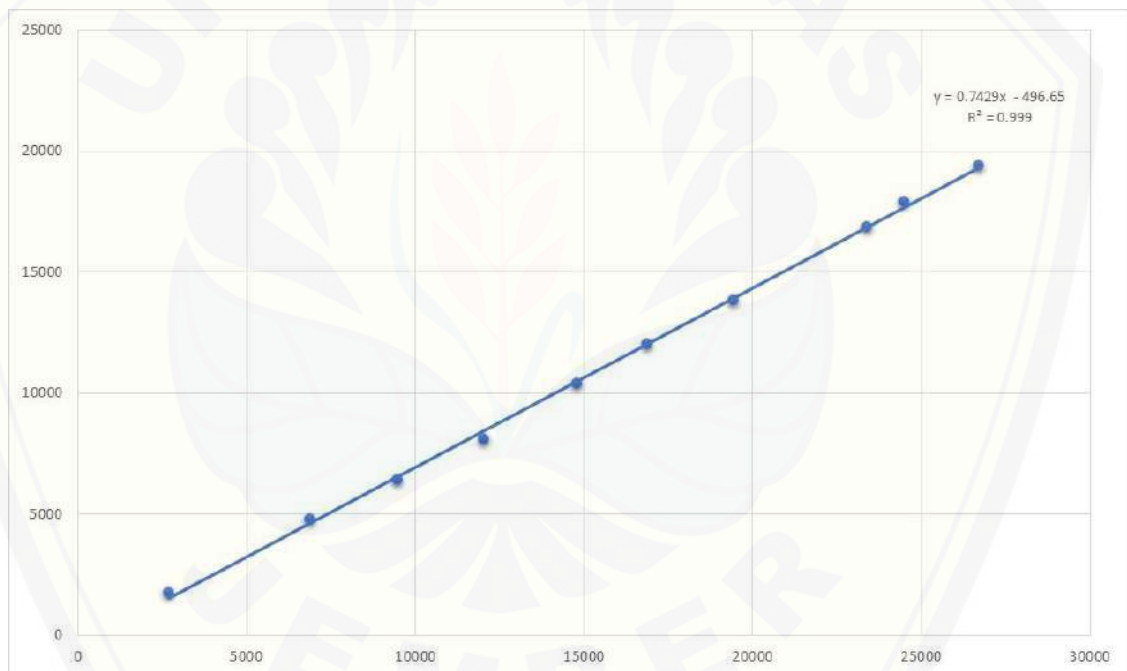
Uji Konsistensi Stasiun Hujan Pulung					
No	Tahun	Stasiun Pulung	Kumulatif Stasiun Pulung	Rerata Stasiun Lain	Kumulatif Stasiun Lain
1	2009	2554.00	2554.00	1767.11	1767.11
2	2010	3758.00	6312.00	3033.00	4800.11
3	2011	1670.00	7982.00	1681.32	6481.42
4	2012	1950.00	9932.00	1706.21	8187.63
5	2013	2290.00	12222.00	2333.53	10521.16
6	2014	1859.00	14081.00	1652.26	12173.42
7	2015	2272.00	16353.00	1847.58	14021.00
8	2016	3625.00	19978.00	3016.79	17037.79
9	2017	943.00	20921.00	1068.68	18106.47
10	2018	1567.00	22488.00	1543.41	19649.88



Gambar A.5 Grafik Uji Konsistensi Stasiun Hujan Pulung

Tabel A.6 Uji Konsistensi Stasiun Hujan Pudak

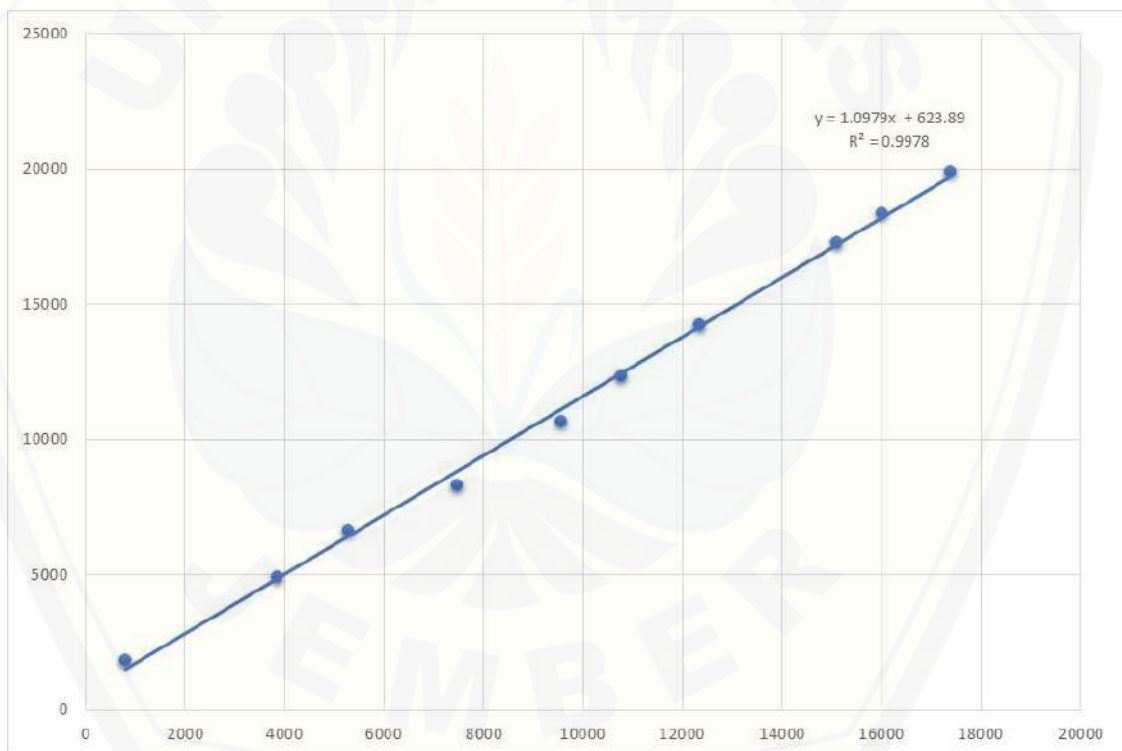
Uji Konsistensi Stasiun Hujan Pudak					
No	Tahun	Stasiun Pudak	Kumulatif Stasiun Pudak	Rerata Stasiun Lain	Kumulatif Stasiun Lain
1	2009	2701.00	2701.00	1759.37	1759.37
2	2010	4163.00	6864.00	3011.68	4771.05
3	2011	2614.00	9478.00	1631.63	6402.68
4	2012	2545.00	12023.00	1674.89	8077.58
5	2013	2782.00	14805.00	2307.63	10385.21
6	2014	2053.00	16858.00	1642.05	12027.26
7	2015	2580.00	19438.00	1831.37	13858.63
8	2016	3956.00	23394.00	2999.37	16858.00
9	2017	1098.00	24492.00	1060.53	17918.53
10	2018	2204.00	26696.00	1509.88	19428.41



Gambar A.6 Grafik Uji Konsistensi Stasiun Hujan Pudak

Tabel A.7 Uji Konsistensi Stasiun Hujan Sawoo

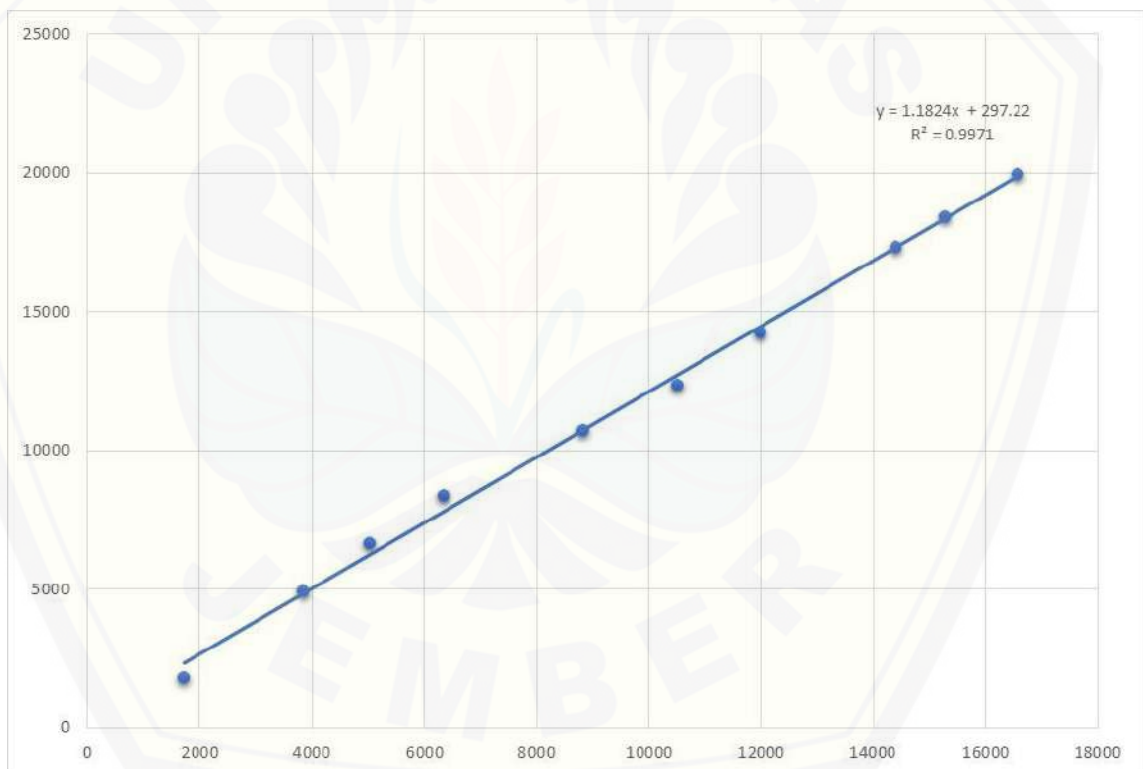
Uji Konsistensi Stasiun Hujan Sawoo					
No	Tahun	Stasiun Sawoo	Kumulatif Stasiun Sawoo	Rerata Stasiun Lain	Kumulatif Stasiun Lain
1	2009	817.00	817.00	1858.53	1858.53
2	2010	3054.00	3871.00	3070.05	4928.58
3	2011	1410.00	5281.00	1695.00	6623.58
4	2012	2190.00	7471.00	1693.58	8317.16
5	2013	2107.00	9578.00	2343.16	10660.32
6	2014	1196.00	10774.00	1687.16	12347.47
7	2015	1571.00	12345.00	1884.47	14231.95
8	2016	2762.00	15107.00	3062.21	17294.16
9	2017	900.00	16007.00	1070.95	18365.11
10	2018	1393.00	17400.00	1552.57	19917.67



Gambar A.7 Grafik Uji Konsistensi Stasiun Hujan Sawoo

Tabel A.8 Uji Konsistensi Stasiun Hujan Balong

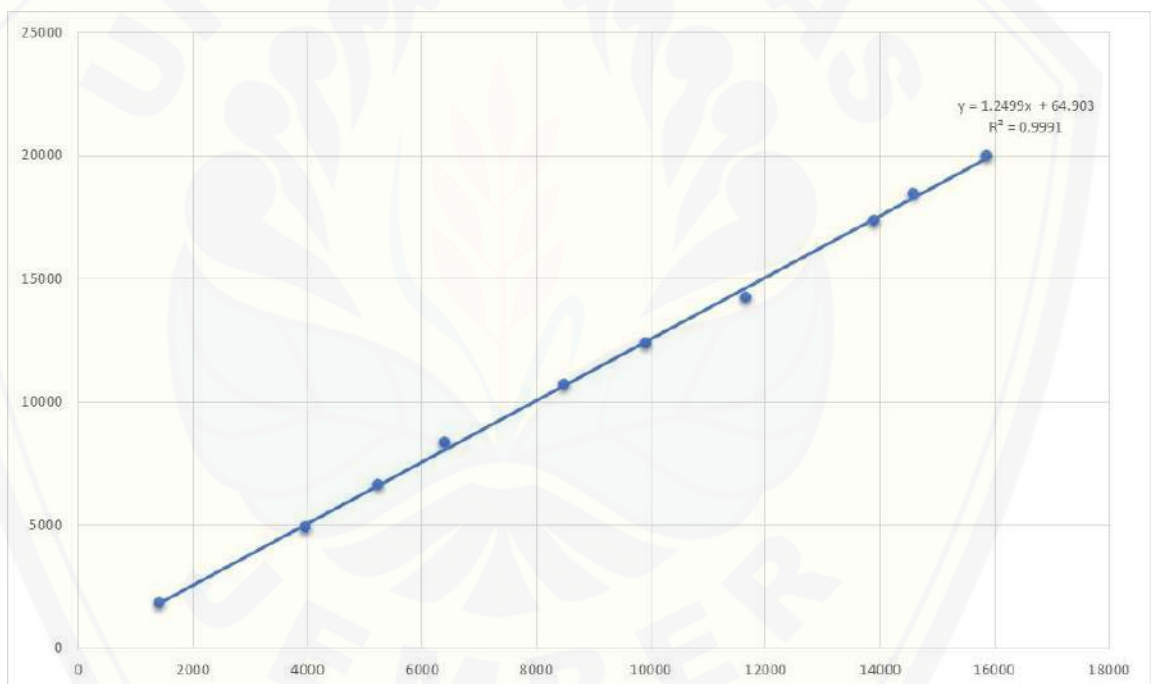
Uji Konsistensi Stasiun Hujan Balong					
No	Tahun	Stasiun Balong	Kumulatif Stasiun Balong	Rerata Stasiun Lain	Kumulatif Stasiun Lain
1	2009	1723.00	1723.00	1810.84	1810.84
2	2010	2129.00	3852.00	3118.74	4929.58
3	2011	1175.00	5027.00	1707.37	6636.95
4	2012	1331.00	6358.00	1738.79	8375.74
5	2013	2475.00	8833.00	2323.79	10699.53
6	2014	1683.00	10516.00	1661.53	12361.05
7	2015	1475.00	11991.00	1889.53	14250.58
8	2016	2413.00	14404.00	3080.58	17331.16
9	2017	870.00	15274.00	1072.53	18403.68
10	2018	1295.00	16569.00	1557.73	19961.41



Gambar A.8 Grafik Uji Konsistensi Stasiun Hujan Balong

Tabel A.9 Uji Konsistensi Stasiun Hujan Sungkur

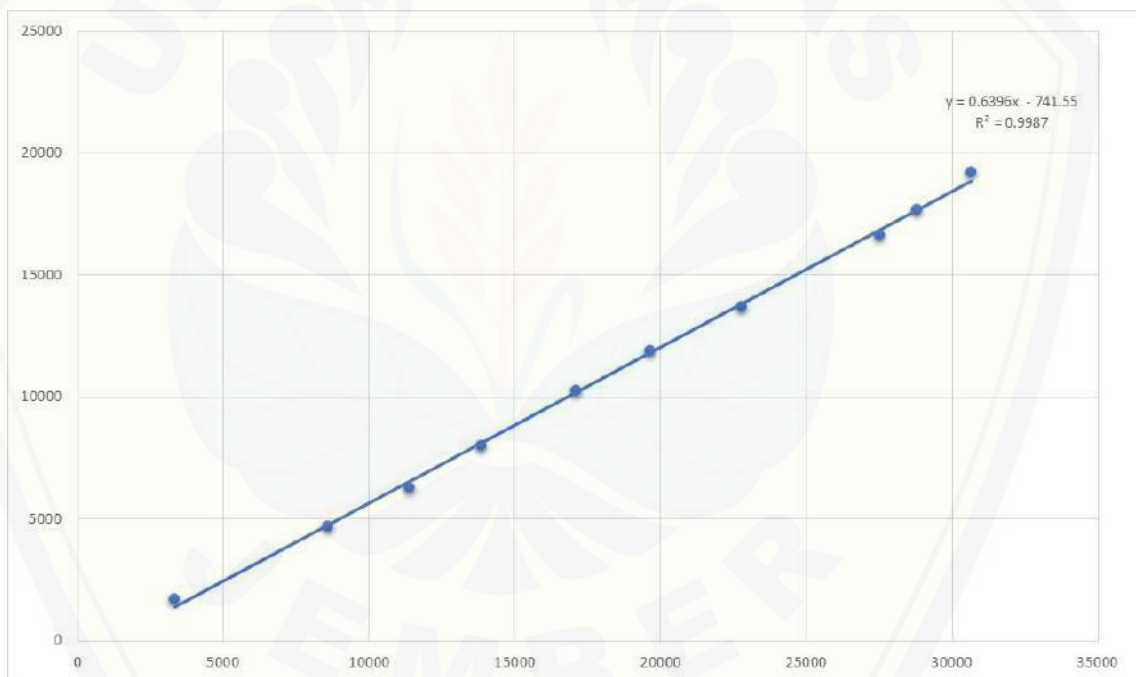
Uji Konsistensi Stasiun Hujan Sungkur					
No	Tahun	Stasiun Sungkur	Kumulatif Stasiun Sungkur	Rerata Stasiun Lain	Kumulatif Stasiun Lain
1	2009	1427.00	1427.00	1826.42	1826.42
2	2010	2541.00	3968.00	3097.05	4923.47
3	2011	1277.00	5245.00	1702.00	6625.47
4	2012	1158.00	6403.00	1747.89	8373.37
5	2013	2079.00	8482.00	2344.63	10718.00
6	2014	1420.00	9902.00	1675.37	12393.37
7	2015	1754.00	11656.00	1874.84	14268.21
8	2016	2251.00	13907.00	3089.11	17357.32
9	2017	667.00	14574.00	1083.21	18440.53
10	2018	1289.00	15863.00	1558.04	19998.57



Gambar A.9 Grafik Uji Konsistensi Stasiun Hujan Sungkur

Tabel A.10 Uji Konsistensi Stasiun Hujan Talun

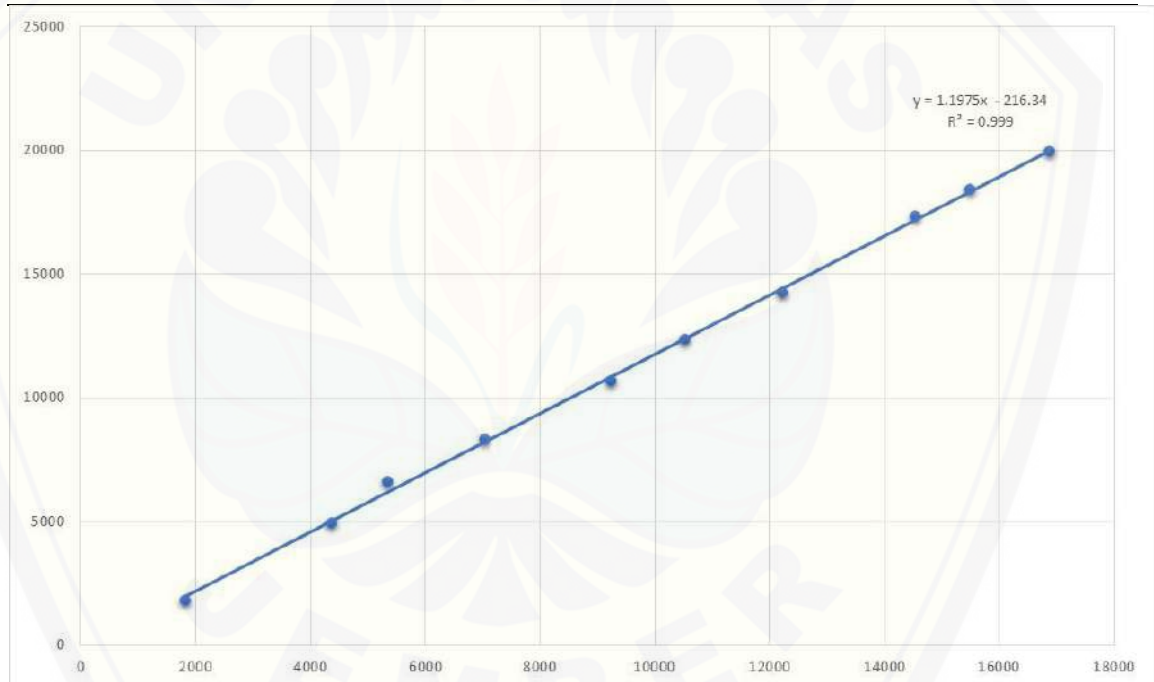
Uji Konsistensi Stasiun Hujan Talun					
No	Tahun	Stasiun Talun	Kumulatif Stasiun Talun	Rerata Stasiun Lain	Kumulatif Stasiun Lain
1	2009	3329.00	3329.00	1726.32	1726.32
2	2010	5276.00	8605.00	2953.11	4679.42
3	2011	2790.00	11395.00	1622.37	6301.79
4	2012	2463.00	13858.00	1679.21	7981.00
5	2013	3249.00	17107.00	2283.05	10264.05
6	2014	2544.00	19651.00	1616.21	11880.26
7	2015	3132.00	22783.00	1802.32	13682.58
8	2016	4733.00	27516.00	2958.47	16641.05
9	2017	1286.00	28802.00	1050.63	17691.68
10	2018	1841.00	30643.00	1528.99	19220.67



Gambar A.10 Grafik Uji Konsistensi Stasiun Hujan Talun

Tabel A.11 Uji Konsistensi Stasiun Hujan Bollu

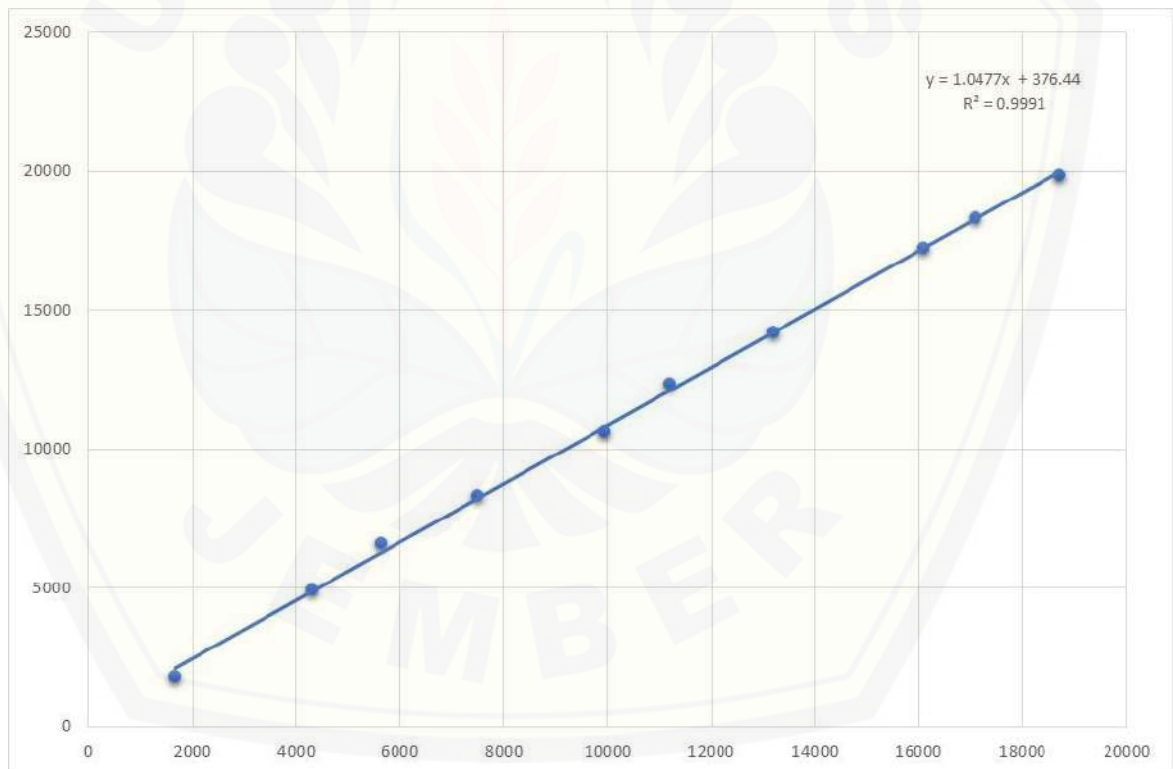
Uji Konsistensi Stasiun Hujan Bollu					
No	Tahun	Stasiun Bollu	Kumulatif Stasiun Bollu	Rerata Stasiun Lain	Kumulatif Stasiun Lain
1	2009	1831.00	1831.00	1805.16	1805.16
2	2010	2548.00	4379.00	3096.68	4901.84
3	2011	969.00	5348.00	1718.21	6620.05
4	2012	1693.00	7041.00	1719.74	8339.79
5	2013	2197.00	9238.00	2338.42	10678.21
6	2014	1300.00	10538.00	1681.68	12359.89
7	2015	1695.00	12233.00	1877.95	14237.84
8	2016	2305.00	14538.00	3086.26	17324.11
9	2017	954.00	15492.00	1068.11	18392.21
10	2018	1382.00	16874.00	1553.15	19945.36



Gambar A.11 Grafik Uji Konsistensi Stasiun Hujan Bollu

Tabel A.12 Uji Konsistensi Stasiun Hujan Wilangan

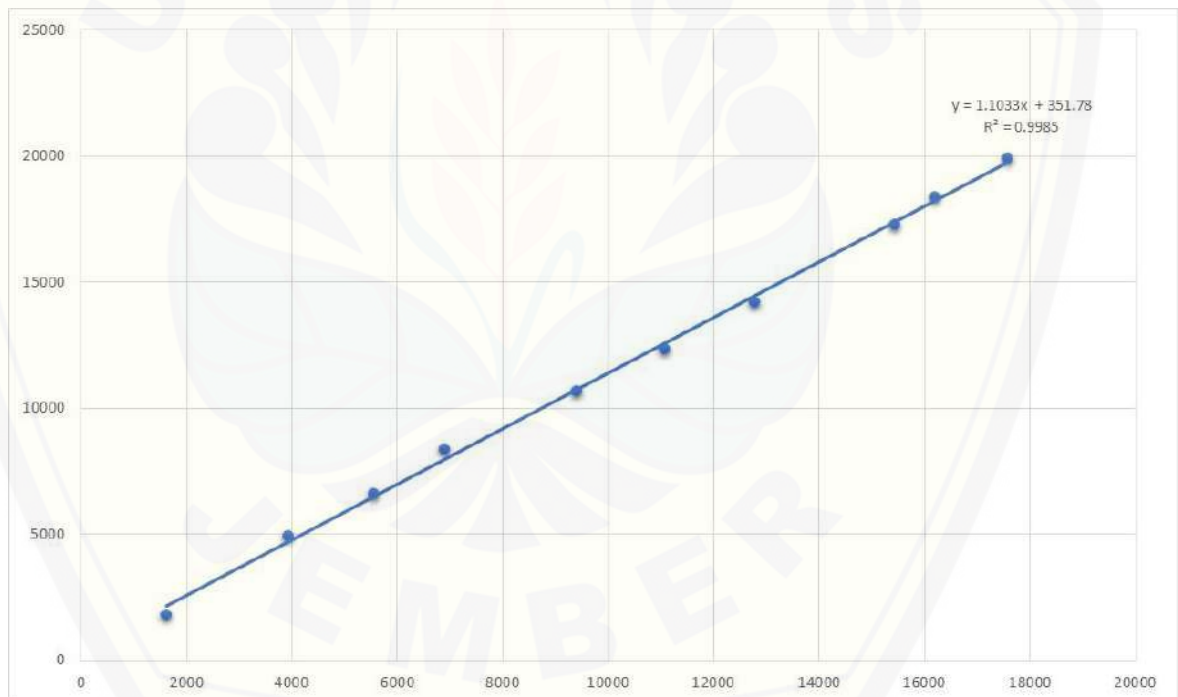
Uji Konsistensi Stasiun Hujan Wilangan					
No	Tahun	Stasiun Wilangan	Kumulatif Stasiun Wilangan	Rerata Stasiun Lain	Kumulatif Stasiun Lain
1	2009	1665.00	1665.00	1813.89	1813.89
2	2010	2634.00	4299.00	3092.16	4906.05
3	2011	1351.00	5650.00	1698.11	6604.16
4	2012	1852.00	7502.00	1711.37	8315.53
5	2013	2453.00	9955.00	2324.95	10640.47
6	2014	1260.00	11215.00	1683.79	12324.26
7	2015	1981.00	13196.00	1862.89	14187.16
8	2016	2903.00	16099.00	3054.79	17241.95
9	2017	998.00	17097.00	1065.79	18307.74
10	2018	1618.00	18715.00	1540.73	19848.46



Gambar A.12 Grafik Uji Konsistensi Stasiun Hujan Wilangan

Tabel A.13 Uji Konsistensi Stasiun Hujan Ngilo-ilo

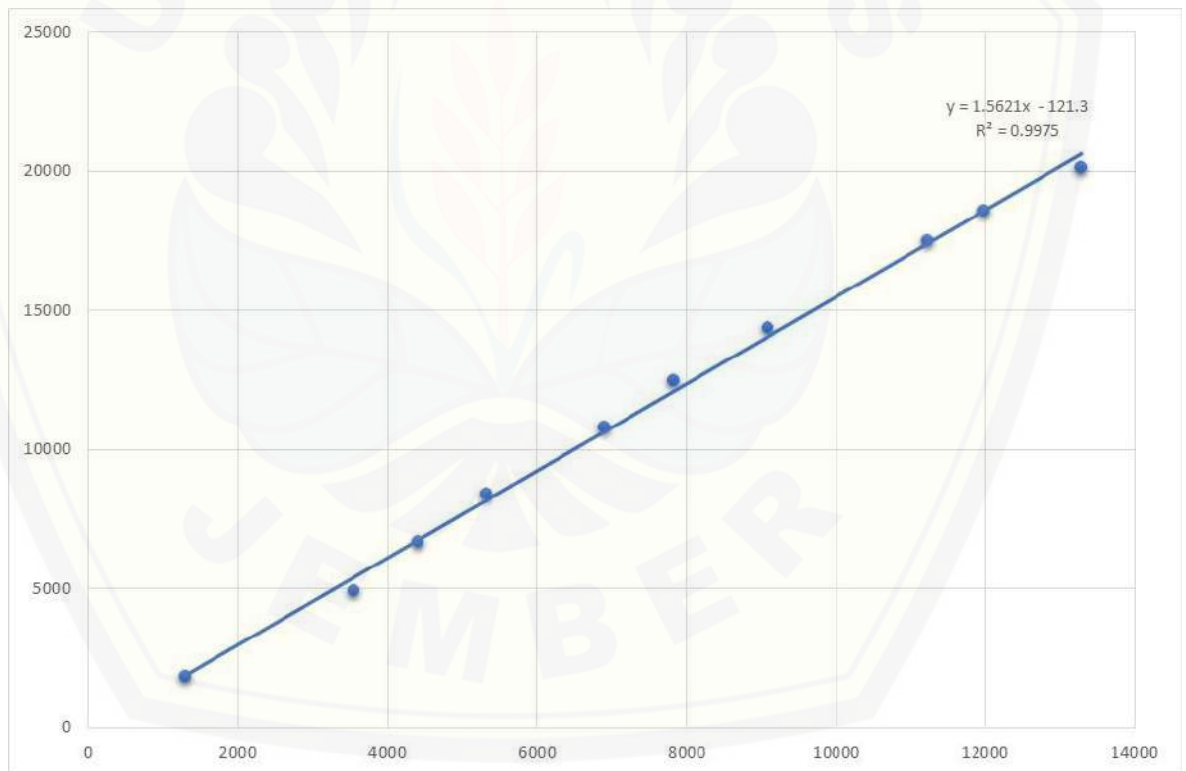
Uji Konsistensi Stasiun Hujan Ngilo-ilo					
No	Tahun	Stasiun Ngilo-ilo	Kumulatif Stasiun Ngilo-ilo	Rerata Stasiun Lain	Kumulatif Stasiun Lain
1	2009	1627.00	1627.00	1815.89	1815.89
2	2010	2310.00	3937.00	3109.21	4925.11
3	2011	1625.00	5562.00	1683.68	6608.79
4	2012	1332.00	6894.00	1738.74	8347.53
5	2013	2525.00	9419.00	2321.16	10668.68
6	2014	1660.00	11079.00	1662.74	12331.42
7	2015	1701.00	12780.00	1877.63	14209.05
8	2016	2674.00	15454.00	3066.84	17275.89
9	2017	744.00	16198.00	1079.16	18355.05
10	2018	1391.00	17589.00	1552.67	19907.73



Gambar A.13 Grafik Uji Konsistensi Stasiun Hujan Ngilo-ilo

Tabel A.14 Uji Konsistensi Stasiun Hujan Sumoroto

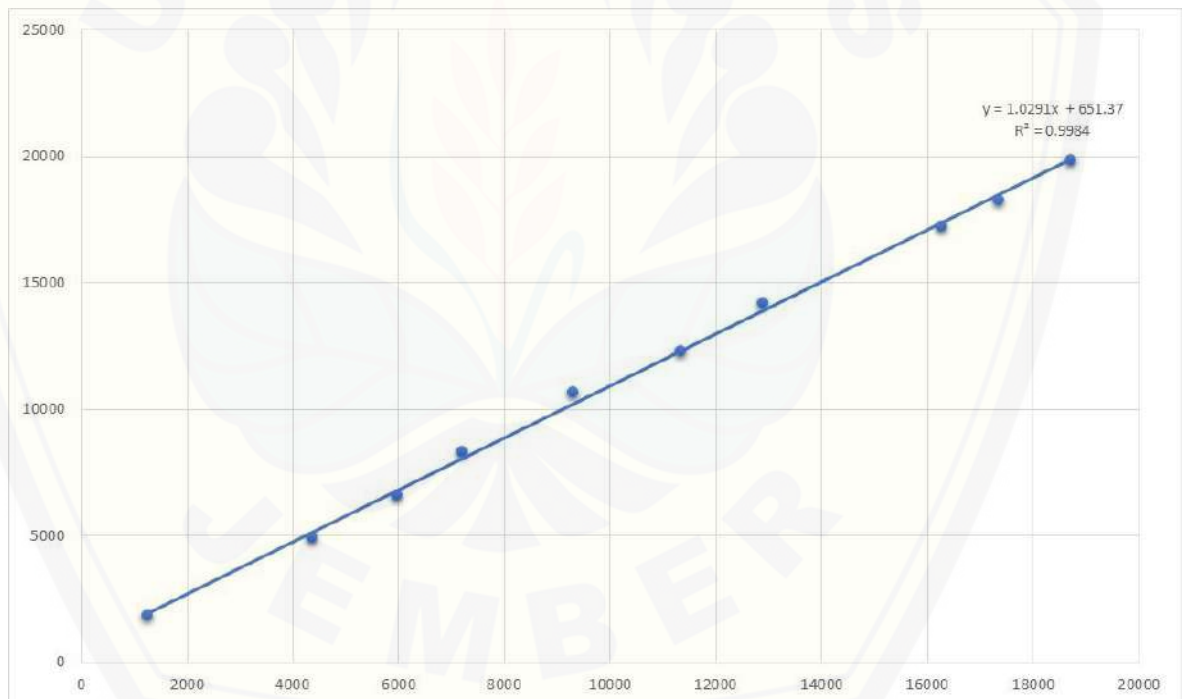
Uji Konsistensi Stasiun Hujan Sumoroto					
No	Tahun	Stasiun Sumoroto	Kumulatif Stasiun Sumoroto	Rerata Stasiun Lain	Kumulatif Stasiun Lain
1	2009	1296.00	1296.00	1833.32	1833.32
2	2010	2261.00	3557.00	3111.79	4945.11
3	2011	856.00	4413.00	1724.16	6669.26
4	2012	904.00	5317.00	1761.26	8430.53
5	2013	1592.00	6909.00	2370.26	10800.79
6	2014	915.00	7824.00	1701.95	12502.74
7	2015	1261.00	9085.00	1900.79	14403.53
8	2016	2141.00	11226.00	3094.89	17498.42
9	2017	763.00	11989.00	1078.16	18576.58
10	2018	1299.00	13288.00	1557.52	20134.09



Gambar A.14 Grafik Uji Konsistensi Stasiun Hujan Sumoroto

Tabel A.15 Uji Konsistensi Stasiun Hujan Pohijo

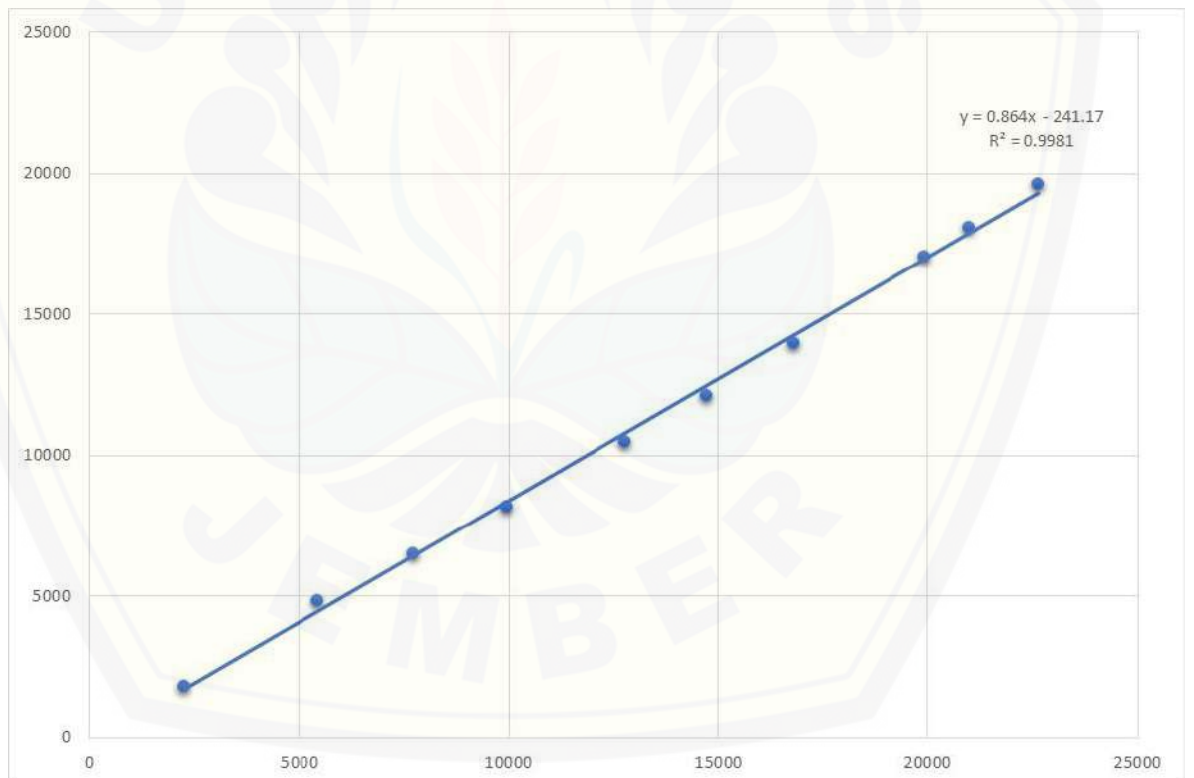
Uji Konsistensi Stasiun Hujan Pohijo					
No	Tahun	Stasiun Pohijo	Kumulatif Stasiun Pohijo	Rerata Stasiun Lain	Kumulatif Stasiun Lain
1	2009	1263.00	1263.00	1835.05	1835.05
2	2010	3111.00	4374.00	3067.05	4902.11
3	2011	1586.00	5960.00	1685.74	6587.84
4	2012	1252.00	7212.00	1742.95	8330.79
5	2013	2087.00	9299.00	2344.21	10675.00
6	2014	2042.00	11341.00	1642.63	12317.63
7	2015	1554.00	12895.00	1885.37	14203.00
8	2016	3378.00	16273.00	3029.79	17232.79
9	2017	1075.00	17348.00	1061.74	18294.53
10	2018	1352.00	18700.00	1554.73	19849.25



Gambar A.15 Grafik Uji Konsistensi Stasiun Hujan Pohijo

Tabel A.16 Uji Konsistensi Stasiun Hujan Ngrayun

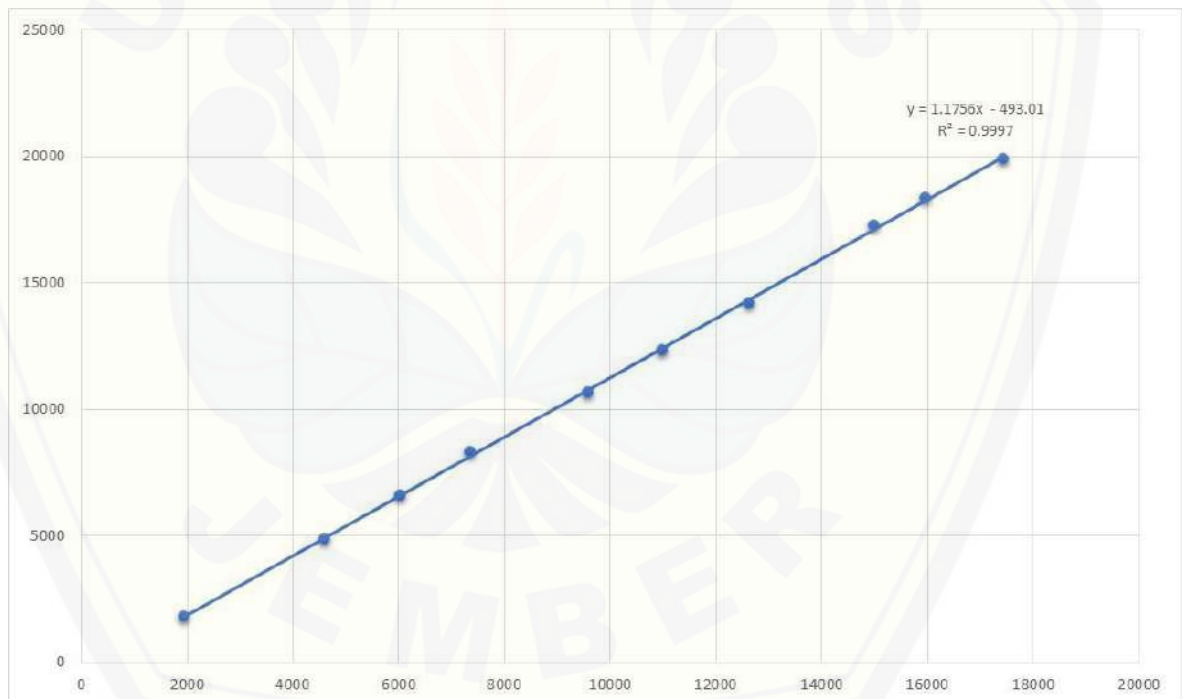
Uji Konsistensi Stasiun Hujan Ngrayun					
No	Tahun	Stasiun Ngrayun	Kumulatif Stasiun Ngrayun	Rerata Stasiun Lain	Kumulatif Stasiun Lain
1	2009	2259.00	2259.00	1782.63	1782.63
2	2010	3189.00	5448.00	3062.95	4845.58
3	2011	2286.00	7734.00	1648.89	6494.47
4	2012	2200.00	9934.00	1693.05	8187.53
5	2013	2834.00	12768.00	2304.89	10492.42
6	2014	1968.00	14736.00	1646.53	12138.95
7	2015	2052.00	16788.00	1859.16	13998.11
8	2016	3148.00	19936.00	3041.89	17040.00
9	2017	1068.00	21004.00	1062.11	18102.11
10	2018	1642.00	22646.00	1539.46	19641.57



Gambar A.16 Grafik Uji Konsistensi Stasiun Hujan Ngrayun

Tabel A.17 Uji Konsistensi Stasiun Hujan Ponorogo

Uji Konsistensi Stasiun Hujan Ponorogo					
No	Tahun	Stasiun Ponorogo	Kumulatif Stasiun Ponorogo	Rerata Stasiun Lain	Kumulatif Stasiun Lain
1	2009	1940.00	1940.00	1799.42	1799.42
2	2010	2661.00	4601.00	3090.74	4890.16
3	2011	1425.00	6026.00	1694.21	6584.37
4	2012	1321.00	7347.00	1739.32	8323.68
5	2013	2242.00	9589.00	2336.05	10659.74
6	2014	1398.00	10987.00	1676.53	12336.26
7	2015	1637.00	12624.00	1881.00	14217.26
8	2016	2374.00	14998.00	3082.63	17299.89
9	2017	970.00	15968.00	1067.26	18367.16
10	2018	1457.00	17425.00	1549.20	19916.36



Gambar A.17 Grafik Uji Konsistensi Stasiun Hujan Ponorogo