



**PENILAIAN DAMPAK PERUBAHAN TATA GUNA
LAHAN TERHADAP KINERJA HIDROLOGI PADA DAS
DELUWANG MENGGUNAKAN MODEL HEC-HMS**

TUGAS AKHIR

Oleh :

RAHAJENG KUSUMA PRAMESTI

NIM. 171910301067

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2021



**PENILAIAN DAMPAK PERUBAHAN TATA GUNA
LAHAN TERHADAP KINERJA HIDROLOGI PADA DAS
DELUWANG MENGGUNAKAN MODEL HEC-HMS**

TUGAS AKHIR

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

Oleh :

RAHAJENG KUSUMA PRAMESTI

NIM. 171910301067

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2021

PERSEMBAHAN

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT karena atas segala limpahan anugerah dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Sholawat serta salam selalu terlimpahkan pada junjungan nabi besar Rasulullah Muhammad SAW. Penulis mempersembahkan sebagai ungkapan terimakasih yang telah banyak membantu kepada:

1. Allah SWT dengan segala rahmat dan ridho-Nya yang telah memberikan ilmu, kemudahan dan kekuatan dalam setiap langkah.
2. Kedua orang tua, Bapak Agus Pratomo dan Ibu Sri Esti Ningtyas, serta Adik Pramestyo Tegar Paneges yang selalu memberikan doa, pengorbanan yang tulus, dan semangat yang tiada henti.
3. Ir. Wiwik Yunarni Widiarti, S.T., MT., selaku Dosen Pembimbing Utama, dan Dr. Ir. Entin Hidayah M.UM., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam menyelesaikan skripsi ini.
4. Retno Utami A. Wiyono, S.T., M.Eng, Ph.D, selaku Dosen Penguji Utama, dan Dr. Ir. Gusfan Halik, S.T.,MT., selaku Dosen Penguji Anggota yang telah memberikan saran dan pembelajaran untuk untuk perbaikan skripsi ini.
5. Seluruh Dosen Teknik Sipil Universitas Jember yang telah memberikan banyak sekali ilmu dan pembelajaran selama ini.
6. Alifian Maulidzi Ashari yang telah memberikan motivasi dan semangat untuk menyelesaikan skripsi.
7. Indah Kusuma, Hanna Prastika, Faroh Nuril, Kamelia Dwi, Rizvan Auzan, Ichlasul Yusrizal, dan Bella Sukma, yang telah membantu dalam kesulitan dan memberikan dukungan dalam proses pengerjaan skripsi.
8. Sahabat-sahabatku, Kirana Eka, Nur Alfisa, Safira Dwi, Restu Farina, dan Ratna Pratiwi, Dewi Sartika, Tita Dwi, Silvia Nurul, Raudya Tuzzahra, Hardiana Dzuriyatul, dan Evi Khusnita.

9. Seluruh teman-teman Teknik Sipil 2017 (Baswara) yang selalu memberikan semangat dan dukungan selama pengerjaan skripsi ini.
10. Almamater Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.
11. Semua pihak yang turut berperan serta dalam penyelesaian skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.



MOTTO

Allah tidak membebani seseorang itu melainkan sesuai dengan kesanggupannya

(terjemahan surat *Al-Baqarah* ayat 286)

*Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Sesungguhnya
sesudah kesulitan itu ada kemudahan.*

(terjemahan surat *Al-Insyirah* ayat 5 dan 6)

The only way to do great work is to love what you do.

(Steve Jobs)

*There is no easy walk to freedom anywhere, and many of us will have to pass
through the valley of the shadow of death. Again and again before we reach the
mountain top of our desires.*

(Nelson Mandela)

PRAKATA

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT yang senantiasa melimpahkan berkat dan hidayatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **Penilaian Dampak Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Kinerja Hidrologi Pada DAS Deluwang Menggunakan Model HEC-HMS**. Sholawat serta salam selalu terlimpahkan pada junjungan nabi besar Rasulullah Muhammad SAW.

Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu menyelesaikan pendidikan strata 1 (S1) pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember. terselesaikannya skripsi ini tidak lepas dari bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
2. Dr. Ir. Gusfan Halik, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.
3. Dr. Anik Ratnaningsih, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil.
4. Ir. Sri Sukmawati, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik selama menjadi mahasiswa.
5. Ir. Wiwik Y. Widiarti S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Utama, dan Dr. Ir. Entin Hidayah M.UM., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam menyelesaikan skripsi ini.
6. Retno Utami A. Wiyono, S.T., M.Eng, Ph.D selaku Dosen Ketua Penguji, dan Dr. Ir. Gusfan Halik, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji Anggota yang telah memberikan saran dan pembelajaran untuk untuk perbaikan skripsi ini.

PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Rahajeng Kusuma Pramesti

NIM : 171910301067

Menyatakan dengan sungguh bahwa skripsi yang berjudul “**Penilaian Dampak Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Kinerja Hidrologi Pada DAS Deluwang Menggunakan Model HEC-HMS**” 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, 30 Juli 2021

Yang menyatakan,



Rahajeng Kusuma Pramesti

NIM 171910301067

SKRIPSI

**PENILAIAN DAMPAK PERUBAHAN TATA GUNA LAHAN TERHADAP
KINERJA HIDROLOGI PADA DAS DELUWANG MENGGUNAKAN
MODEL HEC-HMS**

Oleh Rahajeng Kusuma Pramesti

NIM. 171910301067

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Ir. Wiwik Y. Widiarti S.T., M.T

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

PENGESAHAN

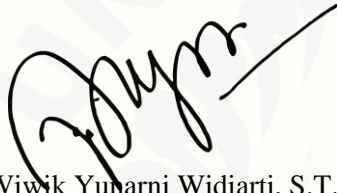
Tugas Akhir berjudul “Penilaian Dampak Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Kinerja Hidrologi Pada DAS Deluwang Menggunakan Model HEC-HMS” telah diuji dan disahkan pada:

Hari, Tanggal : Selasa, 13 Juli 2021

Tempat : Fakultas Teknik, Universitas Jember

Menyetujui,

PEMBIMBING UTAMA



Ir. Wiwik Yuharni Widiarti, S.T., M.T.
NIP.197006131998022001

PEMBIMBING ANGGOTA



Dr. Ir Entin Hidayah, M.UM.
NIP.196612151995032001

PENGUJI UTAMA



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

PENGUJI ANGGOTA



Dr. Ir. Gusfan Halik, S.T., M.T.
NIP.197108041998031002

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik

Universitas Jember



Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.
NIP. 197008261997021001

RINGKASAN

Penilaian Dampak Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Kinerja Hidrologi Pada DAS Deluwang Menggunakan Model HEC-HMS; Rahajeng Kusuma Pramesti, 171910301067 ; 2021 ; 102 halaman ; Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Debit pada DAS Deluwang banyak dimanfaatkan oleh masyarakat untuk irigasi dan kehidupan sehari-hari. Tetapi, saat ini kondisi DAS Deluwang telah mengalami perubahan tata guna lahan dari kawasan non terbangun menjadi kawasan terbangun. Penggunaan lahan pada DAS Deluwang yang sebagian besar berupa lahan pertanian dan hutan dari waktu ke waktu mulai mengalami perubahan. Hal itu dapat menyebabkan perubahan karakteristik hidrologi pada DAS Deluwang. Dapat dibuktikan dengan adanya beberapa fenomena yang terjadi di Kabupaten Situbondo dan Bondowoso, khususnya pada Daerah Aliran Sungai Deluwang.

Tujuan penelitian ini antara lain untuk menghitung presentase perubahan tata guna lahan pada DAS Deluwang, menghitung keandalan pemodelan debit pada DAS Deluwang menggunakan HEC-HMS, dan menganalisis pengaruh perubahan tata guna lahan terhadap debit pada DAS Deluwang. Penelitian dilakukan dengan analisis spasial menggunakan program ArcGIS 10.4 dan pemodelan debit dengan program HEC-HMS. Metode yang digunakan pada parameter *loss* yaitu SCS-CN, *transform* menggunakan SCS *Unit Hydrograph*, dan *baseflow* menggunakan *constant monthly*. Parameter-parameter yang didapat dari perhitungan kemudian dikalibrasi supaya mendapatkan hasil pemodelan yang baik. Proses kalibrasi menggunakan data debit dan curah hujan tahun 2006 yang kemudian divalidasi pada tahun 2009. Penilaian dampak perubahan tata guna lahan dilakukan dengan membandingkan debit maksimum hasil pemodelan dengan perubahan persentase hutan dan nilai *Curve Number*.

Perubahan tata guna lahan DAS Deluwang dari tahun 2006 hingga tahun 2009 adalah persentase pemukiman meningkat sebesar 0,08%, persentase pertanian lahan

kering berkurang sebesar 0,59%, persentase hutan tanaman berkurang sebesar 0,29%, persentase sawah berkurang sebesar 0,33%, persentase tanah terbuka meningkat sebanyak 1,24%, persentase hutan lahan kering sekunder menurun sebesar 1,33%, dan persentase semak belukar meningkat sebesar 0,33%.

Pemodelan debit menggunakan program HEC-HMS pada tahun 2006 menghasilkan nilai NSE 0,622 dan validasi pada tahun 2009 sebesar -0,344 yang berarti hasil parameter kalibrasi tidak menghasilkan nilai validasi yang baik. Penurunan presentase hutan secara menyeluruh menyebabkan debit maksimum hasil pemodelan juga ikut meningkat. Hal ini karena penurunan vegetasi yang ada dapat mempengaruhi menurunnya penyerapan air dalam tanah sehingga air lebih banyak melimpas di permukaan.

Karakteristik hidrologi setiap subdas berbeda-beda. Berdasarkan respon debit yang ada, subDAS Deluwang, Pakel, Penjalinan dan Banyuputih menghasilkan respon yang sama yaitu dengan menurunnya lahan hutan serta meningkatnya nilai CN maka debit maksimum mengalami kenaikan. Sedangkan pada subDAS Keluang, Tamankursi, dan Kalianan penurunan persentase lahan hutan serta meningkatnya nilai CN justru menyebabkan penurunan debit maksimum yang ada. Hal ini disebabkan oleh perbedaan pola curah hujan tiap subDAS dimana terjadi penurunan curah hujan pada periode debit puncak yang sama pada ketiga subDAS tersebut dan penggunaan lahan yang hanya didominasi oleh hutan lahan kering sekunder dan semak belukar.

SUMMARY

Assessment of Land Use Change Impact on Hydrological Performance at Deluwang Watershed Using HEC-HMS Model; Rahajeng Kusuma Pramesti, 171910301067; 2021; 102 pages; Civil Engineering Undergraduate Study Program, Faculty of Engineering, University of Jember.

The community widely uses the discharge in the Deluwang watershed for irrigation and daily life. However, currently, the condition of the Deluwang watershed has undergone a change in land use from a non-built area to a built area. As a result, land use in the Deluwang watershed, primarily agricultural and forest land, has begun to change from time to time. This can cause changes in the hydrological characteristics of the Deluwang watershed. It can be proven by the existence of several phenomena in Situbondo and Bondowoso Regencies, especially in the Deluwang watershed.

The purposes of this study include calculating the percentage of land-use change in the Deluwang watershed, calculating the reliability of the discharge modeling in the Deluwang watershed using HEC-HMS, and analyzing the effect of land-use change on the discharge in the Deluwang watershed. The research was conducted using spatial analysis using the ArcGIS 10.4 program and discharge modeling with the HEC-HMS program. The method used in the loss parameter is SCS-CN, transform parameter using SCS Unit Hydrograph, and baseflow parameter using *constant monthly*. The parameters obtained from the calculations are then calibrated in order to get good modeling results. The calibration process uses 2006 discharge and rainfall data which was then validated in 2009. Finally, assessment of land use changes was carried out by comparing the maximum discharge modeled with changes in forest percentage and *Curve Number* values.

Changes in land use in the Deluwang watershed from 2006 to 2009 were the percentage of settlements increased by 0.08%, the percentage of dryland agriculture decreased by 0.59%, the percentage of plantation forests decreased by 0.29%, the

percentage of rice fields decreased by 0.33 %, the percentage of open land increased by 1.24%, the percentage of secondary dryland forest decreased by 1.33%, and the percentage of shrubs increased by 0.33%.

The discharge modeling using the HEC-HMS program in 2006 resulted in an NSE value of 0.622 and a validation value in 2009 of -0.344, which means that the results of the calibration parameters did not produce a good validation value. The decrease in overall forest percentage causes the maximum discharge from the modeling results to also increase. This is because the decrease in existing vegetation can affect the decrease in water absorption in the soil to run off the surface.

The hydrological characteristics of each sub-basin are different. Based on the simulated discharge response, the Deluwang, Pakel, Penjalinan and Banyuputih sub-watersheds produced the same response, namely by decreasing forest land and increasing the value of CN, the maximum discharge increased. Meanwhile, in the Keluang, Taman Kursi, and Kalianan sub-watersheds, a decrease in the percentage of forest land and an increase in the value of CN actually causes a decrease in the maximum available discharge. This is caused by differences in rainfall patterns for each sub-watershed where there is a decrease in rainfall during the same peak discharge period in the three sub-watersheds and land use which is only dominated by secondary dryland forest and shrubs.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERSEMBAHAN.....	ii
MOTTO	iv
PRAKATA	v
PERNYATAAN.....	vi
PENGESAHAN	viii
RINGKASAN	ix
SUMMARY	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
BAB 1. PENDAHULUAN	22
1.1 Latar Belakang.....	22
1.2 Rumusan Masalah.....	24
1.3 Tujuan Penelitian.....	24
1.4 Manfaat Penelitian.....	24
1.5 Batasan Masalah	24
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	25
2.1 Perubahan Tata Guna Lahan.....	25
2.2 Hidrologi.....	26
2.2.1 Siklus Hidrologi	26
2.3 Curah Hujan.....	27

2.3.1 Analisis Curah Hujan Hilang	27
2.3.2 Uji Konsistensi Data Curah Hujan	28
2.3.3 Curah Hujan Rerata Daerah	29
2.4 Aliran Permukaan	32
2.5 Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan terhadap Karakteristik Hidrologi DAS	33
2.6 HEC-HMS	34
2.6.1 Perhitungan Volume Aliran Model HEC-HMS	37
2.6.2 Perhitungan Aliran Langsung (Direct Runoff) Model HEC-HMS	42
2.6.3 Kalibrasi Model	43
2.6.4 Validasi Model	44
2.7 Sistem Informasi Geografis (SIG)	45
2.7.1 ArcGIS	45
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	47
3.1 Lokasi Penelitian	47
3.2 Pengumpulan Data	48
3.3 Tahapan Penelitian	48
3.3.1 Analisis Hidrologi	48
3.3.2 Analisis Spasial	50
3.3.3 Pemodelan Debit Menggunakan HEC-HMS	51
3.3.4 Kalibrasi Model	52
3.3.5 Validasi Model	53
3.3.6 Analisis Dampak Perubahan Tata Guna Lahan dengan Debit	53
3.4 Diagram Alir Penelitian	55
3.5 Diagram Alir Program HEC-HMS	57

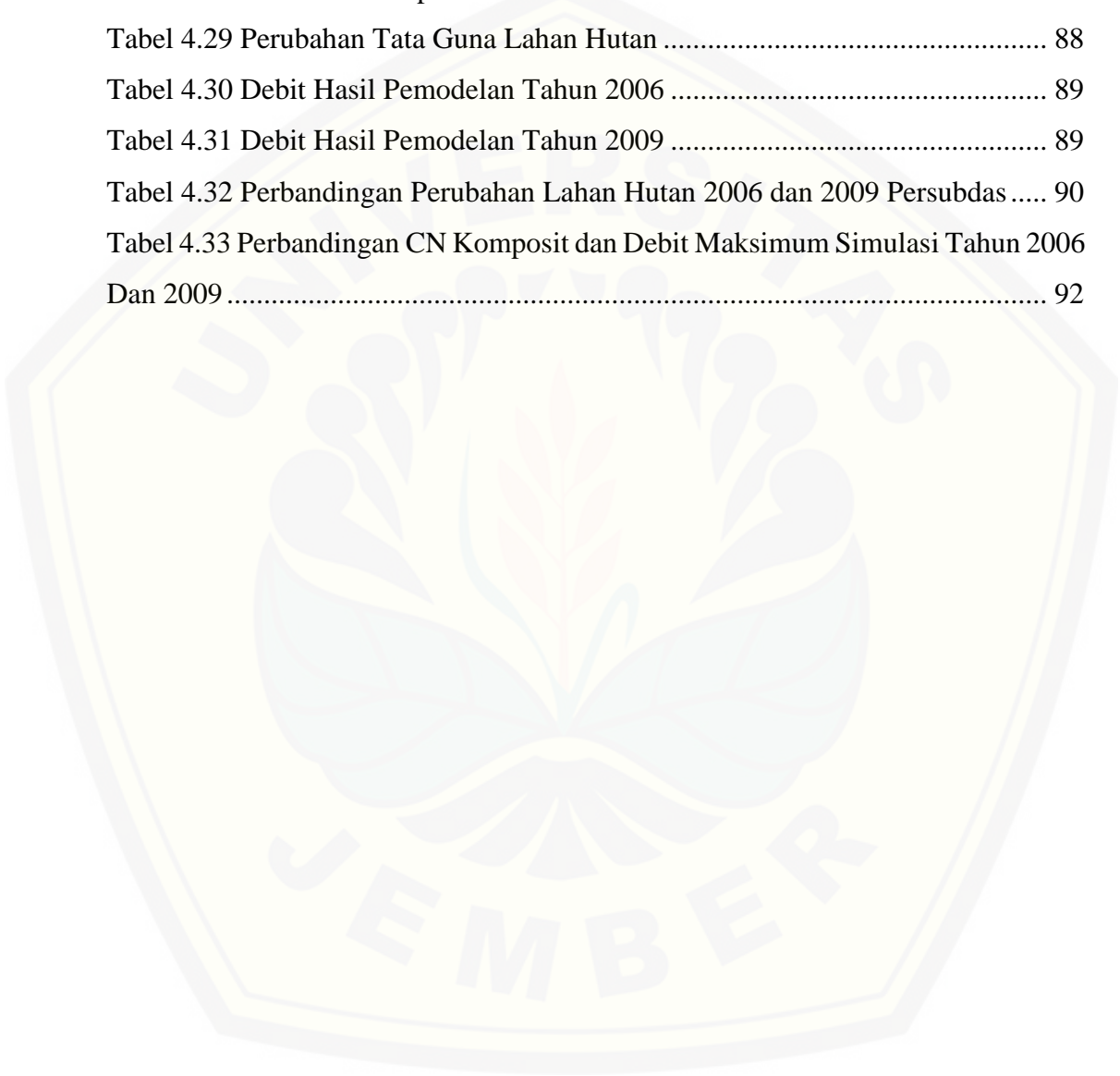
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	58
4.1 Analisis Hidrologi.....	58
4.1.1 Perhitungan Curah Hujan.....	58
4.1.2 Uji Konsistensi Data Curah Hujan.....	59
4.2 Analisis Spasial.....	61
4.2.1 DEM.....	61
4.2.2 Delineasi DAS.....	62
4.2.3 Tata Guna Lahan.....	63
4.2.4 Jenis Tanah.....	64
4.2.5 Kemiringan Lereng.....	66
4.2.6 Panjang dan Kemiringan Sungai.....	67
4.3 Pengolahan Data Non Spasial.....	68
4.3.1 Perhitungan Curah Hujan Kawasan Thiessen.....	68
4.3.2 Perhitungan Tata Guna Lahan.....	70
4.4 Basin Model.....	75
4.5 Control Specification.....	75
4.6 Time Series Data.....	76
4.7 Parameter Pemodelan.....	77
4.7.1 Loss.....	78
4.7.2 Transform.....	79
4.7.3 Baseflow.....	79
4.7.4 Routing.....	80
4.7.5 Canopy.....	81
4.7.6 Surface.....	82
4.8 Running Model.....	82

4.9 Kalibrasi.....	82
4.10 Validasi.....	85
4.11 Penilaian Respon Debit akibat Perubahan Tata Guna Lahan.....	87
4.11.1 Penilaian Respon Debit Akibat Perubahan Tata Guna Lahan Persubdas	88
4.11.2 Penilaian Respon Debit Akibat Perubahan Nilai CN Dengan Debit Maksimum	92
BAB 5. PENUTUP	94
5.1 Kesimpulan.....	94
5.2 Saran	95
DAFTAR PUSTAKA	96
LAMPIRAN.....	101

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Metode Simulasi Dalam Program HEC-HMS	35
Tabel 2.2 Nilai CN Untuk Area Pemukiman	39
Tabel 2.3 Nilai CN Untuk Lahan Pertanian Yang Dibudidayakan	40
Tabel 2.4 Nilai CN Untuk Lahan Pertanian Lainnya	41
Tabel 2.5 Tipe Tanah Dan Laju Kehilangan Infiltrasi Menurut Metode SCS	41
Tabel 2.6 Nilai Parameter Kalibrasi Pada HEC-HMS	43
Tabel 4.1. Koordinat Stasiun Hujan	58
Tabel 4.2. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Data Curah Hujan	59
Tabel 4.3. Hasil Perhitungan Uji Konsistensi Stasiun Blimbing	59
Tabel 4.4 Hasil Uji Konsistensi DAS Deluwang	60
Tabel 4.5 Luas Subdas Pada DAS Deluwang	62
Tabel 4.6 Luas dan HSG Tanah DAS Deluwang	65
Tabel 4.7 Luas Jenis Tanah perSubDAS	66
Tabel 4.8 Kemiringan Lereng	67
Tabel 4.9 Panjang dan Kemiringan Sungai	67
Tabel 4.10 Pengaruh Thiessen Tiap Stasiun	68
Tabel 4.11 Koefisien Thiessen Tiap SubDAS.	69
Tabel 4.12 Perbandingan Luas Tata Guna Lahan 2006 dan 2009	70
Tabel 4.13 Perbandingan Prosentase Tata Guna Lahan 2006 dan 2009	70
Tabel 4.14 Perubahan Tata Guna Lahan Tiap Subdas	71
Tabel 4.15 Nilai CN	73
Tabel 4.16 Hasil Perhitungan Nilai CNk Subdas Deluwang 2006	73
Tabel 4.17 Nilai CNk perSubDAS	74
Tabel 4.18 Hasil Perhitungan Parameter Loss SCS-CN Tahun 2006	78
Tabel 4.19 Hasil Perhitungan Parameter Loss SCS-CN Tahun 2009	78
Tabel 4.20 Hasil Perhitungan Parameter Transform	79
Tabel 4.21 Baseflow Tahun 2006	80
Tabel 4.22 Baseflow Tahun 2009	80
Tabel 4.23 Parameter Muskingum	81

Tabel 4.24 Parameter Canopy	81
Tabel 4.25 Parameter Surface	82
Tabel 4.26 Optimasi Parameter <i>Canopy</i>	83
Tabel 4.27 Hasil Optimasi Parameter Surface	83
Tabel 4.28 Perubahan Respon Debit Tahun 2006 dan 2009	87
Tabel 4.29 Perubahan Tata Guna Lahan Hutan	88
Tabel 4.30 Debit Hasil Pemodelan Tahun 2006	89
Tabel 4.31 Debit Hasil Pemodelan Tahun 2009	89
Tabel 4.32 Perbandingan Perubahan Lahan Hutan 2006 dan 2009 Persubdas	90
Tabel 4.33 Perbandingan CN Komposit dan Debit Maksimum Simulasi Tahun 2006 Dan 2009	92



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Siklus Hidrologi	27
Gambar 2.2 Metode Polygon Thiessen	31
Gambar 2.3 Metode Isohyet	32
Gambar 2.4 Skema Kalibrasi Model HEC-HMS	43
Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian	47
Gambar 3.2 Skema Kalibrasi Model HEC-HMS	53
Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian	56
Gambar 3.4 Diagram Alir Program HEC-HMS	57
Gambar 4.1 Stasiun Hujan DAS Deluwang	58
Gambar 4.2 Grafik Kurva Massa Ganda Stasiun Blimbing	60
Gambar 4.3 Data DEM DAS Deluwang	61
Gambar 4.4 Peta DAS Deluwang	62
Gambar 4.5 Peta Tata Guna Lahan Tahun 2006	63
Gambar 4.6 Peta Tata Guna Lahan Tahun 2009	64
Gambar 4.7 Peta Jenis Tanah DAS Deluwang	65
Gambar 4.8 Peta Kemiringan Lereng DAS Deluwang	66
Gambar 4.9 Poligon Thiessen SubDAS	69
Gambar 4.10 Perbandingan Luas Tata Guna Lahan Tahun 2006 dan 2009	71
Gambar 4.11 Basin Model HEC-HMS	75
Gambar 4.12 Control Spesification Tahun 2006 dan 2009	76
Gambar 4.13 Hidrograf Aliran Observasi DAS Deluwang 2017	77
Gambar 4.14 Hidrograf Aliran Observasi DAS Deluwang 2019	77
Gambar 4.15 Grafik Hasil <i>Running</i> Optimasi Tahun 2006	84
Gambar 4.16 Hasil <i>Running</i> Optimasi Tahun 2006	84
Gambar 4.17 Scatter Plot Debit Tahun 2006	85
Gambar 4.18 Grafik Hasil Validasi Debit Tahun 2009	86
Gambar 4.19 Hasil Validasi Debit Tahun 2009	86
Gambar 4.20 <i>Scatter Plot</i> Debit Tahun 2009	86
Gambar 4.21 Grafik Perbandingan Lahan Hutan dan Debit Maksimum Simulasi	88

Gambar 4.22 Grafik Perbandingan Persentase Hutan dan Debit Maksimum
Simulasi Tiap Subdas..... 91



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Uji Konsistensi Stasiun Blimbing	101
Lampiran 2. Uji Konsistensi Stasiun Dawuhan	102
Lampiran 3. Uji Konsistensi Stasiun Baderan	103
Lampiran 4. Data Debit Harian Tahun 2006	104
Lampiran 5. Data Debit Harian Tahun 2009	105
Lampiran 6. Perhitungan Nilai CN Tahun 2006.....	106
Lampiran 7. Perhitungan Nilai CN Tahun 2009.....	108
Lampiran 8. Curah Hujan Kawasan Thiessen Tahun 2006	110
Lampiran 9. Curah Hujan Kawasan Thiessen Tahun 2009	116
Lampiran 10 Grafik Hasil Kalibrasi Tahun 2019.....	122

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah negara berkembang yang memiliki jumlah penduduk yang besar dan menempati urutan keempat terbesar di dunia setelah Negara China, India, dan Amerika Serikat (worldometers.info). Berdasarkan laporan Bappenas dalam Proyeksi Penduduk Indonesia 2010-2035, jumlah penduduk Indonesia pada tahun 2025 akan mencapai 282 juta. Kabupaten Bondowoso memiliki jumlah penduduk sebanyak 776 ribu jiwa pada tahun 2019, dan memiliki laju pertumbuhan penduduk sebesar 0.57 persen pada tahun 2010-2019. Sedangkan Kabupaten Situbondo memiliki jumlah penduduk 683 ribu jiwa dan laju pertumbuhan penduduk sebesar 0,59 persen pada tahun 2010-2019 (BPS Provinsi Jawa Timur). Perkembangan penduduk yang pesat setiap tahun berdampak pada peningkatan kebutuhan lahan. Hal ini disebabkan oleh pertumbuhan penduduk serta bertambahnya tuntutan kebutuhan masyarakat akan lahan. Diperlukan pengolahan lahan yang baik agar dapat menjamin kesejahteraan masyarakat.

DAS Deluwang berada di wilayah Kabupaten Situbondo-Bondowoso dan memiliki luas $\pm 114.468 \text{ km}^2$ serta panjang sungai $\pm 30,5 \text{ km}$. Sungai Deluwang memiliki kondisi topografi curam pada bagian hulu dan bagian hilir yang cukup landai (Wahyudi, 2009). Debit pada DAS Deluwang banyak dimanfaatkan oleh masyarakat untuk irigasi dan kehidupan sehari-hari. Tetapi, saat ini kondisi DAS Deluwang telah mengalami perubahan tata guna lahan dari kawasan non terbangun menjadi kawasan terbangun. Penggunaan lahan pada DAS Deluwang yang sebagian besar berupa lahan pertanian dan hutan dari waktu ke waktu mulai mengalami perubahan (Andiek dan Anwar, 2010). Pola penggunaan lahan dalam berbagai bentuk dan cara akan berdampak terhadap lingkungan. Banjir, kekeringan, erosi, sedimentasi, dan abrasi merupakan indikasi terjadinya penurunan daya dukung lingkungan di suatu wilayah (Chapin Jr. dan Kaiser Edward, 1995). Hal ini dapat dibuktikan dengan adanya beberapa fenomena yang terjadi di Kabupaten Situbondo dan Bondowoso, khususnya pada Daerah Aliran Sungai Deluwang.

DAS Deluwang cukup sering mengalami bencana alam seperti banjir, tanah longsor. Bencana tersebut disebabkan karena adanya intensitas hujan yang tinggi dan debit Sungai Deluwang yang meningkat (<https://www.harianbhirawa.co.id/sempadan-sungai-deluwang-situbondo-longsor-rumah-25-kk-terancam-ambrol/>). Topografi yang miring dan tekstur tanahnya menjadi salah satu penyebab beberapa kejadian erosi/longsor serta jumlah cadangan air yang rendah. Tebing-tebing sungai pada daerah tersebut mengalami erosi terutama pada belokan, sedangkan pada saat kemarau, debit air menjadi sangat kecil hingga menyebabkan kekurangan air (Wahyudi, 2009). Hal tersebut terjadi karena pada musim penghujan air hujan yang jatuh pada daerah tangkapan air (*catchments area*) tidak banyak yang dapat meresap ke dalam tanah melainkan melimpas (*run-off*) sebagai debit air sungai. Apabila debit sungai terlalu besar, maka dapat menyebabkan banjir. Peningkatan debit selain dapat mengakibatkan kerugian bagi penduduk juga dapat menyebabkan kegagalan bangunan pengendali banjir seperti waduk, bendung, saluran drainase, dan lain sebagainya.

Seiring perkembangan teknologi, muncul beberapa program komputer yang dapat digunakan untuk memodelkan debit, salah satunya adalah program HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Center Hydrologic Modeling System*). Program ini dikembangkan oleh *Hydrology Engineering Center (HEC)* dari *US Army Corps of Engineers*. Adapun beberapa DAS yang menggunakan program HEC-HMS dalam pemodelan debit akibat perubahan tata guna lahan adalah sebagai berikut: DAS Rontu, Kota Bima (Ismoyojati dkk., 2018); Sub-DAS Pekalen, Kota Probolinggo (Nurdiyanto dkk., 2016); DAS Siak (Nainggolan dkk., 2015); DAS Air Dingin, (Allen dkk., 2019), DAS Pranhita, (Koneti dkk., 2018); dan DAS Indus, Pakistan, (Younis dan Ammar, 2018).

Berdasarkan latar belakang masalah tersebut, penelitian ini akan menganalisis pengaruh perubahan tata guna lahan terhadap respon debit dari permodelan hujan aliran yang ada di sekitar DAS tersebut dengan judul **“Penilaian Dampak Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Kinerja Hidrologi pada DAS Deluwang Menggunakan Model HEC-HMS”**

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian diatas, maka rumusan masalah yang sesuai adalah sebagai berikut:

1. Berapa presentase perubahan tata guna lahan pada DAS Deluwang?
2. Bagaimana keandalan pemodelan debit pada DAS Deluwang menggunakan HEC-HMS?
3. Bagaimana pengaruh perubahan tata guna lahan terhadap debit pada DAS Deluwang?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai penulis adalah :

1. Menghitung presentase perubahan tata guna lahan pada DAS Deluwang.
2. Menghitung keandalan pemodelan debit pada DAS Deluwang menggunakan HEC-HMS.
3. Menganalisis pengaruh perubahan tata guna lahan terhadap debit pada DAS Deluwang.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang diharapkan dari penelitian ini antara lain :

1. Hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan untuk gambaran perubahan tata guna lahan pada wilayah sekitar DAS Deluwang sebagai dasar perencanaan wilayah seperti perencanaan drainase, lahan resapan air, dan ruang terbuka hijau
2. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai masukan kepada pemerintah untuk penataan wilayah disekitar DAS Deluwang
3. Pemodelan dapat diterapkan pada DAS lain yang memiliki karakteristik yang sama dengan DAS Deluwang.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini yaitu :

1. Menggunakan data tata guna lahan tahun 2006 dan 2009
2. Tidak membahas skenario optimasi perencanaan pengaturan tata guna lahan

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perubahan Tata Guna Lahan

Perubahan tata guna lahan adalah perubahan fungsi suatu lahan pada kurun waktu tertentu atau bertambahnya penggunaan lahan dari satu sisi penggunaan ke penggunaan lain yang diikuti pengurangan tipe tata guna lahan yang lain dari suatu waktu ke waktu (Wahyunto dkk, 2001). Dapat juga diartikan sebagai perubahan fungsi tutupan lahan (*land use change*) dari lahan hijau ke pemukiman dan lain sebagainya. Perubahan tersebut akan mengakibatkan ketidakseimbangan siklus air atau siklus hidrologi setempat, dimana dengan peningkatan luasan tutupan lahan oleh lapisan kedap air menyebabkan volume aliran permukaan (*surface run off*) meningkat pula dan mengurangi jumlah resapan ke dalam tanah.

Menurut Arsyad (2010), penggunaan lahan dapat dikategorikan menjadi dua yaitu lahan pertanian dan lahan non pertanian. Penggunaan lahan pertanian antara lain sawah, ladang, hutan, perkebunan, dan sebagainya. Sedangkan penggunaan lahan non pertanian antara lain pemukiman, perkantoran, dan industri. Identifikasi tata guna lahan pada suatu DAS adalah suatu proses mengidentifikasi perbedaan suatu objek yang diamati atau fenomena pada waktu berbeda pada DAS tersebut. Identifikasi perubahan penggunaan lahan membutuhkan data spasial temporal (As-Syakur dkk., 2008).

Menurut McNeill dkk (dalam Warsilan, 2019), faktor-faktor yang dapat mendorong perubahan tata guna lahan ialah politik, ekonomi, budaya, dan demografi. Aspek politik yang dimaksud adalah adanya kebijakan yang dilakukan oleh pengambil keputusan yang dapat mempengaruhi pola perubahan tata guna lahan.

Jumlah aktivitas manusia bertambah dengan cepat dan hampir setiap aktivitas manusia melibatkan penggunaan lahan. Hal ini mengakibatkan lahan menjadi sumber daya yang langka. Keputusan untuk mengubah pola tata guna lahan dapat menjadi menguntungkan maupun merugikan, baik ditinjau dari perubahan lingkungan maupun terhadap ekonomi. Maka dari itu, keputusan penggunaan lahan adalah aktivitas politik dan sangat dipengaruhi oleh keadaan sosial dan juga

ekonomi (Sitorus, 2004). Analisis perubahan tata guna lahan dengan memanfaatkan data spasial yang bersifat temporal sangat bermanfaat, khususnya untuk mengetahui lokasi-lokasi perubahan lahan terjadi (AsSyakur dkk., 2008).

2.2 Hidrologi

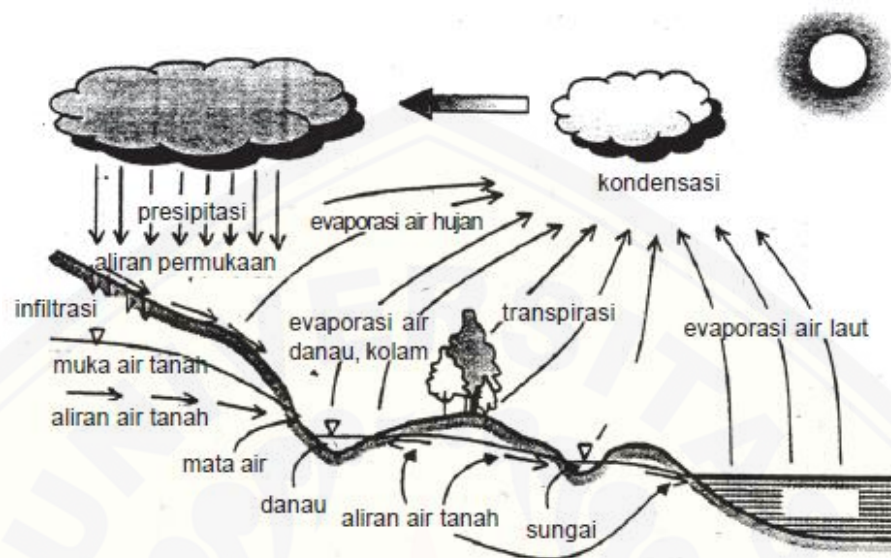
Hidrologi adalah salah satu bidang pengetahuan yang mempelajari kejadian-kejadian serta penyebab air alamiah yang ada di bumi. Faktor hidrologi yang berpengaruh pada suatu daerah yaitu curah hujan. Curah hujan pada suatu daerah adalah salah satu faktor penting yang dapat menentukan besarnya debit banjir yang terjadi pada daerah tersebut (Soemarto, 1999).

2.2.1 Siklus Hidrologi

Siklus hidrologi adalah perjalanan air dari permukaan permukaan laut menuju atmosfer kemudian jatuh ke permukaan tanah dan kembali ke laut. Siklus ini berjalan terus menerus dan tidak berhenti. Air tersebut akan tertahan sementara pada sungai, danau, waduk, dan dalam tanah sehingga dapat dimanfaatkan oleh makhluk hidup (Asdak, 2010).

Menurut Syarifudin (2017), siklus hidrologi dimulai dari adanya panas dari matahari yang mengakibatkan terjadinya evaporasi dan transpirasi. Evaporasi adalah penguapan yang terjadi pada permukaan air sungai, waduk, danau, dan permukaan tanah. Sedangkan transpirasi adalah penguapan yang terjadi pada permukaan tumbuhan. Uap dari hasil penguapan ini kemudian naik ke atmosfer hingga membentuk awan. Pada titik jenuh, awan akan berubah menjadi presipitasi yang dapat berbentuk salju, hujan es, hujan, maupun embun. Air hujan yang mencapai tanah sebagian akan menembus permukaan tanah yang disebut infiltrasi, sebagian lainnya mengalir diatas permukaan tanah (*over-land flow*) lalu terkumpul pada saluran yang kemudian disebut *surface run-off*. Sebagian hasil infiltrasi mengalir menjadi aliran bawah permukaan (*inter-flow*). Air yang menjadi bagian dari tanah disebut dengan *soil water*. Kelebihan air tanah akan mengalir vertical menjadi air tanah apabila kebasahan tanah (*soil moisture*) terlampaui. Kemudian air yang mengalir tersebut akan mencapai danau, sungai, maupun laut menjadi

depression storage (simpanan air yang disebabkan oleh cekungan), saluran, dan tempat lainnya.



Gambar 2.1 Siklus Hidrologi

(Sumber : Suripin, 2002)

2.3 Curah Hujan

Menurut Linsley dan Franzini (1991), curah hujan merupakan salah satu yang mempengaruhi proses terjadinya aliran permukaan. Presipitasi atau curah hujan meliputi semua air yang jatuh dari atmosfer ke permukaan bumi. Curah hujan ini mengalir ke sungai setelah mencapai tanah dan dapat menjadi sebab dari kejadian banjir. Besar curah hujan ialah volume air yang jatuh pada suatu daerah tertentu. Oleh karena itu, besarnya curah hujan tersebut dinyatakan dalam m^3 per satuan luas, atau secara lebih umum dinyatakan dengan mm. Besarnya curah hujan dapat dimaksudkan untuk satu kali hujan atau untuk masa tertentu seperti per hari, per bulan, per musim, atau per tahun (Arsyad, 1989).

2.3.1 Analisis Curah Hujan Hilang

Pada praktek di lapangan sering ditemukan kejadian data hujan yang tidak lengkap. Hal ini disebabkan karena alat ukur hujan yang rusak, kelalaian petugas pencatat curah hujan, atau data pencatatan hujan hilang. Untuk memperbaiki atau melengkapi data curah hujan yang hilang, dapat digunakan metode normal ratio,

metode *inversed square distance*, dan metode rata-rata aljabar (Prawaka dkk, 2016). Pada penelitian ini digunakan Metode Normal Ratio untuk memperkirakan data curah hujan yang hilang.

Prinsip Metode Normal ratio dalam memperkirakan data curah hujan yang hilang adalah dengan memperhitungkan data curah hujan di stasiun hujan yang berdekatan untuk mencari data curah hujan yang hilang di stasiun tertentu. Rumus untuk memperkirakan curah hujan yang hilang menurut rumus Metode Normal Ratio ditunjukkan pada persamaan 2.1 (Wei dan McGuinness, 1973).

$$\frac{P_x}{N_x} = \frac{1}{n} \left\{ \frac{P_1}{N_1} + \frac{P_2}{N_2} + \frac{P_3}{N_3} + \dots + \frac{P_n}{N_n} \right\} \dots\dots\dots (2.1)$$

dengan :

P_x = Hujan yang hilang di stasiun x

P_1, P_2, \dots, P_n = Data hujan di stasiun sekitarnya pada periode yang sama

N_x = Hujan tahunan di stasiun x

N_1, N_2, \dots, N_n = Hujan tahunan di stasiun sekitar x

N = Jumlah stasiun hujan disekitar x

2.3.2 Uji Konsistensi Data Curah Hujan

Sebelum digunakan dalam analisis hidrologi, harus dilakukan pengecekan pada data curah hujan. Hal ini dilakukan dengan uji konsistensi data hujan. Salah satu caranya adalah dengan metode kurva massa ganda (*double mass curve analysis*) untuk data musiman atau tahunan pada DAS. Langkah yang dilakukan adalah dengan membandingkan nilai kumulatif curah hujan rata-rata stasiun hujan tertentu dengan kumulatif hujan rata-rata tahunan pada stasiun hujan sekitar. Hal ini untuk mengetahui tidak adanya data yang menyimpang. Korelasi dihitung dengan koefisien determinasi (R^2). Apabila nilai koefisien mendekati 1 dan grafik lurus maka data dikatakan konsisten (Mukarob, 2020). Apabila data tidak konsisten, maka dapat dilakukan uji abnormalitas.

2.3.3 Curah Hujan Rerata Daerah

Curah hujan rata-rata daerah diperlukan untuk penyusunan suatu rancangan pemanfaatan air dan pengendalian banjir di daerah yang bersangkutan. Curah hujan rata-rata daerah atau curah hujan wilayah dinyatakan dalam satuan millimeter. Apabila suatu daerah memiliki beberapa stasiun pengukuran curah hujan yang ditempatkan secara terpencar, hujan yang tercatat pada tiap stasiun dapat memberikan hasil yang tidak sama. Pada analisis hidrologi, diperlukan penentuan hujan rerata yang dapat dilakukan dengan tiga metode yaitu metode rerata aljabar (aritmatik), metode poligon Thiessen, dan metode isohyet (Triatmodjo, 2008).

2.3.3.1 Metode Rata-Rata Aljabar

Metode rata-rata aljabar adalah metode yang paling sederhana untuk memperhitungkan curah hujan rata-rata. Metode ini dihitung dengan menjumlahkan pengukuran yang dilakukan di beberapa stasiun pada waktu yang bersamaan, kemudian dibagi dengan jumlah stasiun yang ada. Stasiun yang diperhitungkan yaitu stasiun hujan yang berada dalam DAS yang diteliti, namun stasiun di luar DAS yang berdekatan juga dapat digunakan dalam hitungan.

Metode ini dapat memberikan hasil yang akurat apabila stasiun hujan pada DAS tersebar secara merata dan distribusi hujan pada DAS relatif merata. Perhitungan curah hujan rata-rata menggunakan metode rata-rata aljabar dapat dihitung dengan persamaan 2.2 (Triatmodjo, 2008).

$$\bar{p} = \frac{p_1 + p_2 + \dots + p_n}{n} \dots\dots\dots(2.2)$$

dimana :

\bar{p} = hujan rata-rata kawasan

$p_1 p_2 p_n$ = hujan di stasiun 1, 2, ..., n

n = jumlah stasiun

2.3.3.2 Metode Polygon Thiessen

Metode ini berdasarkan rata-rata timbang (weighted average). Menurut Mori dkk dalam Sosrodarsono (1977), metode polygon thiessen sering digunakan pada analisis hidrologi karena lebih teliti dan obyektif dibanding metode lainnya, dan dapat digunakan pada daerah yang memiliki titik pengamatan yang tidak merata. Metode poligon Thiessen memperkirakan bobot dari tiap stasiun pada suatu DAS yang mewakili luasan di sekitarnya. Metode ini digunakan pada kondisi penyebaran stasiun hujan yang dianggap tidak merata (Triatmodjo,2008).

Metode ini dihitung dengan memasukkan faktor pengaruh daerah yang diwakili oleh stasiun hujan yang disebut dengan faktor pembobotan atau koefisien *Thiessen*. Stasiun hujan yang digunakan dalam perhitungan harus meliputi daerah aliran sungai yang akan ditinjau. Cara pembentukan poligon Thiessen yaitu dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- a. Menggambarkan stasiun pencatat hujan pada peta DAS yang ditinjau, termasuk stasiun di luar DAS yang berdekatan,
- b. Menghubungkan stasiun-stasiun hujan dengan garis lurus sehingga membentuk segitiga-segitiga yang sebaiknya memiliki panjang dan sisi kurang lebih sama,
- c. Membuat garis berat pada sisi-sisi segitiga,
- d. Garis-garis berat tersebut akhirnya membentuk poligon yang mengelilingi masing-masing stasiun hujan dan tiap stasiun mewakili luasan yang terbentuk dari poligon. Untuk stasiun hujan yang terletak didekat batas DAS, garis batas DAS membentuk batas tertutup dari poligon,
- e. Mengukur luas poligon dan kemudian mengkalikan dengan kedalaman hujan di stasiun yang berda dalam poligon,
- f. Jumlah dari hitungan pada langkah *e* untuk semua stasiun dibagi dengan luas daerah yang ditinjau menghasilkan hujan rata-rata daerah yang secara matematis ditunjukkan pada persamaan 2.3 (Triatmodjo, 2008) :

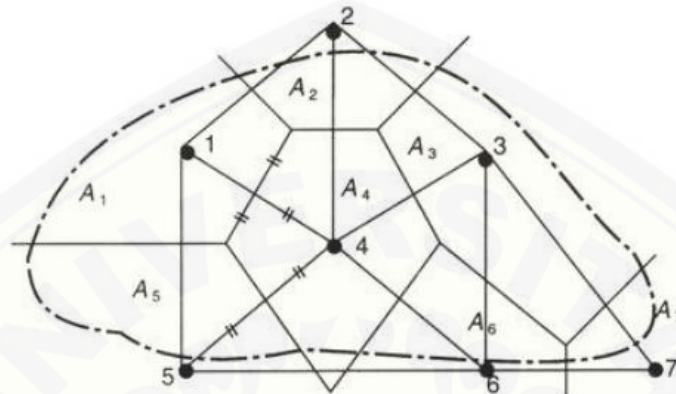
$$\bar{p} = \frac{A_1P_1+A_2P_2+\dots+ A_nP_n}{A_1+A_2+\dots+A_n} \dots\dots\dots(2.3)$$

dengan :

\bar{P} = curah hujan rerata kawasan

A_1, A_2, \dots, A_n = luas daerah yang mewakili stasiun 1, 2, 3, ..., n

R_1, R_2, \dots, R_n = curah hujan pada stasiun 1, 2, 3, ..., n



Gambar 2.2 Metode Polygon Thiessen

(Sumber : Solichin, 2012)

2.3.3.3 Metode Rata – Rata Isohyet

Garis isohyet merupakan garis yang menghubungkan titik-titik yang menunjukkan kedalaman hujan yang sama. Pada metode ini, hujan diantara dua garis isohyet pada suatu daerah dianggap merata dan sama dengan nilai rata-rata dari kedua garis isohyet. Curah hujan rata-rata kawasan menggunakan metode rata-rata isohyet dapat dihitung dengan persamaan 2.4 (Triatmodjo, 2008).

$$\bar{R} = \frac{\frac{R_1+R_2}{2}A_1 + \frac{R_3+R_4}{2}A_2 + \dots + \frac{R_{n-1}+R_n}{2}A_n}{A_1+A_2+\dots+A_n} \dots\dots\dots(2.4)$$

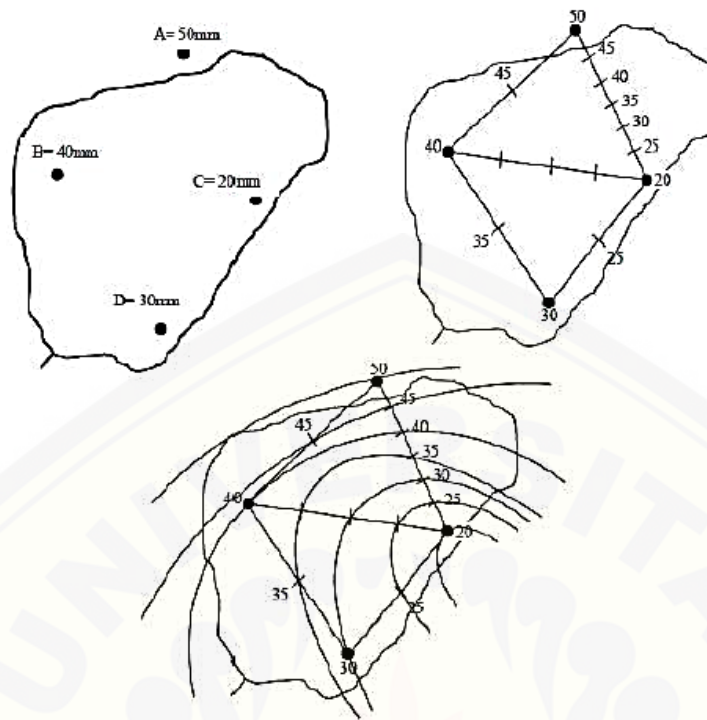
dengan :

\bar{R} = curah hujan rata-rata (mm)

R_1, R_2, \dots, R_n = curah hujan di garis isohyet (mm)

A_1, A_2, \dots, A_n = luas bagian yang dibatasi oleh isohyet-isohyet (km^2)

Metode isohyet adalah cara yang paling teliti untuk menghitung kedalaman hujan rata-rata pada suatu daerah, tetapi dalam perhitungannya membutuhkan perhatian dan pekerjaan yang lebih banyak dibandingkan metode lainnya (Triatmodjo, 2008).



Gambar 2.3 Metode Isohyet
(Sumber : Triatmodjo, 2008)

2.4 Aliran Permukaan

Aliran Permukaan adalah semua air yang mengalir di atas permukaan tanah, dan menuju sungai, danau, dan laut. Terdapat faktor-faktor yang dapat mempengaruhi limpasan yang terdiri atas dua kelompok, yaitu meteorologi yang diwakili oleh hujan serta elemen daerah pengaliran yang menyatakan sifat fisik daerah pengaliran tersebut. Elemen meteorologi terdiri dari intensitas curah hujan, presipitasi, lama curah hujan, dan distribusi curah hujan dalam daerah limpasan, arah pergerakan hujan, dan curah hujan terdahulu dan kelembaban tanah. Sedangkan elemen daerah pengaliran terdiri dari kondisi penggunaan tanah (*land use*), luas daerah pengaliran, kondisi topografi daerah pengaliran, dan jenis tanah (Arsyad, 2010).

Debit aliran permukaan dapat berubah menurut waktu yang dipengaruhi oleh terjadinya hujan. Perbedaan musim seperti musim hujan dan kemarau dapat mempengaruhi debit, dimana pada musim hujan debit akan mencapai maksimum,

dan pada musim kemarau debit akan mencapai minimum. Kualitas penutupan lahan DAS ditunjukkan oleh perbandingan debit maksimum terhadap debit minimum. Semakin kecil nilainya, maka akan semakin baik keadaan vegetasi dan penggunaan lahan DAS, dan sebaliknya (Arsyad, 2010).

Aliran permukaan atau limpasan permukaan adalah sebagian dari air hujan yang mengalir diatas permukaan tanah. Jumlah air yang bertransformasi menjadi limpasan sangat bergantung pada keadaan penutup tanah, topografi, jumlah air persatuan waktu, jenis tanah, serta ada atau tidaknya hujan yang terjadi sebelumnya. Limpasan permukaan dengan jumlah dan kecepatan yang besar dapat menyebabkan perpindahan atau pengangkutan massa tanah secara besar-besaran (Rahim, 2000).

2.5 Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan terhadap Karakteristik Hidrologi DAS

Lahan adalah sumberdaya alam yang dapat diperbaharui dan media lingkungan yang dapat dimanfaatkan untuk produksi pangan, pemukiman, dan lain-lain. Pergeseran pola penggunaan lahan di Indonesia diakibatkan oleh penambahan jumlah penduduk yang pesat dan peningkatan kegiatan pembangunan. Pola penggunaan lahan sering dijumpai tidak sesuai dengan kemampuan lahan tersebut, sehingga memunculkan berbagai masalah seperti lahan kritis, hilangnya lahan subur, dan pencemaran tanah. Degradasi lahan tersebut merupakan akibat dari penggunaan lahan yang kurang tepat, sebagai akibat dari pelaksanaan pembangunan yang tidak memperhatikan kesesuaian lahan dan kaidah penataan ruang. Lahan harus dikelola dengan memperhatikan keseimbangan antara aspek konservasi dan pemanfaatannya untuk menjamin pemanfaatan yang lestari (Sudaryono, 2002).

Menurut Sinukaban (dalam Pratama, 2016), pemanfaatan sumber daya alam DAS harus memperhatikan kemampuan dan kelestariannya agar tidak menyebabkan kerusakan pada lahan dan gangguan tata air. Arsyad (2010) juga mengemukakan bahwa lahan yang kritis secara hidrologi ditunjukkan oleh besarnya angka perbandingan antara debit maksimum dengan debit minimum serta kandungan lumpur yang berlebih.

Vegetasi dapat berpengaruh terhadap aliran permukaan dan erosi, yang dapat dibagi menjadi :

1. Intersepsi air hujan,
2. Pengurangan kecepatan aliran permukaan, dan kekuatan perusak hujan dan aliran permukaan
3. Pengaruh akar, bahan organik sisa tumbuhan yang jatuh ke permukaan tanah dan kegiatan-kegiatan biologi yang berhubungan dengan pertumbuhan vegetative serta pengaruhnya terhadap stabilitas struktur porositas tanah
4. Transpirasi yang dapat menyebabkan berkurangnya kandungan air tanah (Arsyad, 2010).

Perubahan pola penggunaan lahan akan berdampak pada menurunnya ketersediaan air wilayah akibat peningkatan fluktuasi musiman dengan gejala banjir dan kekeringan yang semakin ekstrim, ukuran DAS, dan kapasitas sistem penyimpanan DAS baik di permukaan (sungai, danau/waduk, sawah, tanaman, rawa) maupun bawah permukaan (lapisan tanah dan air bumi). Hal-hal tersebut merupakan faktor dominan yang menentukan kerentanan dan daya dukung sistem sumber daya air wilayah terhadap perubahan iklim (Pawitan, 1999).

Analisis perubahan penggunaan lahan dengan memanfaatkan data spasial yang bersifat temporal sangat bermanfaat, khususnya untuk mengetahui lokasi-lokasi tempat dimana perubahan penggunaan lahan terjadi (AsSyakur dkk., 2008). Perlu dilakukan analisis guna mendapatkan karakteristik hidrologi Daerah Aliran Sungai. Tujuannya adalah untuk mengetahui karakteristik hujan, debit air yang ekstrim maupun yang wajar yang akan digunakan sebagai dasar analisis selanjutnya dalam pelaksanaan detail desain maupun perencanaan pengolahan lahan.

2.6 HEC-HMS

Model HEC-HMS adalah model hidrologi numerik yang dikembangkan oleh *Hydrologic Engineering Centre (HEC)* dari *US Army Corps Of Engineers*. Program *HEC-HMS* dapat digunakan untuk menghitung transformasi hujan dan proses routing pada suatu DAS. Model ini juga dapat digunakan untuk perhitungan volume *runof*, *direct runoff*, *baseflow* dan *channel flow*. (*Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) Technical Reference Manual*, 2000).

Model HEC-HMS merupakan model yang menggunakan distribusi spasial melalui pembagian suatu DAS ke dalam Sub DAS. HEC-HMS menyajikan berbagai pilihan untuk pemodelan, dengan komponen utama penentuan hidrograf aliran permukaan dari Sub DAS dan routing (pelacakan) hidrograf melalui saluran ke outlet DAS (Allen, 2019). Pada HEC-HMS tersedia fasilitas kalibrasi dan simulasi model distribusi, model menerus, dan kemampuan membaca data GIS (Hidayah, 2012).

Pada program HEC-HMS tersedia beberapa model yang terpisah dimana tiap model memiliki input yang berbeda. Model-model tersebut digunakan untuk perhitungan hujan, *volume runoff*, *direct runoff*, *baseflow*, dan *routing* dengan berbagai metode yang ditunjukkan pada tabel 2.1 :

Tabel 2.1 Metode Simulasi Dalam Program HEC-HMS

<i>No</i>	<i>Model</i>	<i>Metode</i>
1	<i>Hujan</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>User hyetograph</i> • <i>User gage weighting</i> • <i>Inverse-distance gage weights</i> • <i>Gridded precipitation</i> • <i>Frequency storm</i> • <i>Standard project storm</i>
2	<i>Volume runoff</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Initial and constant-rate</i> • <i>SCS curve number</i> • <i>Gridded SCS curve number</i> • <i>Green and Ampt</i> • <i>Deficit and constant rate</i> • <i>Soil moisture accounting</i> • <i>Gridded SMA</i>
3	<i>Direct runoff</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>User-specified unit hydrograph (UH)</i> • <i>Clark's UH</i> • <i>Snyder's UH</i> • <i>SCS UH</i> • <i>Modclark</i> • <i>Kinematic wave</i>

4	<i>Baseflow</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Constant monthly</i> • <i>Exponential recession</i> • <i>Linear reservoir</i>
5	<i>Routing</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Kinematic wave</i> • <i>Lag</i> • <i>Modified Puls</i> • <i>Muskingum</i> • <i>Muskingum-Cunge Standard Section</i> • <i>Muskingum-Cunge 8 point section</i>

Sumber : *Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) Technical Reference Manual, 2000.*

Komponen utama untuk membuat hidrograf aliran yang ada dalam model HEC-HMS antara lain :

1. *Basin model*

Basin model disusun dari elemen-elemen hidrologi yang ada dalam HEC-HMS, hubungan antar elemen dan parameter aliran. Elemen-elemen tersebut berupa *subbasin*, *reach*, dan *junction*, yang merepresentasikan gambaran suatu DAS. Subbasin merepresentasikan sub-DAS, reach merepresentasikan kondisi sungai, dan junction merepresentasikan pertemuan sungai.

2. *Meteorologic model*

Meteorologic model berisi data hujan serta penguapan.

3. *Control Spesification*

Control spesification berisi waktu batas kontrol yaitu tanggal memulai dan mengakhiri serta interval waktu perhitungan dalam pemodelan.

4. *Time series data*

Pada *time series data* berisi input data yaitu hujan, debit, elevasi muka air, dan sebagainya.

5. *Paired data*

Paired data berisi pasangan data seperti hidrograf satuan.

2.6.1 Perhitungan Volume Aliran Model HEC-HMS

Curah hujan yang jatuh pada suatu DAS akan mengalami proses infiltrasi, evaporasi, perkolasi, dan kehilangan air lain sebelum menjadi limpasan permukaan. Besarnya curah hujan efektif setelah dikurangi dengan volume hujan hilang akibat infiltrasi, evaporasi, intersepsi, tertampung di permukaan, dan evapotranspirasi. Beberapa alternatif model untuk perhitungan *runoff volume* yang terdapat pada HEC-HMS antara lain (*Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) Technical Reference Manual, 2000*):

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

Pemodelan debit pada penelitian ini dilakukan menggunakan metode SCS-CN (Soil Conservation Service-Curve Number). Metode SCS-CN ini dikembangkan untuk menghitung *run-off* tutupan lahan dan jenis tanah yang beragam. Pada metode perhitungan dari *Soil Conservation Service (SCS) curve number (CN)*, dianggap bahwa hujan yang menghasilkan limpasan merupakan fungsi dari hujan kumulatif, tata guna lahan, jenis tanah serta kelembaban. Model perhitungan metode SCS-CN yaitu pada persamaan 2.5 (*HEC-HMS Technical Reference Manual, 2000*).

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \dots \dots \dots (2.5)$$

dengan :

- P_e = Hujan efektif kumulatif pada waktu t
 P = Kedalaman hujan kumulatif pada waktu t
 I_a = Kehilangan mula-mula (*initial loss*)
 S = Potensi penyimpanan maksimum

Kehilangan awal (I_a) dapat dihitung dengan persamaan 2.6.

SCS mengembangkan hubungan empiris I_a dan S , yang kemudian dapat digunakan untuk menghitung kehilangan awal (I_a) yaitu :

$$I_a = 0,2 S \dots \dots \dots (2.6)$$

Hubungan antara potensi penyimpanan maksimum, dan karakteristik DAS yang diwakili oleh nilai *Curve Number* dapat dinyatakan dalam persamaan 2.7.

$$S = \frac{25400 - 254 \text{ CN}}{\text{CN}} \dots\dots\dots(2.7)$$

Nilai dari *Curve Number* bervariasi dari 100 (permukaan yang tergenang air) hingga sekitar 30 (untuk permukaan tak kedap air dengan nilai infiltrasi tinggi).

Nilai CN tersebut yang mendefinisikan hubungan limpasan dan pengaruh dari tata guna lahan. Nilai *Curve Number* menyatakan karakteristik fisik suatu DAS yang dipengaruhi tanah, penggunaan lahan, kondisi hidrologi, dan kondisi kelengasan tanah (Aurdin, 2014). Penentuan nilai CN dengan menggunakan metode SCS yaitu dengan penggabungan penggunaan lahan dengan HSG atau kelompok hidrologi tanah. (Koneti dkk., 2018). Penentuan nilai *Curve Number* dapat dihitung dengan persamaan 2.8.

$$CN_{composite} = \frac{\sum A_i CN_i}{\sum A_i} \dots\dots\dots(2.8)$$

dengan :

A_i = Luas sub-DAS i

CN_i = *Curve Number* sub-DAS i

Nilai CN dapat dilihat pada Tabel 2.2-2.5

Tabel 2.2 Nilai CN Untuk Area Pemukiman

<i>Cover description</i>	<i>Average percent impervious area²</i>	<i>Curve numbers for hydrologic soil group</i>			
		A	B	C	D
<i>Fully developed urban areas</i>					
<i>Open space (lawns, parks, golf courses, cemeteries, etc)</i>					
<i>Poor condition (grass cover <50%).....</i>		68	79	86	89
<i>Fair condition (grass cover 50% to 75%).....</i>		49	69	79	84
<i>Good condition (grass cover >75%).....</i>		39	61	74	80
<i>Impervious areas :</i>					
<i>Paved parking lots, roofs, driveways, etc. (excluding right-of-way).....</i>		98	98	98	98
<i>Streets and roads :</i>					
<i>Paved, curbs and storm sewers (excluding right-of-way).....</i>		98	98	98	98
<i>Gravel (including right-of-way).....</i>		83	89	92	98
<i>Paved; open ditches (including right-of-way).....</i>		72	82	87	89
<i>Dirt (including right-of-way).....</i>					
<i>Western desert urban areas:</i>					
<i>Natural desert landscaping (pervious areas only).....</i>		63	77	85	88
<i>Artificial desert landscaping (impervious weed barrier, desert shrub with 1-to 2-inch sand or gravel mulch and basin borders).....</i>		96	96	96	96
<i>Urban districts:</i>					
<i>Commercial and business.....</i>	85	89	92	94	95
<i>Industrial.....</i>	72	81	88	91	93
<i>Residential district by average lot size.....</i>					
<i>1/8 acre or less (town houses).....</i>	65	77	85	90	92
<i>1/4 acre.....</i>	38	61	75	83	87
<i>1/3 acre.....</i>	30	57	72	81	86
<i>1/2 acre.....</i>	25	54	70	80	85
<i>1 acre.....</i>	20	51	68	79	84
<i>2 acre.....</i>	12	46	65	77	82
<i>Developing urban areas</i>					
<i>Newly graded areas (previous areas only, no vegetation).....</i>		77	86	91	94
<i>Idle lands (CN's are determined using cover types similar to those in table 2-2c</i>					

Sumber : *Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) Technical Reference Manual, 2000*

Tabel 2.3 Nilai CN Untuk Lahan Pertanian Yang Dibudidayakan

<i>Cover description</i>			<i>Curve numbers for hydrologic soil group</i>				
<i>Cover type</i>	<i>Treatment</i>	<i>Hydrologic condition</i>	A	B	C	D	
<i>Fallow</i>	<i>Bare soil</i>	-	77	86	91	94	
	<i>Crop residue cover (CR)</i>	<i>Poor</i>	76	85	90	93	
		<i>Good</i>	74	83	88	90	
<i>Row crops</i>	<i>Straight row (SR)</i>	<i>Poor</i>	72	81	88	91	
		<i>Good</i>	67	78	85	89	
	<i>SR + CR</i>	<i>Poor</i>	71	80	87	90	
		<i>Good</i>	64	75	82	85	
	<i>Contoured (C)</i>	<i>Poor</i>	70	79	84	88	
		<i>Good</i>	65	75	82	86	
	<i>C + CR</i>	<i>Poor</i>	69	78	83	87	
		<i>Good</i>	64	74	81	85	
	<i>Contoured & terraced (C & T)</i>	<i>Poor</i>	66	74	80	82	
		<i>Good</i>	62	71	78	81	
	<i>C & T + CR</i>	<i>Poor</i>	65	73	79	81	
		<i>Good</i>	61	70	77	80	
	<i>Small grain</i>	<i>SR</i>	<i>Poor</i>	65	76	84	88
			<i>Good</i>	63	75	83	87
<i>SR + CR</i>		<i>Poor</i>	64	75	83	86	
		<i>Good</i>	60	72	80	84	
<i>C</i>		<i>Poor</i>	63	74	82	85	
		<i>Good</i>	61	73	81	84	
<i>C + CR</i>		<i>Poor</i>	62	73	81	84	
		<i>Good</i>	60	72	80	83	
<i>C & T</i>		<i>Poor</i>	61	72	79	82	
		<i>Good</i>	59	70	78	81	
<i>C & T + CR</i>		<i>Poor</i>	60	71	78	81	
		<i>Good</i>	58	69	77	80	
<i>Close-seeded or broadcast legumes or rotation meadow</i>		<i>SR</i>	<i>Poor</i>	66	77	85	89
			<i>Good</i>	58	72	81	85
	<i>C</i>	<i>Poor</i>	64	75	83	85	
		<i>Good</i>	55	69	78	83	
	<i>C & T</i>	<i>Poor</i>	63	73	80	83	
		<i>Good</i>	51	67	76	80	

Sumber : *Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) Technical Reference Manual, 2000*

Tabel 2.4 Nilai CN Untuk Lahan Pertanian Lainnya

<i>Cover description</i>		<i>Curve numbers for hydrologic soil group</i>			
<i>Cover type and hydrologic condition</i>	<i>Hydrologic condition</i>	A	B	C	D
<i>Pasture, grassland, or range – continuous forage for grazing</i>	<i>Poor</i>	68	79	86	89
	<i>Fair</i>	49	69	79	84
	<i>Good</i>	39	61	74	80
<i>Meadow - continuous grass, protected from grazing and generally mowed for hay</i>	-	30	58	71	78
<i>Brush - brush-weed mixture with brush the major element</i>	<i>Poor</i>	48	67	77	83
	<i>Fair</i>	35	56	70	77
	<i>Good</i>	30	48	65	73
<i>Woods - grass combination (orchard or tree farm)</i>	<i>Poor</i>	57	73	82	86
	<i>Fair</i>	43	65	76	82
	<i>Good</i>	32	58	72	79
<i>Woods</i>	<i>Poor</i>	45	66	77	83
	<i>Fair</i>	36	60	73	79
	<i>Good</i>	30	55	70	77
<i>Farmsteads - buildings, lanes, driveways, and surrounding lots.</i>	-	59	74	82	86

Sumber : *Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) Technical Reference Manual, 2000*

Tabel 2.5 Tipe Tanah Dan Laju Kehilangan Infiltrasi Menurut Metode SCS

Soil Group	Description	Range of Loss Rates (in/hr)
A	Deep sand, deep loess, aggregated silts	0.30 – 0.40
B	Shallow loess, sandy loam	0.15-0.30
C	Clay loams, shallow sandy loam, soils low in organic content, and soils usually high in clay	05-0.15
D	Soils that swell significantly when wet, heavy plastic clays, and certain saline soils	0-05

Sumber : SCS, 1986; Skaggs dan Khaleel, 1982. dalam *Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) Technical Reference Manual, 2000*

2.6.2 Perhitungan Aliran Langsung (Direct Runoff) Model HEC-HMS

Aliran langsung (*direct runoff*) merupakan limpasan langsung yang berasal dari curah hujan yang mengalir di permukaan tanah dan sungai, dan sering disebut dengan aliran cepat. Pada model HEC-HMS, hidrograf aliran langsung dimodelkan dengan konsep hidrograf satuan sintetis (Halik, 2018). Beberapa metode hidrograf satuan sintetis yang terdapat pada model HEC-HMS diantaranya (*Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) Technical Reference Manual, 2000*) :

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

Pada penelitian ini, digunakan metode hidrograf satuan SCS. Metode hidrograf satuan SCS merupakan hidrograf berpuncak tunggal dan tidak berdimensi. Metode ini menggunakan parameter *Lag time* yang merupakan interval waktu saat terjadinya curah hujan maksimum hingga terjadinya debit puncak. Parameter *Lag time* dan waktu konsentrasi dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 2.9 dan 2.10 (*Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) Technical Reference Manual, 2000*).

$$t_{lag} = 0,6 t_c \dots \dots \dots (2.9)$$

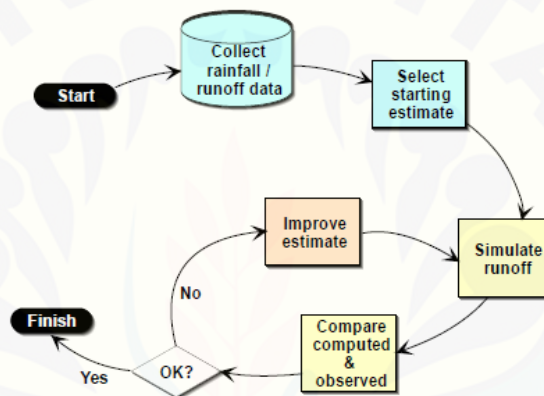
$$T_c = \frac{L^{0,8} [S+1]^{0,7}}{1900y^{0,5}} \dots \dots \dots (2.10)$$

Dengan :

- L = panjang sungai utama (ft)
 S = potensi penyimpanan maksimum (inch)
 = $S = 100/CN - 10$
 CN = Curve Number
 y = kemiringan rata-rata DAS (%)
 t_{lag} = tenggang waktu (jam)
 t_c = waktu konsentrasi

2.6.3 Kalibrasi Model

Dalam menyusun hidrograf aliran, perlu dilakukan kalibrasi terhadap parameter-parameter utama. Kalibrasi tersebut dilakukan dengan menyesuaikan nilai hasil dari pemodelan sehingga mendekati nilai hasil pengamatan. Proses kalibrasi membutuhkan debit terukur dan data hujan pada rentang waktu yang sama. Kalibrasi dilakukan supaya parameter-parameter yang digunakan oleh model dapat diterapkan pada kondisi rencana dan simulasi. Pada model HEC-HMS, kalibrasi dilakukan dengan cara *trial and error* (Allen, 2019). Skema kalibrasi pada model HEC-HMS ditunjukkan pada tabel 2.6.



Gambar 2.4 Skema Kalibrasi Model HEC-HMS

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

Nilai parameter kalibrasi pada HEC-HMS ditunjukkan pada tabel 2.10.

Tabel 2.6 Nilai Parameter Kalibrasi Pada HEC-HMS

Model	Parameter	Min.	Max.
Initial and constant-rate loss	Initial loss	0 mm	500 mm
	Constant loss rate	0 mm/hr	300 mm/hr
SCS loss	Initial abstraction	0 mm	500 mm
	Curve number	1	100
Green and Ampt loss	Moisture deficit	0	1
	Hydraulic conductivity	0 mm/mm	250 mm/mm
	Wetting front suction	0 mm	1000 mm
Deficit and constant-rate loss	Initial deficit	0 mm	500 mm
	Maximum deficit	0 mm	500 mm
	Deficit recovery factor	0.1	5

Clark's UH	Time of concentration	0.1 hr	500 hr
	Storage coefficient	0 hr	150 hr
Synder's UH	Lag	0.1 hr	500 hr
	C_p	0.1	1.0
Kinematic wave	Lag	0.1 min	30000 min
Baseflow	Manning's n	0	1
	Initial baseflow	0 m ³ /s	100000 m ³ /s
	Recession factor	00011	-
Muskingum routing	K	0,1 hr	150 hr
	X	0	0.5
	Number of steps	1	100
Kinematic wave routing	N-value factor	01	10
Lag routing	Lag	0 min	30000 min

Sumber : *Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) Technical Reference Manual*, 2000.

2.6.4 Validasi Model

Model dikatakan baik apabila memiliki akurasi yang bagus dan memenuhi kriteria dari pemodelan (Hidayah, 2011). Untuk itu, pada pemodelan dibutuhkan adanya validasi. Validasi model memiliki tujuan untuk mengetahui tingkat kesesuaian parameter-parameter yang telah dihasilkan dari proses kalibrasi (Arifin dkk, 2018).

Validasi model dapat dilakukan dengan menggunakan metode Nash, dimana kuadrat selisih debit hasil simulasi dan debit hasil pengamatan dibandingkan dengan kuadrat selisih debit hasil pengamatan dan rata-rata debit pengamatan. Rumus NSE (*Nash-Sutcliffe Model Efficiency*) untuk perhitungan validasi model dapat dilihat pada persamaan 2.11 (Nash dan Sutcliffe, 1970).

$$NSE = 1 - \frac{\sum i(Q_{sim} - Q_{obs})^2}{\sum i(Q_{obs} - Q_{obs*})^2} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dengan :

Q obs = debit hasil pengamatan dilapangan (m^3/dt)

Q sim = debit hasil simulasi (m^3/dt)

Q obs* = debit hasil pengamatan di lapangan (m^3/dt)

Tingkat ketepatan model dapat ditunjukkan berdasarkan nilai koefisien efisiensi Nash-Sutcliffe. Nilai NSE berkisar dari minus tak terhingga (model rendah) hingga 1,0 (model yang sempurna). Nilai $NSE \leq 0,5$ dikategorikan tingkat akurasi kurang memuaskan, $0,5 < NSE \leq 0,65$ adalah tingkat akurasi memuaskan, $0,65 < NSE \leq 0,75$ adalah tingkat akurasi baik, dan $0,75 < NSE \leq 1$ adalah tingkat akurasi sangat baik (Nash dan Sutcliffe, 1970).

2.7 Sistem Informasi Geografis (SIG)

Sistem Informasi Geografis (SIG) adalah sistem informasi berbasis komputer yang dirancang untuk bekerja dengan menggunakan data yang memiliki referensi keruangan (memiliki informasi spasial). Sistem ini digunakan untuk memasukkan, mengelola, menyimpan, menganalisis, dan mengaktifkan kembali data yang memiliki referensi keruangan untuk beragam tujuan yang berkaitan dengan pemetaan dan perencanaan (Burrough, 1986).

Sistem Informasi Geografis terdiri dari beberapa subsistem yaitu data *input*, data *output*, data *management*, data manipulasi, dan data *analysis* (Prahasta, 2005). SIG memiliki teknologi untuk mengintegrasikan operasi-operasi umum database seperti *query* dan analisa statistik, serta memiliki kemampuan visualisasi dan analisis yang unik yang dimiliki oleh pemetaan. SIG memiliki beberapa komponen diantaranya perangkat keras, perangkat lunak, pengguna (user), dan aplikasi. Salah satu perangkat lunak yang dapat digunakan dalam SIG adalah ArcGIS.

2.7.1 ArcGIS

ArcGIS merupakan salah satu perangkat lunak Sistem Informasi Geografis (SIG) yang dikembangkan oleh ESRI (*Environmental Systems Research Institute*). ArcGIS memiliki kemampuan yang unik dan fleksibel untuk mengaplikasikan analitik berbasis lokasi pada berbagai perencanaan. Perangkat lunak ini dapat memvisualisasikan dan menganalisis data berbasis spasial melalui peta, laporan, dan lain sebagainya. Dengan perangkat ini, pengguna dapat memanfaatkan fungsi pada level *ArcView*, *ArcEditor*, *ArcInfo* dengan fasilitas aplikasi terintegrasi yaitu *ArcMap*, *ArcCatalog*, dan *ArcToolbox*.

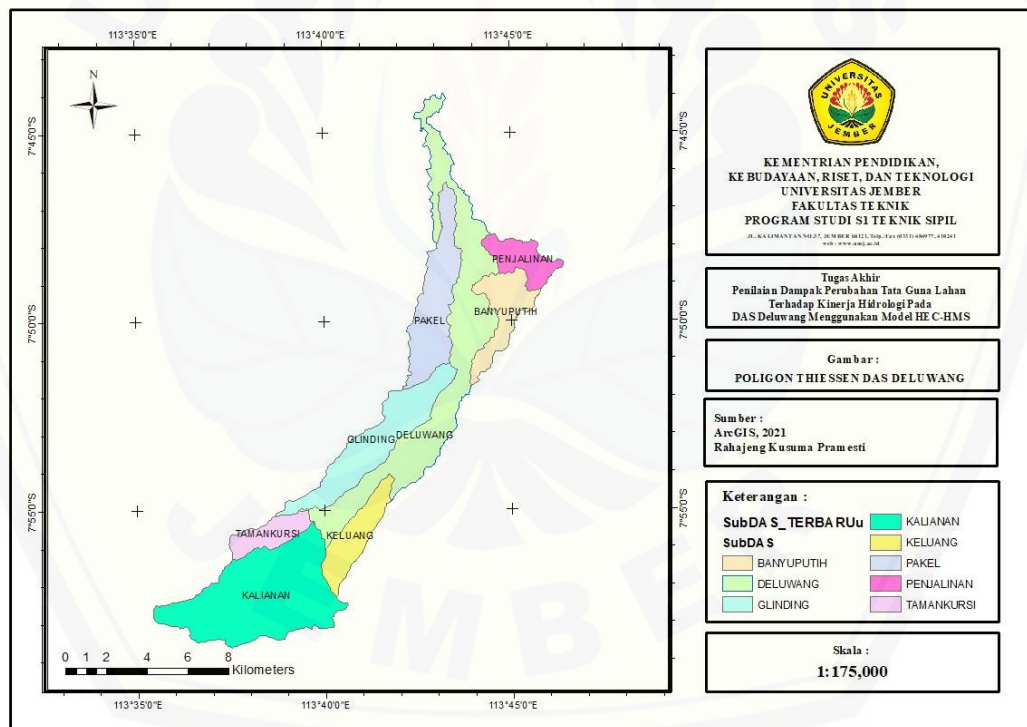
ArcMap yaitu program aplikasi sentral yang ada di dalam ArcGIS yang berfungsi untuk menampilkan dan memanipulasi data geografis, menggambar peta, *query* (pencarian), seleksi, dan editing peta. *ArcCatalog* digunakan untuk menghapus data, membuat basis data, preview data, memberi nama baru, membuat data peta baru, dan sebagainya. Sedangkan *ArcToolbox* memiliki fungsi menganalisis data, otomatisasi data, kompilasi data, pemodelan, konversi data, dan operasi lain terkait dengan manipulasi data atau layer ArcGIS (Indarto dan Faisol, 2012).



BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian yang akan dilakukan adalah pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Deluwang, yang terletak di Kabupaten Bondowoso hingga Kabupaten Situbondo, Jawa Timur. DAS Deluwang berada pada koordinat bujur $113^{\circ}35'30''\text{E}$ - $113^{\circ}45'30''\text{E}$ dan koordinat lintang $7^{\circ}42'30''\text{S}$ - $7^{\circ}58'30''\text{S}$. DAS Deluwang memiliki luas $\pm 114.468 \text{ km}^2$, dan panjang sungai $\pm 30,5 \text{ km}$ (Wahyudi, 2009). DAS Deluwang memiliki 3 stasiun hujan dengan outlet Dam Dawuhan diantaranya Sta. Sta. Baderan, Sta. Blimbing, dan Sta. Dawuhan. Stasiun AWLR DAS Deluwang terletak di Dawuhan Bagian Hilir. Lokasi penelitian ditunjukkan pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian

3.2 Pengumpulan Data

Data-data yang digunakan dalam penelitian diantaranya :

- a. Data Hidrologi
 1. Data curah hujan tahun 2005 sampai 2019 yang diperoleh dari UPT PSDA Bondowoso.
 2. Data debit tahun 2006 dan 2009 yang diperoleh dari UPT PSDA Bondowoso.
- b. Data Spasial
 1. Peta Jenis Tanah yang diperoleh dari Badan Informasi Geospasial pada laman <https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web>.
 2. Data DEM (*Digital Elevation Model*) SRTM 1 Arc Second resolusi 30 m yang diunduh dari <https://earthexplorer.usgs.gov/>.
 3. Peta tataguna lahan yang diperoleh dari RBI tahun 2006 dan Google Earth 2009.
- c. Data lainnya
 1. Data koordinat stasiun hujan yang diperoleh dari UPT PSDA Bondowoso.
- d. Perangkat Lunak
 1. Software ArcGIS versi 10.4 untuk delineasi DAS, karakteristik DAS, perhitungan tata guna lahan, dan penentuan poligon stasiun hujan.
 2. Software HEC-HMS untuk pemodelan debit.

3.3 Tahapan Penelitian

Setelah pengumpulan data, tahap selanjutnya yaitu pengolahan data yang meliputi :

3.3.1 Analisis Hidrologi

- a. Analisis Data Hujan yang Hilang

Analisis Data Hujan yang Hilang menggunakan metode *normal ratio*. Tahap ini dilakukan agar data hujan yang digunakan dalam pemodelan dapat menghasilkan analisis model yang akurat. Untuk memperbaiki atau melengkapi data curah hujan yang hilang, dapat digunakan metode *normal ratio*, metode *inversed square distance*, dan metode rata-rata aljabar (Prawaka dkk, 2016). Pada penelitian ini

digunakan Metode Normal Ratio untuk memperkirakan data curah hujan yang hilang. Rumus untuk memperkirakan curah hujan yang hilang menurut rumus Metode Normal Ratio ditunjukkan pada persamaan 3.1 (Wei dan McGuiness, 1973).

$$\frac{P_x}{N_x} = \frac{1}{n} \left\{ \frac{P_1}{N_1} + \frac{P_2}{N_2} + \frac{P_3}{N_3} + \dots + \frac{P_n}{N_n} \right\} \dots\dots\dots(3.1)$$

dengan :

P_x = Hujan yang hilang di stasiun x

P_1, P_2, \dots, P_n = Data hujan di stasiun sekitarnya pada periode yang sama

N_x = Hujan tahunan di stasiun x

N_1, N_2, \dots, N_n = Hujan tahunan di stasiun sekitar x

N = Jumlah stasiun hujan disekitar x

b. Uji Konsistensi Data Curah Hujan

Uji konsistensi data curah hujan dilakukan dengan metode kurva masa ganda berdasarkan data hujan pada tahun 2010-2020 dengan membandingkan kumulatif hujan rata-rata stasiun hujan tertentu dengan kumulatif hujan rata-rata tahunan pada stasiun hujan sekitar. Hal ini untuk mengetahui tidak adanya data yang menyimpang. Metode yang digunakan adalah menggunakan metode kurva massa ganda, dihitung dengan koefisien determinasi (R^2). Apabila nilai koefisien mendekati 1 maka data dikatakan konsisten (Mukarob, 2020).. Apabila data curah hujan tidak konsisten, maka dilakukan uji abnormalitas.

c. Perhitungan Curah Hujan Kawasan Metode Polygon Thiessen

Melakukan perhitungan curah hujan rata-rata kawasan menggunakan metode Polygon Thiessen dan program Arc-GIS untuk penentuan poligon. Metode poligon Thiessen memperkirakan bobot dari tiap stasiun pada suatu DAS yang mewakili luasan di sekitarnya. Metode ini digunakan pada kondisi penyebaran stasiun hujan

yang dianggap tidak merata dan secara matematis ditunjukkan pada persamaan 3.2 (Triatmodjo, 2008) :

$$\bar{P} = \frac{A_1P_1 + A_2P_2 + \dots + A_nP_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots\dots\dots(3.2)$$

dengan :

\bar{P} = curah hujan rerata kawasan

A_1, A_2, \dots, A_n = luas daerah yang mewakili stasiun 1, 2, 3, ..., n

R_1, R_2, \dots, R_n = curah hujan pada stasiun 1, 2, 3, ..., n

3.3.2 Analisis Spasial

a. Penentuan batas DAS (Delineasi DAS)

Pada tahap ini, dilakukan delineasi batas DAS dengan mengolah data DEM (*Digital Elevation Model*) dengan software Arc-GIS yang dihubungkan dengan HEC-HMS menggunakan ekstensi HEC-GeoHMS sehingga didapatkan peta batas DAS dan jaringan sungai untuk *input* data spasial pada HEC-HMS. Hal ini dilakukan karena program HEC-HMS tidak dapat digunakan untuk pengolahan data-data spasial seperti dalam bentuk peta-peta digital yang akan digunakan dalam analisis. Menurut ESRI (2016), delineasi DAS dilakukan dengan beberapa tahap diantaranya:

- Fill

Tahapan ini dilakukan untuk mengisi cekungan (*sink*) untuk menghilangkan ketidaksempurnaan pada data DEM yang tersedia dengan tools Fill pada *Hydrology toolset* di *ArcToolbox*.

- Flow Direction

Tahap Flow Direction dilakukan dengan memilih *Flow Direction tool* pada *Hydrology toolset* di *ArcToolbox*. Flow direction digunakan untuk menentukan arah aliran pada DEM sebagai penentu pola aliran sungai dari lereng paling curam didekatnya.

- Flow Accumulation

Tahap Flow Accumulation dilakukan dengan memilih *Flow Accumulation tool* pada *Hydrology toolset* di *ArcToolbox*. Tahap ini menghitung akumulasi aliran pada peta DEM yang akan didelineasi.

- Snap Pour Point

Tahap Snap Pour Point dilakukan dengan *Snap Pour Point tool* pada *ArcToolbox*. Tahap ini dilakukan untuk menentukan titik *outlet* AWLR hingga ArcGIS akan otomatis menentukan akumulasi aliran tertinggi dalam jarak yang ditentukan dengan *Watershed tool*.

b. Analisis Tata Guna Lahan

Analisis tata guna lahan dilakukan untuk mengetahui klasifikasi tutupan lahan dan luas tiap tutupan lahan pada DAS Deluwang. Tahapan ini dilakukan dengan mengunduh peta RBI yang dikelola oleh Badan Informasi Geospasial tahun 2006 pada laman <https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web>, kemudian melakukan digitasi manual dengan bantuan aplikasi ArcGIS dan Google Earth Pro sehingga didapat peta penggunaan lahan tahun 2009. Luasan tiap tutupan lahan dilakukan dengan melakukan perhitungan *calculate geometry* poligon pada program ArcGIS. Selanjutnya dilakukan penentuan nilai CN (*Curve Number*) pada tiap tipe penggunaan lahan pada peta tata guna lahan dan jenis tanah yang ada. Output dari proses ini yaitu peta tata guna lahan, klasifikasi tutupan lahan, luas tiap penggunaan lahan, dan curve number.

3.3.3 Pemodelan Debit Menggunakan HEC-HMS

Pemodelan *loss* atau volume aliran pada penelitian ini dilakukan menggunakan metode SCS-CN (Soil Conservation Service-Curve Number). Metode SCS-CN ini dikembangkan untuk menghitung *run-off* tutupan lahan dan jenis tanah yang beragam. Metode perhitungan dari *Soil Conservation Service (SCS) curve number (CN)* beranggapan bahwa hujan yang menghasilkan limpasan merupakan fungsi dari hujan kumulatif, tata guna lahan, jenis tanah serta kelembaban. Metode SCS-UH digunakan dalam aliran langsung, sedangkan pada *baseflow* digunakan metode

constant monthly (Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) Technical Reference Manual, 2000).

Tahapan pemodelan debit menggunakan HEC-HMS dilakukan sebagai berikut :

a. Penyusunan Parameter dan Initial Condition

Pada tahap ini, komponen yang akan dipilih untuk menggambar objek berupa *basin model* dan *meteorologic model*.

1. Basin Model

Pada basin model, diisikan parameter awal yaitu *loss method*, *transform method*, dan *baseflow*.

2. Meteorologic Model

Mengisikan data sebaran stasiun hujan dan evapotranspirasi.

b. Control Specification

Control Specification berisikan interval waktu memulai dan mengakhiri proses pemodelan.

c. Time Series Data

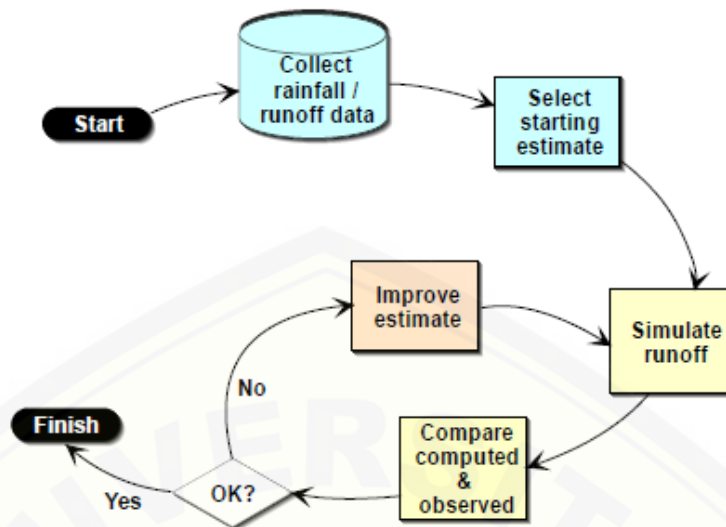
Pada time series data, data yang akan dimasukkan yaitu data hidrologi yang meliputi data curah hujan, dan data debit.

d. Running Model

Melakukan proses simulasi model pada program HEC-HMS untuk mendapatkan hasil debit simulasi.

3.3.4 Kalibrasi Model

Kalibrasi model dimaksudkan untuk melakukan proses pengecekan output dari HEC-HMS terhadap data yang ada di lapangan. Proses kalibrasi ini juga dilakukan untuk mengetahui kesesuaian nilai estimasi parameter yang digunakan dengan parameter sebenarnya di lapangan. Tahap kalibrasi model dengan HEC-HMS ditunjukkan pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Skema Kalibrasi Model HEC-HMS

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

3.3.5 Validasi Model

Validasi model dimaksudkan untuk mengetahui keakuratan model atau keandalan pemodelan. Model dikatakan baik apabila memiliki akurasi yang bagus dan memenuhi kriteria dari pemodelan (Hidayah, 2011). Validasi model dilakukan dengan metode Nash-Sutcliffe berdasarkan nilai koefisien NSE. Didasarkan dengan membandingkan debit hasil simulasi dengan debit observasi menggunakan koefisien NSE (Nash-Sutcliffe Efficiency). Nilai E berkisar dari minus tak terhingga (model rendah) hingga 1,0 (model yang sempurna). Nilai $NSE \leq 0,5$ dikategorikan tingkat akurasi kurang memuaskan, $0,5 < NSE \leq 0,65$ adalah tingkat akurasi memuaskan, $0,65 < NSE \leq 0,75$ adalah tingkat akurasi baik, dan $0,75 < NSE \leq 1$ adalah tingkat akurasi sangat baik (Nash dan Sutcliffe, 1970).

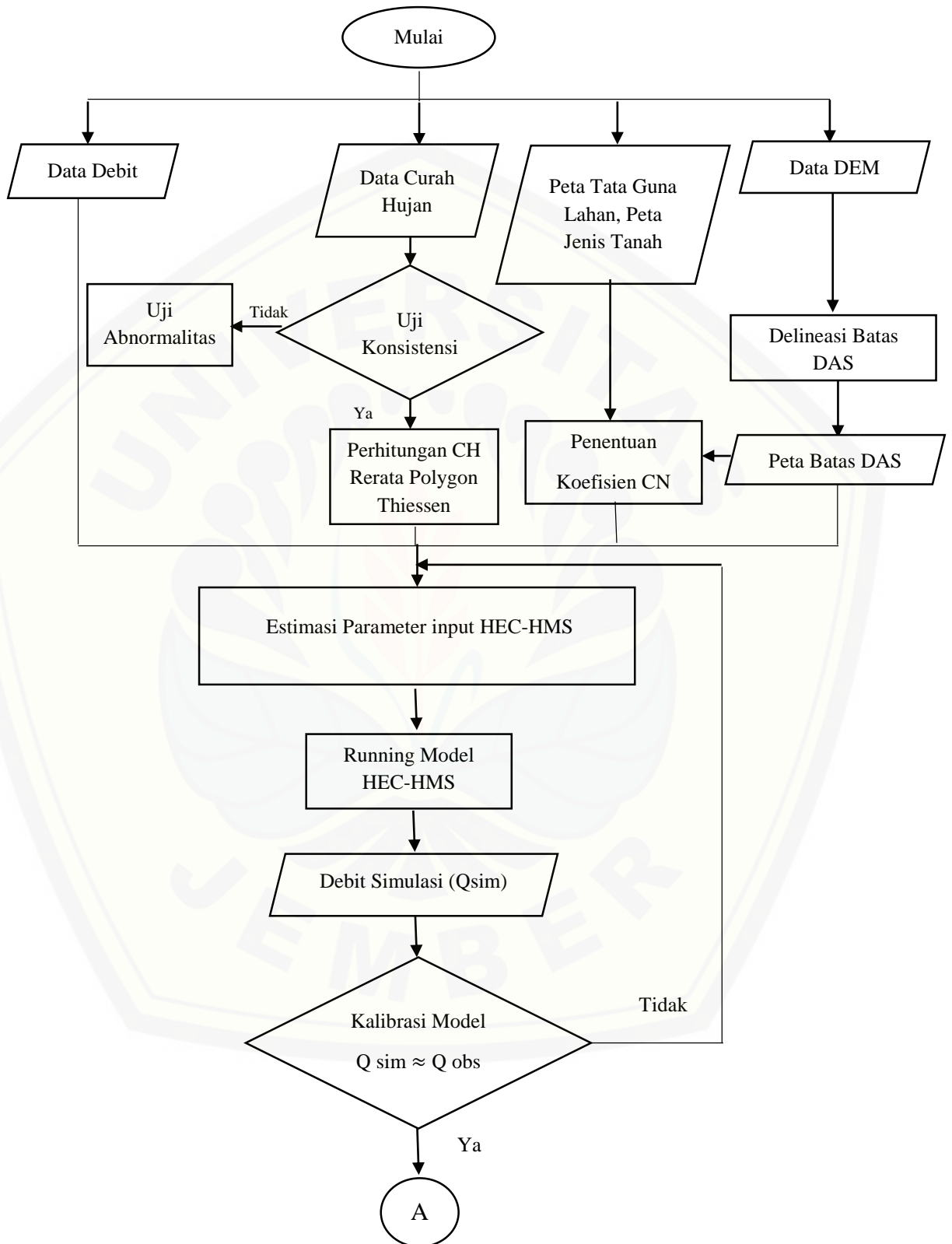
3.3.6 Analisis Dampak Perubahan Tata Guna Lahan dengan Debit

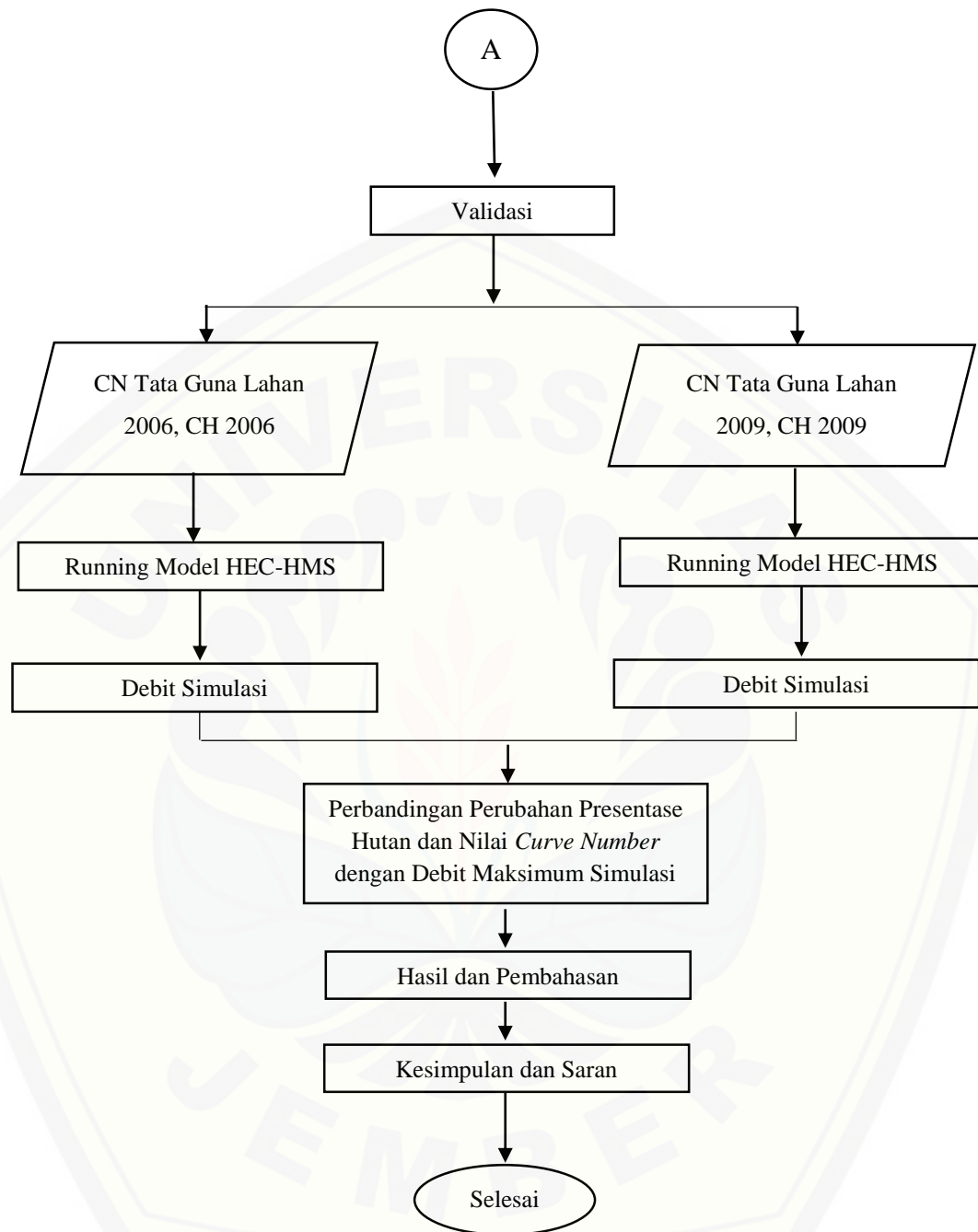
Analisis dampak perubahan tata guna lahan terhadap debit dengan membandingkan presentase penggunaan lahan dari tahun 2006 dan 2009 dengan debit hasil simulasi. Dampak perubahan tata guna lahan juga dilihat berdasarkan nilai CN sebagai fungsi dari hubungan debit dan pengaruh dari tata guna lahan dan jenis tanah (Widiarti dan Sukmawati, 2013). Parameter dari data tata guna lahan pada tahun 2006 yang telah dihitung dan dioptimasi pada HEC-HMS akan

diinputkan kembali ke dalam model dan dirunning dengan data curah hujan harian pada tahun 2009 sehingga perubahan debit maksimum dan luas hutan dapat dibandingkan melalui grafik.



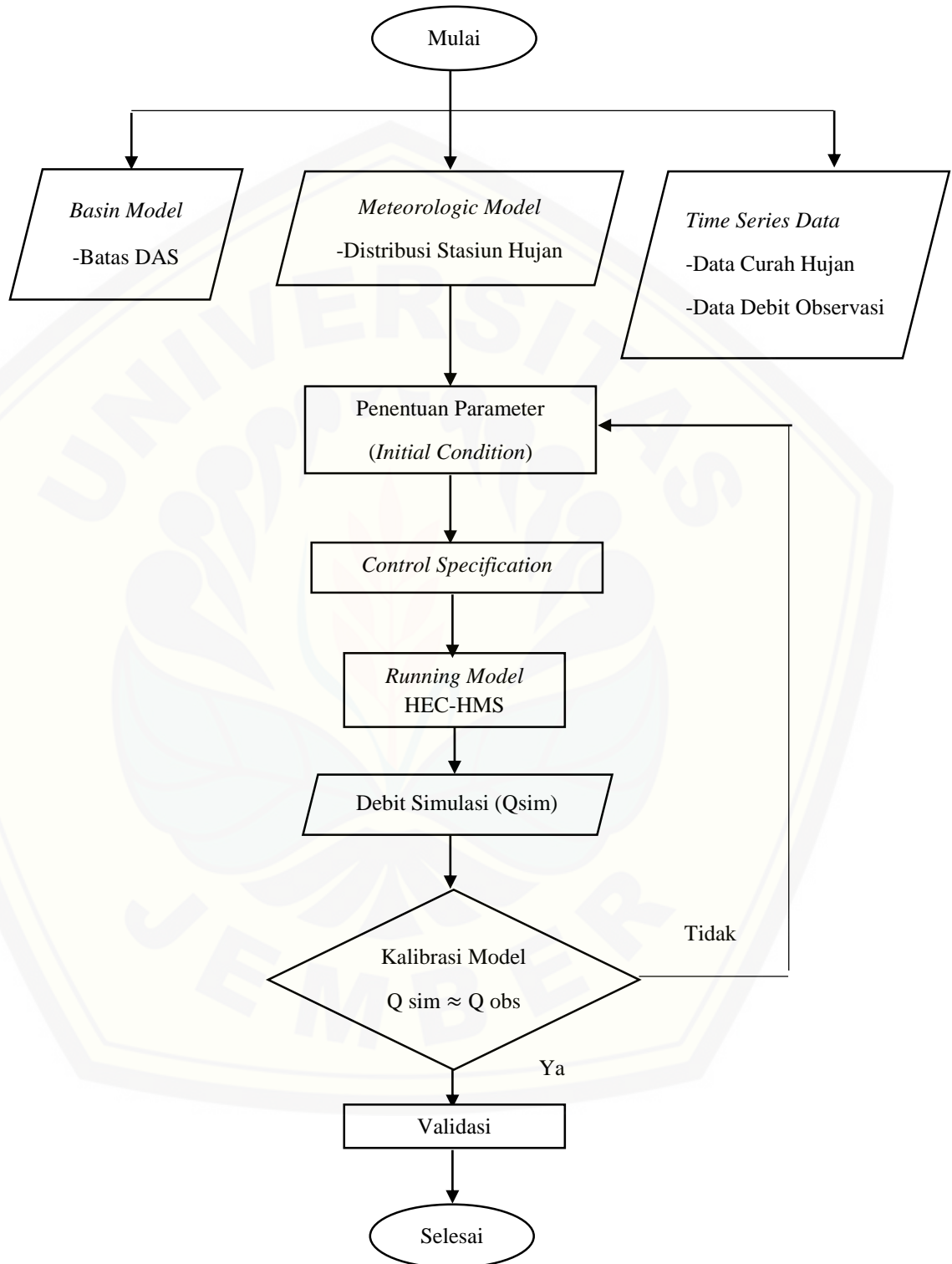
3.4 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian

3.5 Diagram Alir Program HEC-HMS



Gambar 3.4 Diagram Alir Program HEC-HMS

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

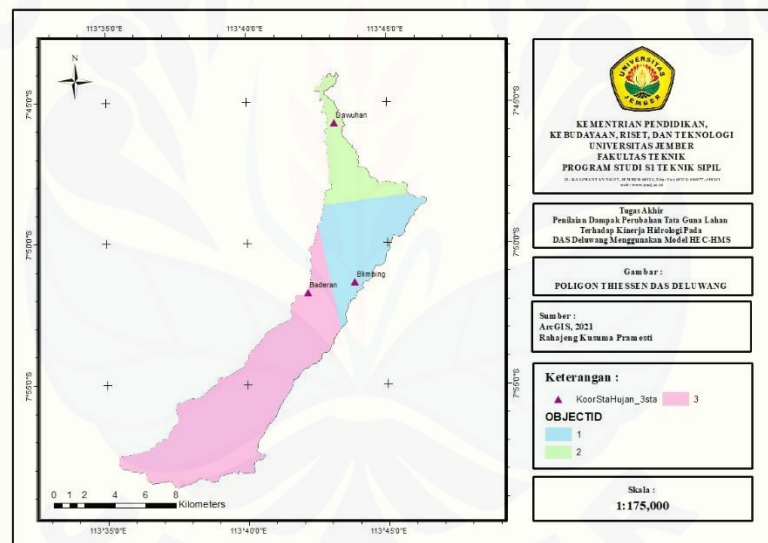
4.1 Analisis Hidrologi

Data hujan diperlukan untuk pemodelan. Pada penelitian ini, digunakan 3 stasiun hujan yang mewakili curah hujan DAS Deluwang. Stasiun hujan tersebut antara lain Stasiun Blimbing, Stasiun Dawuhan, dan Stasiun Baderan. Koordinat stasiun hujan pada 3 stasiun dapat dilihat pada tabel 4.1 dan gambar 4.1.

Tabel 4.1 Koordinat Stasiun Hujan

Stasiun Hujan.	x	y
Blimbing	113,731	-7,856
Dawuhan	113,719	-7,762
Baderan	113,703	-7,862

Sumber : BPDASHL Sampean, 2021



Gambar 4.1 Stasiun Hujan DAS Deluwang

4.1.1 Perhitungan Curah Hujan

Data curah hujan didapat dari UPT PSDA Bondowoso dengan kurun waktu 15 tahun, yaitu tahun 2005-2019. Pada penelitian ini tidak terdapat data curah hujan kosong atau hilang pada tiga stasiun hujan antara tahun 2005 hingga tahun 2019 sehingga data dapat digunakan untuk perhitungan selanjutnya. Tabel rekapitulasi perhitungan data curah hujan ditunjukkan pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Data Curah Hujan

Tahun	1	2	3
	Sta. Blimbing	Sta. Dawuhan	Sta. Baderan
	33	7A	10
2005	1555	792,1	1926
2006	1854	1356	2156
2007	1547	972	1869
2008	1730	1229	2496
2009	1454	670	1570
2010	2911	1984	2491
2011	2135	1632	2356
2012	1980	1354	2447
2013	2139	1982	3436
2014	1368	1255	2374
2015	1713	1157	2033
2016	2566	1739	2998
2017	2635	1281	2779
2018	1639	1179	1889
2019	1446	921	1777

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2021)

4.1.2 Uji Konsistensi Data Curah Hujan

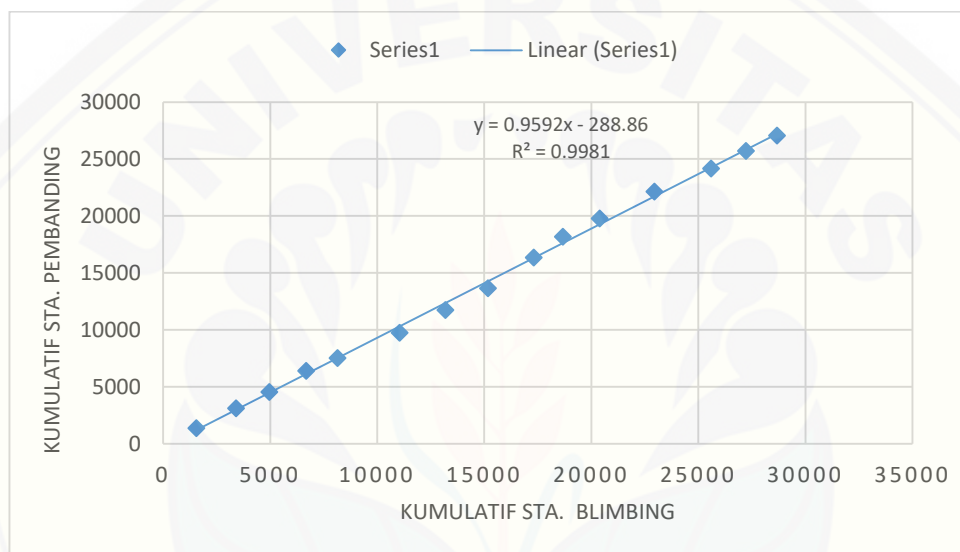
Data curah hujan harus dipastikan memiliki kualitas yang baik sebelum digunakan dalam analisis perhitungan. Selain pengecekan data curah hujan hilang, dapat dilakukan uji konsistensi data curah hujan guna mengecek kualitas data curah hujan yang ada ditinjau dari konsistensi data tersebut. Pada penelitian ini, uji konsistensi curah hujan dilakukan dengan metode kurva masa ganda (*double mass curve*). Contoh hasil perhitungan uji konsistensi dengan kurva masa ganda data curah hujan tahun 2005-2019 untuk Stasiun Blimbing ditunjukkan pada tabel 4.3 dan gambar 4.2. Sedangkan hasil perhitungan uji konsistensi pada stasiun Dawuhan dan Baderan disajikan pada lampiran 2 dan 3.

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Uji Konsistensi Stasiun Blimbing

Tahun	Stasiun			Kumulatif Sta. Blimbing	Rata-rata Sta. Pemanding	Kumulatif Sta. Pemanding
	Blimbing	Dawuhan	Baderan			
2005	1555	792,1	1926	1555	1359	1359
2006	1854	1356	2156	3409	1756	3115
2007	1547	972	1869	4956	1421	4536
2008	1730	1229	2496	6686	1863	6398

2009	1454	670	1570	8140	1120	7518
2010	2911	1984	2491	11051	2238	9756
2011	2135	1632	2356	13186	1994	11750
2012	1980	1354	2447	15166	1901	13650
2013	2139	1982	3436	17305	2709	16359
2014	1368	1255	2374	18673	1815	18174
2015	1713	1157	2033	20386	1595	19769
2016	2566	1739	2998	22952	2369	22137
2017	2635	1281	2779	25587	2030	24167
2018	1639	1179	1889	27226	1534	25701
2019	1446	921	1777	28672	1349	27050

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2021)



Gambar 4.2 Grafik Kurva Massa Ganda Stasiun Blimbing

Nilai regresi didapatkan dengan perbandingan antara kumulatif stasiun tertentu dengan kumulatif stasiun pembanding yaitu stasiun lainnya sehingga didapat nilai regresi dan grafik kurva massa ganda. Adapun nilai regresi dan hasil konsistensi curah hujan DAS Deluwang ditampilkan pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Uji Konsistensi DAS Deluwang

No	Stasiun Hujan	Persamaan Regresi	R ²	Keterangan
1	Blimbing	$y = 0.969x - 288.86$	0,9981	Konsisten
2	Dawuhan	$y = 1,572x + 560,8$	0,9989	Konsisten
3	Baderan	$y = 0,700x + 54,801$	0,9987	Konsisten

Sumber : Hasil Perhitungan, 2021

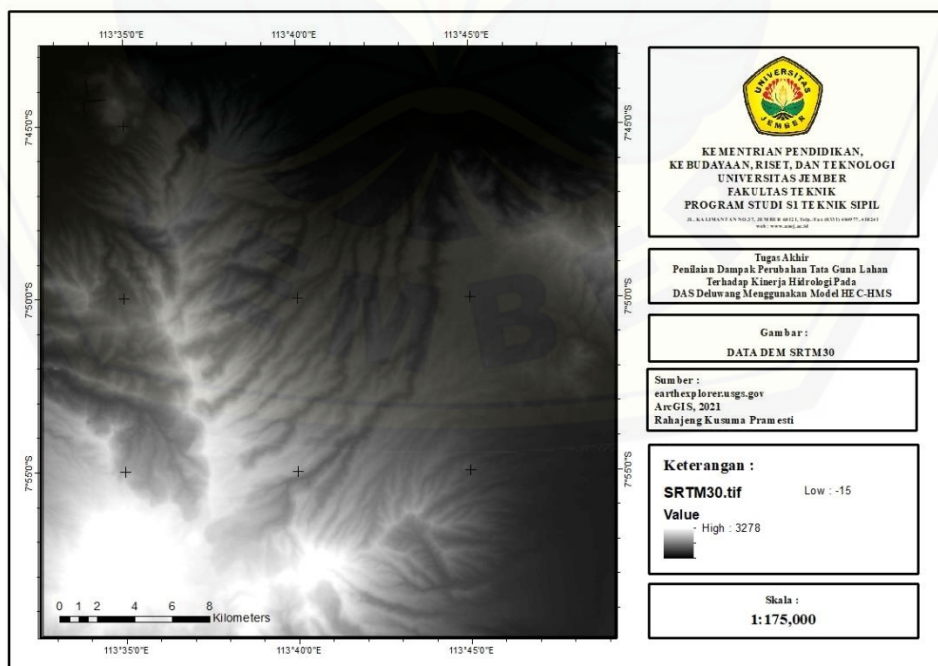
Nilai regresi (R^2) pada ketiga stasiun menunjukkan bahwa konsistensi pada ketiga stasiun memiliki hasil yang baik, yaitu mendekati 1, sehingga data curah hujan dapat diterima dan bisa digunakan untuk perhitungan selanjutnya.

4.2 Analisis Spasial

Tahap analisis spasial pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan program ArcGIS 10.4. Analisis spasial ini meliputi pengolahan data DEM agar selanjutnya dapat mendelineasi DAS, membuat jaringan sungai, titik outlet sungai, kemiringan sungai, dan elevasi. Selain pengolahan data DEM, pada analisis spasial juga dilakukan pengolahan peta tata guna lahan.

4.2.1 DEM

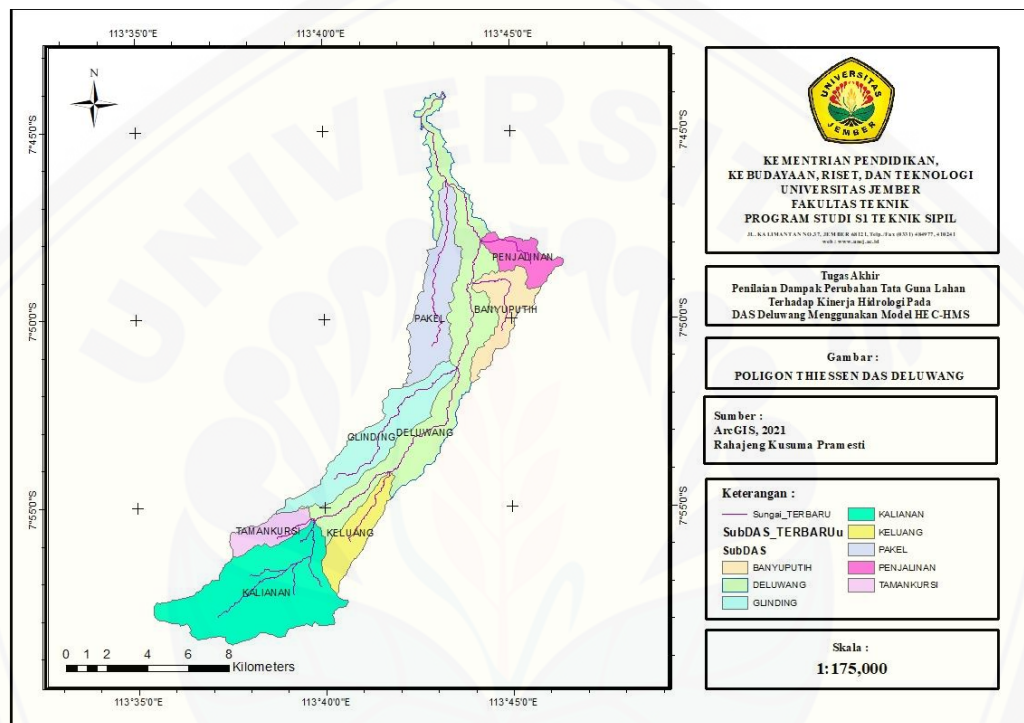
Peta DEM didapat dari SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) 1 Arc Second dengan resolusi 30 m yang diunduh dari laman <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Data spasial DEM ini memiliki distribusi ketinggian yang dapat digunakan untuk menunjukkan elevasi dan kontur DAS Deluwang. Data DEM ini digunakan sebagai acuan ketinggian dan untuk delineasi DAS, pembuatan jaringan sungai, dan analisis kemiringan lereng (*slope*). Data DEM yang akan digunakan untuk analisis spasial pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Data DEM DAS Deluwang

4.2.2 Delineasi DAS

Delineasi DAS dilakukan dengan program ArcGIS 10.4 dengan ekstensi ArcHydro. Ekstensi *ArcHydro* tersebut memiliki beberapa tools yang dapat memudahkan proses delineasi DAS. Tools tersebut antara lain *flow direction*, *flow acc*, dll. Peta DEM yang telah diunduh kemudian diubah *projectionnya* menjadi koordinat UTM WGS 1984 49S sehingga dapat diolah untuk menggambarkan kondisi DAS Deluwang. Peta DAS Deluwang disajikan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Peta DAS Deluwang

DAS Deluwang dikelompokkan menjadi 8 subdas, diantaranya Subdas Deluwang, Subdas Pakel, Subdas Banyuputih, Subdas Penjalinan, Subdas Glinding, Subdas Penjalinan, Subdas Keluang, Subdas Tamankursi, dan Subdas Kalianan. Pembagian subDAS ini didasarkan dari orde ke-2 sungai pada DAS Deluwang. Luas tiap subdas pada DAS Deluwang dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Luas Subdas Pada DAS Deluwang

No	Subdas	Luas (km ²)
1	Deluwang	32,333
2	Pakel	13,551
3	Penjalinan	5,218

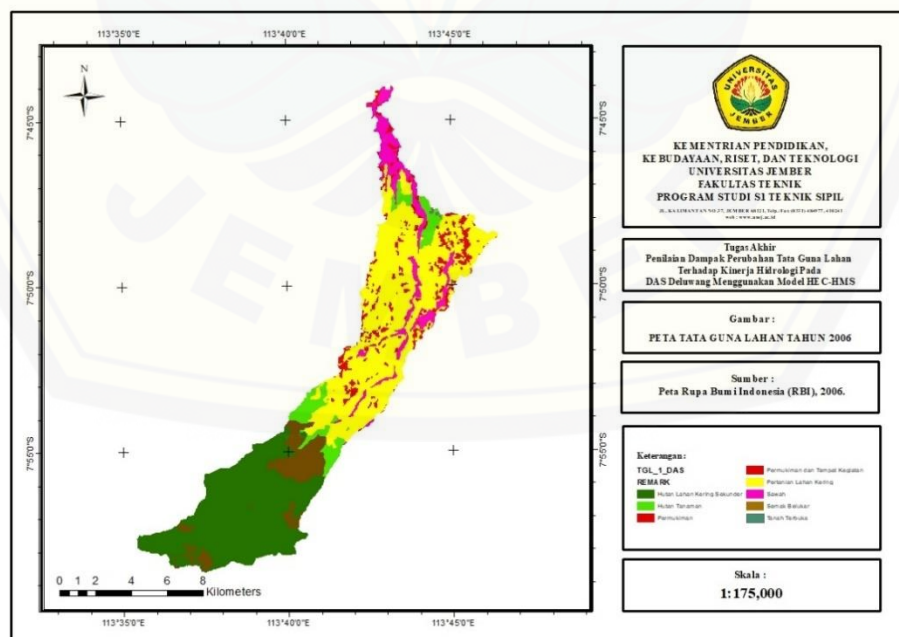
4	Banyuputih	7,517
5	Glinding	14,752
6	Keluang	6,978
7	Tamankursi	4,660
8	Kalianan	29,460

Sumber : Hasil Perhitungan, 2021.

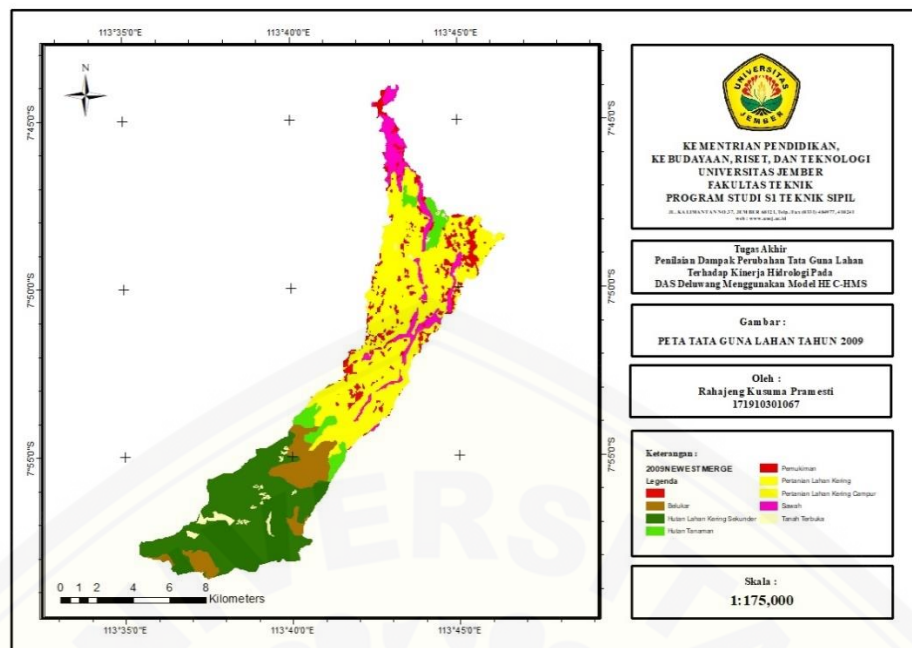
Dari tabel 4.5 dapat dilihat bahwa DAS Deluwang pada penelitian ini terbagi menjadi 8 subDAS. SubDAS Deluwang memiliki luas yang paling besar yaitu 32,333 km².

4.2.3 Tata Guna Lahan

Peta tata guna lahan untuk tahun 2006 didapat dengan mengunduh data dengan format shp. dari Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) skala 1 : 25.000 pada laman <https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web>. Peta diolah dengan software ArcGIS 10.4 untuk mendapatkan luas tiap penggunaan lahan. Sedangkan peta tata guna lahan 2009 diperoleh dengan hasil interpretasi citra Google Earth dengan time series tahun 2009. Poligon yang telah diedit pada Google Earth kemudian diekspor untuk kembali diolah pada ArcGIS sehingga didapat luas tiap tata guna lahan tahun 2009. Peta tata guna lahan tahun 2006 dan 2009 dapat dilihat pada gambar 4.5 dan 4.6.



Gambar 4.5 Peta Tata Guna Lahan Tahun 2006

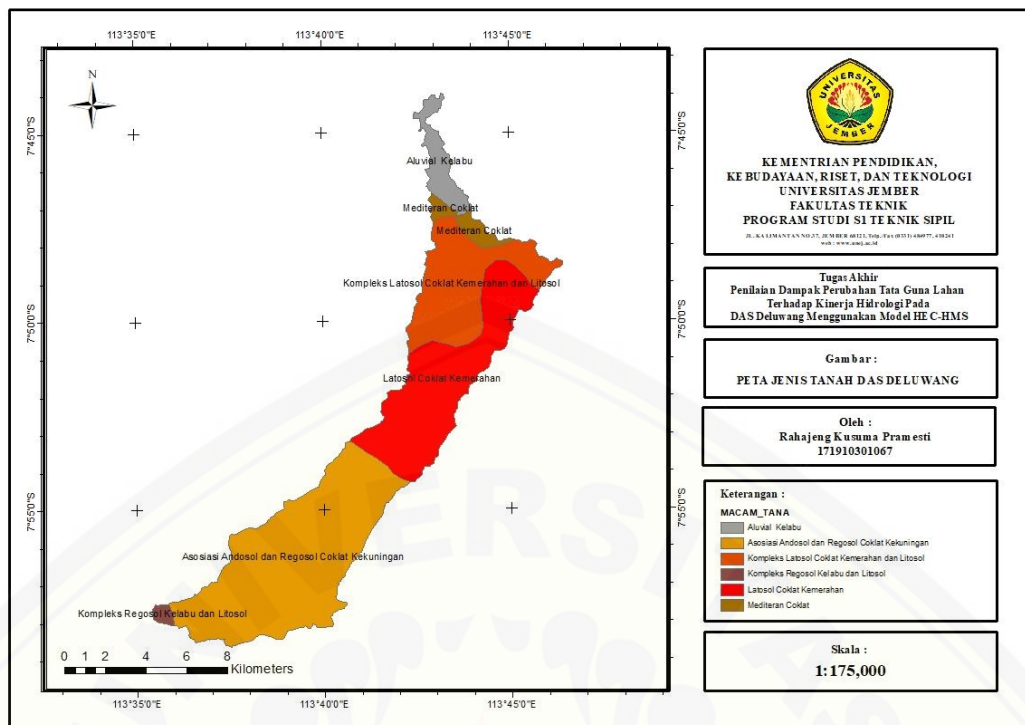


Gambar 4.6 Peta Tata Guna Lahan Tahun 2009

Pada gambar 4.5 dan 4.6 dapat dilihat bahwa tata guna lahan pada DAS Deluwang meliputi pemukiman, hutan lahan kering sekunder, hutan tanaman, pertanian lahan kering, sawah, semak belukar, dan tanah terbuka. Tata guna lahan didominasi oleh penggunaan lahan pertanian lahan kering dan hutan lahan kering sekunder. Nilai perubahan tata guna lahan dapat dilihat pada tabel 4.15.

4.2.4 Jenis Tanah

Jenis Tanah dibutuhkan untuk menentukan HSG (*Hydrologic Soil Group*) yang akan digunakan dalam menentukan nilai CN. Peta jenis tanah didapatkan dari laman <https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web>. Terdapat 6 jenis tanah yang ada pada DAS Deluwang. Keenam jenis tanah tersebut memiliki karakteristik yang berbeda sehingga dapat dikelompokkan menjadi HSG A-D. Peta jenis tanah untuk DAS Deluwang dapat dilihat pada gambar 4.7, sedangkan luas dan jenis HSG tanah DAS Deluwang disajikan pada tabel 4.10.



Gambar 4.7 Peta Jenis Tanah DAS Deluwang

Tabel 4.6 Luas dan HSG Tanah DAS Deluwang

Jenis Tanah	HSG	Luas (km ²)
Kompleks Latosol Coklat Kemerahan dan Litosol	C	24,43
Aluvial Kelabu	C	2,57
Mediteran Coklat	C	0,96
Mediteran Coklat	C	2,028
Latosol Coklat Kemerahan	C	31,52
Asosiasi Andosol dan Regosol Coklat Kekuningan	C	52,12
Kompleks Regosol Kelabu dan Litosol	A	0,83

Sumber : Hasil Analisis, 2021.

Hydrologic Soil Group pada DAS Deluwang digolongkan menjadi kelompok C dan A, dengan kategori tanah seperti pada tabel 4.10. Jenis tanah pada DAS Deluwang didominasi oleh jenis tanah asosiasi andosol dan regosol coklat kekuningan dengan kategori C. Jenis tanah dikategorikan dalam HSG tersebut sesuai dengan karakteristiknya yang dapat dilihat pada tabel 2.5. Pembagian luas jenis tanah pada tiap subdas dijabarkan pada tabel 4.11.

Tabel 4.7 Luas Jenis Tanah perSubDAS

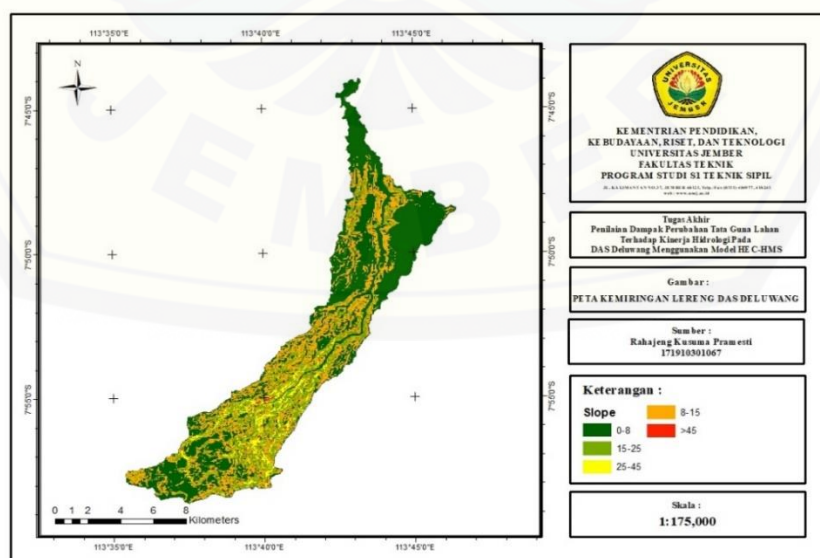
No,	Subdas	Luas Total (km ²)	Luas A	Luas C
1	Deluwang	32,333	-	32,333
2	Pakel	13,551	-	13,551
3	Penjalinan	5,218	-	5,218
4	Banyuputih	7,517	-	7,517
5	Glinding	14,752	-	14,752
6	Keluang	6,978	-	6,978
7	Tamankursi	4,660	-	4,660
8	Kalianan	29,460	0,834	28,626

Sumber : Hasil Analisis, 2021.

Subdas Deluwang hingga subdas Tamankursi seluruhnya dikategorikan kedalam jenis HSG C, sedangkan subdas Kalianan dikategorikan menjadi 2 jenis HSG yaitu A dan C. Jenis HSG ini berpengaruh kepada kecepatan tanah dalam proses infiltrasi.

4.2.5 Kemiringan Lereng

Peta kemiringan lereng diperoleh dari pengolahan data DEM pada program ArcGIS. Proses ini menggunakan *tools Slope* pada ArcToolbox. Terdapat 5 tingkat kemiringan lereng antara lain datar, miring, agak curam, curam, sangat curam. Kemiringan ini berpengaruh terhadap akumulasi air yang masuk pada daerah aliran sungai. Peta kemiringan lereng DAS Deluwang disajikan dalam Gambar 4.8, sedangkan nilai kemiringan lereng ditampilkan pada tabel 4.12.



Gambar 4.8 Peta Kemiringan Lereng DAS Deluwang

Tabel 4.8 Kemiringan Lereng

No	Keterangan	Slope	Luas (km)	Persentase (%)
1	Datar	0-8	56,902	49,72
2	Landai	8-15	35,054	30,63
3	Agak Curam	15-25	16,947	14,81
4	Curam	25-45	5,085	4,44
5	Sangat Curam	>45	0,451	0,39

Sumber : Hasil Analisis, 2021.

Dari tabel 4.12 dapat disimpulkan bahwa karakteristik kemiringan DAS Deluwang didominasi oleh kategori datar, yaitu sebesar 49,72%, sedangkan kategori sangat curam hanya sebesar 0,39%.

4.2.6 Panjang dan Kemiringan Sungai

Karakteristik panjang dan kemiringan sungai diperoleh dari proses pada ArcGIS. Panjang dan kemiringan sungai tiap subDAS ini didapat dari *cross section* sungai tiap subDAS menggunakan *tool 3D analyst*. Kemiringan sungai kemudian dihitung dengan membagi beda elevasi kedua ujung sungai dengan panjang sungai. Panjang dan kemiringan sungai DAS Deluwang dituliskan pada tabel 4.13.

Tabel 4.9 Panjang dan Kemiringan Sungai

Subdas	Panjang Sungai (km)	Kemiringan Sungai
Deluwang	30,913	3,48%
Pakel	9,668	3,94%
Penjalinan	3,531	8,33%
Banyuputih	4,878	4,62%
Glinding	10,233	8,19%
Keluang	4,699	10,50%
Tamankursi	2,428	21,11%
Kalianan	8,407	13,75%

Sumber : Hasil Perhitungan, 2021.

SubDAS Deluwang sesuai dengan tabel 4.13 memiliki sungai terpanjang yaitu 30,913 km dan subDAS Tamankursi memiliki sungai terpendek yaitu 2,428 km. sedangkan kemiringan sungai pada subDAS Deluwang adalah yang paling kecil yaitu 3,48% dan kemiringan terbesar yaitu berada di subDAS Tamankursi. Kedua data diatas digunakan selanjutnya untuk menghitung nilai T_c (*time of concentration*) dan parameter retensi (S).

4.3 Pengolahan Data Non Spasial

Analisis spasial yang telah dilakukan kemudian digunakan dalam perhitungan selanjutnya sebelum diolah pada pemodelan. Proses ini meliputi perhitungan curah hujan kawasan *Thiessen* dan perhitungan tata guna lahan.

4.3.1 Perhitungan Curah Hujan Kawasan Thiessen

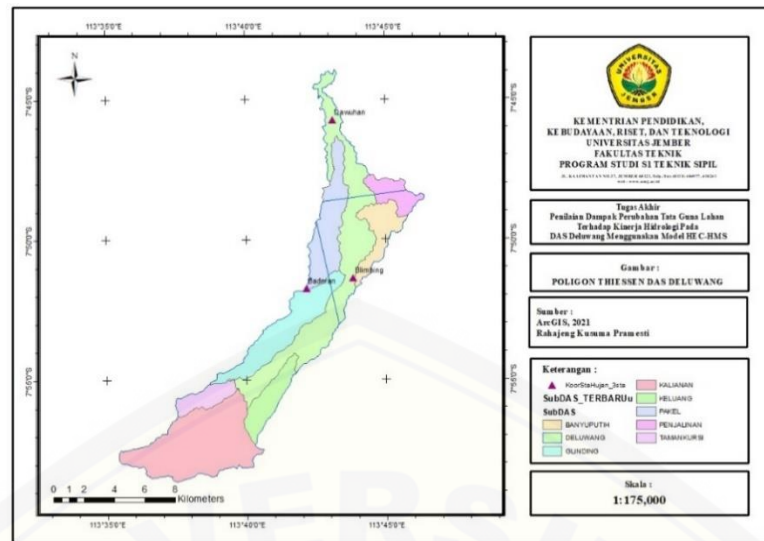
Data curah hujan harian yang digunakan dalam perhitungan merupakan data curah hujan harian periode satu tahunan. DAS Deluwang memiliki tiga stasiun hujan yang mencatat curah hujan yang turun pada DAS tersebut. Tiap stasiun hujan memiliki luas pengaruh yang berbeda, luas pengaruh tiap stasiun hujan ini dihitung dengan metode poligon thiessen untuk menentukan hujan rerata kawasan. Koefisien *thiessen* pada DAS Deluwang ditunjukkan pada tabel 4.14.

Tabel 4.10 Pengaruh Thiessen Tiap Stasiun

No	Stasiun	Luas (km ²)	Persentase	Koef <i>Thiessen</i>
1	Blimbing	28,756	25,121	0,251
2	Dawuhan	15,262	11,333	0,133
3	Baderan	70,451	61,545	0,615
Total		114,468	100	1

Sumber : Hasil Analisis, 2021.

Dari tabel 4.14, dapat dilihat bahwa stasiun Baderan memiliki pengaruh yang paling besar diantara ketiga stasiun lainnya mengenai curah hujan pada DAS Deluwang. Hal ini ditunjukkan dari luas, persentase, dan koefisien *Thiessen* yang paling besar pada stasiun Baderan. Pembagian poligon *thiessen* untuk tiap subDAS ditunjukkan pada gambar 4.9.



Gambar 4.9 Poligon Thiessen SubDAS

Pada gambar 4.9 dapat dilihat bahwa ketiga stasiun pencatat curah hujan memiliki luas pengaruh thiessen yang berbeda-beda untuk setiap subDAS. Stasiun Dawuhan mencakup subDAS Deluwang, Pakel, dan Penjalinan. Stasiun Blimbing mencakup subDAS Deluwang, Pakel, Penjalinan, Banyuwutih dan Glinding. Sedangkan stasiun Baderan memiliki pengaruh yang paling luas yaitu mencakup subDAS Deluwang, Pakel, Glinding, Keluang, Tamankursi, dan Kalianan. Koefisien *Thiessen* pada setiap subDAS disajikan pada tabel 4.15, sedangkan hasil perhitungan curah hujan kawasan Thiessen dicantumkan pada Lampiran 8 dan 9.

Tabel 4.11 Koefisien Thiessen Tiap SubDAS.

Subdas	Stasiun	Luasan	Prosentase	Koef. Thiessen	Total Koef.
Deluwang	Dawuhan	9,07	28,04	0,28	1,00
	Blimbing	11,15	34,49	0,34	
	Baderan	12,11	37,47	0,37	
Pakel	Dawuhan	3,88	28,63	0,29	1,00
	Blimbing	6,23	45,98	0,46	
	Baderan	3,44	25,39	0,25	
Penjalinan	Dawuhan	2,32	44,41	0,44	1,00
	Blimbing	2,90	55,59	0,56	
Banyuwutih	Blimbing	7,52	100,00	1,00	1,00
Glinding	Blimbing	0,96	6,49	0,06	1,00
	Baderan	13,79	93,51	0,94	
	Keluang	Baderan	6,98	100,00	
Tamankursi	Baderan	4,66	100,00	1,00	1,00
Kalianan	Baderan	29,46	100,00	1,00	1,00

Sumber : Hasil Perhitungan, 2021.

4.3.2 Perhitungan Tata Guna Lahan

Penggunaan lahan dari tahun 2006 dan 2009 pada gambar 4.3 dan 4.4 yang telah diolah dan dihitung luasannya pada program ArcGIS kemudian dibandingkan untuk mengetahui selisih luasannya. Tata guna lahan pada DAS Deluwang dikategorikan menjadi 7 jenis yaitu pemukiman, pertanian lahan kering, hutan tanaman, sawah, tanah terbuka, hutan lahan kering sekunder, dan semak belukar. Perbandingan tata guna lahan tahun 2006 dan 2009 dapat dilihat pada tabel 4.16 dan 4.17.

Tabel 4.12 Perbandingan Luas Tata Guna Lahan 2006 dan 2009

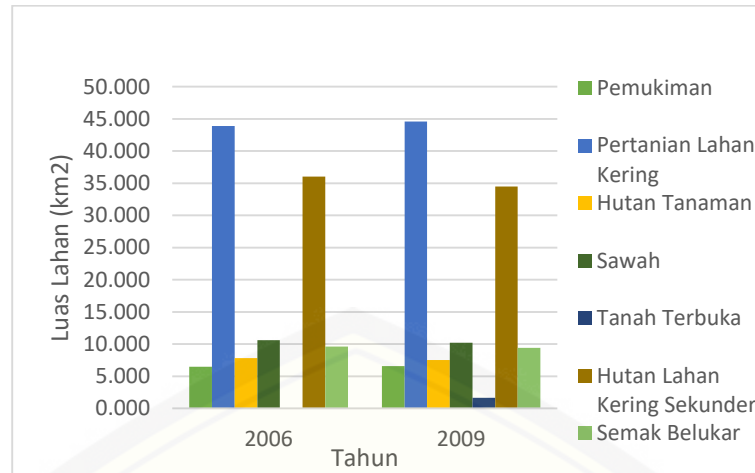
No.	Nama	2006	2009	Selisih
		Luas (km ²)	Luas (km ²)	Luas (km ²)
1	Pemukiman	6,481	6,575	0,094
2	Pertanian Lahan Kering	43,906	44,586	0,680
3	Hutan Tanaman	7,828	7,496	-0,332
4	Sawah	10,584	10,205	-0,378
5	Tanah Terbuka	0,037	1,666	1,629
6	Hutan Lahan Kering Sekunder	36,038	34,515	-1,523
7	Semak Belukar	9,595	9,426	-0,169
		114,468	114,468	

Sumber : Hasil Perhitungan, 2021.

Tabel 4.13 Perbandingan Prosentase Tata Guna Lahan 2006 dan 2009

No.	Nama	2006	2009	Selisih
		%	%	%
1	Pemukiman	5,66	5,74	0,08
2	Pertanian Lahan Kering	38,36	38,95	0,59
3	Hutan Tanaman	6,84	6,55	-0,29
4	Sawah	9,25	8,92	-0,33
5	Tanah Terbuka	0,03	1,46	1,42
6	Hutan Lahan Kering Sekunder	31,48	30,15	-1,33
7	Semak Belukar	8,38	8,23	-0,15
		100	100	

Sumber : Hasil Perhitungan, 2021.



Gambar 4.10 Perbandingan Luas Tata Guna Lahan Tahun 2006 dan 2009
(Hasil Analisis, 2021)

Tata guna lahan pemukiman mengalami kenaikan sebesar 0,08% (0,094 km²), pertanian lahan kering mengalami kenaikan sebesar 0,59% (0,680 km²), hutan tanaman mengalami penurunan sebesar 0,29% (0,332 km²), sawah mengalami penurunan sebesar 0,33% (0,378 km²), tanah terbuka mengalami kenaikan sebesar 1,42% (1,629 km²), hutan lahan kering sekunder mengalami penurunan 1,33%, (1,523 km²), dan semak belukar mengalami kenaikan sebesar 0,15% (0,169 km²). Pada tahun 2006 dan 2009, lahan hutan tanaman dan hutan lahan kering sekunder mengalami penurunan seiring dengan kenaikan dari lahan pemukiman. Pembagian luas dan prosentase tiap tata guna lahan persubdas disajikan pada tabel 4.18.

Tabel 4.14 Perubahan Tata Guna Lahan Tiap Subdas

Subdas	Jenis Lahan	2006		2009	
		Luas (km ²)	%	Luas (km ²)	%
Deluwang	Pemukiman	2,046	6,33	2,071	6,41
	Pertanian Lahan Kering	19,221	59,45	19,388	59,96
	Hutan Tanaman	1,703	5,27	1,652	5,11
	Sawah	5,925	18,33	5,708	17,65
	Tanah Terbuka	0,000	0,00	0,054	0,17
	Hutan Lahan Kering Sekunder	0,544	1,68	0,526	1,63
	Semak Belukar	2,893	8,95	2,932	9,07
			32,333	100,00	32,333
Pakel	Pemukiman	1,224	9,03	1,245	9,19
	Pertanian Lahan Kering	9,080	67,01	9,330	68,85

	Hutan Tanaman	0,413	3,05	0,277	2,05
	Sawah	2,834	20,91	2,660	19,63
	Tanah Terbuka	0,000	0,00	0,037	0,28
		13,551	100	13,551	100
Penjalinan	Pemukiman	0,897	17,19	0,936	17,93
	Pertanian Lahan Kering	1,602	30,70	1,574	30,18
	Hutan Tanaman	2,661	51,01	2,653	50,84
	Sawah	0,021	0,40	0,018	0,34
	Tanah Terbuka	0,037	0,70	0,038	0,72
		5,218	100,00	5,218	100,00
Banyuputih	Pemukiman	1,499	19,94	1,508	20,06
	Pertanian Lahan Kering	4,622	61,49	4,576	60,87
	Hutan Tanaman	0,000	0,00	0,000	0,00
	Sawah	1,395	18,56	1,406	18,71
	Tanah Terbuka	0,000	0,00	0,027	0,36
		7,517	100,00	7,517	100,00
Glinding	Pemukiman	0,815	5,52	0,815	5,53
	Pertanian Lahan Kering	8,478	57,47	8,788	59,57
	Hutan Tanaman	2,002	13,57	1,869	12,67
	Sawah	0,392	2,66	0,396	2,68
	Tanah Terbuka	0,000	0,00	0,021	0,14
	Hutan Lahan Kering Sekunder	1,766	11,97	1,558	10,56
	Semak Belukar	1,298	8,80	1,304	8,84
		14,752	100,00	14,752	100,00
Keluang	Pertanian Lahan Kering	0,902	12,92	0,930	13,32
	Hutan Tanaman	1,048	15,02	1,044	14,97
	Sawah	0,01669	0,24	0,01670	0,24
	Tanah Terbuka	0,000	0,00	0,031	0,45
	Hutan Lahan Kering Sekunder	2,792	40,01	2,725	39,05
	Semak Belukar	2,220	31,81	2,231	31,97
		6,978	100,00	6,978	100,00
Tamankursi	Hutan Lahan Kering Sekunder	4,446	95,41	4,430	95
	Semak Belukar	0,214	4,59	0,219	5
		4,660	100	4,660	100
Kalianan	Tanah Terbuka	0,000	0,00	1,446	4,91
	Hutan Lahan Kering Sekunder	26,490	89,92	25,276	85,80
	Semak Belukar	2,970	10,08	2,738	9,30
		29,460	100	29,460	100

Sumber : Hasil Analisis, 2021.

Setelah mendapatkan hasil perubahan tata guna lahan dan jenis tanah, dilakukan perhitungan nilai CN yang merupakan fungsi dari hubungan debit dan pengaruh dari tata guna lahan dan jenis tanah. Nilai CN tiap penggunaan lahan seperti pada tabel 4.19 didapatkan dari HEC-HMS *Technical Reference Manual* yang telah dituliskan pada tabel 2.2, 2.3, dan 2.4.

Tabel 4.15 Nilai CN

No	Tata Guna Lahan	Kelompok Tanah			
		A	B	C	D
1	Pemukiman	77	85	90	92
2	Pertanian Lahan Kering	61	70	77	80
3	Hutan Tanaman	32	58	72	79
4	Sawah	65	76	84	88
5	Tanah Terbuka	77	86	91	94
6	Hutan Lahan Kering Sekunder	30	55	70	77
7	Semak Belukar	48	67	77	83

(Sumber : HEC-HMS Technical Reference Manual)

Contoh hasil perhitungan nilai CN komposit pada Subdas Deluwang tahun 2006 dapat dilihat pada tabel 4.20, sedangkan perhitungan untuk subdas lainnya disajikan pada lampiran 6 dan 7.

Tabel 4.16 Hasil Perhitungan Nilai CNk Subdas Deluwang 2006

Sub DAS	Deluwang		
Luas SubDAS (km ²)	32,333		
HSG (Hydrologic Soil Class)	C		
Persentase Jenis Tanah	100,00%		
Tahun 2006	Pemukiman	LUAS	2,05
		%	0,06
		CN	90
	Pertanian Lahan Kering	LUAS	19,22
		%	0,59
		CN	77
	Hutan Tanaman	LUAS	1,70
		%	0,05
		CN	72
	Sawah	LUAS	5,93
		%	0,18
		CN	84
Tanah Terbuka	LUAS	0,00	

	%	0,00
	CN	91
Hutan Lahan Kering Sekunder	LUAS	0,54
	%	0,02
	CN	70
Semak Belukar	LUAS	2,89
	%	0,09
	CN	77
Total Persentase		100%
Persubdas	CNk 2006	78,724
Total Luas Tata Guna Lahan		32,333

Sumber : Hasil Perhitungan, 2021.

Perhitungan nilai CNk tiap subDAS dilakukan dengan mengkalikan nilai CN tiap jenis tata guna lahan seperti pada tabel 4.19 dengan luas dari setiap tata guna lahan. Kemudian seluruh nilai CN untuk tiap tata guna lahan dijumlahkan untuk mendapatkan hasil nilai CN komposit pada tiap subDAS yang dapat dilihat pada tabel 4.21.

Tabel 4.17 Nilai CNk perSubDAS

Subdas	CNk 2006	CNk 2009
Deluwang	78,724	78,725
Pakel	79,485	79,505
Penjalinan	76,804	76,907
Banyuputih	80,892	80,968
Glinding	76,388	76,554
Keluang	73,465	73,598
Tamankursi	70,324	70,377
Kalianan	69,604	70,613

Sumber : Hasil Perhitungan, 2021.

Nilai CN pada tahun 2009 mengalami kenaikan, karena perubahan tata guna lahan yang terjadi. Nilai CN tersebut dapat mempengaruhi kenaikan limpasan pada daerah aliran sungai. Nilai CN untuk SubDAS Banyuputih paling besar karena pada subDAS tersebut didominasi oleh lahan pemukiman yang bersifat kedap air. Sedangkan subDAS Kalianan dan Tamankursi memiliki nilai yang paling rendah

karena sebagian besar lahan adalah hutan lahan kering sekunder yang apabila dilihat pada tabel 4.19 memiliki nilai CN yang paling rendah.

4.4 Basin Model

Basin model menggambarkan keadaan DAS yang sesungguhnya. DAS yang telah didelineasi beserta jaringan sungai menggunakan ArcGIS kemudian dimasukkan ke dalam HEC-HMS. Selanjutnya mendefinisikan subdas dengan *subbasin creation tools*, perpotongan sungai dengan *junction creation tools*, titik *outlet* dengan *sink*, dan *reach* untuk menggambarkan sungai sehingga didapatkan basin model seperti pada gambar 4.11.



Gambar 4.11 Basin Model HEC-HMS

4.5 Control Specification

Pada *control specification*, diisi waktu mulai dan berakhirnya pemodelan. Waktu yang dimaksud meliputi tanggal mulai dan berakhirnya pemodelan serta *time interval*. *Time interval* yang digunakan pada pemodelan yaitu 1 harian, dalam kurun waktu satu tahun. Input *control specification* ditunjukkan pada gambar 4.12.

Control Specifications	
Name:	Control 2006
Description:	
*Start Date (ddMMYYYY)	01Jan2006
*Start Time (HH:mm)	00:00
*End Date (ddMMYYYY)	31Dec2006
*End Time (HH:mm)	00:00
Time Interval:	1 Day

Control Specifications	
Name:	Control 2009 - Copy
Description:	
*Start Date (ddMMYYYY)	01Jan2009
*Start Time (HH:mm)	00:00
*End Date (ddMMYYYY)	31Dec2009
*End Time (HH:mm)	00:00
Time Interval:	1 Day

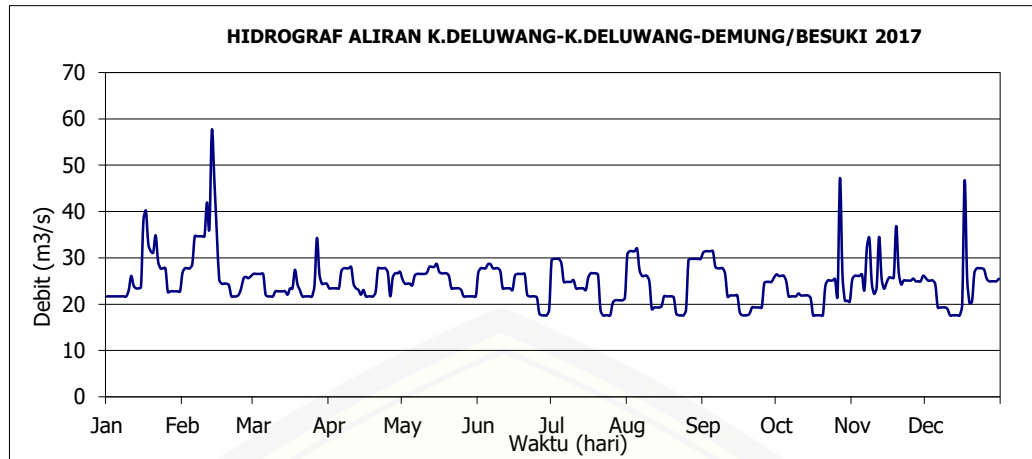
Gambar 4.12 Control Spesification Tahun 2006 dan 2009

4.6 Time Series Data

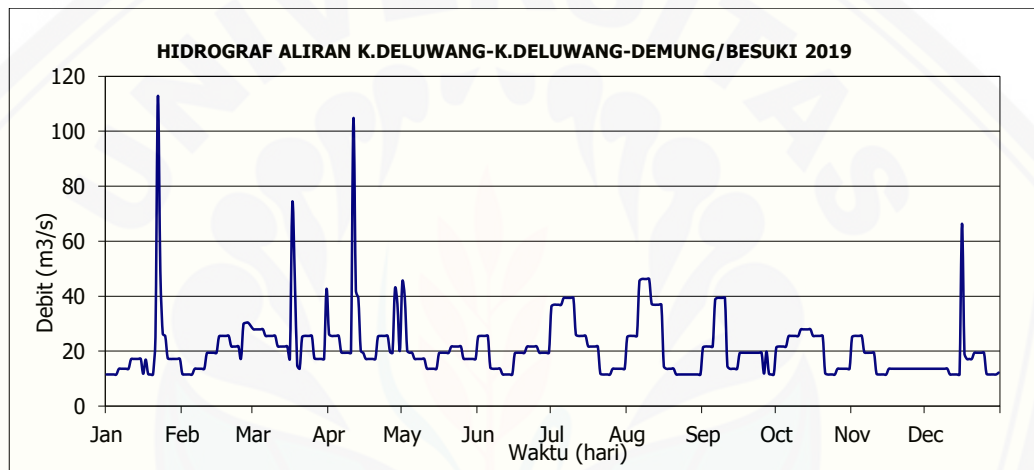
Data curah hujan yang telah dihitung menggunakan metode thiessen serta data debit harian dimasukkan ke dalam time series data. Kedua jenis data ini menjadi variabel pemodelan debit HEC-HMS. Data curah hujan yang dimasukkan merupakan data curah hujan harian persubdas, sedangkan data debit menggunakan data debit harian dalam satu tahunan yang mendeskripsikan debit pada AWLR pada tahun 2006 dan 2009.

Perbandingan digunakan tahun 2006 dan 2009 dengan mempertimbangkan ketersediaan data debit yang ada. Data debit yang diperoleh dari UPT PSDA Bondowoso untuk DAS Deluwang pada tahun terbaru hanya terdapat untuk tahun 2017 dan 2019. Hidrograf debit pada tahun 2017 dan 2019 memiliki pola yang tidak sesuai, yang ditampilkan pada gambar 4.13 dan 4.14. Pada musim kemarau yaitu pada bulan Juni hingga November, debit mengalami kenaikan yang signifikan dengan curah hujan yang sangat minimum. Dapat dilihat pada gambar . Hal ini terjadi karena terjadi pemindahan AWLR mendekati laut sehingga pencatatan AWLR terpengaruh oleh pasang surut air laut.

Data debit pada kedua tahun tersebut tidak dapat digunakan untuk kalibrasi maupun validasi model, karena pada pemodelan membutuhkan data debit sebagai kalibrasi dan validasi model. Sehingga dipilih tahun 2006 dan 2009 untuk perbandingan yang memiliki hidrograf cukup sesuai yaitu ketika curah hujan cenderung sangat kecil, debit juga bernilai kecil pula.



Gambar 4.13 Hidrograf Aliran Observasi DAS Deluwang 2017



Gambar 4.14 Hidrograf Aliran Observasi DAS Deluwang 2019

Pada hidrograf aliran tahun 2017 dan 2019 seperti pada gambar 4.13 dan 4.14, pada bulan Juni hingga November, terjadi kenaikan debit. Akan tetapi, curah hujan pada bulan tersebut sangat rendah yaitu rata-rata sebesar 0 mm. Hal ini menyebabkan ketika dilakukan pemodelan, kalibrasi dan validasi tidak mendapat hasil nilai NSE yang baik karena debit hasil simulasi tidak mendekati debit observasi yang ditunjukkan pada lampiran 10.

4.7 Parameter Pemodelan

Parameter yang akan diinput dalam pemodelan antara lain parameter *loss*, *transform*, *canopy*, *surface*, *baseflow*, dan *routing*. Parameter-parameter tersebut didapatkan dari initial condition dari DAS yang meliputi tata guna lahan, jenis

tanah, panjang sungai, slope, dan impervious, dan initial abstraction yang telah dihitung dengan rumus-rumus pada HEC-HMS *Technical Reference Manual*.

4.7.1 Loss

Metode SCS-CN digunakan dalam perhitungan parameter *loss* pada HEC-HMS. Dalam metode ini, terdapat tiga nilai parameter yang dibutuhkan, antara lain CN, Ia (*initial abstraction*), dan *impervious*. Nilai *initial abstraction* membutuhkan parameter retensi (S). Hasil perhitungan parameter-parameter tersebut disajikan pada tabel 4.22 dan 4.23.

Tabel 4.18 Hasil Perhitungan Parameter Loss SCS-CN Tahun 2006

Subdas	CN	S	Ia (mm)	Imp (%)
Deluwang	78,724	68,645	13,729	3,619
Pakel	79,485	65,555	13,111	2,799
Penjalinan	76,804	76,712	15,342	2,396
Banyuputih	80,892	59,998	12,000	3,098
Glinding	76,388	78,514	15,703	2,284
Keluang	73,465	91,743	18,349	0,000
Tamankursi	70,324	107,183	21,437	0,000
Kalianan	69,604	110,921	22,184	0,000

Sumber : Hasil Perhitungan, 2021.

Tabel 4.19 Hasil Perhitungan Parameter Loss SCS-CN Tahun 2009

Sub DAS	CN	S	Ia (mm)	Imp (%)
Deluwang	78,725	68,642	13,730	3,641
Pakel	79,505	65,475	13,095	2,823
Penjalinan	76,907	76,270	15,254	2,447
Banyuputih	80,968	59,703	11,941	3,107
Glinding	76,554	77,792	15,558	2,284
Keluang	73,598	91,120	18,224	0,000
Tamankursi	70,377	106,914	21,383	0,000
Kalianan	70,613	105,706	21,141	0,000

Sumber: Hasil Perhitungan, 2021.

Berdasarkan tabel 4.22 dan 4.23, CN pada subDAS Banyuputih memiliki nilai yang paling tinggi. Hal ini disebabkan karena pada subDAS tersebut, tata guna lahan yang paling mendominasi adalah pemukiman dan sawah. Sedangkan nilai *impervious* terbesar terdapat pada subDAS Deluwang karena luas pemukiman terbesar berada pada subDAS tersebut.

4.7.2 Transform

Perhitungan parameter transform pada penelitian ini menggunakan metode SCS UH (*Soil Conservation Service Unit Hydrograph*). Terdapat satu parameter yang diinput pada metode ini yaitu Lagtime. Nilai lagtime dihitung berdasarkan waktu konsentrasi (T_c) yang berasal dari karakteristik panjang dan kemiringan sungai pada tabel 4.13. Perhitungan nilai Lagtime menggunakan persamaan 2.9 dan dapat dilihat pada tabel 4.24.

Tabel 4.20 Hasil Perhitungan Parameter Transform

Subdas	T_c (jam)	Lagtime, t_{lag} (jam)
Deluwang	2,184	1,311
Pakel	0,772	0,463
Penjalinan	0,279	0,168
Banyuputih	0,412	0,247
Glinding	0,711	0,427
Keluang	0,344	0,206
Tamankursi	0,170	0,102
Kalianan	0,545	0,327

Sumber : Hasil Perhitungan, 2021.

Berdasarkan hasil pada tabel 4.24 subDAS Deluwang memiliki nilai *lagtime* yang paling lama yaitu 1,311 jam. Hal yang mempengaruhi yaitu subDAS Deluwang yang memiliki kelas kemiringan datar. Sedangkan nilai *lagtime* terkecil yaitu pada subDAS Tamankursi yang memiliki kelas kemiringan paling curam.

4.7.3 Baseflow

Baseflow adalah aliran dasar sungai yang dihitung dengan mengalikan data debit minimum yang ada setiap bulan dengan koefisien DAS. Metode baseflow

pada penelitian ini yaitu dengan metode *constant monthly*. Hasil perhitungan parameter baseflow terdapat pada tabel 4.25 dan 4.26.

Tabel 4.21 Baseflow Tahun 2006

Baseflow 2006 (m ³ /detik)												
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nov	Des
Deluwang	3,78	6,34	1,69	2,43	2,34	2,20	0,19	0,36	0,52	0,61	0,63	0,72
Pakel	1,59	2,66	0,71	1,02	0,98	0,92	0,08	0,15	0,22	0,26	0,26	0,30
Penjalinan	0,61	1,02	0,27	0,39	0,38	0,36	0,03	0,06	0,08	0,10	0,10	0,12
Banyuputih	0,88	1,47	0,39	0,56	0,54	0,51	0,04	0,08	0,12	0,14	0,15	0,17
Glinding	1,73	2,89	0,77	1,11	1,07	1,00	0,09	0,17	0,24	0,28	0,29	0,33
Keluang	0,82	1,37	0,37	0,52	0,50	0,47	0,04	0,08	0,11	0,13	0,14	0,15
Tamankursi	0,55	0,91	0,24	0,35	0,34	0,32	0,03	0,05	0,07	0,09	0,09	0,10
Kalianan	3,45	5,78	1,54	2,21	2,13	2,00	0,18	0,33	0,47	0,56	0,57	0,65

Sumber : Hasil Perhitungan, 2021.

Tabel 4.22 Baseflow Tahun 2009

Baseflow 2009 (m ³ /detik)												
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nov	Des
Deluwang	7,80	7,69	7,80	7,80	8,24	8,24	8,47	8,36	8,36	8,36	8,36	8,36
Pakel	3,27	3,22	3,27	3,27	3,46	3,46	3,55	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50
Penjalinan	1,26	1,24	1,26	1,26	1,33	1,33	1,37	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35
Banyuputih	1,81	1,79	1,81	1,81	1,92	1,92	1,97	1,94	1,94	1,94	1,94	1,94
Glinding	3,56	3,51	3,56	3,56	3,76	3,76	3,86	3,81	3,81	3,81	3,81	3,81
Keluang	1,68	1,66	1,68	1,68	1,78	1,78	1,83	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80
Tamankursi	1,12	1,11	1,12	1,12	1,19	1,19	1,22	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
Kalianan	7,11	7,00	7,11	7,11	7,51	7,51	7,72	7,62	7,62	7,62	7,62	7,62

Sumber : Hasil Perhitungan, 2021.

Dari hasil pada tabel 4.25 dan 4.26 dapat diketahui bahwa baseflow pada tiap subDAS dari tahun 2006 ke 2009 mengalami pertambahan.

4.7.4 Routing

Parameter routing pada penelitian ini digunakan untuk menelusuri aliran pada sungai utama. Metode yang dipakai pada routing ialah Muskingum, dimana terdapat tiga nilai yang dimasukkan yaitu nilai K , x , dan *number of step*. Nilai parameter Muskingum dapat dilihat pada tabel 4.27.

Tabel 4.23 Parameter Muskingum

<i>Reach</i>	K	x	<i>Number of Reach</i>
<i>Reach-1</i>	0,9	0,3	1
<i>Reach-2</i>	0,9	0,3	1
<i>Reach-3</i>	0,9	0,3	1
<i>Reach-4</i>	0,9	0,3	1
<i>Reach-5</i>	0,9	0,3	1
<i>Reach-6</i>	0,9	0,3	1

Sumber : Hasil Perhitungan, 2021.

Nilai parameter Muskingum dipilih seperti pada tabel 4.27 dengan menggunakan cara *trial and error* dan sesuai dengan rentang nilai parameter untuk kalibrasi. Hal ini dilakukan karena data karakteristik DAS yang terbatas. Untuk nilai K yang merupakan waktu perjalanan air diisi 0,9 dan nilai x yang merupakan titik berat dimensi saluran diisi dengan 0,3 sedangkan *number of step* diisikan dengan angka 1 karena merupakan jumlah *reach* yang terhubung.

4.7.5 Canopy

Parameter canopy dimaksudkan untuk nilai curah hujan yang tertampung pada pohon terutama dedaunannya yang menutupi tanah sehingga air hujan tidak sampai jatuh ke tanah. Nilai parameter *canopy initial storage* ini didapatkan dari prosentase hutan. Sedangkan nilai max storage diisikan nilai 20 dengan cara *trial and error*. Nilai parameter canopy yang dimasukkan dalam *input* parameter HEC-HMS disajikan pada tabel 4.28.

Tabel 4.24 Parameter Canopy

SUBBASIN	Initial Storage (%)	Max Storage (MM)	Crop Coefficient
Deluwang	0.07	20	1
Pakel	0.03	20	1
Penjalinan	0.51	20	1
Banyuputih	0	20	1
Glinding	0.26	20	1
Keluang	0.55	20	1
Tamankursi	0.95	20	1
Kalianan	0.9	20	1

Sumber : Hasil Perhitungan, 2021.

4.7.6 Surface

Nilai *surface* didapatkan dari tampungan air yang berada pada sawah, maupun lapangan di daerah yang lebih rendah dari pepohonan. Dengan kata lain, nilai parameter *surface* berasal dari air hujan yang tidak tertampung pada *canopy*. Volume air yang hilang dari *surface* ini berasal dari terjadinya evaporasi dan infiltrasi. Nilai *initial storage surface* ini didapat dari jumlah persentase sawah dan pertanian lahan kering. Nilai parameter *surface* yaitu ditampakkan pada tabel 4.29.

Tabel 4.25 Parameter Surface

SubDAS	<i>Initial Storage (%)</i>	<i>Max Storage (MM)</i>
Deluwang	18.33	59.45
Pakel	20.91	67.01
Penjalinan	0.4	30.7
Banyuputih	18.56	61.49
Glinding	2.66	57.47
Keluang	0.24	12.92
Tamankursi	4.59	25
Kalianan	10.08	14

Sumber : Hasil Perhitungan, 2021.

4.8 Running Model

Basin model, meteorologic model, control specification, dan time series data berupa data hujan, data debit harian tahun 2006, dan parameter-parameter input, yang telah dimasukkan pada *component* model kemudian di running pada section *compute* sehingga didapat hasil pemodelan pada program HEC-HMS. Hasil running model tersebut dianalisis dengan melihat grafik dan nilai NSE. Running model dilakukan meliputi kalibrasi dan validasi.

4.9 Kalibrasi

Kalibrasi dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan parameter yang terbaik. Parameter yang telah dikalibrasi selanjutnya divalidasi pada tahun lainnya untuk memastikan parameter yang digunakan dalam pemodelan telah sesuai dan dapat menghasilkan model yang bagus. Kalibrasi pada program HEC-HMS dilakukan dengan cara mengoptimasi dengan Optimization Manager. Parameter yang telah dimasukkan pada program kemudian dioptimasi hingga mendapatkan

nilai NSE (*Nash-Sutcliff Efficiency*) yang paling baik. Hasil optimasi parameter *canopy* dan *surface* ditunjukkan pada tabel 4.30 dan 4.31.

Tabel 4.26 Optimasi Parameter *Canopy*

Subdas	Parameter	Units	Initial Value	Optimized Value
Subdas 1	<i>Simple Canopy - Initial Storage</i>	%	0,07	2,3181
Subdas 2	<i>Simple Canopy - Initial Storage</i>	%	0,03	3,8935
Subdas 3	<i>Simple Canopy - Initial Storage</i>	%	0,51	7,4491
Subdas 4	<i>Simple Canopy - Initial Storage</i>	%	0	6,9792
Subdas 5	<i>Simple Canopy - Initial Storage</i>	%	0,26	11,677
Subdas 6	<i>Simple Canopy - Initial Storage</i>	%	0,55	18,409
Subdas 7	<i>Simple Canopy - Initial Storage</i>	%	0,95	26,763
Subdas 8	<i>Simple Canopy - Initial Storage</i>	%	0,9	22,297
Subdas 1	<i>Simple Canopy - Max Storage</i>	MM	20	556,97
Subdas 2	<i>Simple Canopy - Max Storage</i>	MM	20	523,59
Subdas 3	<i>Simple Canopy - Max Storage</i>	MM	20	498,24
Subdas 4	<i>Simple Canopy - Max Storage</i>	MM	20	443,86
Subdas 5	<i>Simple Canopy - Max Storage</i>	MM	20	658,28
Subdas 6	<i>Simple Canopy - Max Storage</i>	MM	20	40,313
Subdas 7	<i>Simple Canopy - Max Storage</i>	MM	20	210,91
Subdas 8	<i>Simple Canopy - Max Storage</i>	MM	20	508,256

Sumber : Hasil Perhitungan, 2021.

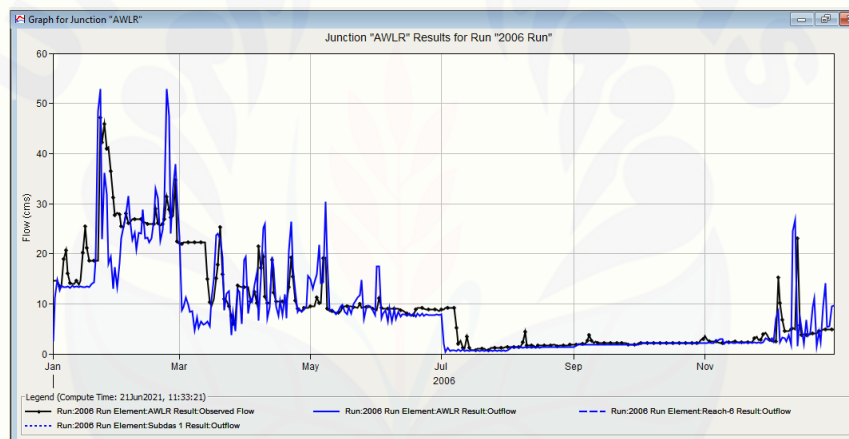
Tabel 4.27 Hasil Optimasi Parameter *Surface*

Subbasin	Parameter	Units	Initial Value	Optimized Value
Subdas 1	<i>Simple Surface - Initial Storage</i>	%	18,33	10,98
Subdas 2	<i>Simple Surface - Initial Storage</i>	%	20,91	18,787
Subdas 3	<i>Simple Surface - Initial Storage</i>	%	0,4	0,76811
Subdas 4	<i>Simple Canopy - Initial Storage</i>	%	18,56	42,789
Subdas 5	<i>Simple Surface - Initial Storage</i>	%	2,66	8,4248
Subdas 6	<i>Simple Surface - Initial Storage</i>	%	0,24	3,6481
Subdas 7	<i>Simple Surface - Initial Storage</i>	%	4,59	31,412
Subdas 8	<i>Simple Surface - Initial Storage</i>	%	10,08	95,74

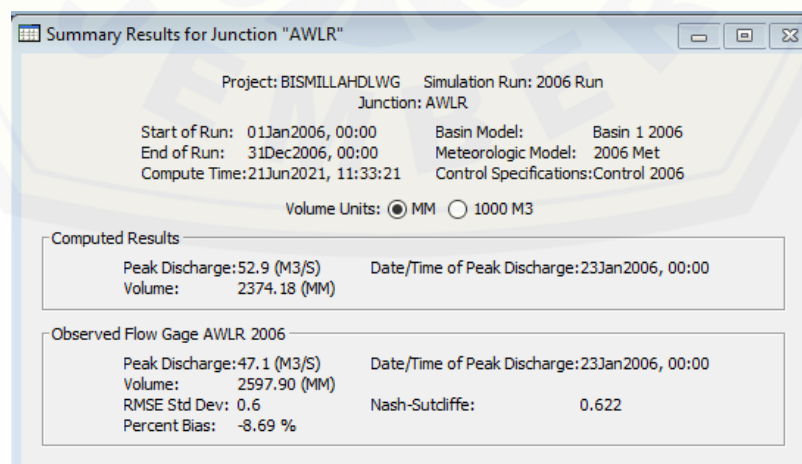
Subdas 1	<i>Simple Surface - Max Storage</i>	MM	59,45	1500
Subdas 2	<i>Simple Surface - Max Storage</i>	MM	67,01	1500
Subdas 3	<i>Simple Surface - Max Storage</i>	MM	30,7	1414,36
Subdas 4	<i>Simple Surface - Max Storage</i>	MM	61,49	1060,6
Subdas 5	<i>Simple Surface - Max Storage</i>	MM	57,47	1483,45
Subdas 6	<i>Simple Surface - Max Storage</i>	MM	12,92	128,89
Subdas 7	<i>Simple Surface - Max Storage</i>	MM	25	122,69
Subdas 8	<i>Simple Surface - Max Storage</i>	MM	14	34,435

(Sumber : Hasil Optimasi HEC-HMS, 2021)

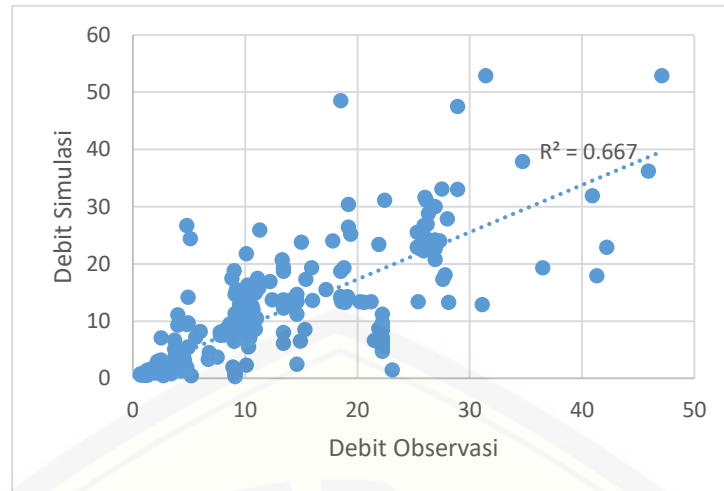
Parameter yang telah dioptimasi seperti pada tabel 4.30 dan 4.31 dimasukkan kembali kedalam parameter dan kembali *dirunning* sehingga mendapatkan hasil seperti pada gambar 4.15 dan 4.16.



Gambar 4.15 Grafik Hasil *Running* Optimasi Tahun 2006



Gambar 4.16 Hasil *Running* Optimasi Tahun 2006



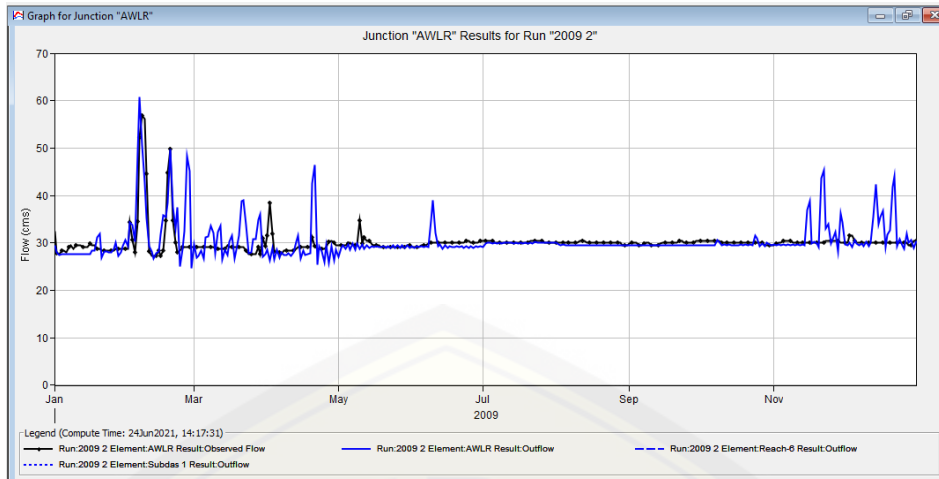
Gambar 4.17 Scatter Plot Debit Tahun 2006

Berdasarkan hasil running kalibrasi pada Gambar 4.15 dan 4.16, didapat nilai NSE sebesar 0,622. Nilai tersebut merupakan nilai NSE dengan tingkat keakuratan baik sehingga nilai parameter dapat digunakan pada proses validasi. Selain menggunakan NSE, hasil debit pemodelan juga dicek dengan *scatter plot* pada gambar 4.17 yang menghasilkan nilai R^2 sebesar 0,667.

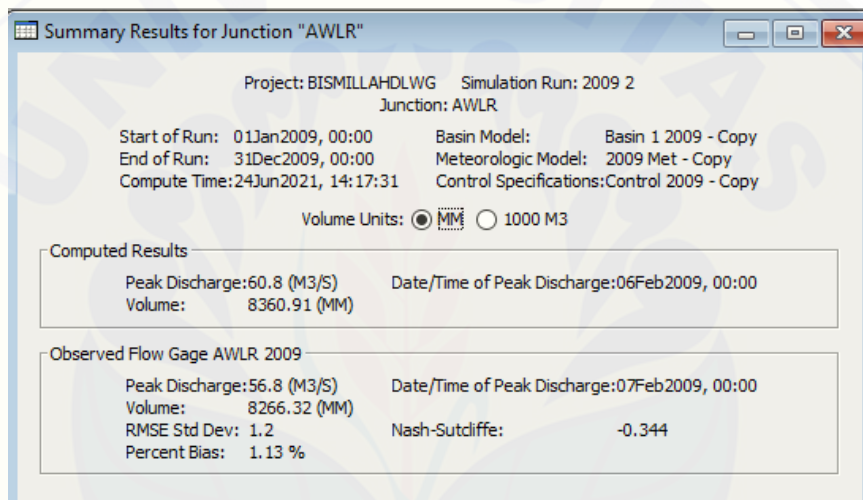
Debit puncak yang dihasilkan pada proses kalibrasi yaitu sebesar 52,9 m³/s dan persentase perbedaan 8,69%. Waktu debit puncak yang dihasilkan model sama dengan debit puncak observasi yaitu pada tanggal 23 Jan 2006. Volume debit yang dihasilkan memiliki perbedaan sebesar 8,69% dibawah debit observasi.

4.10 Validasi

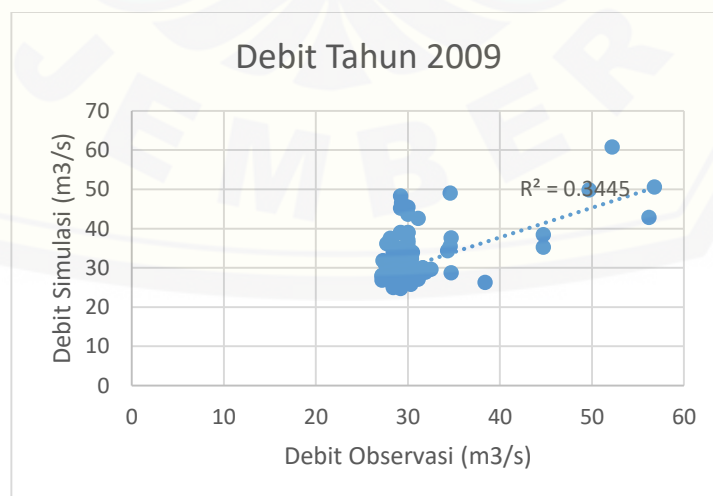
Parameter yang telah dikalibrasi pada tahun 2006 kemudian dikunci dan digunakan pada tahun 2009, dengan data curah hujan, tata guna lahan, dan baseflow tahun 2009. Setelah memasukkan semua parameter dan variabel curah hujan, model *dirunning* sehingga mendapatkan hasil seperti pada gambar 4.18 dan 4.19.



Gambar 4.18 Grafik Hasil Validasi Debit Tahun 2009



Gambar 4.19 Hasil Validasi Debit Tahun 2009



Gambar 4.20 Scatter Plot Debit Tahun 2009

Parameter yang telah divalidasi pada tahun 2009 memperoleh hasil NSE sebesar -0,344 dan R^2 dengan nilai 0,3445 yang berarti memiliki tingkat akurasi buruk. Debit puncak yang dihasilkan model lebih tinggi daripada debit observasi dan memiliki percent bias sebesar 1,13%, yang menunjukkan volume hasil pemodelan *overestimate* atau lebih tinggi daripada volume observasi. Akan tetapi grafik debit cukup menggambarkan kejadian debit puncak yang cukup menyerupai dengan data debit observasi.

4.11 Penilaian Respon Debit akibat Perubahan Tata Guna Lahan

Tahap penelitian ini dilakukan dengan membandingkan debit maksimum hasil simulasi model HEC-HMS dengan nilai CN dan perubahan tata guna lahan hutan yang terjadi pada tahun 2006 dan 2009. Adapun hasil perubahan respon debit model HEC-HMS pada tahun 2006 dan 2009 ditunjukkan pada Tabel 4.32.

Tabel 4.28 Perubahan Respon Debit Tahun 2006 dan 2009

Bulan	Debit (m ³ /s)	
	2006	2009
Januari	17,71	28,29
Februari	28,00	36,09
Maret	11,03	30,55
April	13,19	28,98
Mei	11,70	29,12
Juni	8,43	29,82
Juli	0,96	29,98
Agustus	1,27	29,61
September	1,81	29,60
Oktober	2,18	29,77
November	2,36	31,90
Desember	6,59	29,96
Rata-Rata	8,63	30,26
Debit Maksimum	52,9	60,8
Debit Minimum	0,3	24,7
Qmaks/Qmin	176,3333	2,461538

Sumber : Hasil Perhitungan, 2021.

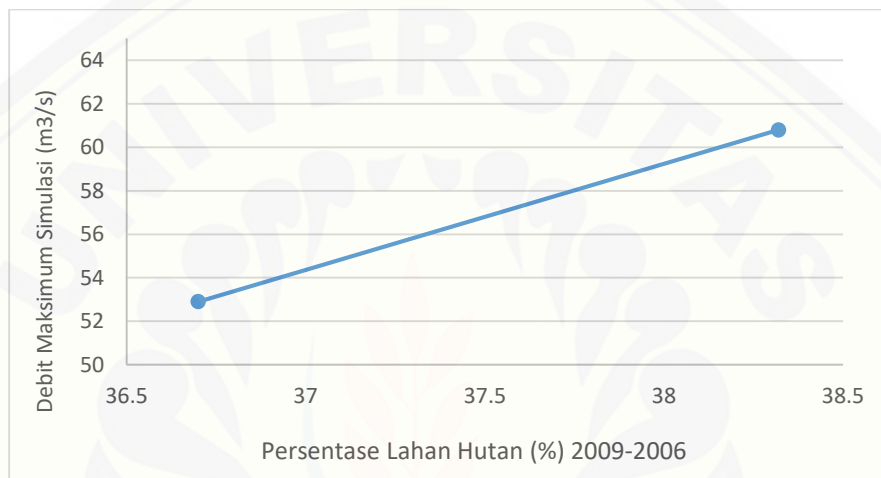
Debit maksimum hasil simulasi pada tahun 2006 pada DAS Deluwang yaitu sebesar 52,9 m³/s, sedangkan pada tahun 2009 sebesar 60,8 m³/s. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi kenaikan debit maksimum pada DAS Deluwang seperti digambarkan pada gambar 4.21. Selain perubahan debit, perubahan lahan hutan

yang merupakan penjumlahan dari lahan hutan tanaman dan hutan lahan kering sekunder ditunjukkan pada tabel 4.33.

Tabel 4.29 Perubahan Tata Guna Lahan Hutan

Jenis Tata Guna Lahan	2006		2009	
	Luas (km ²)	%	Luas (km ²)	%
Hutan Tanaman	7,828	6,84	7,496	6,55
Hutan Lahan Kering Sekunder	36,038	31,48	34,515	30,15
Total Luas	43,866	38,82	42,011	36,70

Sumber : Hasil Perhitungan, 2021.



Gambar 4.21 Grafik Perbandingan Lahan Hutan dan Debit Maksimum Simulasi

Berdasarkan Grafik Perbandingan Lahan Hutan dan Debit Maksimum Simulasi pada Gambar 4.21 dapat disimpulkan bahwa penurunan presentase hutan pada DAS menyebabkan kenaikan pada debit maksimum yang ada tiap tahunnya. Hal ini terjadi karena penurunan vegetasi mengakibatkan tampungan air dalam tanah menjadi semakin berkurang sehingga debit yang ada di permukaan semakin meningkat.

4.11.1 Penilaian Respon Debit Akibat Perubahan Tata Guna Lahan Persubdas

Debit hasil pemodelan yang ada pada setiap subDAS dijabarkan pada tabel 4.31 yang meliputi debit rerata tiap bulan, debit maksimum, dan debit minimum. Setiap subDAS pada DAS Deluwang memiliki karakteristik yang berbeda sehingga menghasilkan pola respon debit yang berbeda pula. Respon debit yang dihasilkan

pada DAS Deluwang untuk tahun 2006 dan 2009 pada tiap subDAS berturut-turut dijabarkan pada tabel 4.34 dan 4.35.

Tabel 4.30 Debit Hasil Pemodelan Tahun 2006

Bulan	Debit (m ³ /s)							
	Deluwang	Pakel	Penjalinan	Banyuputih	Glinding	Keluang	Tamankursi	Kalianan
Jan	3,76	1,58	0,59	0,90	1,68	2,08	1,19	5,95
Feb	6,40	2,68	1,00	1,49	2,89	2,29	1,53	9,69
Mar	1,95	0,79	0,32	0,91	0,88	1,08	0,71	4,51
Apr	2,49	1,02	0,40	1,44	1,12	1,12	0,76	4,73
Mei	2,38	1,00	0,40	0,52	1,11	1,05	0,71	4,45
Jun	2,21	0,90	0,40	0,50	1,01	0,60	0,37	2,44
Jul	0,26	0,13	0,01	0,02	0,13	0,02	0,01	0,26
Agt	0,39	0,20	0,10	0,10	0,20	0,10	0,10	0,30
Sep	0,50	0,20	0,10	0,10	0,20	0,10	0,10	0,49
Okt	0,60	0,30	0,10	0,10	0,30	0,10	0,10	0,60
Nov	0,61	0,30	0,10	0,23	0,30	0,10	0,10	0,60
Des	0,79	0,32	0,11	0,77	0,33	0,70	0,45	2,90
Rata-Rata	1,83	0,77	0,30	0,58	0,83	0,77	0,50	3,03
Qmaks	7,00	2,90	1,10	5,90	3,20	16,10	9,90	30,90
Qmin	0,20	0,10	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,20

Sumber : Hasil Perhitungan, 2021.

Tabel 4.31 Debit Hasil Pemodelan Tahun 2009

Bulan	Debit (m ³ /s)							
	Deluwang	Pakel	Penjalinan	Banyu	Glinding	Keluang	Tamankur	Kalianan
Jan	7,82	3,31	1,30	1,80	3,61	2,17	1,25	7,12
Feb	7,82	3,26	1,24	1,83	3,56	3,28	2,19	12,95
Mar	7,85	3,30	1,30	1,81	3,60	2,16	1,43	9,12
Apr	7,82	3,30	1,30	1,81	3,60	1,91	1,25	8,02
Mei	8,20	3,49	1,30	1,90	3,79	1,80	1,20	7,49
Jun	8,22	3,50	1,30	1,90	3,80	1,90	1,26	7,92
Jul	8,49	3,52	1,40	2,00	3,90	1,80	1,20	7,69
Agt	8,40	3,50	1,30	1,90	3,80	1,80	1,20	7,60
Sep	8,40	3,50	1,30	1,90	3,80	1,80	1,20	7,60
Okt	8,41	3,51	1,32	2,07	3,80	1,80	1,20	7,60
Nov	8,43	3,51	1,33	2,38	3,82	2,10	1,40	8,88
Des	8,43	3,51	1,34	2,25	3,82	2,14	1,43	9,04
Rata-Rata	8,19	3,44	1,31	1,96	3,74	2,05	1,35	8,39
Qmaks	8,70	3,60	1,40	7,70	4,00	7,10	4,40	27,80
Qmin	7,70	3,20	1,20	1,80	3,50	1,70	1,10	7,00

Sumber : Hasil Perhitungan, 2021.

Berdasarkan tabel 4.34 dan 4.35, pola respon debit simulasi tiap subDAS berbeda-beda. Hal ini disebabkan karena karakteristik tiap subDAS yang berbeda, baik tata guna lahan maupun curah hujannya. Debit maksimum pada subDAS Deluwang, Pakel, Penjalinan, dan Glinding mengalami kenaikan pada tahun 2009. Sedangkan debit maksimum pada subDAS Keluang, Tamankursi, dan Kalianan justru mengalami penurunan. Debit maksimum tiap subDAS selanjutnya dibandingkan dengan persentase hutan. Berikut perbandingan perubahan tata guna lahan hutan tiap subDAS ditunjukkan pada tabel 4.36.

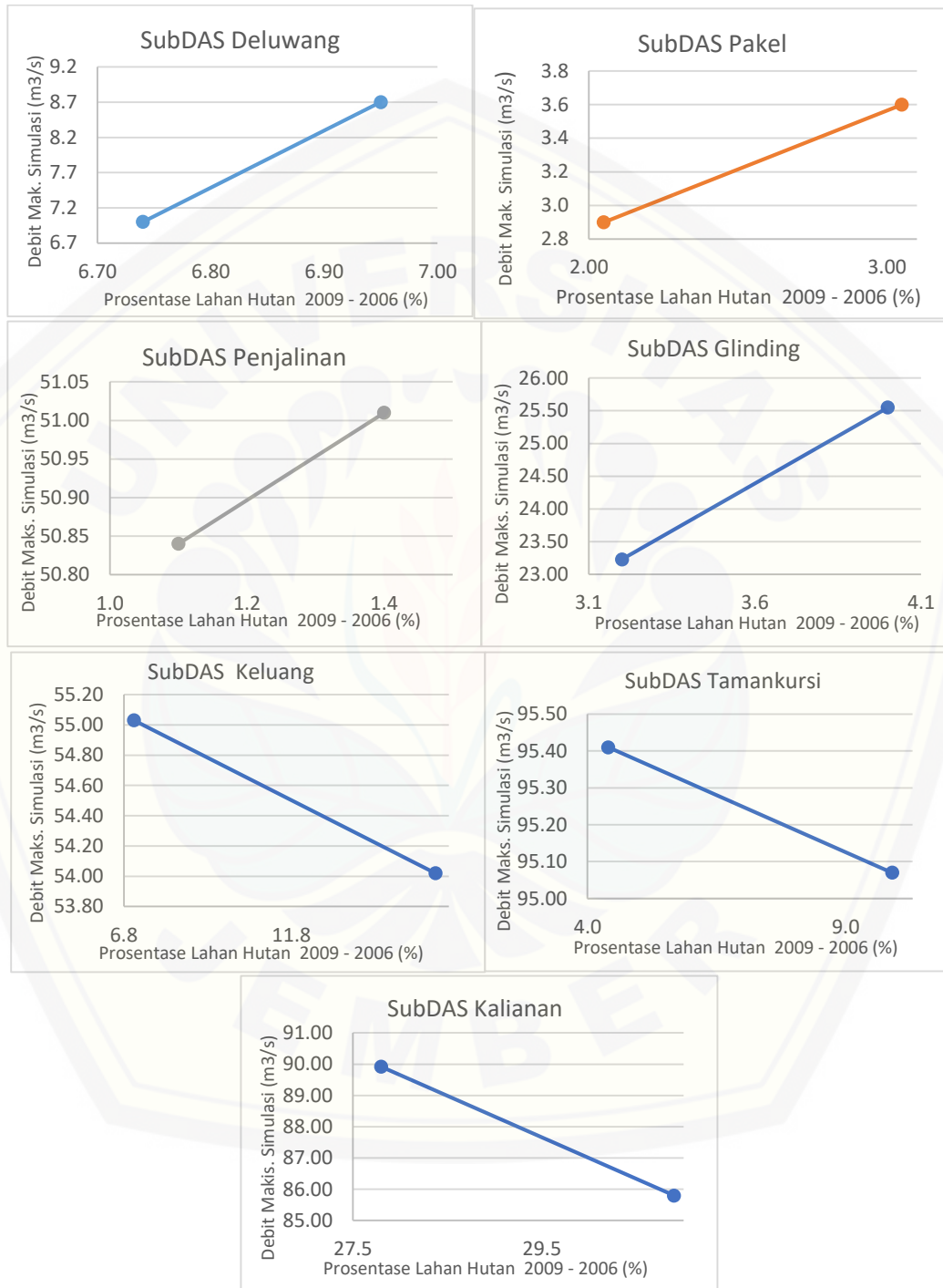
Tabel 4.32 Perbandingan Perubahan Lahan Hutan 2006 dan 2009 Persubdas

Subdas	Nama	2006		2009	
		Luas (km ²)	%	Luas (km ²)	%
Deluwang	Hutan Tanaman	1,703	5,27	1,652	5,11
	Hutan Lahan Kering Sekunder	0,544	1,68	0,526	1,63
		2,247	6,95	2,179	6,74
Pakel	Hutan Tanaman	0,413	3,05	0,277	2,05
		0,413	3,05	0,277	2,05
Penjalinan	Hutan Tanaman	2,661	51,01	2,653	50,84
		2,661	51,01	2,653	50,84
Glinding	Hutan Tanaman	2,002	13,57	1,869	12,67
	Hutan Lahan Kering Sekunder	1,766	11,97	1,558	10,56
		3,769	25,55	3,426	23,33
Keluang	Hutan Tanaman	1,048	15,02	1,044	14,97
	Hutan Lahan Kering Sekunder	2,792	40,01	2,725	39,05
		3,840	55,03	3,770	54,02
Tamankursi	Hutan Lahan Kering Sekunder	4,446	95,41	4,430	95,07
		4,446	95,41	4,430	95,07
Kalianan	Hutan Lahan Kering Sekunder	26,490	89,92	25,276	85,80
		26,490	89,92	25,276	85,80

Sumber : Hasil Perhitungan, 2021.

Persentase lahan hutan pada tahun 2006 ke 2009 mengalami penurunan. Penurunan yang paling signifikan adalah pada subDAS Kalianan dimana lahan hutan sebagian terkonversi menjadi tanah terbuka dan semak belukar yang semakin melebar. Sedangkan subDAS Deluwang mengalami penurunan karena meluasnya lahan pemukiman dan pertanian lahan kering.

Presentase perubahan hutan dari tahun 2006 ke 2009 selanjutnya dibandingkan dengan debit maksimum hasil pemodelan menggunakan HEC-HMS sehingga dapat disimpulkan kinerja hidrologi pada tiap subDAS. Perbandingan tersebut dapat dilihat pada gambar 4.22.



Gambar 4.22 Grafik Perbandingan Persentase Hutan dan Debit Maksimum Simulasi Tiap Subdas

Berdasarkan gambar 4.22 dapat disimpulkan bahwa debit maksimum pada setiap subDAS memiliki pola yang berbeda dimana pada subdas Deluwang, Pakel, Penjalinan, Glinding terjadi penurunan persentase hutan yang menyebabkan debit maksimum mengalami kenaikan, sedangkan pada subDAS Keluang, Tamankursi, dan Kalianan penurunan persentase hutan justru menyebabkan penurunan debit maksimum. Hal ini disebabkan karena penurunan pola curah hujan pada periode debit puncak dan tata guna lahan ketiga subDAS yang hanya didominasi oleh hutan lahan kering dan semak belukar. Pada subdas Banyuputih tidak ditunjukkan perubahannya karena tidak adanya lahan hutan yang dapat dianalisis.

4.11.2 Penilaian Respon Debit Akibat Perubahan Nilai CN Dengan Debit Maksimum

Perubahan nilai CN komposit pada tiap subdas juga dibandingkan dengan debit maksimum hasil pemodelan. Perbandingan CN komposit dan debit maksimum hasil simulasi tahun 2006 dan 2009 dijabarkan pada tabel 4.37.

Tabel 4.33 Perbandingan CN Komposit dan Debit Maksimum Simulasi Tahun 2006 Dan 2009

Subdas	2006		2009	
	CNk	Debit Maksimum (m ³ /s)	CNk	Debit Maksimum (m ³ /s)
Deluwang	78,724	7,00	78,725	8,70
Pakel	79,485	2,90	79,505	3,60
Penjalinan	76,804	1,10	76,907	1,40
Banyuputih	80,892	5,90	80,968	7,70
Glinding	76,388	3,20	76,554	4,00
Keluang	73,465	16,10	73,598	7,10
Tamankursi	70,324	9,90	70,377	4,40
Kalianan	69,604	30,90	70,613	27,80

Sumber : Hasil Analisis, 2021.

Nilai CN yang meningkat menyebabkan kenaikan debit maksimum pada subDAS Deluwang, Pakel, Penjalinan, Banyuputih, dan Glinding seperti yang terlihat pada tabel 4.37. Hal tersebut terjadi karena semakin besar nilai CN yang mengindikasikan semakin besarnya penurunan kapasitas resapan yang

menyebabkan aliran permukaan meningkat. Sedangkan penurunan debit maksimum seiring dengan kenaikan nilai CN terdapat pada subDAS Keluang, Tamankursi, dan Kalianan yang disebabkan oleh penurunan curah hujan pada subDAS pada periode debit puncak yang sama. Selain itu, pada tiga DAS tersebut tidak terdapat faktor *impervious* (kedap air) dimana hanya didominasi oleh hutan lahan kering, semak belukar, dan tanah terbuka yang menyebabkan kemampuan tanah dalam meresap air lebih baik daripada subDAS yang terdapat banyak lahan kedap air.



BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan bahwa :

1. Perubahan tata guna lahan DAS Deluwang dari tahun 2006 hingga tahun 2009 adalah sebagai berikut :
 - a. Persentase pemukiman meningkat sebesar 0,08%,
 - b. Persentase pertanian lahan kering berkurang sebesar 0,59%,
 - c. Persentase hutan tanaman berkurang sebesar 0,29%
 - d. Persentase sawah berkurang sebesar 0,33%
 - e. Persentase tanah terbuka meningkat sebanyak 1,24%
 - f. Persentase hutan lahan kering sekunder menurun sebesar 1,33%, dan
 - g. Persentase semak belukar meningkat sebesar 0,33%
2. Pemodelan debit menggunakan program HEC-HMS pada tahun 2006 menghasilkan nilai NSE 0,622 dan validasi pada tahun 2009 sebesar -0,344 yang berarti hasil parameter kalibrasi tidak menghasilkan nilai validasi yang baik.
3. Penurunan presentase hutan secara menyeluruh menyebabkan debit maksimum hasil pemodelan juga ikut meningkat. Hal ini karena penurunan vegetasi yang ada dapat mempengaruhi menurunnya penyerapan air dalam tanah sehingga air lebih banyak melimpas di permukaan dibuktikan dengan kenaikan nilai CN yang ada.
4. Karakteristik hidrologi setiap subdas berbeda-beda. Berdasarkan respon debit yang ada, subDAS Deluwang, Penjalinan, Pakel, dan Glinding menghasilkan respon yang sama yaitu dengan menurunnya lahan hutan serta meningkatnya nilai CN maka debit maksimum mengalami kenaikan. Sedangkan respon debit maksimum pada subDAS Keluang, Tamankursi, dan Kalianan, seiring dengan penurunan persentase lahan hutan serta meningkatnya nilai CN justru menyebabkan penurunan debit maksimum yang ada. Hal ini disebabkan oleh perbedaan pola curah hujan tiap subDAS dimana terjadi penurunan curah hujan pada periode debit puncak yang sama pada ketiga subDAS tersebut.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan pada penelitian antara lain:

1. Hasil validasi yang buruk dapat disebabkan oleh kualitas data yang ada sehingga pencatatan data diharapkan dilakukan dengan akurat supaya menghasilkan hasil penelitian yang lebih baik dan rentang waktu penelitian yang lebih beragam.
2. Sebaiknya digunakan jangka waktu perubahan tata guna lahan yang lebih panjang.
3. Sebaiknya digunakan data DEM dengan resolusi yang lebih baik agar didapatkan hasil pemodelan yang lebih baik dan menggambarkan keadaan yang sesuai.
4. Dapat dilakukan analisis mengenai pengaruh pasang surut air laut terhadap debit pada DAS Deluwang.

DAFTAR PUSTAKA

- Allen, R. V., Rusnam, R., Arlius, F., & Herdianto, R. 2019. Analisis Perubahan Penggunaan Lahan Daerah Aliran Sungai (DAS) Air Dingin Dan Dampaknya Terhadap Aliran Permukaan. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung (Journal of Agricultural Engineering)*. 8(3): 198-207.
- Anwar, N., dan Andiek, M. 2010. Aplikasi Strom Water Management Model (SWMM) untuk Daerah Aliran Sungai Deluwang Situbondo Jawa Timur. Surabaya: Institut Teknologi Surabaya.
- Arifin, M., Hidayah, E., & Widiarti, W. Y. 2018. Perbandingan Metode SCS UH dan Clark UH dalam Pemodelan Hujan Aliran pada DAS Deluwang. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Lingkungan*, 2(01), 77-86.
- Arsyad, S. 1989. *Pengawetan tanah dan air*. Bogor: Departemen Ilmu Tanah IPB.
- Arsyad, S. 2010. *Konservasi tanah dan Air. Edisi kedua*. Bogor: Departemen Ilmu Tanah IPB.
- Asdak, C. 2010. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Air Sungai*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- As-Syakur, A. R., Suarna, I. W., Adnyana, I. S., Rusna, I. W., Laksmiwati, I. A., & Diara, I. W. 2008. Studi perubahan penggunaan lahan di DAS Badung. *Bumi Lestari Journal of Environment*. 10(2).
- Aurdin, Y. 2014. Pengaruh Perubahan Tataguna Lahan Terhadap Karakteristik Hidrograf Banjir (Studi Kasus DAS Dengkeng dan DAS Jlantah Bagian Hulu Bengawan Solo Kabupaten Sukoharjo, Provinsi Jawa Tengah). *Jurnal Tekno Global*. 3(1): 1-13
- Berihun, M. L., Tsunekawa, A., Haregeweyn, N., Meshesha, D. T., Adgo, E., Tsubo, M., ... & Ebabu, K. 2019. Hydrological responses to land use/land cover change and climate variability in contrasting agro-ecological environments of the Upper Blue Nile basin, Ethiopia. *Science of The Total Environment*. 689: 347-365.
- Burrough, P. A. 1986. Principles of geographical. Information systems for land resource assessment. Clarendon Press, Oxford.
- Chemura, A., Rwasoka, D., Mutanga, O., Dube, T., & Mushore, T. 2020. *The impact of land-use/land cover changes on water balance of the heterogeneous Buzi sub-catchment, Zimbabwe. Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 18, 100292.
- ESRI. 2016. *How To: Create a watershed model using the Hydrology toolset*. <https://support.esri.com/en/technical-article/000012346>. [Diakses pada 22 Februari 2021].

- Farizki, M., & Anurogo, W. 2017. Pemetaan kualitas permukiman dengan menggunakan penginderaan jauh dan SIG di kecamatan Batam kota, Batam. *Majalah Geografi Indonesia*. 31(1): 39-45.
- Febrianti, I., Ridwan, I., & Nurlina, N. 2018. Model SWAT (Soil and Water Assesment Tool) untuk Analisis Erosi dan Sedimentasi di Catchment Area Sungai Besar Kabupaten Banjar. *Jurnal Fisika FLUX*. 15(1): 20-25.
- Hadisusanto, N. 2011. *Aplikasi hidrologi*. Yogyakarta: Jogja Media Utama.
- Halik, G. 2018. *Pemodelan Hidroteknik*. Jember: UNEJ Press.
- Halim, F. 2014. Pengaruh Hubungan Tata Guna Lahan Dengan Debit Banjir Pada Daerah Aliran Sungai Malalayang. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*. 4(1): 98425.
- Harto, S. B. 1993. *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Biro Penerbit Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil UGM.
- Hidayah, E. 2011. Model Disagregasi Data Hujan Temporal dengan Pendekatan Bayesian sebagai Input Pemodelan Banjir. *Disertasi*. Surabaya: ITS.
- Hidayah, E. 2012. Uji Keandalan Penguraian Data Hujan Penguraian (Disagregasi) Untuk Pemodelan Hidrograf Banjir Di Das Kelapa Sawit. *Jurnal Teknik Pengairan: Journal of Water Resources Engineering*, 3(2), 97-101.
- Indarto & Faisol, A. 2012. *Konsep Dasar Analisis Spasial*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Ismoyojati, G., Sujono, J., & Jayadi, R. 2019. Studi pengaruh perubahan tataguna lahan terhadap karakteristik banjir Kota Bima. *Jurnal Geografi Lingkungan Tropik*. 2(2): 14-27.
- Kaiser, E. J., Godschalk, D. R., & Chapin, F. S. 1995. *Urban land use planning* (Vol. 4). Urbana, IL: University of Illinois press.
- Koneti, S., Sunkara, S. L., & Roy, P. S. 2018. Hydrological modeling with respect to impact of land-use and land-cover change on the runoff dynamics in Godavari River Basin using the HEC-HMS model. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 7(6): 206.
- Kusumastuti, C., Djajadi, R., Winarko, E. A., & Richard, E. A. 2015. *Dampak Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Besarnya Debit Banjir Di Kabupaten Probolinggo*. 2012, 1-10.
- Kusumastuti, C., Djajadi, R., Winarko, E. A., & Richard, E. A. 2018. Dampak Perubahan Tata Guna Lahan terhadap Besarnya Debit banjir di Kabupaten Probolinggo. *Disertasi*. Surabaya: Universitas Kristen Petra.
- Landis, J. R., & Koch, G. G. 1977. *An application of hierarchical kappa-type statistics in the assessment of majority agreement among multiple observers*. *Biometrics*, 363-374.

- Linsley, R. K., & Franzini, J. B. 1991. *Teknik Sumber Daya Air Jilid II*. Diterjemahkan oleh Djoko Sasongko: Erlangga.
- Lu, Z., Zou, S., Qin, Z., Yang, Y., Xiao, H., Wei, Y., ... & Xie, J. 2015. Hydrologic responses to land use change in the loess plateau: case study in the upper fenhe river watershed. *Advances in Meteorology*, 2015.
- Mukarob, R. L. P., & Indri, R. 2020. PERENCANAAN DRAINASE BERWAWASAN LINGKUNGAN DI DAS KALI PURWANTORO KOTA MALANG. *Jurnal Online SKRIPSI Manajemen Rekayasa Konstruksi Politeknik Negeri Malang*, 1(3), 134-140.
- Nainggolan, J., H, Yohanna L.H., dan S, Sigit., 2015. Analisis Dampak Perubahan Tata Guna Lahan DAS Siak Bagian Hulu terhadap Debit Banjir. Riau: Universitas Riau.
- Nash, J. E., & Sutcliffe, J. V. 1970. River flow forecasting through conceptual models part I—A discussion of principles. *Journal of Hydrology*. 10(3): 282-290.
- Nurdiyanto, N., Limantara, L. M., & Suhartanto, E. 2016. Analisis Hujan Dan Tata Guna Lahan Terhadap Limpasan Permukaan Di Sub Das Pekalen Kabupaten Probolinggo. *Jurnal Teknik Pengairan: Journal of Water Resources Engineering*. 7(1): 83-94.
- Nurhamidah, N., Junaidi, A., & Kurniawan, M. 2018. Tinjauan Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Limpasan Permukaan. Kasus : DAS Batang Arau Padang. *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*. 14(2): 131.
- Pawitan, H. 1999. *Penilaian Kerentanan dan Daya Adaptasi Sumber Daya Air Terhadap Perubahan Iklim*. Jakarta: Makalah Seminar Nasional-Kantor Menteri Negara Lingkungan Hidup.
- Prahasta, E. 2005. *Sistem Informasi Geografis. Edisi Revisi, Cetakan Kedua*. Bandung: C.V. Informatika.
- Pratama, W., & Yuwono, S. B. 2016. Analisis perubahan penggunaan lahan terhadap karakteristik hidrologi di DAS Bulok. *Jurnal Sylva Lestari*, 4(3), 11-20.
- Prawaka, F., Zakaria, A., & Tugiono, S. (2016). Analisis Data Curah Hujan yang Hilang Dengan Menggunakan Metode Normal Ratio, Inversed Square Distance, dan Cara Rata-Rata Aljabar (Studi Kasus Curah Hujan Beberapa Stasiun Hujan Daerah Bandar Lampung). *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, 4(3), 397-406.
- Permatasari, R. 2017. Pengaruh Perubahan Penggunaan Lahan terhadap Rezim Hidrologi DAS (Studi Kasus : DAS Komerling). *Jurnal Teknik Sipil*, 24(1), 91–98.
- Rahim, SE. 2000. *Pengendalian Erosi Tanah dalam Rangka Pelestarian Lingkungan Hidup*. Jakarta: PT. Bumi Aksara.

- Saifurridzal. 2013. Penerapan Penginderaan Jauh Menggunakan Sistem Informasi Geografis Untuk Menentukan Parameter Fisik Daerah Aliran Sungai (Lokasi Studi Sub DAS Sumber Brantas). *Thesis*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Setiawan, M. 2013. Penginderaan Jauh untuk Penggunaan Lahan. <http://referensigeography.blogspot.com/2013/05/penginderaan-jauh-untuk-penggunaan-lahan.html>. [Diakses pada 19 April 2020]
- Sitanggang, G. 2010. Kajian pemanfaatan satelit masa depan: sistem penginderaan jauh satelit LDCM (LANDSAT-8). *Berita Dirgantara*. 11(2): 47-58.
- Sitorus SRP. 2004. *Evaluasi Sumberdaya Lahan*. Bandung: Tarsito.
- Soemarto, CD. 1999. *Hidrologi Teknik*. Jakarta : Erlangga.
- Sudaryono, S. 2011. Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS) Terpadu, Konsep Pembangunan Berkelanjutan. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 3(2).
- Suherman, H., & Firmansyah, A. 2017. Analisis pengaruh perubahan tata guna lahan terhadap debit banjir di wilayah hilir aliran Kali Angke. *Konstruksia*. 8(2): 79-95.
- Suripin. 2002. *Pelestarian Sumberdaya Tanah dan Air*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Sholichin, M. 2012. Materi Kuliah Aplikasi GIS: Limpasan Air Hujan (*Runoff*). Materi Kuliah. Malang: Universitas Brawijaya.
- Sosrodarsono, S. I. 2003. *Hidrologi Untuk Pengairan*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Syarifudin, A. 2017. *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Triatmodjo, B. 2008. *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta : Beta Offset
- U.S Army Corps of Engineers. 2000. Hydrologic Modeling System Technical Reference Manual. *Hydrologic Engineering Centre, March*, 145.
- Wahyudi, D. 2009. Perencanaan Normalisasi Kali Deluwang Bagian Hilir Kabupaten Situbondo. *Skripsi*. Surabaya: Program Sarjana Teknik Sipil ITS
- Warsilan, W. 2019. Dampak Perubahan Guna Lahan Terhadap Kemampuan Resapan Air (Kasus: Kota Samarinda). *Jurnal Pembangunan Wilayah dan Kota*. 1(1), 69-82.
- Wei, T. C., McGuinness, J. L., 1973. *Reciprocal distance squared, a computer technique for estimating area precipitation, Technical Report ARS-Nc-8*. US Agricultural Research Service, North CentralRegion, Ohio.
- Widiarti, W. Y., & Sukmawati, S. 2013. Analisa Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Karakteristik Hidrologi Dengan HEC-HMS dan GIS Untuk Mitigasi Bencana. *Forum Ilmiah Tahunan dan Ikatan Surveyor Indonesia (FIT-ISI)*. 31 Oktober 2013. VI-8.
- Worldometer. 2020. Current World Population. <https://www.worldometers.info/world-population/> [Diakses pada 10 Maret

2020]

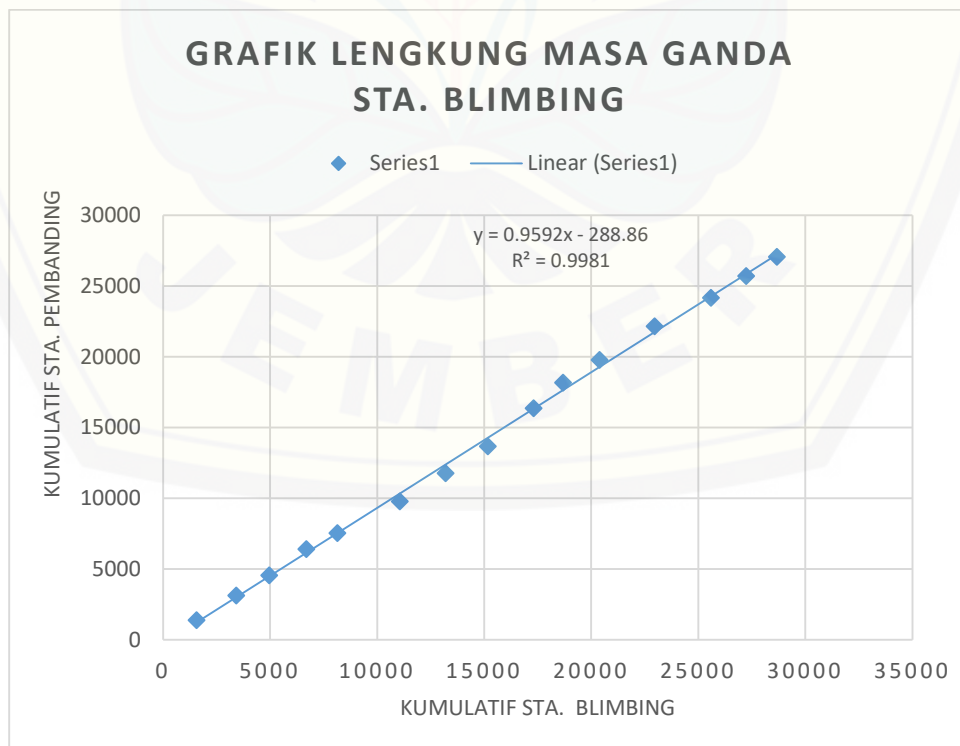
Younis, S. M. Z., & Ammar, A. (2018). Quantification of impact of changes in land use-land cover on hydrology in the upper Indus Basin, Pakistan. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*. 21(3): 255-263.



LAMPIRAN

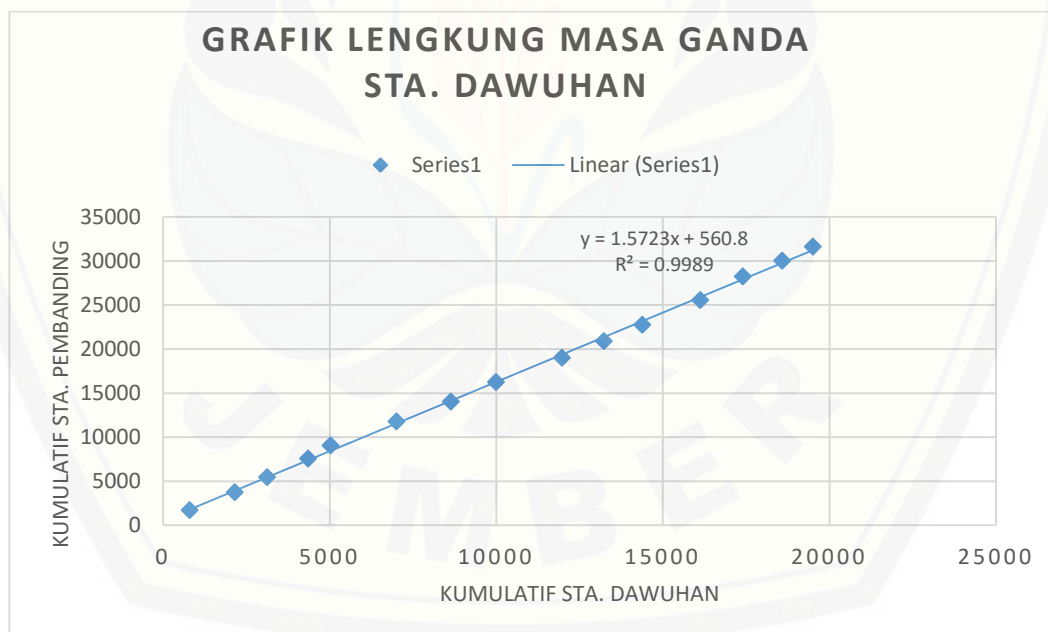
Lampiran 1. Uji Konsistensi Stasiun Blimbing

Tahun	Stasiun			Kumulatif Sta. Cumedak	Rata-rata Sta. Pembanding	Kumulatif Sta. Pembanding
	Blimbing	Dawuhan	Baderan			
2005	1555	792.1	1926	1555	1359	1359
2006	1854	1356	2156	3409	1756	3115
2007	1547	972	1869	4956	1421	4536
2008	1730	1229	2496	6686	1863	6398
2009	1454	670	1570	8140	1120	7518
2010	2911	1984	2491	11051	2238	9756
2011	2135	1632	2356	13186	1994	11750
2012	1980	1354	2447	15166	1901	13650
2013	2139	1982	3436	17305	2709	16359
2014	1368	1255	2374	18673	1815	18174
2015	1713	1157	2033	20386	1595	19769
2016	2566	1739	2998	22952	2369	22137
2017	2635	1281	2779	25587	2030	24167
2018	1639	1179	1889	27226	1534	25701
2019	1446	921	1777	28672	1349	27050



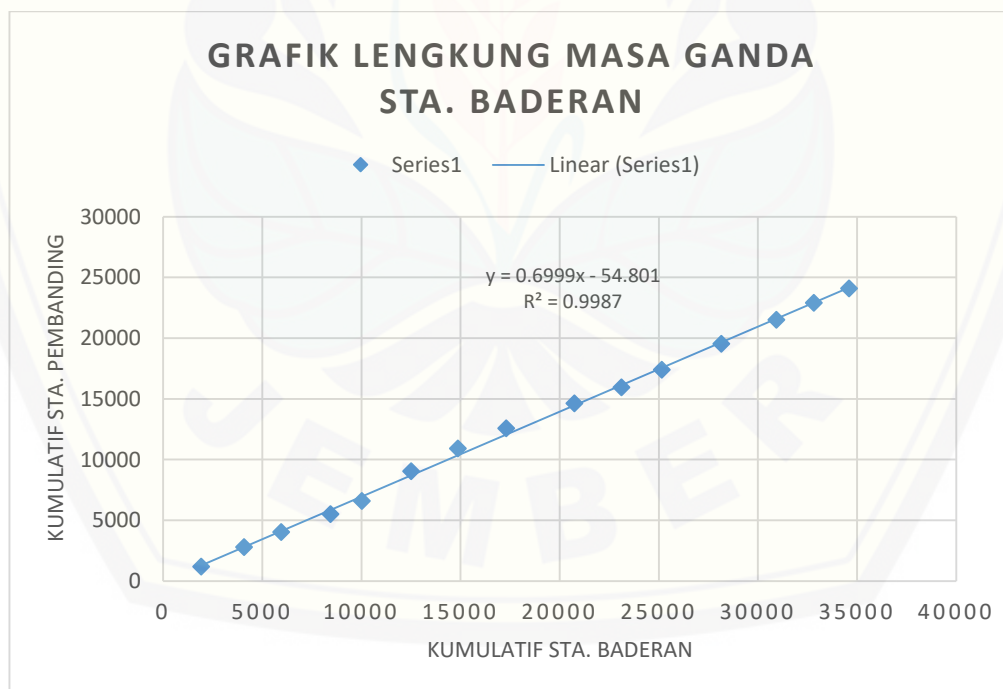
Lampiran 2. Uji Konsistensi Stasiun Dawuhan

Tahun	Stasiun			Kumulatif Sta. Dawuhan	Rata-rata Sta. Pembanding	Kumulatif Sta. Pembanding
	Blimbing	Dawuhan	Baderan			
2005	1555	792.1	1926	792	1741	1741
2006	1854	1356	2156	2148	2005	3746
2007	1547	972	1869	3120	1708	5454
2008	1730	1229	2496	4349	2113	7567
2009	1454	670	1570	5019	1512	9079
2010	2911	1984	2491	7003	2701	11780
2011	2135	1632	2356	8635	2246	14025
2012	1980	1354	2447	9989	2214	16239
2013	2139	1982	3436	11971	2788	19026
2014	1368	1255	2374	13226	1871	20897
2015	1713	1157	2033	14383	1873	22770
2016	2566	1739	2998	16122	2782	25552
2017	2635	1281	2779	17403	2707	28259
2018	1639	1179	1889	18582	1764	30023
2019	1446	921	1777	19503	1612	31635



Lampiran 3. Uji Konsistensi Stasiun Baderan

Tahun	Stasiun			Kumulatif Sta. Jatian	Rata-rata Sta. Pembanding	Kumulatif Sta. Pembanding
	Blimbing	Dawuhan	Baderan			
2005	1555	792	1926	1926	1174	1174
2006	1854	1356	2156	4082	1605	2779
2007	1547	972	1869	5951	1260	4038
2008	1730	1229	2496	8447	1480	5518
2009	1454	670	1570	10017	1062	6580
2010	2911	1984	2491	12508	2448	9027
2011	2135	1632	2356	14864	1884	10911
2012	1980	1354	2447	17311	1667	12578
2013	2139	1982	3436	20747	2061	14638
2014	1368	1255	2374	23121	1312	15950
2015	1713	1157	2033	25154	1435	17385
2016	2566	1739	2998	28152	2153	19537
2017	2635	1281	2779	30931	1958	21495
2018	1639	1179	1889	32820	1409	22904
2019	1446	921	1777	34597	1184	24088



Lampiran 4. Data Debit Harian Tahun 2006

Tanggal	Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des
1	14.6	27.82	21.92	13.4	9.47	8.76	8.86	1.29	1.84	2.16	3.61	2.84
2	14.6	25.42	21.92	13.4	9.48	11.05	8.86	1.3	1.88	2.18	2.8	2.55
3	14.6	25.32	22.21	10.51	9.48	9.13	9.13	1.31	1.91	2.18	2.51	2.54
4	13.45	28.01	22.22	10.96	11.21	9.04	9.13	1.31	1.94	2.18	2.5	2.54
5	13.4	26.02	22.22	12.41	10.14	9.03	9.12	1.32	1.98	2.18	2.5	15.28
6	18.92	26.23	22.22	10.19	10.1	9.02	9.11	1.33	2.01	2.18	2.5	10.06
7	20.64	26.86	22.22	21.45	19.08	9.02	9.1	1.34	2.57	2.18	2.24	6.71
8	15.99	26.89	22.22	17.23	19.16	9.01	5.16	2.39	3.72	2.19	2.23	4.62
9	14.07	26.89	22.22	19.35	9.03	9.01	2.01	4.35	2.7	2.19	2.23	4.54
10	14	26.89	22.22	11.33	8.6	9	2.66	1.74	2.16	2.19	2.23	4.54
11	14	26.89	22.22	10.13	8.59	9	1.12	1.64	2.41	2.19	2.24	4.82
12	14.57	26.27	22.22	10.1	8.31	8.71	1.04	1.65	2.16	2.19	2.24	5.11
13	13.73	26.24	22.22	18.79	8.29	8.69	3.43	1.66	2.15	2.19	2.24	4.85
14	14.56	25.95	14.9	12.17	8.28	8.41	1.13	1.4	2.15	2.19	2.5	23.06
15	20.17	25.93	10.28	10.45	8.56	8.11	0.76	1.66	2.15	2.2	2.51	5.6
16	25.42	25.93	9.5	10.39	9.4	7.81	0.74	1.68	2.15	2.2	2.25	3.74
17	21.19	25.93	10.93	10.39	9.43	7.79	0.73	1.69	2.16	2.2	2.24	3.97
18	18.64	28.92	15.02	10.39	9.43	7.79	0.98	1.69	2.16	2.2	2.25	3.71
19	18.54	26.06	17.83	10.39	9.42	8.9	0.98	1.7	2.16	2.2	2.25	3.7
20	18.54	25.64	25.32	10.39	9.42	9.22	0.97	1.71	2.16	2.2	2.25	3.98
21	18.54	25.92	15.9	13.28	9.41	9.23	0.97	1.74	2.16	2.2	2.25	3.99
22	18.54	26.85	10.88	19.21	9.4	9.22	0.7	1.78	2.16	2.21	2.25	3.99
23	47.11	31.36	10.69	15.36	9.12	8.94	0.68	1.81	2.16	2.21	2.25	3.99
24	42.2	28.85	9.53	10.59	9.97	8.92	1.21	1.58	2.17	2.21	3.19	4.54
25	45.9	27.26	7.52	8.96	9.13	8.91	1.24	1.61	2.17	2.21	3.38	4.57
26	40.91	27.49	6	8.62	9.37	8.91	1.24	1.64	1.91	2.21	2.82	4.84
27	41.29	34.7	6.82	8.6	9.37	8.9	1.25	1.67	1.9	2.21	2.8	4.86
28	36.45	22.44	13.71	9.16	9.37	8.9	1.26	1.71	1.9	2.21	3.91	4.86
29	31.14		13.42	9.19	9.36	8.89	1.27	1.74	1.9	2.22	4.23	4.86
30	27.64		13.4	9.19	9.08	8.6	1.27	1.77	1.9	2.74	3.7	4.86
31	28.1		13.4		8.78		1.28	1.81		3.02		4.86

Rata-rata	22.95	26.96	16.56	12.2	9.911	8.864	3.142	1.71	2.162	2.239	2.637	5.451
Aliran/km ² (l/det)	270	317.2	194.8	143.5	116.6	104.3	36.96	20.12	25.43	26.35	31.02	64.13
Tinggi Aliran(mm)	723.2	767.4	521.8	372	312.3	270.3	98.99	53.89	65.92	70.56	80.4	171.8
Meter Kubik(10 ⁶)	61.47	65.23	44.35	31.62	26.55	22.98	8.414	4.581	5.603	5.998	6.834	14.6

Lampiran 5. Data Debit Harian Tahun 2009

Tanggal	Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des
1	32.45	28.8	29.19	31.54	29.59	29.21	30.38	29.98	29.97	30.38	29.59	29.98
2	27.8	34.26	29.19	38.39	29.59	29.19	30.38	29.98	29.98	30.38	29.97	29.98
3	27.61	30.54	29.19	31.92	29.59	29.19	30.38	29.98	29.98	30.38	29.98	31.58
4	28.37	28.1	29.19	28.15	29.59	29.19	30.38	29.98	29.98	30.38	29.98	31.64
5	28.4	34.61	29.19	28	29.97	29.57	30.38	29.98	29.6	30.38	30.36	30.43
6	28.02	52.25	29.19	28	29.98	29.59	30	29.98	29.59	30.38	30.38	30
7	29.14	56.85	29.19	27.62	29.6	29.59	29.98	29.98	29.97	30.38	30.38	29.98
8	29.57	56.16	29.19	28.37	29.59	29.97	29.98	29.98	29.98	30.38	30.38	29.98
9	28.83	44.68	29.19	28.4	29.59	29.98	29.98	29.98	29.98	30.38	30	29.98
10	29.56	28.27	28.81	28.4	34.68	29.98	29.98	29.98	29.6	30	29.98	29.98
11	29.59	27.23	28.8	28.4	29.8	29.98	29.98	30.36	29.59	29.98	29.98	29.98
12	29.59	27.21	28.8	28.4	31.17	29.98	29.98	30.38	29.59	29.98	29.98	29.98
13	29.21	27.21	28.8	28.78	30.41	29.98	29.98	30.38	29.59	29.98	29.98	29.98
14	29.19	28.35	28.8	29.18	30.38	29.98	29.98	30	29.97	29.98	29.98	29.98
15	29.19	27.26	29.56	29.19	29.62	29.98	29.98	29.98	29.98	29.98	29.98	29.98
16	29.95	28.35	29.21	29.19	29.59	29.98	29.98	29.98	29.98	29.98	29.98	29.98
17	29.6	34.63	29.19	29.19	29.59	29.98	29.98	29.98	29.98	29.98	29.98	29.98
18	29.59	44.7	29.19	29.19	29.59	29.98	29.98	29.98	29.98	29.98	29.98	29.98
19	28.83	49.72	29.19	29.19	29.21	29.98	29.98	29.98	29.98	29.98	29.98	29.98
20	28.8	34.71	29.19	31.15	29.19	29.98	29.98	29.98	29.98	29.98	29.98	29.98
21	28.42	30.15	29.19	29.27	29.19	29.98	30.36	29.98	29.98	29.98	29.98	29.98
22	28.4	28.08	29.19	28.81	29.19	29.98	30.38	29.98	30.36	29.98	29.98	29.98
23	28.4	28.38	28.43	28.8	29.19	29.98	30.38	29.98	30.38	29.98	30.36	29.98
24	28.4	29.16	27.64	28.8	29.19	30.36	30.38	29.98	30	29.98	30.38	29.98

25	28.4	29.19	27.61	28.8	29.19	30.38	30.38	29.98	29.98	29.98	30.38	29.98
26	28.4	29.19	27.61	29.18	29.19	30	30.38	29.98	29.98	29.98	30.38	29.98
27	28.78	29.19	27.61	30.33	29.19	29.98	30	29.98	29.98	29.98	30.38	29.98
28	28.8	29.19	29.13	30.38	29.19	29.98	29.98	29.98	29.98	29.6	30.38	29.6
29	28.8		27.67	30	29.19	29.98	29.98	29.6	30.36	29.59	30	29.59
30	28.8		31.09	29.6	29.57	30.36	29.98	29.59	30.38	29.59	29.98	30.35
31	28.8		29.27		29.59		29.98	29.59		29.59		30.38
Rata-rata	28.96	34.16	28.93	29.49	29.75	29.87	30.12	29.98	29.95	30.05	30.1	30.1
Aliran/km ² (l/det)	340.7	401.9	340.3	346.9	350	351.5	354.4	352.7	352.4	353.5	354.1	354.1
Tinggi Aliran(mm)	912.5	972.2	911.5	899.2	937.4	911	949.2	944.7	913.4	946.8	917.9	948.5
Meter Kubik(10 ⁶)	77.56	82.63	77.47	76.43	79.68	77.44	80.68	80.3	77.64	80.48	78.02	80.62

Lampiran 6. Perhitungan Nilai CN Tahun 2006

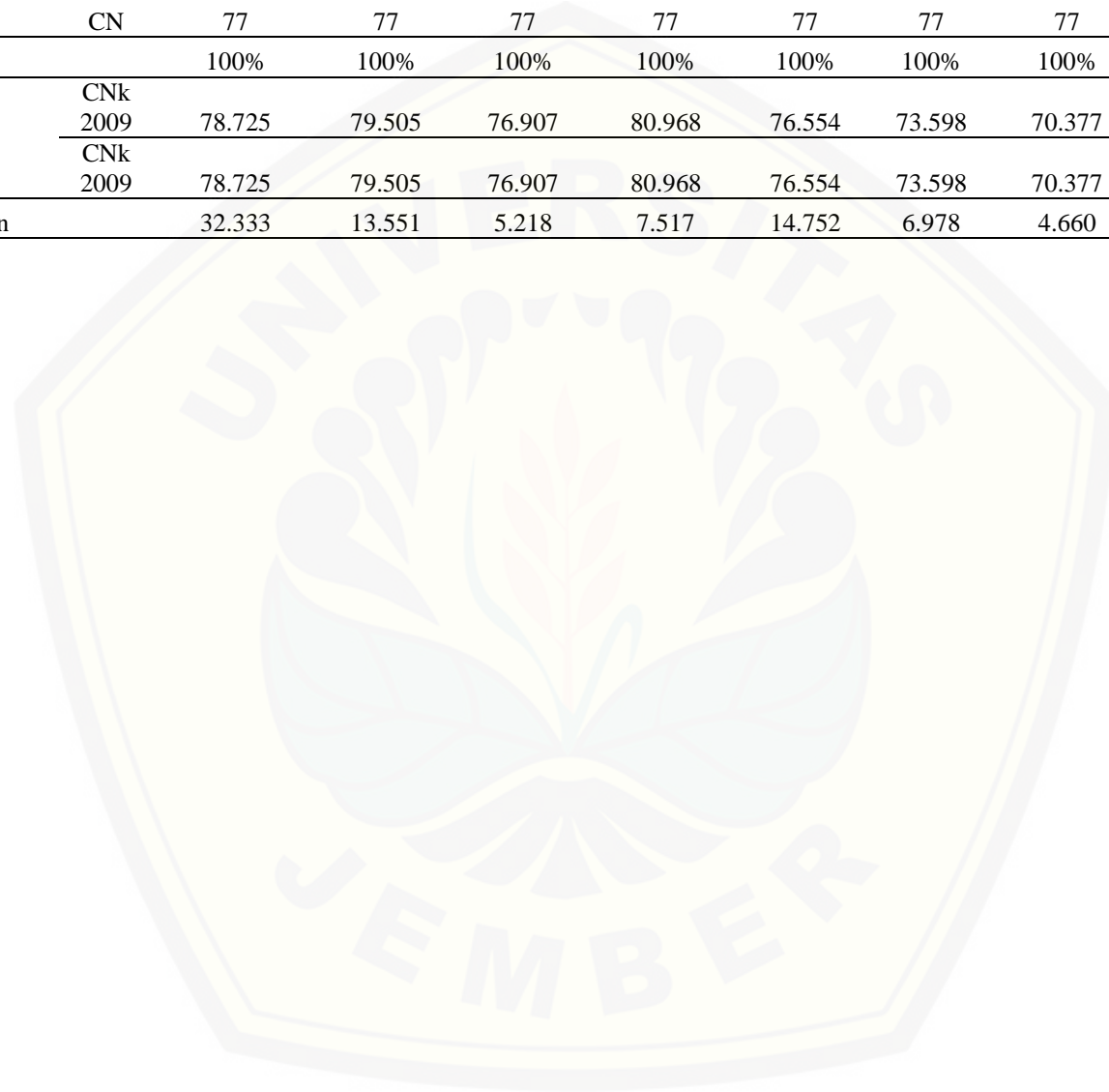
Sub DAS		Deluwang	Pakel	Penjalinan	Banyuputih	Glinding	Keluang	Tamankursi	Kalianan	
Luas SubDAS (km ²)		32.333	13.551	5.218	7.517	14.752	6.978	4.660	29.460	
HSG (Hydrologic Soil Class)		C	C	C	C	C	C	C	A	C
Persentase Jenis Tanah		100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	2.83%	97.17%
PEMUKIMAN	LUAS	2.05	1.22	0.90	1.50	0.81	0.00	0.00	0.00	0.00
	%	0.06	0.09	0.17	0.20	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00
	CN	90	90	90	90	90	90	90	77	90
Pertanian Lahan Kering	LUAS	19.22	9.08	1.60	4.62	8.48	0.90	0.00	0.00	0.00
	%	0.59	0.67	0.31	0.61	0.57	0.13	0.00	0.00	0.00
	CN	77	77	77	77	77	77	77	61	77
Hutan Tanaman	LUAS	1.70	0.41	2.66	0.00	2.00	1.05	0.00	0.00	0.00
	%	0.05	0.03	0.51	0.00	0.14	0.15	0.00	0.00	0.00

	CN	72	72	72	72	72	72	72	32	72
Sawah	LUAS	5.93	2.83	0.02	1.40	0.39	0.02	0.00	0.00	0.00
	%	0.18	0.21	0.00	0.19	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
	CN	84	84	84	84	84	84	84	65	84
Tanah Terbuka	LUAS	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	%	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	CN	91	91	91	91	91	91	91	77	91
Hutan Lahan Kering Sekunder	LUAS	0.54	0.00	0.00	0.00	1.77	2.79	4.45	0.75	25.74
	%	0.02	0.00	0.00	0.00	0.12	0.40	0.95	0.03	0.87
	CN	70	70	70	70	70	70	70	30	70
Semak Belukar	LUAS	2.89	0.00	0.00	0.00	1.30	2.22	0.21	0.08	2.89
	%	0.09	0.00	0.00	0.00	0.09	0.32	0.05	0.00	0.10
	CN	77	77	77	77	77	77	77	48	77
Total Persentase		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	2.83%	97.17%
Persubdas	CNk 2006	78.724	79.485	76.804	80.892	76.388	73.465	70.324	0.901	68.703
	CNk 2006	78.724	79.485	76.804	80.892	76.388	73.465	70.324	69.604	
Total Luas Tata Guna Lahan		32.333	13.551	5.218	7.517	14.752	6.978	4.660	0.834	28.626

Lampiran 7. Perhitungan Nilai CN Tahun 2009

Sub DAS		Deluwang	Pakel	Penjalinan	Banyuputih	Glinding	Keluang	Tamankursi	Kalianan	
Luas SubDAS (km ²)		32.332	13.551	5.218	7.517	14.752	6.978	4.660	29.460	
HSG (Hydrologic Soil Class)		C	C	C	C	C	C	C	A	C
Persentase Jenis Tanah		100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	2.83%	97.17%
Pemukiman	LUAS	2.07	1.25	0.94	1.51	0.82	0.00	0.00	0.00	0.00
	%	0.06	0.09	0.18	0.20	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00
	CN	90	90	90	90	90	90	90	77	90
Pertanian Lahan Kering	LUAS	19.39	9.33	1.57	4.58	8.79	0.93	0.00	0.00	0.00
	%	0.60	0.69	0.30	0.61	0.60	0.13	0.00	0.00	0.00
	CN	77	77	77	77	77	77	77	61	77
Hutan Tanaman	LUAS	1.65	0.28	2.65	0.00	1.87	1.04	0.00	0.00	0.00
	%	0.05	0.02	0.51	0.00	0.13	0.15	0.00	0.00	0.00
	CN	72	72	72	72	72	72	72	32	72
Sawah	LUAS	5.71	2.66	0.02	1.41	0.40	0.02	0.00	0.00	0.00
	%	0.18	0.20	0.00	0.19	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
	CN	84	84	84	84	84	84	84	65	84
Tanah Terbuka	LUAS	0.05	0.04	0.04	0.03	0.02	0.03	0.01	0.04	1.40
	%	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05
	CN	91	91	91	91	91	91	91	77	91
Hutan Lahan Kering Sekunder	LUAS	0.53	0.00	0.00	0.00	1.56	2.73	4.43	0.72	24.56
	%	0.02	0.00	0.00	0.00	0.11	0.39	0.95	0.02	0.83
	CN	70	70	70	70	70	70	70	30	70
Semak Belukar	LUAS	2.93	0.00	0.00	0.00	1.30	2.23	0.22	0.08	2.66
	%	0.09	0.00	0.00	0.00	0.09	0.32	0.05	0.00	0.09

	CN	77	77	77	77	77	77	77	48	77
Total Persentase		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	2.83%	97.17%
Persubdas	CNk 2009	78.725	79.505	76.907	80.968	76.554	73.598	70.377	0.962	69.651
	CNk 2009	78.725	79.505	76.907	80.968	76.554	73.598	70.377	70.613	
Total Luas Tata Guna Lahan		32.333	13.551	5.218	7.517	14.752	6.978	4.660	0.834	28.626



Lampiran 8. Curah Hujan Kawasan Thiessen Tahun 2006

CURAH HUJAN RERATA								
SUBDAS	Deluwang	Pakel	Penjalinan	Banyuputih	Glinding	Keluang	Tamankursi	Kalianan
1-Jan-06	59.89	48.43	21.56	30.00	117.90	124.00	124.00	124.00
2-Jan-06	21.20	21.14	19.56	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00
3-Jan-06	7.14	8.90	11.45	15.00	0.97	0.00	0.00	0.00
4-Jan-06	9.13	8.00	4.45	8.00	16.42	17.00	17.00	17.00
5-Jan-06	17.27	19.45	21.12	30.00	12.23	11.00	11.00	11.00
6-Jan-06	23.11	29.41	37.12	54.00	3.51	0.00	0.00	0.00
7-Jan-06	11.79	14.41	18.89	22.00	1.43	0.00	0.00	0.00
8-Jan-06	5.61	5.73	8.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9-Jan-06	2.52	2.58	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10-Jan-06	1.40	1.43	2.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11-Jan-06	4.35	4.08	2.78	5.00	6.87	7.00	7.00	7.00
12-Jan-06	23.38	20.37	11.12	20.00	42.44	44.00	44.00	44.00
13-Jan-06	6.41	6.63	6.67	8.00	6.13	6.00	6.00	6.00
14-Jan-06	7.95	7.64	5.56	10.00	11.87	12.00	12.00	12.00
15-Jan-06	34.25	32.13	31.88	19.00	36.77	38.00	38.00	38.00
16-Jan-06	58.16	51.72	40.22	34.00	84.49	88.00	88.00	88.00
17-Jan-06	14.97	15.16	20.21	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
18-Jan-06	16.07	16.71	21.99	10.00	6.26	6.00	6.00	6.00
19-Jan-06	38.68	40.03	49.10	30.00	21.58	21.00	21.00	21.00
20-Jan-06	28.70	28.02	39.53	0.00	9.35	10.00	10.00	10.00
21-Jan-06	76.15	72.31	59.01	75.00	103.05	105.00	105.00	105.00
22-Jan-06	142.86	134.13	94.27	160.00	220.78	225.00	225.00	225.00
23-Jan-06	17.06	16.59	15.89	15.00	18.74	19.00	19.00	19.00
24-Jan-06	61.96	66.44	79.21	69.00	35.34	33.00	33.00	33.00
25-Jan-06	35.67	34.01	28.34	35.00	47.16	48.00	48.00	48.00
26-Jan-06	18.98	19.02	17.23	23.00	22.06	22.00	22.00	22.00
27-Jan-06	4.78	4.30	3.44	3.00	6.74	7.00	7.00	7.00
28-Jan-06	2.66	2.54	2.44	2.00	2.94	3.00	3.00	3.00
29-Jan-06	2.25	1.52	0.00	0.00	5.61	6.00	6.00	6.00
30-Jan-06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
31-Jan-06	7.89	8.06	6.67	12.00	10.13	10.00	10.00	10.00
1-Feb-06	4.49	3.81	3.55	0.00	5.61	6.00	6.00	6.00
2-Feb-06	5.38	5.46	4.45	8.00	7.06	7.00	7.00	7.00
3-Feb-06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4-Feb-06	27.62	30.92	30.02	54.00	25.95	24.00	24.00	24.00
5-Feb-06	7.60	7.19	5.00	9.00	11.81	12.00	12.00	12.00
6-Feb-06	9.91	9.60	13.32	0.00	3.74	4.00	4.00	4.00
7-Feb-06	12.62	12.88	19.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8-Feb-06	1.40	1.43	2.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9-Feb-06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10-Feb-06	2.41	3.22	3.89	7.00	0.45	0.00	0.00	0.00
11-Feb-06	11.77	12.50	11.12	20.00	13.45	13.00	13.00	13.00
12-Feb-06	4.35	4.08	2.78	5.00	6.87	7.00	7.00	7.00
13-Feb-06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14-Feb-06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15-Feb-06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16-Feb-06	4.57	5.36	5.56	10.00	3.45	3.00	3.00	3.00
17-Feb-06	13.31	13.08	12.89	12.00	13.87	14.00	14.00	14.00
18-Feb-06	31.42	33.82	32.46	52.00	31.43	30.00	30.00	30.00
19-Feb-06	3.85	4.44	5.56	6.00	1.32	1.00	1.00	1.00
20-Feb-06	4.60	5.15	5.00	9.00	4.32	4.00	4.00	4.00
21-Feb-06	4.14	5.52	6.67	12.00	0.78	0.00	0.00	0.00
22-Feb-06	14.87	10.98	2.22	4.00	33.92	36.00	36.00	36.00
23-Feb-06	59.46	56.79	42.02	70.00	87.77	89.00	89.00	89.00
24-Feb-06	5.90	5.45	5.22	3.00	6.74	7.00	7.00	7.00
25-Feb-06	10.95	12.20	12.78	19.00	8.71	8.00	8.00	8.00
26-Feb-06	31.18	31.50	34.22	28.00	26.13	26.00	26.00	26.00
27-Feb-06	20.83	17.37	11.11	8.00	35.12	37.00	37.00	37.00
28-Feb-06	12.75	13.23	20.21	2.00	0.13	0.00	0.00	0.00

12-Nov-06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13-Nov-06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14-Nov-06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15-Nov-06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16-Nov-06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17-Nov-06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18-Nov-06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19-Nov-06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20-Nov-06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21-Nov-06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22-Nov-06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23-Nov-06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24-Nov-06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25-Nov-06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
26-Nov-06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
27-Nov-06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
28-Nov-06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29-Nov-06	5.52	7.36	8.89	16.00	1.04	0.00	0.00	0.00
30-Nov-06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1-Dec-06	4.11	3.94	5.33	0.00	1.87	2.00	2.00	2.00
2-Dec-06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3-Dec-06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4-Dec-06	7.49	5.08	0.00	0.00	18.70	20.00	20.00	20.00
5-Dec-06	3.45	4.60	5.56	10.00	0.65	0.00	0.00	0.00
6-Dec-06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7-Dec-06	2.41	3.22	3.89	7.00	0.45	0.00	0.00	0.00
8-Dec-06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9-Dec-06	2.15	1.94	2.22	0.00	1.87	2.00	2.00	2.00
10-Dec-06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11-Dec-06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12-Dec-06	52.93	49.20	35.68	53.00	80.12	82.00	82.00	82.00
13-Dec-06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14-Dec-06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15-Dec-06	2.25	1.52	0.00	0.00	5.61	6.00	6.00	6.00
16-Dec-06	2.76	3.68	4.45	8.00	0.52	0.00	0.00	0.00
17-Dec-06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18-Dec-06	17.22	17.07	21.99	6.00	8.81	9.00	9.00	9.00
19-Dec-06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20-Dec-06	0.84	0.86	1.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21-Dec-06	30.38	33.59	36.12	49.00	22.82	21.00	21.00	21.00
22-Dec-06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23-Dec-06	4.57	5.74	7.34	10.00	0.65	0.00	0.00	0.00
24-Dec-06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25-Dec-06	2.34	2.26	3.11	0.00	0.94	1.00	1.00	1.00
26-Dec-06	22.25	23.89	23.12	36.00	21.97	21.00	21.00	21.00
27-Dec-06	8.33	6.32	3.11	0.00	15.90	17.00	17.00	17.00
28-Dec-06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29-Dec-06	8.69	9.30	10.89	10.00	5.32	5.00	5.00	5.00
30-Dec-06	16.83	17.08	15.01	23.00	20.19	20.00	20.00	20.00
31-Dec-06	3.06	3.56	4.89	4.00	0.26	0.00	0.00	0.00

Lampiran 9. Curah Hujan Kawasan Thiessen Tahun 2009

CURAH HUJAN RERATA								
SUBDAS	Deluwang	Pakel	Penjalinan	Banyuputih	Glinding	Keluang	Tamankursi	Kalianan
1-Jan-09	23.09	25.72	27.45	39.00	17.49	16.00	16.00	16.00
2-Jan-09	14.84	16.84	16.68	30.00	13.17	12.00	12.00	12.00
3-Jan-09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4-Jan-09	22.76	15.52	0.44	0.00	56.10	60.00	60.00	60.00
5-Jan-09	11.04	14.71	17.79	32.00	2.08	0.00	0.00	0.00
6-Jan-09	13.39	17.76	21.57	38.00	2.47	0.00	0.00	0.00
7-Jan-09	12.80	13.67	13.34	20.00	12.52	12.00	12.00	12.00
8-Jan-09	15.71	18.26	21.01	29.00	8.43	7.00	7.00	7.00
9-Jan-09	2.80	2.86	4.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10-Jan-09	5.38	5.46	4.45	8.00	7.06	7.00	7.00	7.00
11-Jan-09	14.63	13.01	8.45	12.00	24.16	25.00	25.00	25.00
12-Jan-09	16.75	15.74	12.45	16.00	23.48	24.00	24.00	24.00
13-Jan-09	38.17	33.52	19.23	33.00	67.60	70.00	70.00	70.00
14-Jan-09	12.74	14.63	20.33	15.00	0.97	0.00	0.00	0.00
15-Jan-09	46.41	48.91	59.10	44.00	26.23	25.00	25.00	25.00
16-Jan-09	0.56	0.57	0.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17-Jan-09	19.01	14.13	5.77	0.00	38.34	41.00	41.00	41.00
18-Jan-09	2.80	2.86	4.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19-Jan-09	42.97	32.30	14.66	0.00	84.16	90.00	90.00	90.00
20-Jan-09	3.64	3.72	5.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21-Jan-09	2.52	2.58	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22-Jan-09	2.07	2.76	3.34	6.00	0.39	0.00	0.00	0.00
23-Jan-09	3.37	2.29	0.00	0.00	8.42	9.00	9.00	9.00
24-Jan-09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25-Jan-09	4.77	4.48	5.77	0.00	2.81	3.00	3.00	3.00
26-Jan-09	14.97	12.46	10.66	0.00	20.57	22.00	22.00	22.00
27-Jan-09	1.87	1.27	0.00	0.00	4.68	5.00	5.00	5.00
28-Jan-09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29-Jan-09	1.68	1.72	2.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30-Jan-09	25.89	25.67	22.89	30.00	30.94	31.00	31.00	31.00
31-Jan-09	14.16	13.71	16.55	5.00	9.68	10.00	10.00	10.00
1-Feb-09	25.47	26.19	27.56	28.00	22.39	22.00	22.00	22.00
2-Feb-09	54.06	56.38	53.13	78.00	57.43	56.00	56.00	56.00
3-Feb-09	9.44	9.38	13.77	0.00	1.87	2.00	2.00	2.00
4-Feb-09	13.41	13.25	11.89	15.00	15.94	16.00	16.00	16.00
5-Feb-09	47.34	43.83	30.35	49.00	74.25	76.00	76.00	76.00
6-Feb-09	52.58	55.00	48.47	84.00	61.56	60.00	60.00	60.00
7-Feb-09	19.56	15.90	7.34	10.00	38.05	40.00	40.00	40.00
8-Feb-09	9.83	7.34	3.11	0.00	19.64	21.00	21.00	21.00
9-Feb-09	3.37	2.29	0.00	0.00	8.42	9.00	9.00	9.00
10-Feb-09	7.24	9.66	11.67	21.00	1.36	0.00	0.00	0.00
11-Feb-09	4.83	6.44	7.78	14.00	0.91	0.00	0.00	0.00
12-Feb-09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13-Feb-09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14-Feb-09	15.50	15.35	20.43	4.00	6.81	7.00	7.00	7.00
15-Feb-09	6.21	5.14	3.33	2.00	10.42	11.00	11.00	11.00
16-Feb-09	22.55	22.80	20.56	29.00	26.19	26.00	26.00	26.00
17-Feb-09	2.15	1.56	0.44	0.00	4.68	5.00	5.00	5.00
18-Feb-09	17.61	11.93	0.00	0.00	43.95	47.00	47.00	47.00
19-Feb-09	19.06	14.92	5.34	8.00	39.79	42.00	42.00	42.00
20-Feb-09	3.10	4.14	5.00	9.00	0.58	0.00	0.00	0.00
21-Feb-09	13.31	10.38	3.34	6.00	28.44	30.00	30.00	30.00
22-Feb-09	3.38	4.42	5.45	9.00	0.58	0.00	0.00	0.00
23-Feb-09	0.56	0.57	0.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24-Feb-09	2.76	3.68	4.45	8.00	0.52	0.00	0.00	0.00
25-Feb-09	22.35	24.06	22.12	39.00	24.04	23.00	23.00	23.00
26-Feb-09	53.14	54.61	46.36	81.00	66.04	65.00	65.00	65.00
27-Feb-09	2.24	2.29	3.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
28-Feb-09	0.28	0.29	0.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1-Mar-09	0.28	0.29	0.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Lampiran 10 Grafik Hasil Kalibrasi Tahun 2019

