



**PRAKIRAAN LOKASI WILAYAH SUBDAS PEMICU BANJIR DI  
DAS SAMPEAN MENGGUNAKAN ARCGIS DAN HEC-HMS**

**SKRIPSI**

Oleh

**SRI IRAWAN LARAS PRASOJO**

**NIM. 101910301033**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS JEMBER**

**2015**





**PRAKIRAAN LOKASI WILAYAH SUBDAS PEMICU BANJIR DI  
DAS SAMPEAN MENGGUNAKAN ARCGIS DAN  
HEC-HMS**

**SKRIPSI**

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi Strata (S1) Teknik Sipil  
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

**SRI IRAWAN LARAS PRASOJO**

**NIM. 101910301033**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER**

**2015**

## PERSEMBAHAN

Sebuah usaha kecil dari kewajiban dalam agama-Mu (menuntut ilmu), *Alhamdulillah* telah Engkau lapangkan jalannya. Ya Allah, terima kasih atas rahmat serta hidayah-Mu kepadaku dan kepada Nabi Muhammad SAW teladanku dan umatnya yang membawa cahaya di dunia-Mu. Skripsi ini merupakan langkah awal kesuksesan menuju kesuksesan selanjutnya yang telah menanti di depan. Untuk itu saya ini mempersembahkan karya ini kepada:

1. Ibuku Nunuk Sri Mauludiana, Ayahku Irawan Dwi Setiono serta adikku Sri Irawan Laras Budiharjo (Dhito) terima kasih atas dukungan, ketulusan, kasih sayang, kesabaran, ketabahan dan doa yang selalu ditujukan kepada saya terus-menerus selama ini.
2. Dosen pembimbing skripsi Bu Entin Hidayah dan Bu Sri Wahyuni yang telah membimbing saya dengan penuh kesabaran.
3. Pak Saichu, Bu Saichu, Bu Sholeh, Pak Zaeni, Bu Zaeni, Pak Wahab dan Bu Wahab yang telah banyak membantu dan memberikan pelajaran hidup selama ini.
4. Dosen- dosen Teknik Sipil Universitas Jember, yang telah memberikan saya ilmu dan motivasi selama ini.
5. Saudara seperjuangan Teknik Sipil Angkatan 2010 dan Angkatan 2011 yang telah banyak membantu dan memberikan dukungan selama ini.
6. Dewantami Putri Pertiwi, ST. yang telah memberikan dukungan, ketulusan, dan doa yang selalu ditujukan kepada saya selama ini.
7. Mas Ridwan, Mas Kukuh, Mas Iqbal, Mas Salim, Mas Sandi, Mas Alfa, Mas Imam, Mas Denes, Mas Caca, Mas Chandra yang telah menjadi sumber inspirasiku selama ini.
8. Sahabat terbaikku Ikhya', Kurnia Dwi P, Eunike Nindya C, Agung Dedy P, Radiktya Catur Y, Rofan Khadafi, Deni (Bolot), Fachmi Dwiyan, Teguh Bayu (Aming), Edi Slamet, Fandi Kurnia (Mbon), Yudha, Lukman, Bayu F, Noge,

Heaven, Putra, Zikri Asyura, Wildan JP, Tri Wahyudi, Weni, Yusufi, Zakaria, Agus, Iwan, Widyanti Sukma yang telah memotivasi selama ini.

9. Teman- teman KKN dan Keluarga Desa Ketonegoro terima kasih atas persahabatan dan kekeluargaan yang takkan pernah terlupakan, dukungan serta semangat tiada henti.
10. Teman- teman satu tim lomba karya tulis dan ilmu bidang sipil terima kasih atas ilmu dan bantuannya.
11. Guru- guruku sejak Taman Kanak-kanak Ananda 2, SDN Sukabumi X, SMPN 1 Probolinggo, SMAN 1 Probolinggo, hingga semua dosen selama di Universitas Jember yang terhormat, terima kasih telah mendidik saya dan memberikan banyak ilmu dengan penuh kesabaran
12. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember yang saya banggakan, terima kasih telah membuka jalan untuk saya menuju masa depan.

**MOTO**

*Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman di antara kamu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat.*

(terjemahan Surat Al-Mujadallah ayat 11)<sup>\*)</sup>

*Imajinasi lebih penting dari pengetahuan. Pengetahuan itu terbatas, sedangkan imajinasi meliputi seluruh dunia, merangsang kemajuan, melahirkan revolusi*

(Albert Einstein)<sup>\*\*)</sup>

*Kegagalan adalah mesin penghancur bagi orang-orang yang kalah dan merupakan sumber inspirasi bagi para pemenang.*

(Robert T Kiyokasi)<sup>\*\*\*)</sup>

*Tekad dan kerja keras tidak akan pernah mengkhianatimu.*

(Guy Sensei)<sup>\*\*\*\*)</sup>

---

\*) Departemen Agama Republik Indonesia. 1998. *Al-Qur'an dan Terjemahannya*. Semarang: PT Kumudasmoro Grafindo.

\*\*\*) Albert Einstein dalam Mardyanto, D. Catur. 2014. *Desain dan Pembuatan Motor Induksi Satu Fasa 750 Watt Split Capacitor*. Skripsi, tidak dipublikasikan.

\*\*\*\*) Robert T Kiyokasi dalam Mardyanto, D. Catur. 2014. *Desain dan Pembuatan Motor Induksi Satu Fasa 750 Watt Split Capacitor*. Skripsi, tidak dipublikasikan.

\*\*\*\*\*) Guy Sensei dalam Naruto Shipudden Movie serial 404 karya Masashi Kishimoto

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Sri Irawan Laras Prasajo

NIM : 101910301033

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul: **”Prakiraan Lokasi Wilayah SubDAS Pemicu Banjir Di DAS Sampean Menggunakan ArcGIS Dan HEC-HMS”** adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan 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 sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 28 Mei 2015

Yang menyatakan,

Sri Irawan Laras Prasajo

NIM 101910301033

**SKRIPSI**

**PRAKIRAAN LOKASI WILAYAH SUBDAS PEMICU BANJIR DI  
DAS SAMPEAN MENGGUNAKAN ARCGIS DAN HEC-HMS**

Oleh

Sri Irawan Laras Prasojo

NIM. 101910301033

Pembimbing :

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

Dosen Pembimbing Anggota : Sri Wahyuni, S.T., M.T., Ph.D



**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Prakiraan Lokasi Wilayah SubDAS Pemicu Banjir Di DAS Sampean Menggunakan ArcGIS Dan HEC-HMS” telah diuji dan disahkan pada :

Hari : Selasa

Tanggal : 16 Juni 2015

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Anggota

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

. Sri Wahyuni, S.T., M.T., Ph.D  
NIP. 19711209 199803 2 001

Penguji 1

Penguji 2

Ir. Purnomo Siddy, M.Si.  
NIP: 19590909 199903 1 001

Januar Ferry Irawan S.T., M.Eng.  
NIP: 19760111 200012 1 002

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik

Universitas Jember

Ir. Widyono Hadi, MT.  
NIP. 19610414 198902 1001

## RINGKASAN

**Prakiraan Lokasi Wilayah SubDAS Pemicu Banjir di DAS Sampean Menggunakan ArcGIS dan HEC-HMS; Sri Irawan Laras Prasajo; 101910301033; 2015: 148 halaman; Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember.**

DAS Sampean sudah memiliki waduk multifungsi untuk irigasi dan PLTA, yaitu waduk Sampean Baru yang terletak di daerah Topen, Kabupaten Bondowoso. Apabila terjadi hujan di suatu wilayah DAS Sampean, keadaan tinggi muka air meningkat secara tiba-tiba akan membahayakan stabilitas tubuh bendungan. Sehingga volume air dalam waduk perlu dialirkan menuju hilir dengan cara membuka pintu air. Apabila pintu air mendadak dibuka akan berakibat banjir bandang di daerah hilir karena sungai tidak dapat menampung volume air yang melimpas dalam jumlah besar. Kejadian ini terjadi secara periodik pada tahun 2002 dan 2008. Oleh karena itu perlu antisipasi dini dengan mencari lokasi wilayah pemicu banjir sebagai dasar pengoperasian pintu banjir di bendungan Sampean.

Analisis secara hidrologi spasial dapat diterapkan dalam mengetahui waktu mencapai puncak banjir dan debit banjir puncak ketika hujan di suatu wilayah DAS Sampean. Analisis hidrologi spasial menggunakan program ArcGIS untuk olah data spasial dan program HEC-HMS untuk olah data hidrologi. Keandalan model dilakukan dengan kalibrasi di titik stasiun AWLR Tenggarang dan AWLR Kloposawit untuk mendapatkan parameter yang sesuai. Data yang digunakan untuk analisis hidrologi spasial berupa DEM (Digital Elevation Model) dari Aster GDEM v2, layer stasiun hujan-AWLR serta layer tata guna lahan dari BPP DAS Sampean Baru untuk mengoptimalkan kondisi fisik sesuai di lapangan. Pengelolaan data DEM pada ArcGIS 10.0 dengan membagi 17 subDAS berdasarkan ordo sungai ke-2 yang merupakan sungai cabang utama dari sungai Sampean dan titik outletnya tiap bagian sungai berdasarkan nilai *flow accumulation* yang tertinggi. Pengelolaan

ArcGIS 10.0 menghasilkan *output* karakteristik fisik tiap wilayah subDAS Sampean. Data *output* dari pengolahan data DEM secara spasial menjadi data *input* pengolahan data secara hidrologi. Pemodelan hidrologi tiap subDAS ini menggunakan HEC-HMS 3.5 guna mempermudah menentukan respon hujan-aliran model. Simulasi model dengan memasukkan hujan buatan masing-masing subDAS guna mendapatkan lokasi pemicu banjir yang memiliki waktu puncak banjir relatif pendek. Kalibrasi pada AWLR Tenggarang melakukan optimasi terhadap volume dan *peak flow* dan menghasilkan nilai NASH sebesar 0,649 dengan nilai  $R^2 = 0,673$  tingkat korelasi hubungan baik dan *percentage difference* sebesar -0,7 menunjukkan bahwa nilai *peakflow* dan volume simulasi sama dengan nilai *peakflow* dan volume observasi sehingga parameter model subDAS dengan kalibrasi stasiun AWLR Tenggarang dikatakan layak. Tahap kalibrasi kedua pada outlet Kloposawit melakukan optimasi terhadap *peak flow* dan menghasilkan NASH sebesar 0,925 dengan nilai  $R^2 = 0,888$  tingkat korelasi hubungan sangat baik. Nilai tiap parameter komponen yang dianggap layak dapat dilakukan simulasi model hujan-aliran rencana.

Hasil dari simulasi model menunjukkan bahwa subDAS yang mempunyai waktu puncak banjir relatif pendek yaitu subDAS Kloposawit dan subDAS Kacung dengan waktu puncak jam ke-14, subDAS Gayam dengan waktu puncak jam ke-20, subDAS Kapuran dan subDAS Kemuning dengan waktu puncak jam ke-21. Hasil simulasi debit menunjukkan bahwa subDAS Gubri dengan debit banjir  $64,4 \text{ m}^3/\text{dt}$ , subDAS Selokambang dengan debit banjir  $62,1 \text{ m}^3/\text{dt}$  dan subDAS Kapuran dengan debit banjir  $47,5 \text{ m}^3/\text{dt}$ .

Perlu diperhatikan bahwa prakiraan lokasi pemicu banjir mempunyai debit banjir tertinggi dengan interval waktu yang terkecil yakni subDAS Kapuran karena lokasi ini memiliki debit banjir terbesar ketiga dan waktu puncak tercepat ketiga.

Sehingga, manfaat dari penelitian ini dapat digunakan untuk menentukan posisi alat ukur hujan sebagai dasar *early warning system* pemicu banjir dan pengoperasian pintu banjir waduk Sampean Baru.

## SUMMARY

**Forecast Location of Subbasin Triggers Flood in Sampean Watershed Using ArcGIS and HEC – HMS;** Sri Irawan Laras Prasajo; 101910301033; 2015: 148 pages; Departement of Civil Engineering, Engineering Faculty, Universitas Jember.

DAS Sampean have multifunctional reservoirs for irrigation and electrical hydropower is namely Sampean Baru reservoir located in Kecamatan Tapen, Kabupaten Bondowoso. At the time is rain in some location area of Sampean watershed, the state of water levels rise suddenly would be dangerous the stability of the DAM body. So that the volume of water in the reservoirs need to be channeled towards downstream by opening the floodgates. When the floodgate opened suddenly will result in flash floods on downstream because the river can't accommodate volume of runoff on large quantities. This incident occurred periodically in 2002 and 2008. Therefore it is necessary to early anticipation by find a location region of the trigger flooding as a basic operation of floodgates in reservoir Sampean Baru.

Spatial hydrologic analysis can be applied to determine the time reached to peak flood and peak flood discharge when it is rains in Sampean watershed. Spatial hydrological analysis will be using ArcGIS program for spatial data processing and program HEC - HMS for hydrologic data processing. The reliability of the model by calibration at the location AWLR Tenggarang station and AWLR Kloposawit station to obtain the appropriate parameters.. The data used for the analysis of spatial hydrology such as DEM (Digital Elevation Model) from Aster GDEM v2, rainfall observation station-AWLR layer and land use layer from BPP DAS Sampean Baru to optimize the corresponding physical condition like existing field. The processing of DEM on ArcGIS 10.0 to divide 17 subDAS based on the second order which it is the main branch of the Sampean river and outlet point of each section of the river based on the value of highest flow accumulation. The processing output on ArcGIS 10.0 is physical characteristics of each region subDAS Sampean. Hydrological

modeling each subDAS using HEC - HMS 3.5 in order to facilitate determine response of the rain - flow models. Simulation models by incorporating artificial rain each subDAS to obtain a location triggers flood that has time flood peak relatively short. The calibration on AWLR Tenggarang performs optimization of volume and peak flow and generate NASH value is 0.649,  $R^2 = 0.673$  is level of nice correlation and percentage difference value is -0.7 indicates that the peak flow and volume of simulation is equal to the peak flow and volume of observation so that the model parameters of subDAS calibrate on station subDAS AWLR Tenggarang considered feasible. The second calibration stage at the outlet Kloposawit performs the optimization of peak flow and generate NASH value of 0.925,  $R^2 = 0.888$  is level of very good correlation. The value of each component parameters that are considered can be applied a simulation model of rain - flow plan.

The results of model simulations indicate that subDAS have a relatively short time flood peak are subDAS Kloposawit and subDAS Kacung with peak time of 14th hour, subDAS Gayam with peak time of 20th hour, subDAS Kapuran and subDAS Kacung with peak time of 21th hour. The discharge of simulation results showed that subDAS Gubri has flood discharge  $64.4 \text{ m}^3/\text{s}$ , subDAS Selokambang has flood discharge  $62.1 \text{ m}^3/\text{s}$  and subDAS Kapuran has flood discharge  $47.5 \text{ m}^3/\text{s}$ .

It should be concern that the location of the trigger flood forecasts have the highest flood discharge with the smallest time interval is subDAS Kapuran because this location has the third largest flood discharge and the third fastest time of the peak.

The benefits from this research can be used to determine the position of a rain gauge base early warning system of triggers flood and the operation of floodgates Sampean Baru reservoir.

## PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah Swt. atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **Prakiraan Lokasi Wilayah SubDAS Pemicu Banjir Di DAS Sampean Menggunakan ArcGIS Dan HEC-HMS**. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

Terselesaikan skripsi ini tidak luput dari peranan beberapa pihak dan dengan izin Allah SWT karena telah memberikan rahmat-Nya dan juga segala bantuan bagi hamba-Nya untuk penyelesaian skripsi. Adapun ucapan terima kasih ini saya sampaikan untuk beberapa pihak yang telah membantu saya selama ini:

1. Ir. Widyono Hadi, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember;
3. Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M selaku Dosen Pembimbing Utama dan Sri Wahyuni., ST., MT., Ph.D selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah banyak meluangkan waktu dan pikiran serta perhatiannya guna terselesaikannya penulisan laporan tugas akhir ini.
4. Ir Purnomo Sidy, M.Si selaku Dosen Penguji Utama, Januar Fery Irawan, ST., M.Eng selaku Dosen Penguji Anggota dan M. Farid Ma'ruf, ST., MT., Ph.D selaku Dosen Penguji yang telah banyak memberikan bimbingan dan pengarahan demi terselesaikan laporan tugas akhir ini.
5. Ahmad Hasanuddin, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing dan arahan selama penulis menjadi mahasiswa;
6. Ibuku Dra. Nunuk Sri Mauludiana M.Pd. dan Ayahku Drs. Irawan Dwi Setiono tercinta, yang telah membantu baik moril dan materiil, mendoakan, mendidik dan memberikan kasih sayang serta pengorbanan yang tidak terhingga selama ini;

7. Adikku Sri Irawan Laras Budiharjo (Dhito) yang telah merawat dan menjaga kondisi kesehatan penulis selama penulisan skripsi ini.
8. Irdhian Dwie Yuliar, Yusi, Yusufi dan Zakaria Usman terima kasih atas bantuannya terselesaikan skripsi ini;
9. Almamater Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dalam mengembangkan ilmu pengetahuan khususnya untuk disiplin ilmu Teknik Sipil dan diharapkan dapat dikembangkan untuk penelitian- penelitian selanjutnya.

Jember, 28 Mei 2015

Penulis

DAFTAR ISI

|   | Halaman     |
|---|-------------|
| <b>HALAMAN JUDUL .....</b>                  | <b>i</b>    |
| <b>PERSEMBAHAN.....</b>                     | <b>ii</b>   |
| <b>MOTTO .....</b>                          | <b>iv</b>   |
| <b>PERNYATAAN.....</b>                      | <b>v</b>    |
| <b>LEMBAR PEMBIMBING .....</b>              | <b>vi</b>   |
| <b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>              | <b>vii</b>  |
| <b>RINGKASAN .....</b>                      | <b>viii</b> |
| <b>SUMARRY .....</b>                        | <b>x</b>    |
| <b>PRAKATA.....</b>                         | <b>xii</b>  |
| <b>DAFTAR ISI.....</b>                      | <b>xiv</b>  |
| <b>DAFTAR TABEL .....</b>                   | <b>xvii</b> |
| <b>DAFTAR GAMBAR .....</b>                  | <b>xix</b>  |
| <b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>                | <b>xxi</b>  |
| <b>BAB 1. PENDAHULUAN .....</b>             | <b>1</b>    |
| 1.1 Latar Belakang .....                    | 1           |
| 1.2 Rumusan Masalah .....                   | 2           |
| 1.3 Maksud dan Tujuan.....                  | 3           |
| 1.4 Batasan Masalah.....                    | 3           |
| <b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>         | <b>4</b>    |
| 2.1 Banjir.....                             | 4           |
| 2.2 Hujan .....                             | 4           |
| 2.3 Hujan Wilayah Rata- Rata.....           | 5           |
| 2.4 Karakteristik Daerah Aliran Sungai..... | 6           |
| 2.4.1 Karakteristik Meterologi DAS.....     | 6           |
| 2.4.2 Karakteristik Morfologi DAS .....     | 8           |
| 2.4.3 Karakteristik Morfometri DAS .....    | 11          |
| 2.5 Digital Elevation Model.....            | 15          |
| 2.6 GDEM ASTER .....                        | 16          |
| 2.7 Hidrologi Spasial.....                  | 18          |



|               |  |           |
|---------------|--|-----------|
| 2.8           | Format Data Spasial .....                          | 21        |
| 2.8.1         | Vektor .....                                       | 21        |
| 2.8.2         | Raster .....                                       | 21        |
| 2.9           | Pengelolaan GIS.....                               | 22        |
| 2.9.1         | <i>Fill</i> .....                                  | 23        |
| 2.9.2         | <i>Flow Direction</i> .....                        | 23        |
| 2.9.3         | <i>Flow Accumulation</i> .....                     | 24        |
| 2.10          | HEC-HMS.....                                       | 26        |
| 2.10.1        | Hujan ( <i>Precipitation</i> ).....                | 27        |
| 2.10.2        | Volume Aliran ( <i>Volume Runoff</i> ).....        | 28        |
| 2.10.3        | Aliran Langsung ( <i>Direct Runoff</i> ).....      | 30        |
| 2.10.4        | Model <i>Baseflow</i> .....                        | 31        |
| 2.10.5        | Model <i>Channel Flow</i> .....                    | 32        |
| <b>BAB 3.</b> | <b>METEDOLOGI PENELITIAN .....</b>                 | <b>35</b> |
| 3.1           | Waktu dan Tempat Penelitian .....                  | 35        |
| 3.2           | Alat dan Bahan Penelitian.....                     | 36        |
| 3.2.1         | Alat.....  | 36        |
| 3.2.2         | Bahan .....  | 36        |
| 3.3           | Langkah- Langkah Penelitian .....                  | 36        |
| 3.4           | Pengelolaan Data .....                             | 37        |
| 3.4.1         | Pengelolaan Data ArcGIS .....                      | 37        |
| 3.4.2         | Pemodelan Data HEC-HMS .....                       | 39        |
| 3.5           | Alur Penelitian .....                              | 44        |
| 3.6           | Alur Pengelolaan Data ArcGIS.....                  | 45        |
| 3.7           | Alur Pemodelan HEC-HMS .....                       | 47        |
| <b>BAB 4.</b> | <b>HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>                   | <b>49</b> |
| 4.1           | Analisis Hidrologi Spasial .....                   | 49        |
| 4.1.1         | Arah Aliran ( <i>Flow Direction</i> ).....         | 50        |
| 4.1.2         | Akumulasi Aliran ( <i>Flow Accumulation</i> )..... | 51        |
| 4.1.3         | Peta Sungai DAS Sampean.....                       | 52        |
| 4.1.4         | Peta Kemiringan Lereng DAS Sampean .....           | 53        |
| 4.1.5         | Penentuan Titik Outlet SubDAS.....                 | 54        |

|  |            |
|--|------------|
| 4.1.6 Delinasi SubDAS .....                      | 55         |
| 4.1.7 Pengaruh Thiessen SubDAS .....             | 57         |
| 4.2 Karakteristik Fisik DAS Sampean .....        | 52         |
| 4.2.1 Luas DAS .....                             | 59         |
| 4.2.2 Bentuk DAS .....                           | 60         |
| 4.2.3 Kemiringan DAS .....                       | 62         |
| 4.2.4 Jaringan Sungai .....                      | 64         |
| 4.2.5 Bentuk Lereng DAS .....                    | 66         |
| 4.3 Tata Guna Lahan .....                        | 70         |
| 4.4 Data Hidrometeorologi .....                  | 76         |
| 4.5 Skematisasi Model dengan HEC-HMS .....       | 83         |
| 4.5.1 Skema Komponen Model .....                 | 83         |
| 4.5.2 Data <i>Initial Condition</i> .....        | 85         |
| 4.5.3 Data <i>Boundry Condition</i> .....        | 93         |
| 4.6 Kalibrasi dan Optimasi Parameter Model ..... | 95         |
| 4.7 Simulasi Hujan- Aliran Rencana .....         | 107        |
| 4.8 Analisis Kontribusi Hujan .....              | 109        |
| <b>BAB 5. KESIMPULAN &amp; SARAN .....</b>       | <b>113</b> |
| 5.1 Kesimpulan .....                             | 113        |
| 5.2 Saran .....                                  | 114        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>                       | <b>115</b> |

**DAFTAR TABEL**

|   | Halaman |
|---|---------|
| Tabel 2.1 Curah Hujan .....   | 7       |
| Tabel 2.2 Intensitas Hujan .....  | 7       |
| Tabel 2.3 Klasifikasi Kemiringan Lereng .....                             | 10      |
| Tabel 2.4 Klasifikasi Bentuk Lereng DAS .....                             | 10      |
| Tabel 2.5 Perbedaan GDEM Aster Versi 1 dan Versi 2 .....                  | 18      |
| Tabel 2.6 Perhitungan dan Model yang Terdapat dalam HEC-HMS .....         | 27      |
| Tabel 2.7 Nilai Resesi Konstan.....                                       | 32      |
| Tabel 3.1 Paramater Model.....  | 41      |
| Tabel 4.1 Klasifikasi Kemiringan Lereng DAS Sampean .....                 | 53      |
| Tabel 4.2 Bentuk SubDAS Sampean .....                                     | 56      |
| Tabel 4.3 Stasiun Hujan dan Lokasi .....                                  | 57      |
| Tabel 4.4 Luas SubDAS Sampean.....  | 60      |
| Tabel 4.5 Analisa Bentuk SubDAS.....                                      | 61      |
| Tabel 4.6 Karakteristik Kemiringan Lereng SubDAS Sampean .....            | 63      |
| Tabel 4.7 Panjang dan Kemiringan sungai tiap subDAS .....                 | 64      |
| Tabel 4.8 Identifikasi Kerapatan dan Pola Jaringan di subDAS Penelitian.. | 65      |
| Tabel 4.9 Bentuk Lereng tiap subDAS Sampean .....                         | 68      |
| Tabel 4.10 Luas dan Nilai CN Tiap Jenis Lahan di DAS Sampean .....        | 71      |
| Tabel 4.11 Interpretasi Tata Guna Lahan .....                             | 72      |
| Tabel 4.12 Rekapitulasi Nilai Rerata CN dan Impervious.....               | 76      |
| Tabel 4.13 Lokasi Stasiun AWLR .....                                      | 77      |
| Tabel 4.14 Data Debit Obervasi Stasiun Tenggarong.....                    | 77      |
| Tabel 4.15 Data Debit Obervasi Stasiun Kloposawit .....                   | 78      |
| Tabel 4.16 Data Hujan Harian Bulan Januari 2007 .....                     | 79      |
| Tabel 4.17 Curah Hujan Wilayah Tiap SubDAS .....                          | 81      |
| Tabel 4.18 Tabel Hasil Perhitungan Jam- Jaman.....                        | 82      |
| Tabel 4.19 Tabel Hasil Perhitungan Jam- Jaman (2).....                    | 83      |
| Tabel 4.20 Penamaan Komponen Model SubDAS.....                            | 84      |
| Tabel 4.21 Penamaan Komponen Model Sungai Utama .....                     | 85      |

|   |     |
|---|-----|
| Tabel 4.22 Prosentase Lahan Hijau Tiap Jenis Lahan pada SubDAS.....                 | 86  |
| Tabel 4.23 Prosentase Intial Storage Canopy dan Surface tiap subDAS.....            | 87  |
| Tabel 4.24 Nilai input parameter <i>max storage Canopy</i> dan <i>Surface</i> ..... | 88  |
| Tabel 4.25 Nilai Retensi dan <i>Intial Abstraction</i> Tiap SubDAS.....             | 89  |
| Tabel 4.26 Nilai Parameter Model SCS CN .....                                       | 90  |
| Tabel 4.27 Nilai parameter <i>Tc</i> dan <i>R</i> Tiap SubDAS.....                  | 91  |
| Tabel 4.28 Nilai parameter <i>Time Lag</i> .....                                    | 92  |
| Tabel 4.29 Nilai Baseflow metode Recession tiap subDAS.....                         | 93  |
| Tabel 4.30 Nilai Paramater Muskingum Routing .....                                  | 95  |
| Tabel 4.31. Hujan jam- jaman rencana .....  | 106 |
| Tabel 4.32. Hasil Running Simulasi Hujan Aliran Rencana tiap SubDAS ..              | 107 |
| Tabel 4.33 Sensitifitas Hujan-Aliran tiap SubDAS .....                              | 110 |

DAFTAR GAMBAR

|   | Halaman |
|---|---------|
| Gambar 2.1 Pembagian Daerah dengan Cara Poligon <i>Thiessen</i> .....               | 6       |
| Gambar 2.2 Perhitungan Tinggi Rata- Rata DAS .....                                  | 8       |
| Gambar 2.3 Kurva Hipsometrik suatu DAS .....  | 9       |
| Gambar 2.5 Kategori Bentuk DAS .....  | 11      |
| Gambar 2.6 Pengaruh Bentuk DAS terhadap Debit Puncak.....                           | 12      |
| Gambar 2.7 Pengaruh kerapatan jaringan sungai terhadap aliran.....                  | 13      |
| Gambar 2.8 Pola Aliran DAS.....   | 15      |
| Gambar 2.9 Tampilan 3D DEM.....   | 16      |
| Gambar 2.10 Ilustrasi peran GIS, HEC-GeoHMS, HEC-HMS .....                          | 19      |
| Gambar 2.11 Data Vektor .....   | 21      |
| Gambar 2.12 Data Raster .....   | 21      |
| Gambar 2.13 Ilustrasi Filled Sink .....   | 23      |
| Gambar 2.14 Ilustrasi Remove Peak.....  | 23      |
| Gambar 2.15 Ilustrasi Proses <i>Flow Direction</i> .....                            | 24      |
| Gambar 2.16 Nilai Sel Grid <i>Flow Direction</i> dan <i>Flow Accumulation</i> ..... | 25      |
| Gambar 2.17 Ilustrasi Proses <i>Flow Accumulation</i> .....                         | 25      |
| Gambar 2.18 Skema Model <i>Canopy</i> dan <i>Surface</i> .....                      | 30      |
| Gambar 2.19 Struktur Alur Parameter Model Penelitian.....                           | 34      |
| Gambar 3.1 DAS Sampean .....  | 35      |
| Gambar 3.2 Ilustrasi Skema Penelitian Model HEC-HMS.....                            | 40      |
| Gambar 3.3 Diagram Alur Penelitian.....   | 44      |
| Gambar 3.4 Diagram Alur Pengelolaan Data pada ArcGIS .....                          | 46      |
| Gambar 3.5 Diagram Alur Pemodelan HEC-HMS.....                                      | 48      |
| Gambar 4.1 DEM DAS Sampean .....  | 49      |
| Gambar 4.2. Peta Arah Aliran DAS Sampean .....                                      | 50      |
| Gambar 4.3 Peta Akumulasi Aliran DAS Sampean.....                                   | 51      |
| Gambar 4.4 Peta Sungai DAS Sampean .....  | 52      |
| Gambar 4.5 Peta Kemiringan Lereng DAS Sampean.....                                  | 53      |
| Gambar 4.6 Peta Titik Outlet Penelitian .....                                       | 54      |

|  |     |
|--|-----|
| Gambar 4.7 Peta SubDAS Penelitian.....                                   | 55  |
| Gambar 4.8 Peta Poligon Thiessen .....                                   | 58  |
| Gambar 4.9 Peta DAS Sampean dan SubDAS Penelitian .....                  | 59  |
| Gambar 4.10 Hasil Garis <i>Cross Section</i> Memanjang DAS Sampean.....  | 66  |
| Gambar 4.11 Hasil Garis <i>Cross Section</i> Melintang DAS Sampean ..... | 67  |
| Gambar 4.13 Peta Tata Guna Lahan .....                                   | 71  |
| Gambar 4.14 Skema model penelitian dalam HEC-HMS .....                   | 84  |
| Gambar 4.15 Hasil Output Running Outlet Tenggarang .....                 | 96  |
| Gambar 4.16 Scatter Plot pada Outlet Tenggarang.....                     | 97  |
| Gambar 4.17 Hasil Optimasi Volume Simulasi Model Outlet Tenggarang .     | 98  |
| Gambar 4.18 Scatter Plot Optimasi Volume Simulasi.....                   | 98  |
| Gambar 4.19 Sensifitas Parameter Optimasi Volume Simulasi.....           | 99  |
| Gambar 4.20 Hasil Optimasi <i>Peak Flow</i> Simulasi .....               | 100 |
| Gambar 4.21 Scatter Plot Optimasi <i>Peak Flow</i> Simulasi .....        | 101 |
| Gambar 4.22 Sensifitas Parameter Optimasi <i>Peak Flow</i> .....         | 101 |
| Gambar 4.23 Hasil Output Running Outlet Kloposawit .....                 | 102 |
| Gambar 4.24 Scatter Plot pada Outlet Kloposawit .....                    | 103 |
| Gambar 4.25 Hasil Optimasi <i>Peak Flow</i> Simulasi .....               | 104 |
| Gambar 4.26 Plot Scatter Optimasi <i>Peak Flow</i> Simulasi .....        | 104 |
| Gambar 4.27 Sensitifitas Parameter Optimasi <i>Peak Flow</i> .....       | 105 |
| Gambar 4.28 Grafik Hidrograf Debit Banjir Simulasi.....                  | 108 |

DAFTAR LAMPIRAN

|   | Halaman    |
|---|------------|
| <b>Lampiran A. Nilai Curve Number .....</b>                             | <b>120</b> |
| A.1 Nilai CN untuk Lahan Bervegetasi Lahan Pertanian .....              | 120        |
| A.2 Nilai CN untuk Lahan Bervegetasi selain Lahan Pertanian .....       | 121        |
| A.3 Nilai CN untuk Area Pemukiman .....                                 | 122        |
| <b>Lampiran B. Nilai Ratio Parameter Model HEC-HMS.....</b>             | <b>123</b> |
| <b>Lampiran C. Polygon Thiessen dan Curah Hujan Wilayah.....</b>        | <b>124</b> |
| <b>Lampiran E. Hujan Wilayah Tiap Stasiun dan subDAS .....</b>          | <b>127</b> |
| E.1 Curah Hujan Wilayah Tanggal 29 Januari 2007.....                    | 127        |
| E.2 Curah Hujan Wilayah Tanggal 30 Januari 2007 .....                   | 130        |
| E.3 Curah Hujan Wilayah Tanggal 31 Januari 2007.....                    | 133        |
| <b>Lampiran D. Data Hujan Harian .....</b>                              | <b>136</b> |
| <b>Lampiran F. Perhitungan NASH Kalibrasi dan Optimasi Simulas.....</b> | <b>141</b> |
| F.1 Kalibrasi Outlet Tenggarang.....                                    | 141        |
| F.2 Optimasi Volume Outlet Tenggarang.....                              | 142        |
| F.3 Optimasi Debit Outlet Tenggarang.....                               | 143        |
| F.4 Kalibrasi Outlet Kloposawit .....                                   | 144        |
| F.5 Optimasi Outlet Kloposawit .....                                    | 145        |
| <b>Lampiran G. Nilai Parameter Setelah Optimasi Model.....</b>          | <b>146</b> |
| <b>Lampiran H. Debit Hasil Simulasi Hujan-Aliran Rencana .....</b>      | <b>147</b> |

## BAB I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

DAS Sampean sudah memiliki waduk multifungsi untuk Irigasi dan PLTA yang dinamakan waduk Sampean Baru terletak di daerah Tapen Kabupaten Bondowoso. Apabila terjadi hujan di suatu wilayah DAS Sampean, keadaan tinggi muka air meningkat secara tiba-tiba akan membahayakan stabilitas tubuh bendungan (Raziqa dkk., 2013). Sehingga volume air dalam waduk perlu dialirkan menuju hilir dengan cara membuka pintu. Apabila pintu air mendadak dibuka akan berakibat banjir bandang di daerah hilir yakni kota Situbondo karena sungai tidak dapat menampung volume air yang melimpas dalam jumlah besar. Kejadian ini terjadi secara periodik pada tahun 2002 dan 2008 (Mahfudi, 2010; Raziqa dkk., 2013).

Perlu antisipasi dini dengan mencari lokasi wilayah pemicu banjir sebagai dasar pengoperasian pintu banjir di bendungan Sampean. Prakiraan lokasi wilayah pemicu banjir dipengaruhi kondisi meteorologi (curah hujan, intensitas hujan), morfologi (topografi), morfometri (luas DAS, bentuk DAS, jaringan sungai, pola aliran) (Purba, 2013). Pengaruh kondisi tiap lokasi dapat diketahui dengan analisis hidrologi spasial. Untuk mengetahui kondisi fisik tiap lokasi perlu dilakukan mitigasi lingkungan melalui pemodelan spasial dengan sistem informasi geografis (GIS) (Affandy dkk., Tanpa Tahun; Asmantoro, 2012; Azizah *et al.*, 2000; Bhaskar *et al.*, 2013; Hilmi *et al.*, 2014; Slamet, 2014; Usman, 2014; Nag *et al.*, 2013). Pemodelan spasial dengan GIS dapat digunakan untuk memproses vegetasi, topografi, tata guna lahan untuk menciptakan model hidrologi (Dhakal *et al.*, 2014). Pengaruh kondisi meteorologi, yakni curah hujan dapat diketahui melalui pemodelan HEC-HMS guna mempermudah penentuan respon hujan-aliran tiap lokasi (Affandy dkk., Tanpa Tahun; D. Roy *et al.*, 2012; Firmansyah, 2012; Guettner, 2010; Hidayah dkk., 2014a; Harsoyo, 2010; Nag *et al.*, 2013; Mahfudi, 2010). Salah satu keunggulan dari model HEC-HMS adalah telah digunakannya konsep GIS dalam penyelesaian modelnya (Harsoyo, 2010).



Beberapa penelitian hidrologi spasial menggunakan pemrograman GIS dan HEC-HMS dalam pemodelan hidrologi spasial, diantaranya Nag *et al.* (2012) melakukan modeling hidrologi guna menentukan karakteristik drainase DAS baik pedesaan maupun perkotaan di DAS Wochu, Paro Dzongkhag, Bhutan; Shinta Dhakal *et al.* (2014) melakukan penelitian bertujuan menyelidiki potensi perubahan hidrologi respon DAS akibat kebakaran hutan di lokasi DAS Medeterania, Prancis; Allison Guttner (2010) melakukan simulasi HEC-GeoHMS di DAS Guadalupe di Texas; Chu *et al.* (2009) melakukan pengembangan skala berjangka (*even*) dan skala kontinyu untuk mendapatkan akurasi yang baik dalam hidrologi DAS Danau Mona di Michigan. Dalam penelitian sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa analisis hidrologi spasial akan lebih memiliki keakuratan dalam menghasilkan simulasi hujan aliran dibandingkan secara keseluruhan (*lump*).

Pemodelan hidrologi spasial dalam penelitian ini ditujukan untuk menemukan prakiraan lokasi subDAS Sampean yang seringkali memicu banjir terhadap daerah outlet, khususnya lokasi bendungan Sampean Baru sehingga dapat diperkirakan waktu yang dibutuhkan dan debit yang dihasilkan ketika terjadi hujan suatu wilayah subDAS terhadap bendungan.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana kondisi fisik tiap wilayah subDAS Sampean menurut ArcGIS?
2. Dimanakah prakiraan lokasi wilayah subDAS Sampean yang dapat sebagai pemicu banjir di DAS Sampean?

## 1.3 Tujuan dan Manfaat

Adapun tujuan dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Mengetahui kondisi fisik wilayah subDAS Sampean menurut ArcGIS.
2. Mengetahui prakiraan lokasi wilayah subDAS Sampean yang dapat sebagai pemicu banjir di DAS Sampean

Manfaat dari penelitian ini memberikan informasi ilmiah mengenai lokasi-lokasi rawan banjir maupun penyebab banjir serta waktu yang diperlukan banjir pada suatu lokasi menuju daerah rawan banjir.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Untuk menghindari lingkup penelitian yang terlalu luas, serta dapat memberikan arah yang lebih baik dan memudahkan dalam penyelesaian masalah sesuai dengan tuntutan yang ingin dicapai, maka dilakukan pembatasan dalam ruang lingkup penelitian yang dikerjakan. Adapun batasan ruang lingkup penelitian ini antara lain:

1. Penelitian menggunakan curah hujan jam-jaman hasil perhitungan IDF.
2. Titik akhir pemodelan adalah outlet Kloposawit dan penentuan kalibrasi parameter HEC-HMS pada dua titik yaitu stasiun AWLR Tenggarang dan AWLR Kloposawit.
3. Variabel awal HEC-HMS berdasarkan karakter fisik wilayah menurut ArcGIS.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Banjir.

Banjir adalah merupakan suatu keadaan sungai dimana aliran airnya tidak tertampung oleh palung sungai, karena debit banjir lebih besar dari kapasitas sungai yang ada. Secara umum penyebab terjadinya banjir dapat dikategorikan menjadi dua hal, yaitu karena sebab – sebab alami dan karena tindakan manusia. Yang termasuk sebab alami diantaranya:

a. Curah hujan

Pada musim penghujan, curah hujan yang tinggi akan mengakibatkan banjir di sungai dan bilamana melebihi tebing sungai, maka akan timbul banjir atau genangan (Dewi dkk.,2007)..

b. Pengaruh fisiografi

Fisiografi atau geografi fisik sungai seperti bentuk, dan kemiringan Daerah Pengaliran Sungai (DPS), kemiringan sungai, Geometri hidrolis (Bentuk penampang seperti lebar, kedalaman, potongan memanjang, material dasar sungai), lokasi sungai (Dewi dkk.,2007).

### 2.2 Hujan

Hujan adalah komponen masukan penting dalam proses hidrologi. Karakteristik hujan di antaranya adalah intensitas, durasi, kedalaman, dan frekuensi. Intensitas berhubungan dengan durasi dan frekuensi dapat diekspresikan dengan kurva Intensity-Duration-Frequency (IDF) (Suroso,2004) .

Intensitas curah hujan adalah ketinggian curah hujan yang terjadi pada suatu kurun waktu di mana air tersebut terkonsentrasi (Loebis,1992). Intensitas curah hujan dinotasikan dengan huruf I dengan satuan mm/jam. Besarnya intensitas curah hujan sangat diperlukan dalam perhitungan debit banjir rencana berdasarkan metode Clark Unit Hydrograph dan SCS *Curve Number*.

Sri Harto (1993) menyebutkan bahwa analisis IDF memerlukan analisis frekuensi dengan menggunakan seri data yang diperoleh dari rekaman data hujan. Seandainya data curah hujan yang ada adalah data curah hujan harian, maka untuk menghitung intensitas hujan jam-jaman dapat digunakan metode Mononobe (Loebis,1992) sebagai berikut :

$$I = \frac{R_2}{2} \left( \frac{2}{t} \right)^{2/3} \dots\dots\dots(2.1)$$

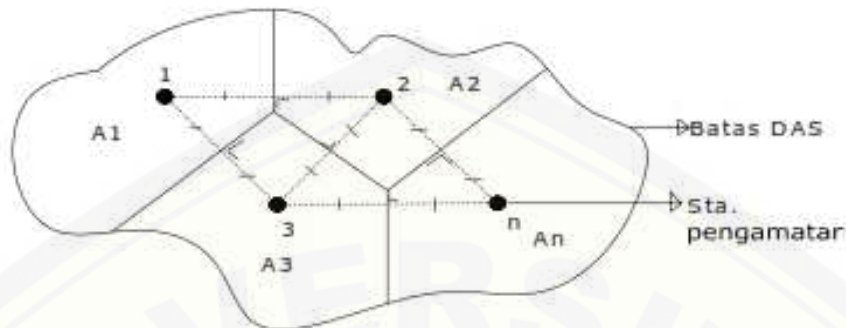
Dimana :  $I$  = intensitas curah hujan untuk lama hujan  $t$  (mm/jam)  
 $t$  = lama curah hujan (jam)  
 $R_{24}$  = curah hujan maksimum selama 24 jam (mm)

### 2.3 Curah Hujan Wilayah Rata-Rata

Sri Harto (1993) menyebutkan bahwa cara polygon Thiessen memberikan proporsi luasan daerah pengaruh pos penakar hujan untuk mengakomodasi ketidakseragaman jarak.

$$\begin{aligned} \bar{R} &= \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + \dots + A_n R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \\ &= \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + \dots + A_n R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \\ \bar{R} &= R_1 W_1 + R_2 W_2 + \dots + R_n W_n \dots\dots\dots(2.2) \end{aligned}$$

Dimana :  $\bar{R}$  = curah hujan wilayah rata- rata (mm)  
 $R_1, R_2, \dots, R_n$  = curah hujan masing- masing stasiun (mm)  
 $A_1, A_2, \dots, A_n$  = luas masing-masing wilayah (km<sup>2</sup>)  
 $W_1, W_2, \dots, W_n$  = faktor bobot masing- masing stasiun (%)



Gambar 2.1 Pembagian Daerah dengan Cara Poligon *Thiessen*

(Sumber: Harto, 1993)

## 2.4 Karakteristik Daerah Aliran Sungai (DAS)

Menurut Peraturan Direktur Jenderal Bina Pengelolaan Daerah Aliran Sungai nomer P.3/V-SET/2013 tentang Pedoman Identifikasi Karakteristik DAS, karakteristik DAS pada dasarnya meliputi 2 (dua) bagian, yaitu karakteristik biogeofisik dan karakteristik sosial ekonomi budaya dan kelembagaan, yang secara rinci mengenai karakteristik biogeofisik dapat dijelaskan sebagai berikut :

### 2.4.1 Karakteristik Meteorologi DAS

#### 2.4.1.1 Curah Hujan

Curah hujan merupakan ketinggian air hujan yang terkumpul dalam tempat yang datar, tidak menguap, tidak meresap, dan tidak mengalir. Hujan merupakan input air yang masuk dalam suatu DAS, oleh karena itu mengetahui besarnya curah hujan sangat penting.

Untuk dapat mengetahui besarnya curah hujan yang terjadi diperlukan data curah hujan yang diperoleh melalui stasiun-stasiun hujan, baik yang dikelola oleh BMKG, Kementerian Kehutanan ataupun dinas/instansi lain yang bersangkutan (Kemenhut, 2013).

Metode untuk menggambarkan curah hujan pada suatu wilayah dapat digunakan metode poligon Thiessen ataupun metode isohyet. Poligon Thiessen digunakan apabila wilayah yang dipetakan memiliki topografi datar, sedangkan jika wilayahnya memiliki topografi berombak hingga bergunung maka metode yang paling sesuai adalah Isohyet (Kemenhut, 2013). Klasifikasi curah hujan yang digunakan dalam kajian karakteristik DAS ini dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Curah Hujan

| NO. | Curah Hujan (mm/tahun) | Kategori Nilai |
|-----|------------------------|----------------|
| 1   | < 1500                 | Sangat rendah  |
| 2   | 1500 – < 2000          | Rendah         |
| 3   | 2000 – <2500           | Sedang         |
| 4   | 2500 – < 3000          | Tinggi         |
| 5   | >= 3000                | Sangat Tinggi  |

Sumber: Kemenhut (2013)

#### 2.4.1.2 Intensitas Hujan

Intensitas hujan adalah banyaknya curah hujan persatuan jangka waktu tertentu. Apabila dikatakan intensitasnya besar berarti hujan lebat dan kondisi ini sangat berbahaya karena berdampak dapat menimbulkan banjir, longsor dan efek negatif terhadap tanaman (Kemenhut, 2013). Klasifikasi curah hujan yang digunakan dalam kajian karakteristik DAS ini dapat dilihat pada Tabel 2.2

Tabel 2.2 Intensitas Hujan

| NO. | Intensitas Hujan (mm/hari) | Kategori Nilai |
|-----|----------------------------|----------------|
| 1   | 13,60                      | Sangat rendah  |
| 2   | 13,61 – 20,70              | Rendah         |
| 3   | 20,71 – 27,70              | Sedang         |
| 4   | 27,71 – 34,80              | Tinggi         |
| 5   | 34,81 atau lebih           | Sangat Tinggi  |

Sumber: Kemenhut (2013)

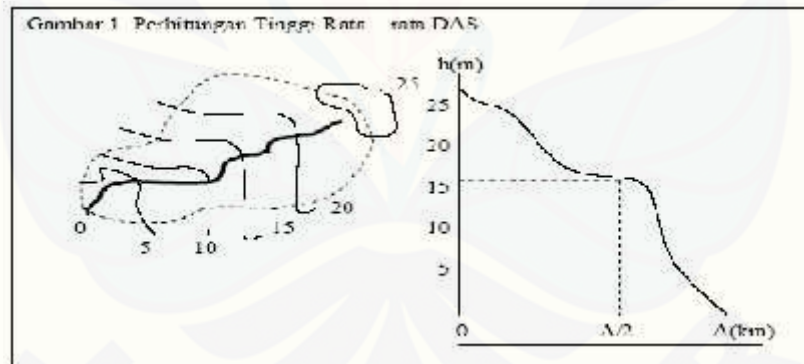
## 2.4.2 Karakteristik Morfologi DAS

### 2.4.2.1. Topografi

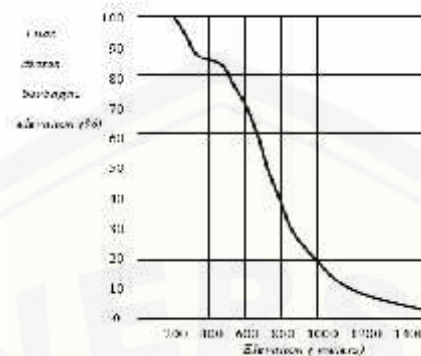
Variabel topografi dalam karakteristik DAS ini dibagi ke dalam 3 variabel, yaitu ketinggian DAS, kemiringan lereng DAS dan bentuk lereng DAS. Ketiga variabel topografi tersebut mempunyai peranan yang erat dengan proses terjadinya infiltrasi, limpasan permukaan dan erosi yang terjadi akibat air hujan yang turun.

#### a) Ketinggian (*Elevation*) DAS

Elevasi rata-rata dan variasi ketinggian pada suatu DAS merupakan faktor penting yang berpengaruh terhadap temperatur dan pola hujan, khususnya pada daerah dengan topografi bergunung. Ketinggian suatu tempat dapat diketahui dari peta topografi, diukur di lapangan atau melalui foto udara, jika terdapat salah satu titik kontrol sebagai titik ikat. Hubungan antara elevasi dengan luas DAS dapat dinyatakan dalam bentuk hipsometrik (*Hypsometric Curve*) seperti Gambar 2.3. Perhitungan ketinggian rata – rata DAS ditunjukkan pada Gambar 2.2 berikut :



Gambar 2.2 Perhitungan Tinggi Rata – rata DAS (Sumber Kemenhut, 2013)



Gambar 2.3 Kurva Hipsometrik suatu DAS  
(Sumber: AVERY, 1975 dalam Kemenhut, 2013)

b) Kemiringan Lereng DAS

Kemiringan rata-rata DAS adalah faktor yang berpengaruh terhadap limpasan permukaan. Kecepatan dan tenaga erosif dari overland flow sangat dipengaruhi oleh tingkat keterlereng lapangan. Untuk mengukur lereng dapat dilakukan dengan menggunakan alat Abney Level atau clinometer. Pada potret udara pengukuran lereng dapat dilakukan dengan menggunakan slope meter atau dengan mencari beda tinggi dengan paralaks meter atau dengan menggunakan rumus AVERY (1975 dalam Kemenhut, 2013) dan HORTON (1945 dalam Kermenhut, 2013) menggunakan *contour method* dengan rumus :

$$Lereng (\%) = \frac{C \times l}{A} \dots\dots\dots(2.3)$$

- dimana : C = interval kontur (m)
- l = total panjang kontur (m)
- A = luas DAS (m<sup>2</sup>)

Untuk memudahkan proses pemetaan dari variabel lereng tersebut, maka peta lereng yang sudah dihasilkan dikelompokkan atau dikelaskan ke dalam 5 kelas yang disajikan pada Tabel 2.3



Tabel 2.3. Klasifikasi Kemiringan Lereng

| Kode/ Kelas | Kemiringan Lereng | Keterangan   |
|-------------|-------------------|--------------|
| 1           | 0 – 8             | Datar        |
| 2           | 8 – 15            | Landai       |
| 3           | 15 – 25           | Agak Curam   |
| 4           | 25 – 40           | Curam        |
| 5           | > 40              | Sangat Curam |

Sumber: Kemenhut (2013)

c) Bentuk Lereng DAS

Berdasarkan pendekatan hidromorfometri untuk DAS yang mempunyai wilayah perbukitan yang mempunyai lereng cekung akan menghasilkan kenaikan hidrograf (*rising limb*) lebih tajam dari bentuk lereng cembung. Bentuk lereng DAS rata-rata dapat dilihat pada curve hypsometrik yang juga digunakan dalam perhitungan ketinggian DAS (Kemenhut, 2013). Klasifikasi bentuk lereng DAS dikelompokkan dalam 2 klas disajikan pada Tabel 2.4

Tabel 2.4. Klasifikasi Bentuk Lereng

| Kode/ Kelas | Bentuk Lereng | Keterangan   |
|-------------|---------------|--|
| Cb          | Cembung       | Lebih 50% kenampakan curva hypsometrik cembung Lebih 50% |
| Ck          | Cekung        | kenampakan curva hypsometrik cekung                      |

Sumber : Kemenhut (2013)

### 2.4.3. Karakteristik Morfometri DAS

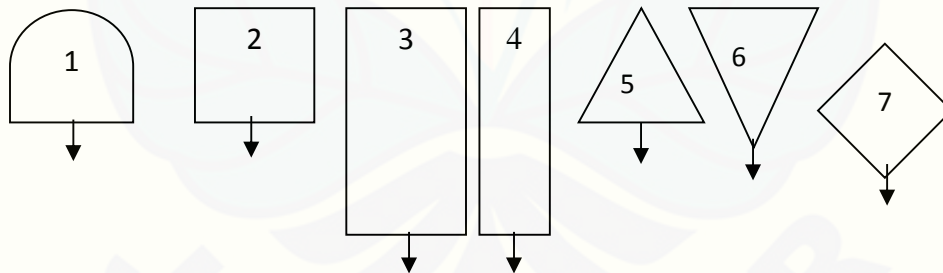
#### 2.4.3.1 Luas DAS

DAS dibatasi oleh pinggir pegunungan yang berfungsi sebagai batas (*river divide*) dan akhirnya mengalirkan air hujan yang bertemu pada satu *outlet*. Akibatnya, semakin luas suatu DAS, hasil akhir (*water yield*) yang diperoleh akan semakin besar, karena hujan yang ditangkap juga semakin banyak. Luas DAS sangat berhubungan erat dengan debit aliran (Kodotie, 2013).

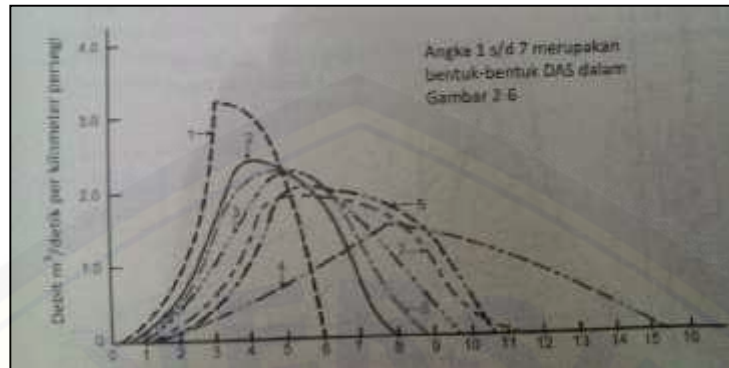
#### 2.4.3.2 Bentuk DAS

Bentuk DAS mempunyai pengaruh pada pola aliran sungai dan ketajaman puncak discharge banjir. Bentuk daerah aliran sungai ini sulit untuk dinyatakan secara kuantitatif.

DAS mempunyai bentuk yang bermacam- macam berdasarkan bentuk topografi dan geologinya. Bentuk- bentuk DAS tersebut berpengaruh terhadap hidrograf dan debit aliran puncak. Richard (1950 dalam Kodoitie, 2013) menganalisis secara sederhana berbagai bentuk DAS dan pengaruhnya terhadap hidrograf dan debit aliran puncak dengan data lain dianggap sama. Berikut kategori bentuk DAS disajikan pada Gambar 2.5 dengan hasil hidrograf banjir diilustrasikan grafik dalam Gambar 2.6



Gambar 2.5 Kategori Bentuk DAS (Sumber : Kodotie, 2013)



Gambar 2.6 Pengaruh Bentuk DAS terhadap Debit Puncak

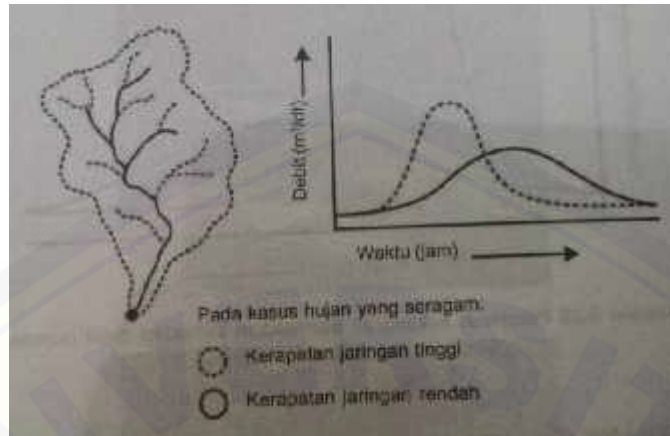
(Sumber: Kodotie, 2013)

Berdasarkan grafik dapat diketahui bahwa DAS berbentuk kategori 1 memiliki debit puncak sangat tinggi dan dalam waktu yang sangat cepat, sedangkan kategori 4 memiliki debit puncak paling kecil dan dalam waktu yang lambat.

#### 2.4.3.3 Jaringan Sungai

Pola aliran atau susunan sungai pada suatu DAS merupakan karakteristik fisik setiap drainase basin yang penting karena pola aliran sungai mempengaruhi efisiensi sistem drainase serta karakteristik hidrografis dan pola aliran menentukan bagi pengelola DAS untuk mengetahui kondisi tanah dan permukaan DAS khususnya tenaga erosi.

Kerapatan jaringan sungai merupakan salah satu karakteristik yang penting perlu diperhatikan untuk mengevaluasi potensi aliran permukaan. Kerapatan yang tinggi memungkinkan aliran permukaannya dari wilayah atas anak-anak sungai untuk terdrainase lebih efisien. Hal ini akan membagi dan mengurangi debit puncak. Namun, suatu DAS dengan kerapatan jaringan yang rendah biasanya mengandung tanah yang dalam dan berkembang baik (Indarto,2010).



Gambar 2.7 Pengaruh kerapatan jaringan sungai terhadap aliran

(Sumber: Indarto, 2010)

#### 2.4.3.4 Pola Aliran

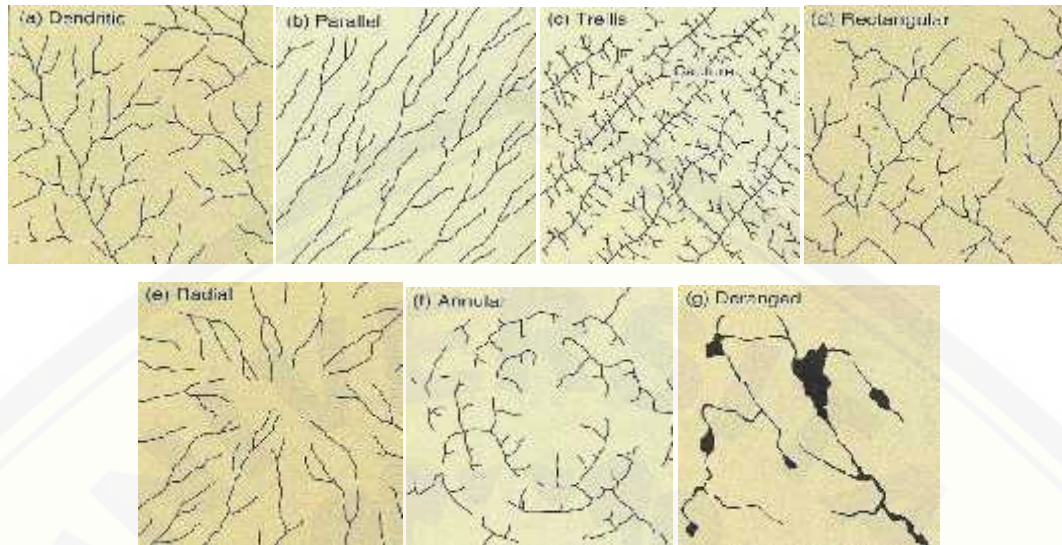
Bentuk pola aliran (*drainage pattern*) ada bermacam – macam yang masing – masing dicirikan oleh kondisi yang dilewati oleh sungai tersebut. Bentuk pola aliran yang biasa dijumpai ada tujuh jenis yaitu :

- 1) Dendritik: seperti percabangan pohon, percabangan tidak teratur dengan arah dan sudut yang beragam. Berkembang di batuan yang homogen dan tidak terkontrol oleh struktur, umumnya pada batuan sedimen dengan perlapisan horisontal, atau pada batuan beku dan batuan kristalin yang homogen.
- 2) Paralel: anak sungai utama saling sejajar atau hampir sejajar, bermuara pada sungai-sungai utama dengan sudut lancip atau langsung bermuara ke laut. Berkembang di lereng yang terkontrol oleh struktur (lipatan monoklinal, isoklinal, sesar yang saling sejajar dengan spasi yang pendek) atau dekat pantai.
- 3) Radial: sungai yang mengalir ke segala arah dari satu titik. Berkembang pada vulkan atau dome.
- 4) Trellis: percabangan anak sungai dan sungai utama hampir tegak lurus,

sungai-sungai utama sejajar atau hampir sejajar. Berkembang di batuan sedimen terlipat atau terungkit dengan litologi yang berselang-seling antara yang lunak dan resisten.

- 5) Annular: sungai utama melingkar dengan anak sungai yang membentuk sudut hampir tegak lurus. Berkembang di dome dengan batuan yang berseling antara lunak dan keras.
- 6) Centripetal: sungai yang mengalir memusat dari berbagai arah. Berkembang di kaldera, karater, atau cekungan tertutup lainnya.
- 7) Multibasinal: percabangan sungai tidak bermuara pada sungai utama, melainkan hilang ke bawah permukaan. Berkembang pada topografi karst.

Pola aliran yang digunakan bisa dibedakan dengan membedakan garis yang dijadikan tanda pola aliran tersebut. Pola aliran pada citra penginderaan jauh bisa diidentifikasi dengan melihat morfologi dri permukaan bumi tersebut. Citra penginderaan jauh menampilkan semua kenampakan yang ada pada permukaan bumi dengan bentuk dua dimensi. Apabila menginginkan bentuk yang lebih detail dapat dilihat dengan menggunakan stereoskop. Hasil akhir dari intrepretasi ini ialah peta bentuk pola aliran yang terdapat dalam kertas kalkir yang membedakan antara berbagai bentuk pola aliran yang terdapat dalam citra atau foto udara yang di amati. Untuk lebih jelasnya masing – masing bentuk pola aliran tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.8



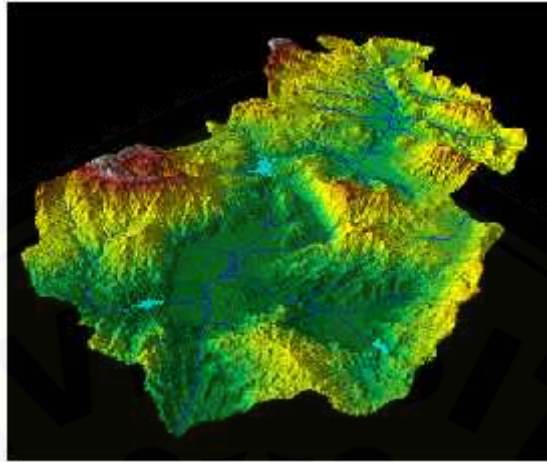
(a) Dendritic; (b) Paralel; (c) Trellis; (d) Rectangular;  
(e) Radial; (f) Annular; (g) Deranged

Gambar 2.8 Pola Aliran DAS (Sumber: Kemenhut, 2013)

Pola Aliran atau susunan sungai pada suatu DAS merupakan karakteristik fisik setiap drainase basin karena pola aliran sungai mempengaruhi efisiensi sistem drainase serta karakter. Dalam penelitian Wirosoedarmo (2010), menunjukkan DAS yang berbentuk dendritic cenderung mempunyai debit puncak yang lebih kecil dibandingkan dengan pola DAS radial dan paralel

## 2.5 Digital Elevation Model (DEM)

Data digital yang paling umum mengenai bentuk permukaan bumi adalah berbasis sel model elevasi digital (DEMs). Data ini digunakan sebagai masukan untuk mengukur karakteristik permukaan tanah (ESRI,2012).



Gambar 2.9 Tampilan 3D DEM (Sumber: ESRI, 2012)

Sebuah DEM adalah representasi raster dari permukaan biasanya bentuk referensi permukaan bumi. Keakuratan data ini ditentukan terutama oleh resolusi (jarak antara titik sampel). Faktor-faktor lain yang mempengaruhi keakuratan data adalah tipe data (*integer* atau *floating point*) dan pengambilan sampel lapangan dari permukaan saat membuat DEM asli (ESRI,2012).

Digital Elevation Model (DEM) banyak digunakan untuk analisis visual dan matematika topografi serta pemodel permukaan bumi. Lima parameter geomorfik (elevasi, kelengkungan vertikal, sudut kemiringan, kemiringan tangensial, aspek) di ekstraksi menggunakan ArcInfo dan ArcView (Bolch,2003).

Jalan, sungai, dan relief mempengaruhi proses hidrologi dan geomorfologi. Namun kebanyakan model hidrologi mengandalkan Digital Elevasi Model (DEM) untuk mendapatkan informasi topografi yang secara efektif mewakili fitur-fitur landscape linier (Duke,2003).

## 2.6 GDEM ASTER

GDEM Aster merupakan singkatan dari Global DEM ASTER (Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) yang artinya data DEM seluruh dunia

ada di situ. Data GDEM Aster dalam penelitian ini diakses melalui U.S Geological Survey (USGS) dengan website <http://gdex.cr.usgs.gov/gdex/>.

GDEM ASTER dibuat dari tumpang susun antara data yang tertutup awan dengan data yang tidak tertutup awan dan menggunakan algoritma statistik untuk menghapus data yang tidak normal. Pendekatan statistik tidak selalu efektif untuk menghilangkan anomali di suatu daerah dengan sedikit data yang tertumpang susun. Beberapa DEM yang sudah ada digunakan sebagai referensi untuk memperbaiki sisa-sisa anomali yang disebabkan oleh terbatasnya jumlah data *stacking*. Berikut karakteristik utama GDEM Aster versi 2.0 (Bakar,2012) :

- a. Resolusi lebih detil dari 110 meter (GDEM ASTER versi 1.0) ke 70 meter
- b. Offset menurun dari -6 meter (GDEM ASTER versi 1.0) ke -0,7 meter
- c. Voids di daerah utara berkurang
- d. Hampir sebagian besar artifacts menghilang
- e. Tubuh air/danau/waduk dianggap datar

Di sejumlah daerah, beberapa data tidak sepenuhnya cukup untuk menghilangkan kesalahan. Selain itu, data referensi belum tentu tersedia untuk mengkoreksi kesalahan di seluruh area. Pada situasi itu akan menimbulkan kesulitan untuk menghapus semua kesalahan. Oleh karena itu, pengguna data GDEM ASTER harus menyadari bahwa data mungkin memiliki kesalahan di dalam pixel sebanyak 2 atau kurang (Bakar,2012). Berikut perbedaan GDEM Aster Versi 1 dan versi 2 disajikan pada Tabel 2.5.



Tabel 2.5 Perbedaan GDEM Aster Versi 1 dan Versi 2

| Key processing factor             | Version 1            | Version 2           |
|-----------------------------------|----------------------|---------------------|
| Number of input scene DEMs        | 1,264,118            | 1,514,350           |
| Posting interval                  | 1 arc-second         | 1 arc-second        |
| Correlation kernel size           | 9 x 9 piksel         | 5 x 5 piksel        |
| Water body post processing        | Not Applied          | Applied             |
| Minimum water body detection size | 12 Km <sup>2</sup>   | 1.0 Km <sup>2</sup> |
| Filtering threshold value         | 40 m                 | 40 m                |
| Offset                            | -5 m offset observed | V1 offset revomed   |
| Release data                      | 29 juni 2009         | Oktober 2011        |

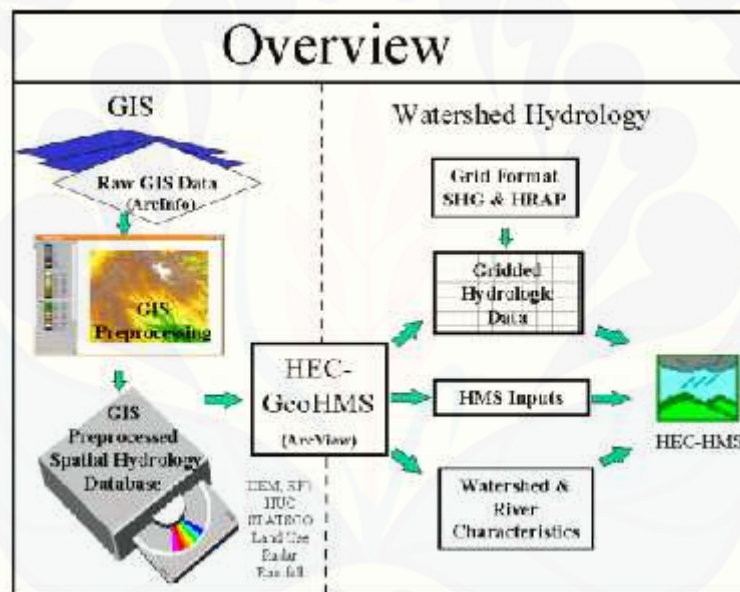
Sumber: Bakar (2012)

## 2.7 Hidrologi Spasial

Penginderaan jauh dan teknik GIS yang semakin menjadi alat penting dalam hidrologi dan pengembangan sumber daya air. Ini merupakan fakta bahwa sebagian besar data yang dibutuhkan untuk analisis hidrologi dapat dengan mudah diperoleh dari gambar penginderaan jauh (Hilmi,2014). Teknik GIS kemungkinan menggabungkan data dari berbagai jenis dengan cepat telah menyebabkan peningkatan yang signifikan dalam penggunaannya dalam aplikasi hidrologi . Alat-alat ini dapat digunakan dalam hidrologi melalui menentukan geometri DAS dan informasi jenis peta lainnya (Hilmi,2014).

*US Army Corp of Engineers (USCE)* membuat sebuah tool model geospasial hidrologi atau dikenal dengan HEC-GeoHMS. HEC-GeoHMS adalah seperangkat alat ArcGIS khusus dirancang untuk memproses data geospasial dan membuat file

masukannya untuk HEC - HMS. Hubungan antara GIS, HEC - GeoHMS dan HEC-HMS diilustrasikan dalam Gambar 2.10, dengan garis putus-putus vertikal yang memisahkan peran GIS dan hidrologi DAS. HEC - GeoHMS menyediakan koneksi untuk menerjemahkan GIS informasi spasial dalam file model untuk HEC-HMS. Kemampuan GIS digunakan untuk data format, pengolahan dan transformasi koordinat. Hasil pengolahan GIS adalah database hidrologi spasial yang terdiri dari Model elevasi digital ( DEM ), jenis tanah, informasi penggunaan lahan, curah hujan, dan lain lain. HEC-HMS menerima ini sebagai input hidrologi sebagai titik awal untuk pemodelan hidrologi (USCE,2013).



Gambar 2.10 Ilustrasi peran GIS, HEC-GeoHMS, HEC-HMS

(Sumber: USCE, 2013)

Terdapat dua data awal dalam analisa hidrolgi spasial yaitu spasial dan data non - spasial / atribut. Data spasial terdiri dari penggunaan lahan atau tutupan lahan , drainase, rincian dasar dan peta lereng. Non-spasial atau data atribut terdiri dari curah hujan, geologi, topografi, iklim dan data tanah. Langkah-langkah terlibat dalam

menurunkan semua produk data, sumber perolehan data dan cara mengubah data produk ini yang cocok untuk perangkat lunak GIS (Nag *et al.*,2013).

Analisis hidrologi spasial sudah banyak diterapkan seperti dalam penelitian Nag *et al* (2013) yaitu pemodelan limpasan hujan yang dilakukan dengan menggunakan HEC - HMS dan remote penginderaan serta teknik GIS di lembah yang lebih rendah dari sungai Wochu Paro Dzongkhag, Bhutan. Satelit penginderaan jauh memiliki terbukti menjadi alat vital untuk pengamatan renggang dan kuantifikasi lingkungan fenomena di seluruh bervariasi skala spasial dan temporal yang dinyatakan tidak mungkin untuk upaya melalui teknik pemetaan konvensional (Nag *et al.*,2013).

Azizah *et al* (2000) mengatakan bahwa dengan mengintegrasikan Remote Sensing dan GIS, perubahan tata guna lahan dan hubungannya dapat diperiksa seluruh analisis spasial. Dalam penelitian Azizah *et al* (2000) menggunakan analisis hidrologi spasial untuk mengetahui pendekatan penginderaan jauh dan model hidrologi berbasis GIS untuk studi urbanisasi dan dampaknya terhadap sumber daya air khususnya limpasan.

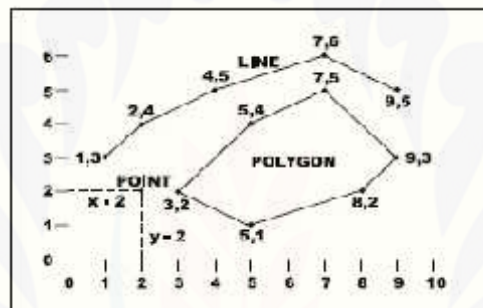
Adapun beberapa keuntungan dalam penggunaan analisis hidrologi spasial yang dikemukakan Evans *et al* (2002) bahwa pendekatan pemodelan berbasis GIS dikembangkan untuk memungkinkan akurat prediksi beban gizi di daerah aliran sungai di seluruh negara bagian Pennsylvania, terutama pada DAS yang data pemantauan aliran tidak ada. Pendekatan ini bergantung pada penggunaan seluruh negara bagian pada data GIS set untuk menurunkan perkiraan yang cukup baik untuk berbagai parameter model penting yang menunjukkan variabilitas spasial yang cukup dalam negara. Dan juga dikemukakan Ferrant *et al* (2014) bahwa kontribusi spasial tinggi resolusi citra satelit optik dengan seringnya sistematis pengamatan untuk kalibrasi spasial agro – hidrologi model. Jenis kalibrasi spasial seperti ini akan meningkatkan kapasitas pemodelan agro-hidrologi untuk menjelaskan, mereproduksi dan memprediksi pertumbuhan tanaman spasial dengan membatasi air spasial dan nutrisi *fluxes* dalam tangkapan hidrologi.

## 2.8 Format Data Spasial

Secara sederhana *format* dalam bahasa komputer berarti bentuk dan kode penyimpanan data yang berbeda antara *file* satu dengan lainnya. Dalam SIG, data spasial dapat direpresentasikan dalam dua *format*, yaitu :

### 2.8.1 Data Vektor

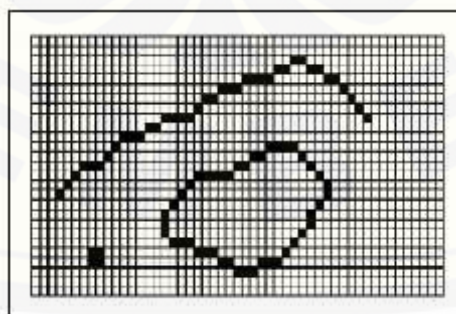
Data vektor merupakan bentuk bumi yang direpresentasikan ke dalam kumpulan garis, area (daerah yang dibatasi oleh garis yang berawal dan berakhir pada titik yang sama), titik dan *nodes* (merupakan titik perpotongan antara dua buah garis) (Konsorsium Aceh Nias,2007).



Gambar 2.11 Data Vektor (Sumber: Konsorsium Aceh Nias, 2007)

### 2.8.2 Data Raster

Data raster (atau disebut juga dengan sel grid) adalah data yang dihasilkan dari sistem Penginderaan Jauh. Pada data raster, obyek geografis direpresentasikan sebagai struktur sel grid yang disebut dengan pixel (*picture element*) (Konsorsium Aceh Nias,2007).



Gambar 2.12 Data Raster (Sumber: Konsorsium Aceh Nias, 2007)

Pada data raster, resolusi (definisi visual) tergantung pada ukuran pixel-nya. Dengan kata lain, resolusi pixel menggambarkan ukuran sebenarnya di permukaan bumi yang diwakili oleh setiap pixel pada citra. Semakin kecil ukuran permukaan bumi yang direpresentasikan oleh satu sel, semakin tinggi resolusinya. Data raster sangat baik untuk merepresentasikan batas-batas yang berubah secara gradual, seperti jenis tanah, kelembaban tanah, vegetasi, suhu tanah dan sebagainya. Keterbatasan utama dari data raster adalah besarnya ukuran file, semakin tinggi resolusi grid-nya semakin besar pula ukuran filenya dan sangat tergantung pada kapasitas perangkat keras yang tersedia.

## 2.9 Pengelolaan GIS

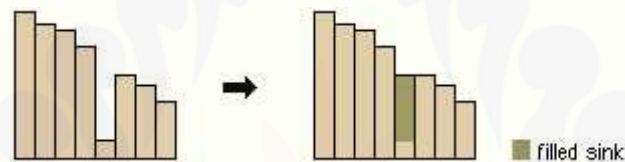
Kesalahan dalam DEMs biasanya diklasifikasikan sebagai sink atau puncak. Sink adalah daerah yang dikelilingi oleh nilai-nilai elevasi yang lebih tinggi dan juga disebut sebagai depresi atau *pit*. Demikian lonjakan, atau puncak adalah daerah yang dikelilingi oleh sel-sel dari nilai yang lebih rendah. Ini lebih sering fitur alami dan kurang merugikan perhitungan arah aliran (University of Washington,2010)

Kesalahan seperti ini, terutama *sink* harus dihapus sebelum mencoba untuk mendapatkan informasi permukaan apapun. DEM juga berisi artifak terlihat striping merupakan akibat dari kesalahan sistematis sampel saat membuat DEM . Sekali lagi , ini adalah yang paling terlihat pada data integer di daerah datar (University of Washington,2010).

Alat analisis hidrologi dirancang untuk model konvergensi aliran di permukaan medan alami . Ada anggapan bahwa permukaan mengandung relief vertikal cukup bahwa jalur aliran dapat ditentukan . Alat beroperasi pada asumsi bahwa untuk setiap sel tunggal , air dapat mengalir dari banyak sel yang berdekatan tetapi melalui hanya satu sel (ESRI,2012). Berikut penjelasan langkah- langkah dasar pengelolaan hidrologi dalam GIS:

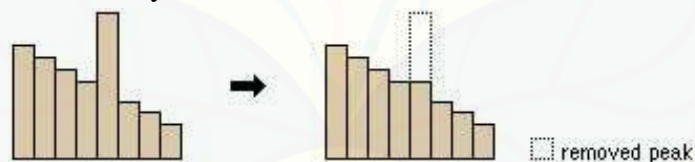
### 2.9.1 *Fill*

*Sinks* dan *Peak* merupakan kesalahan terjadi di DEM karena resolusi data atau pembulatan dari ketinggian dengan nilai integer terdekat. *Sink* harus diisi untuk memastikan penggambaran yang tepat dari cekungan dan aliran. Jika *sink* tidak diperbaiki, maka jaringan drainase yang berasal dari DEM mungkin akan terputus (ESRI,2012). *Fill Tool* menggunakan setara dari beberapa *tool*, seperti *Local Flow*, *Flow Direction*, *Sink*, Daerah Aliran Sungai dan isi zonal untuk mencari dan mengisi *sink*. *Fill Tool* bekerja sampai semua *sink* dalam batas *z* yang ditentukan akan terpenuhi.



Gambar 2.13 Ilustrasi Filled Sink (Sumber: ESRI, 2012)

*Tool* ini juga dapat digunakan untuk menghilangkan *peak*, yang sel palsu dengan ketinggian lebih besar dari yang diharapkan mengingat keadaan permukaan sekitarnya.



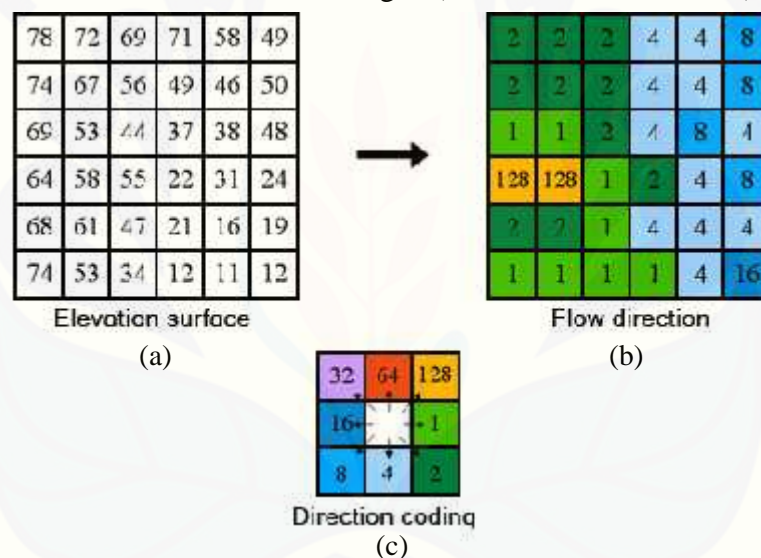
Gambar 2.14 Ilustrasi Remove Peak (Sumber: ESRI, 2012)

### 2.9.2 *Flow Direction*

Salah satu kunci untuk menurunkan karakteristik hidrologi permukaan adalah kemampuan untuk menentukan arah aliran dari setiap sel dalam raster. Hal ini dilakukan dengan alat *flow direction* (ESRI,2012). Alat ini mengambil permukaan sebagai masukan dan output raster menunjukkan arah aliran dari setiap sel. Nilai dari arah aliran memberikan gambaran kuantitatif arah aliran air yang melewati permukaan yang dianalisa dari hasil kemiringan permukaan yang bersifat kualitatif (Puguh,2009).

Jika opsi raster output penurunan yang dipilih, sebuah raster output dibuat menunjukkan rasio perubahan maksimum di ketinggian dari setiap sel sepanjang arah aliran dengan panjang jalan antara pusat sel dan dinyatakan dalam persentase. Jika angkatan semua sel tepi mengalir opsi luar dipilih, semua sel di tepi raster permukaan akan mengalir ke luar dari raster permukaan.

Ada delapan arah keluaran valid berkaitan dengan delapan sel yang berdekatan di mana aliran bisa mengalir. Pendekatan ini sering disebut sebagai delapan arah (D8). Model aliran dan mengikuti pendekatan yang disajikan dalam Jensen dan Domingue (1988 dalam ESRI,2012).



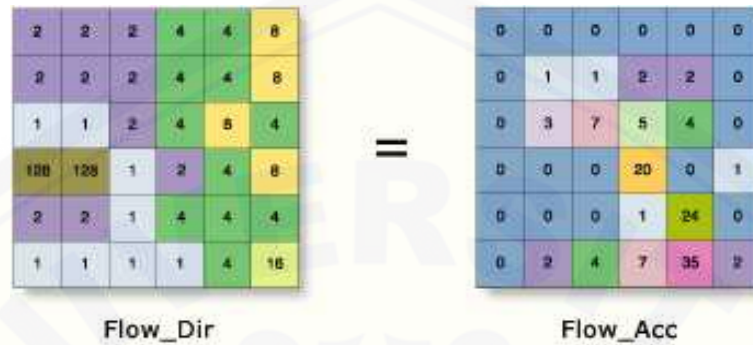
(a) Sel Grid Elevation Surface (b) Sel Grid Flow Direction (c) Nilai Sel Grid D8

Gambar 2.15 Ilustrasi Proses *Flow Direction*

### 2.9.3 *Flow Accumulation*

Akumulasi aliran didasarkan pada arah aliran (*flow direction*), fungsi dari arah aliran akan mengkalkulasi beban pada tiap grid yang mengalir mengikuti kemiringan yang rendah (Puguh,2009). Akumulasi aliran digunakan untuk menghasilkan jaringan drainase maupun sungai berdasarkan arah aliran masing-masing sel. Dengan memilih sel dengan akumulasi aliran yang besar dapat membuat jaringan sel aliran yang tinggi. Sel aliran tinggi dapat

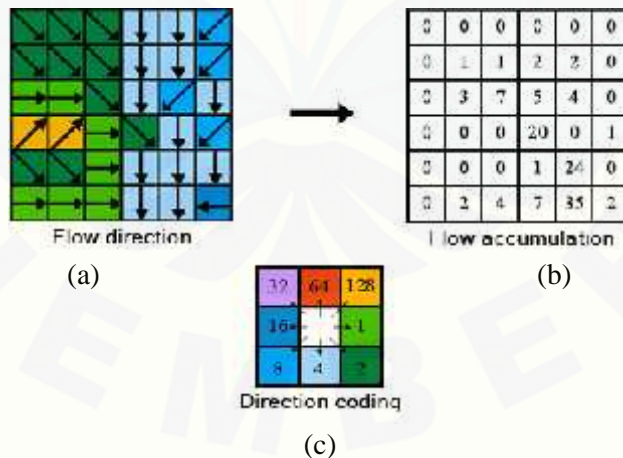
didefinisikan saluran sungai yang berada di lembah (University of Washington,2010).



Gambar 2.16 Nilai Sel Grid *Flow Direction* dan *Flow Accumulation*.

(Sumber: ESRI, 2012)

Hasil *flow accumulation* adalah raster akumulasi aliran untuk setiap sel, sebagaimana ditentukan dengan mengumpulkan berat untuk semua sel yang mengalir ke setiap sel lereng bawah (ESRI,2012). Sel dari arah aliran terdefinisi hanya akan menerima aliran, mereka tidak akan memberikan kontribusi untuk setiap aliran hilir. Sebuah sel dianggap memiliki arah aliran terdefinisi jika nilainya di raster arah aliran adalah apa-apa selain 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, atau 128.



(a) Arah aliran (b) Nilai sel grid *Flow Accumulation* (c) Nilai Sel Grid D8

Gambar 2.17 Ilustrasi Proses *Flow Accumulation*



## 2.10 HEC-HMS

HEC-HMS merupakan singkatan dari *Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modelling System*. HEC-HMS merupakan sebuah *software* yang dikembangkan oleh *Hydrologic Engineering Center* milik *US Army Corps of Engineers* (USCE,2000). Model HEC-HMS merupakan program komputer untuk menghitung pengalihragaman hujan dan proses *routing* pada suatu sistem DAS. Model yang terdapat dalam HEC-HMS dapat digunakan untuk menghitung volume *runoff*, *direct runoff*, *baseflow* dan *channel flow*. Model ini merupakan pengembangan dari model yang sebelumnya yaitu HEC-1.

Pemilihan program HEC-HMS didasarkan pada penelitian Hidayah *et al* (2014b) mengatakan bahwa model HEC-HMS lebih mampu menggambarkan kondisi *baseflow* yang sesuai kondisi observasi tetapi untuk *peakflow*-nya terjadi overestimasi. Dalam penelitian ini, simulasi yang akan digunakan adalah banjir sehingga pemilihan program HEC-HMS sangat tepat karena akan menghasilkan nilai debit banjir yang terbesar.

Program HEC-HMS di dalamnya terdapat 3 komponen utama, yaitu sebagai berikut:

- a. *Basin model*, yaitu elemen-elemen yang terdapat pada suatu sub DAS serta parameter-parameter dalam limpasan.
- b. *Meteorologic model*, yaitu berisi data sebaran stasiun hujan dan data evapotranspirasi.
- c. *Control specifications*, yaitu merupakan interval waktu simulasi untuk memulai atau mengakhiri dalam kalkulasi data

Program HEC-HMS, didalamnya terdapat beberapa model yang terpisah dimana masing-masing model yang dipilih mempunyai input yang berbeda-beda. Beberapa model yang digunakan untuk menghitung *volume runoff*, *direct runoff*, *baseflow*, dan *channel flow* ditunjukkan pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Perhitungan dan Model yang Terdapat dalam HEC-HMS

| Perhitungan  | Model   |
|--|---|
| <i>Precipitation</i>   | <i>User hyetograph</i><br><i>User gage weighting</i><br><i>Inverse distance gage weights</i><br><i>Gridded precipitation</i><br><i>Frequency storm</i><br><i>Standard project storm</i>                               |
| <i>Volume runoff</i>   | <i>Initial and Constant rate</i><br><i>SCS curve number (CN)</i><br><i>Gridded SCS CN</i><br><i>Green and Ampt</i><br><i>Deficit and constant rate</i><br><i>Soil moisture accounting (SMA)</i><br><i>Gridded SMA</i> |
| <i>Direct runoff</i><br><i>(overland flow dan interflow)</i> | <i>User-specified unit hydrograph</i><br><i>Clark 's UH</i><br><i>Snyder's UH</i><br><i>SCS UH</i><br><i>Modclark</i><br><i>Kinematic wave</i>  |
| <i>Baseflow</i>  | <i>Constant monthly</i><br><i>Exponential recession</i><br><i>Linier reservoir</i>  |
| <i>Channel flow</i>  | <i>Kinematic wave</i><br><i>Lag</i><br><i>Modified Puls</i><br><i>Muskingum</i><br><i>Muskingum-Cunge Standard Section</i><br><i>Muskingum-Cunge 8-point Section</i>  |

Sumber: USCE (2000)

Sesuai dengan fasilitas yang terdapat dalam HEC-HMS dan pertimbangan parameter-parameter yang dibutuhkan dan faktor ketersediaan data, maka model-model hidrologi yang dipilih dalam analisis adalah sebagai berikut ini:

#### 2.10.1 Hujan (*precipitation*)

Metode model hujan yang digunakan untuk masukan (*input*) berupa hujan yang terjadi dalam pemodelan menerus (*continuous model*) yaitu *user hyetograph method*. Metode ini dapat memasukkan besaran hujan yang terjadi pada sebuah subDAS dari luar program. Masukan hujan untuk setiap subDAS berupa hujan terdistribusi dan mudah (Firmansyah,2012).

### 2.10.2 Volume Aliran (*volume runoff*)

Program HEC-HMS didalamnya terdapat suatu model yang digunakan untuk pemodelan menerus (*continuous model*) dalam menentukan volume aliran yaitu *SCS curve number*. Model ini beranggapan bahwa hujan yang menghasilkan limpasan merupakan fungsi dari hujan kumulatif, tata guna lahan, jenis tanah serta kelembaban, menggunakan persamaan berikut (USCE,2000):

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

dimana :  $Q$  = limpasan (mm),  $P$  = curah hujan (mm),  $I_a$  = *initial abstraction*,  $S$ =parameter retensi maksimum.

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

$$I_a = 0,2 S \dots\dots\dots(2.4)$$

Nilai maksimum retensi ( $S$ ) diperoleh dari karakteristik DAS yang berhubungan dengan parameter CN menggunakan persamaan (USCE,2000):

$$S = \frac{2}{C} - \frac{2}{C} \dots\dots\dots(2.5)$$

Nilai CN untuk DAS dapat diperkirakan sebagai fungsi penggunaan lahan, jenis tanah dan kelembaban DAS dengan menggunakan tabel diterbitkan oleh SCS dapat dilihat di halaman Lampiran A.1. Untuk DAS yang terdiri dari beberapa jenis tanah dan penggunaan lahan, nilai rerata CN dapat dihitung menggunakan persamaan (USCE,2000):

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

dimana  $A$  = luas tiap penggunaan lahan dan  $CN$  = nilai penggunaan lahan.

Menurut Azizah *et al* (2000) bahwa permukaan kedap air (*impervious surface*) penyebab yang sangat mempengaruhi dampak DAS karena peningkatan permukaan kedap air dapat menyebabkan meningkatnya limpasan selama kejadian hujan deras sehingga volume air di DAS sangat cepat meningkat. Persentase permukaan kedap air (*imperviousness*), sering disebut sebagai PIMP dalam perhitungan, merupakan faktor penting ketika mempertimbangkan drainase air. Hal ini dihitung dengan mengukur persentase dari daerah tangkapan air yang terdiri dari permukaan tahan seperti jalan, atap dan permukaan beraspal lainnya. Nilai PIMP dapat dihitung menggunakan persamaan (Butler *et al.*, 2000):

$$PIMP = J6,4^{0,5} \dots\dots\dots(2.7)$$

dimana  $PIMP$  = prosentase *imperviousness* dan  $J$  = luas permukiman (ha).

Dalam pemodelan volume aliran selain menggunakan metode *SCS CN* disertai menggunakan model *canopy* dan *surface*. Penggunaan model *canopy* dan *surface* diterapkan pada penelitian model HEC-HMS SMA (*Soil Moisture Accounting*) di India bagian Timur oleh D.Roy *et al* (2012). Cara kerja model diilustrasikan dalam Gambar 2.18 dan penjelasan sebagai berikut (USCE, 2000):

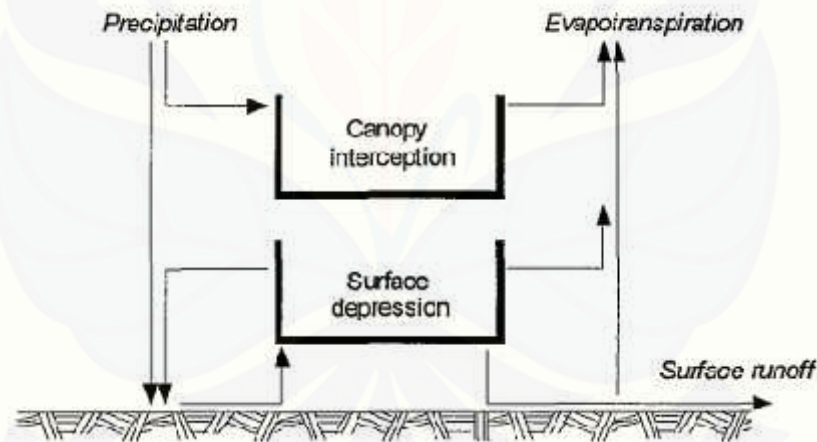
a. Canopy

Intersepsi kanopi merupakan curah hujan yang ditangkap di pohon, semak, rumput dan tidak mencapai tanah permukaan. Air hujan adalah satu-satunya masuk ke dalam lapisan ini ketika terjadi hujan, pertama curah hujan akan mengisi penyimpanan kanopi. Setelah penyimpanan ini diisi curah hujan menjadi penuh maka curah hujan akan mengisi volume

penyimpanan lainnya. Air di penyimpanan intersepsi kanopi akan hilang oleh penguapan.

b. Surface

Penyimpanan depresi permukaan adalah volume air yang diadakan di cekungan permukaan yang dangkal. Arus masuk ke storage ini berasal dari curah hujan tidak ditangkap oleh kanopi intersepsi dan lebih dari laju infiltrasi kanopi. Arus keluar dari penyimpanan ini dapat disebabkan oleh infiltrasi dan evaporasi. Setiap isi volume dalam penyimpanan depresi permukaan pada awal waktu langkah yang tersedia untuk infiltrasi. Jika air yang tersedia untuk infiltrasi melebihi laju infiltrasi, maka penyimpanan intersepsi permukaan diisi. Setelah volume intersepsi permukaan terlampaui, kelebihan air ini memberikan kontribusi untuk limpasan permukaan.



Gambar 2.18 Skema Model *Canopy* dan *Surface* (Sumber: USCE, 2000)

2.10.3 Aliran Langsung (*direct runoff*)

Model *direct runoff* yang digunakan dalam model HEC-HMS adalah *Clark Unit Hydrograph*. Model *Clark Unit Hydrograph* adalah suatu Unit Hidrograf yang melalui proses perubahan dan penyimpanan mendominasi

pergerakan aliran melalui DAS. Perubahan yang dimaksudkan adalah gerakan aliran *downgradient* melalui DAS dalam menanggapi gravitasi yang mengurangi hasil dari gaya gesek dan tampungan saluran (USCE,2000). Clark (dalam Straub *et al.*,2000) mencatat bahwa terjemahan dari aliran seluruh DAS bisa digambarkan oleh kurva waktu - daerah, yang mengungkapkan kurva dari fraksi wilayah DAS kontribusi limpasan ke outlet DAS sebagai fungsi waktu sejak awal curah hujan efektif. Curah hujan efektif adalah bahwa curah hujan yang tidak ditahan di permukaan tanah atau menyusup ke dalam tanah . Kurva waktu – daerah dibatasi dalam waktu oleh *time concentration* ( $T_c$ ) DAS. Dengan demikian,  $T_c$  adalah parameter hidrograf dari metode Clark unit hidrograf (Straub *et al.*,2000) . Menurut penelitian Straub *et al.* (2000) tentang Persamaan Estimasi Clark Unit Hydrograph Parameter untuk DAS Pertanian Kecil di Illinois, telah menghasilkan estimasi terbaik dengan analisis regresi untuk menghubungkan logaritma dari rata-rata  $T_c$  dan rata-rata  $R$  untuk setiap DAS terhadap logaritma. Karakter daerah aliran sungai yaitu panjang *main- channel* dan lereng . Persamaan untuk  $T_c$  dan  $R$  estimasi ( dalam jam) yang menghasilkan nilai  $R^2$  tertinggi dalam penelitian tersebut sebagai berikut (Straub *et al.*,2000)

$$T_c = L^{0,8} S^{-0,1} \dots\dots\dots(2.8)$$

$$R = L^{0,3} S^{-0,7} \dots\dots\dots(2.9)$$

dimana  $L$  merupakan panjang sungai utama (*mill*) dan  $S$  merupakan prosentase kemiringan sungai.

#### 2.10.4 Model *Baseflow*

Aliran dasar (*baseflow*) merupakan aliran air yang tertahan berdasarkan hujan sebelumnya yang tertampung sementara didalam tanah. Model *baseflow* yang digunakan dalam HEC-HMS menggunakan *recession model* yang berfungsi untuk menetapkan debit aliran dasar yang menurun secara

eksponensial dari kejadian tunggal tunggal atau beberapa kejadian yang berurutan (Hidayah *et al.*,2014b). Parameter model ini menggunakan persamaan sebagai berikut (USCE,2000) :

$$Q_t = Q_0 k^t \dots\dots\dots(2.10)$$

dimana  $Q_t$  merupakan *baseflow* pada waktu t,  $Q_0$  merupakan aliran awal pada waktu 0 dan  $k^t$  merupakan *ratio to peak*.

Parameter model ini termasuk aliran awal, rasio resesi, dan *ratio to peak*. Sebagaimana dicatat, aliran awal adalah kondisi awal. Untuk analisis hipotetis limpasan banjir, aliran awal harus dipilih sebagai rata-rata aliran kemungkinan yang akan terjadi pada awal limpasan banjir. Untuk kejadian seringkali digunakan nilai aliran awal berasal dari aliran tahunan rata-rata dalam saluran (USCE,2000). Sedangkan untuk nilai resesi konstan diperoleh dari Tabel 2.7

Tabel 2.7 Nilai Resesi Konstan

| Komponen Aliran       | Nilai Resesi Konstan, Harian |
|-----------------------|------------------------------|
| <i>Groundwater</i>    | 0,95                         |
| <i>Interflow</i>      | 0,8 – 0,9                    |
| <i>Surface Runoff</i> | 0,3 – 0,8                    |

Sumber: USCE (2000)

#### 2.10.5 Model *Channel Flow*

Model *channel flow* yang digunakan dalam model HEC-HMS adalah *Lag* dan *Muskingum*. Pemilihan model *Lag* dikhususkan untuk metode penelusuran banjir di sub DASnya membutuhkan perhitungan perbedaan waktu antara pusat massa dari kelebihan curah hujan dan puncak dari unit hidrograf (*Lag time*) (Hidayah *et al.*,2014). Menurut Pilgrim *et al.* (dalam USCE,2000) bahwa model ini banyak digunakan terutama di drainase perkotaan saluran. Untuk menghitung nilai  $T_c$  menggunakan persamaan metode SCS sebagai berikut (USDA,2010) :

$$L = \frac{l^{0,8}(S+1)^{0,7}}{1 - Y^{0,5}} \dots\dots\dots(2.11)$$

dimana  $L = time\ lag\ (jam)$ ,  $l = panjang\ aliran\ (ft)$ ,  $S = nilai\ maksimum\ retensi$ ,  $Y=kemiringan\ (\%)$ .

Untuk pemilihan model *Muskingum* dikhususkan untuk penelusuran banjir. Model *Muskingum* untuk penelusuran banjir saluran diterapkan pada penelitian Hidayah *et al.* (2014a) pada Kali Porong. Model ini menggambarkan terjadinya penyimpanan mendesak (W) di bawah profil dari gelombang banjir. Selama meningkatnya tahap banjir, penyimpanan mendesak akan positif dan ditambahkan ke penyimpanan prisma. Dengan demikian, model *Muskingum* mendefinisikan penyimpanan (USCE,2000):

$$Q = xI + (1-x)O \dots\dots\dots(2.12)$$

$$S = KQ \dots\dots\dots(2.13)$$

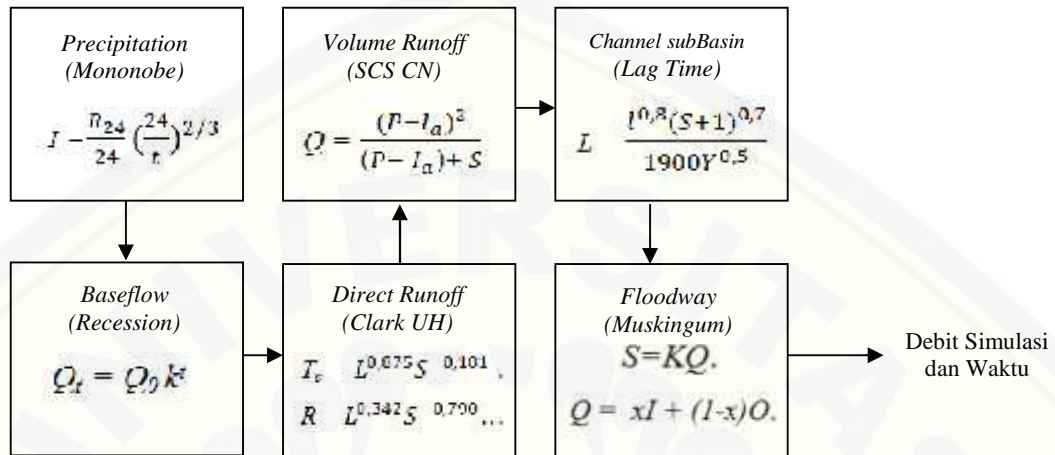
Dimana  $Q = debit\ pada\ saluran$ ,  $x = koefisien\ bobot\ Muskingum$ ,  $O = limpasan\ keluar$ ,  $S = tampungan\ pada\ saluran$ ,  $K = koefisien\ tampungan\ Muskingum\ (jam)$ .

Pada persamaan 2.12 dan 2.13 menunjukkan nilai K dan x adalah dua parameter model yang ditentukan berdasarkan debit pengamatan yang mewakili *storage-time* konstan. K merupakan nilai yang menunjukkan koefisien tampungan *Muskingum* di saluran dan X mewakili koefisien pembobotan dengan kisaran nilai  $0 \leq x \leq 0,5$ . Oleh karena itu, tujuan dari model *Muskingum* adalah untuk mengestimasi nilai parameters K dan X (Hidayah *et al.*,2014a).

Parameter mungkin memiliki arti fisik yang jelas , atau mereka mungkin murni empiris . Sebagai contoh, model saluran *Lag Time* mencakup panjang saluran dan kemiringan saluran sebuah parameter terukur yang signifikan secara fisik. Di sisi lain, model saluran *Muskingum* memiliki koefisien waktu perjalanan aliran dan bobot ukuran saluran merupakan parameter tidak memiliki hubungan langsung dengan



setiap properti fisik, hanya bisa diperkirakan oleh kalibrasi. Untuk struktur model metode parameter yang akan digunakan disajikan pada Gambar 2.18.

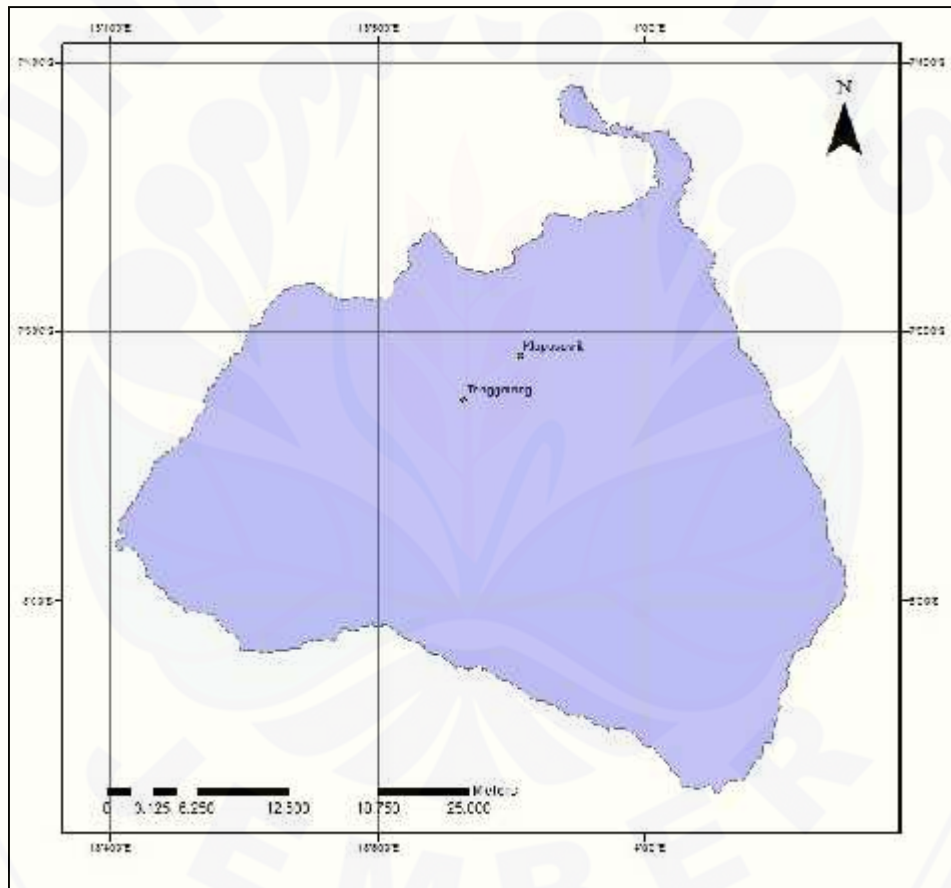


Gambar 2.19 Struktur Alur Parameter Model Penelitian

### BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan mulai tanggal 20 April 2015. Lokasi penelitian adalah di DAS Sampean yang meliputi Kabupaten Situbondo dan Kabupaten Bondowoso. DAS Sampean berada di koordinat bujur  $7^{\circ}40'30''\text{S}$  –  $8^{\circ}7'30''\text{S}$  dan koordinat lintang  $113^{\circ}40'0''\text{E}$  –  $113^{\circ}8'0''\text{E}$ . Gambar DAS Sampean disajikan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 DAS Sampean

Dalam penelitian terdapat dua titik AWLR yaitu titik AWLR Tenggarang dan titik AWLR Kloposawit. Pengolahan data dan analisis dilaksanakan dilaksanakan di Laboratorium Hidroteknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Jember, Jember.

### **3.2 Alat dan Bahan Penelitian**

#### **3.2.1 Alat**

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu seperangkat komputer yang dilengkapi dengan program Ms. Office 2007, ArcGIS versi 10.00, dan HEC-HMS versi 3.5 .

#### **3.2.2 Bahan**

Penelitian ini menggunakan macam data, antara lain

##### **a. Data Layer GIS**

- Peta DEM DAS Sampean dari GDEM Aster resolusi 30 m tanggal akses 10 April 2015
- Peta Tata Guna Lahan DAS Sampean dari Bakosurtanal.
- Koordinat Stasiun Hujan dan AWLR DAS Sampean dari BPP DAS Sampean Baru

##### **b. Data Hidrometeorologi**

- Data Hujan Harian pada tanggal 29-31 Januari 2007.
- Data Debit Jam- Jaman AWLR Tenggarang dan AWLR Kloposawit pada tanggal 29-31 Januari 2007

### **3.3 Langkah- langkah penelitian**

Langkah – langkah penelitian pada Gambar 3.3 dapat dijelaskan sebagai berikut.

#### **a. Pengumpulan data**

Data primer yang dibutuhkan antara lain peta tata guna lahan berasal dari Bakosurtanal, peta DEM dari GDEM Aster, Stasiun hujan

beserta curah hujan harian dan stasiun AWLR beserta debit observasi berasal dari BPP DAS Sampean Baru.

b. Pengolahan Data

Pengolahan data awal akan dianalisa secara spasial menggunakan program ArcGIS 10.0 dengan data *input* awal peta tata guna lahan, DEM, lokasi stasiun hujan dan AWLR guna menghasilkan *output* nilai CN dan PIMP, karakteristik fisik DAS, bobot hujan wilayah.

Data *output* ArcGIS akan diolah secara hidrologi bersama data curah hujan harian serta debit observasi jam-jaman dengan menggunakan program HEC-HMS 3.5 beserta proses kalibrasi di AWLR Tenggarang dan AWLR Kloposawit guna menemukan parameter model yang layak untuk menghasilkan hidrograf, debit puncak dan waktu puncak tiap subDAS penelitian.

c. Prakiraan lokasi pemicu banjir

Prakiraan lokasi pemicu banjir akan ditentukan berdasarkan analisis kontribusi hujan tiap lokasi subDAS terhadap titik outlet Kloposawit.

d. Kesimpulan dan Saran

Menemukan prakiraan lokasi pemicu banjir terhadap titik outlet Kloposawit dan memberikan saran pengembangan penelitian selanjutnya.

### 3.4 Pengelolaan data.

#### 3.4.1 Pengelolaan data ArcGIS

Pemodelan ArcGIS untuk mendeskripsikan data spasial guna mendapatkan data nilai CN dan PIMP, bobot hujan wilayah dan karakteristik fisik DAS. Adapun penjelasan pada gambar 3.4 merupakan tahap pemodelan data spasial di ArcGIS, yakni :

- a. Analisis data stasiun hujan untuk menghasilkan bobot hujan wilayah, dilalui dengan tiga tahap antara lain :

1. Pengaruh Thiessen

Untuk data analisis stasiun hujan bertujuan untuk membangkitkan poligon thiessen tiap stasiun hujan.

2. Poligon Thiessen dan wilayah tiap subDAS.

Hasil pengaruh thiessen yakni poligon thiessen akan digabung dengan pembagian tiap wilayah subDAS untuk mendapatkan bobot hujan wilayah.

- b. Analisis data DEM dan stasiun AWLR

Analisis data DEM dan stasiun AWLR data karakteristik fisik DAS, dilalui dengan tujuh tahap antara lain :

1. Fill

Fill merupakan proses untuk memperbaiki *sink* dan *peak* grid dalam tiap sell grid dan menghasilkan DEM Recondition

2. Flow Direction

Proses yang menghasilkan arah aliran dan digunakan untuk analisis *flow accumulation*.

3. Flow Accumulation

Proses yang menghasilkan akumulasi aliran untuk mendefinisikan lokasi sungai.

4. Stream Order

Proses yang menghasilkan ordo sungai di DAS Sampean

5. Snap Pour Point

Proses untuk menentukan titik outlet tiap subDAS berdasarkan ordo sungai ke dua dan titik akhir outlet berdasarkan stasiun AWLR Kloposawit.

6. Watershed

Proses menghasilkan pembagian wilayah tiap subDAS berdasarkan titik *snap pour point* dan stasiun AWLR

#### 7. Karakter fisik DAS

Proses menghasilkan data fisik DAS dengan analisis berupa lereng DAS luasan DAS – subDAS, *slope* sungai dan subDAS, serta panjang sungai dan subDAS,

#### c. Analisis data peta tata guna lahan

Analisis data peta tata guna lahan DAS, dilalui dengan dua tahap antara lain :

##### 1. Klasifikasi menurut jenis lahan

Proses untuk mengklasifikasi tiap jenis lahan seperti hutan, sawah, tegalan, kebun, semak belukar dan rumput.

##### 2. Analisis Nilai CN dan PIMP

Proses untuk menghitung nilai CN gabungan dan persentase *impervious* berdasarkan klasifikasi jenis lahan tiap subDAS untuk menghasilkan nilai CN dan PIMP tiap subDAS.

Data pengolahan menghasilkan *input* data yang akan digunakan dalam HEC-HMS untuk menganalisis hidrologi.

### 3.4.2 Pemodelan Data HEC-HMS

Langkah yang dilakukan dalam pemodelan hujan menjadi debit dengan HEC- HMS disajikan pada Gambar 3.5 adalah sebagai berikut:

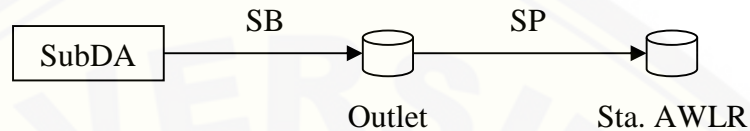
#### a. Menyusun Parameter dan *Initial Condition*

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


##### 1) Skema Models


Pada dasarnya sebuah DAS harus memiliki tiga komponen utama, yaitu wilayah, sungai, dan titik outlet. Komponen DAS dalam penelitian ini akan diwakilkan oleh komponen model dalam HEC-HMS seperti wilayah DAS diwakilkan basin model ataupun subbasin model, sungai diwakilkan reach, dan titik outlet diwakilkan junction. Dalam skema komponen model penelitian ini, terdapat dua macam

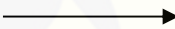
sungai yaitu sungai utama diwakilkan Reach SP dan sungai subDAS diwakilkan SB. Ilustrasi skema model dalam HEC-HMS penelitian ini secara umum digambarkan pada Gambar 3.2.



Keterangan :

 : SubBasin

 : Junction

 : Reach

Gambar. 3.2 Ilustrasi Skema Penelitian Model HEC-HMS

## 2) Parameter Model SubBasin dan Reach

Pemilihan metode parameter model disesuaikan dengan kebutuhan data yang ada dan hasil yang akan diharapkan. Data awal yang terdapat antara lain karakter fisik DAS, nilai CN dan PIMP. Adapun pemilihan parameter model dengan metodenya untuk setiap komponen model disajikan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Paramater Model

| Komponen Model | Parameter | Metode           |
|----------------|-----------|------------------|
| Subbasin       | Canopy    | Simple Canopy    |
|                | Surface   | Simple Surface   |
|                | Loss      | SCS Curve Number |
|                | Transform | Clark UH         |
|                | Baseflow  | Recession        |
| SB             | Routing   | Lag              |
| SP             | Routing   | Muskingum        |

### 3) Meteorologic Models

Meteorologi model berisi data sebaran stasiun hujan wilayah. Meteorologi model dibuat dengan memilih menu *component* untuk memasukkan data hujan dan data debit observasi. Data hujan jam-jaman hasil analisis IDF dan bobot hujan wilayah dimasukkan dalam bentuk *single event* dengan tipe data *precipitation gages*. Data *precipitation gages* nantinya diidentifikasi pada komponen meteorologi model dalam bentuk *Specified Hyetograph* agar data hujan jam-jaman sesuai dengan lokasi subDAS masing-masing. Untuk masing- masing data debit observasi akan dirubah pula menjadi data *single event*, namun bertipe data *discharge gages*. Kemudian untuk dapat mengkalibrasi pemodelan penelitian ini, harus ditentukan data *discharge gage* pada titik junction pengamatan, seperti outlet Tenggarang dan outlet Kloposawit.

#### b. Control Specifications

Pada kontrol spesifikasi model ini, diisikan tanggal dan memulai serta mengakhiri dan interval waktu yang dibutuhkan..

#### c. Running Model

Pada *running model* merupakan proses untuk menghasilkan hujan aliran yang dapat dilihat dalam bentuk hidrograf dan tabel.



d. Proses Kalibrasi

Langkah kalibrasi ini dilakukan supaya hidrograf hasil hitungan sama atau menyerupai hidrograf terukur, sehingga dalam kalibrasi ini memerlukan debit terukur dan data hujan pada rentang waktu yang sama. Variabel yang digunakan sebagai acuan dalam proses kalibrasi ini adalah nilai dari debit stasiun AWLR Tenggarang dan AWLR Kloposawit. Proses kalibrasi pada penelitian ini dilakukan pada dua titik outlet, yakni outlet Tenggarang dan outlet Kloposawit. Proses kalibrasi pada dua outlet tersebut digunakan untuk mengetahui menentukan nilai parameter-parameter dari karakteristik subDAS.

e. Optimasi Parameter

Proses optimasi parameter dapat membantu dalam menentukan parameter yang tepat pada kondisi DAS yang ada. Proses ini akan mengacu pada satu ketentuan, misalnya ketentuan debit aliran, waktu puncak, ataupun volume aliran. Adapun yang di parameter yang akan dioptimasi merupakan parameter *trial-error* dan ditentukan sesuai Lampiran A.2. Proses optimasi parameter akan menghasilkan nilai parameter baru dan sensitifitas tiap perubahan parameter. Nantinya akan dilakukan *running model* lagi dengan menggunakan nilai parameter optimasi untuk mendapatkan evaluasi model yang baik.

f. Evaluasi Model

Model dikatakan baik apabila model tersebut akurasinya bagus dan memenuhi kriteria dari pemodelan. Penentuan akurasi model terbaik dapat diukur berdasarkan besarnya nilai *error* yang dihasilkan antara hasil simulasi model terhadap data observasi. Uji keandalan model dimaksudkan untuk mengetahui tingkat keakuratan suatu model. Uji keandalan model debit simulasi ini didasarkan dengan membandingkan debit simulasi dan debit pengukuran menggunakan indek efisiensi (Nash dan Sutcliffe, 1970 dalam Hidayah *et al.*,2014), seperti berikut:

$$EI = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_o - Q_s)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_o - Q_a)^2} \dots\dots\dots(3.1)$$

dengan:

- EI* : Indek efisiensi  
*Q<sub>o</sub>* : Debit pengukuran (observasi)  
*Q<sub>s</sub>* : Debit simulasi (model)  
*Q<sub>a</sub>* : Debit rata-rata pengukuran

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

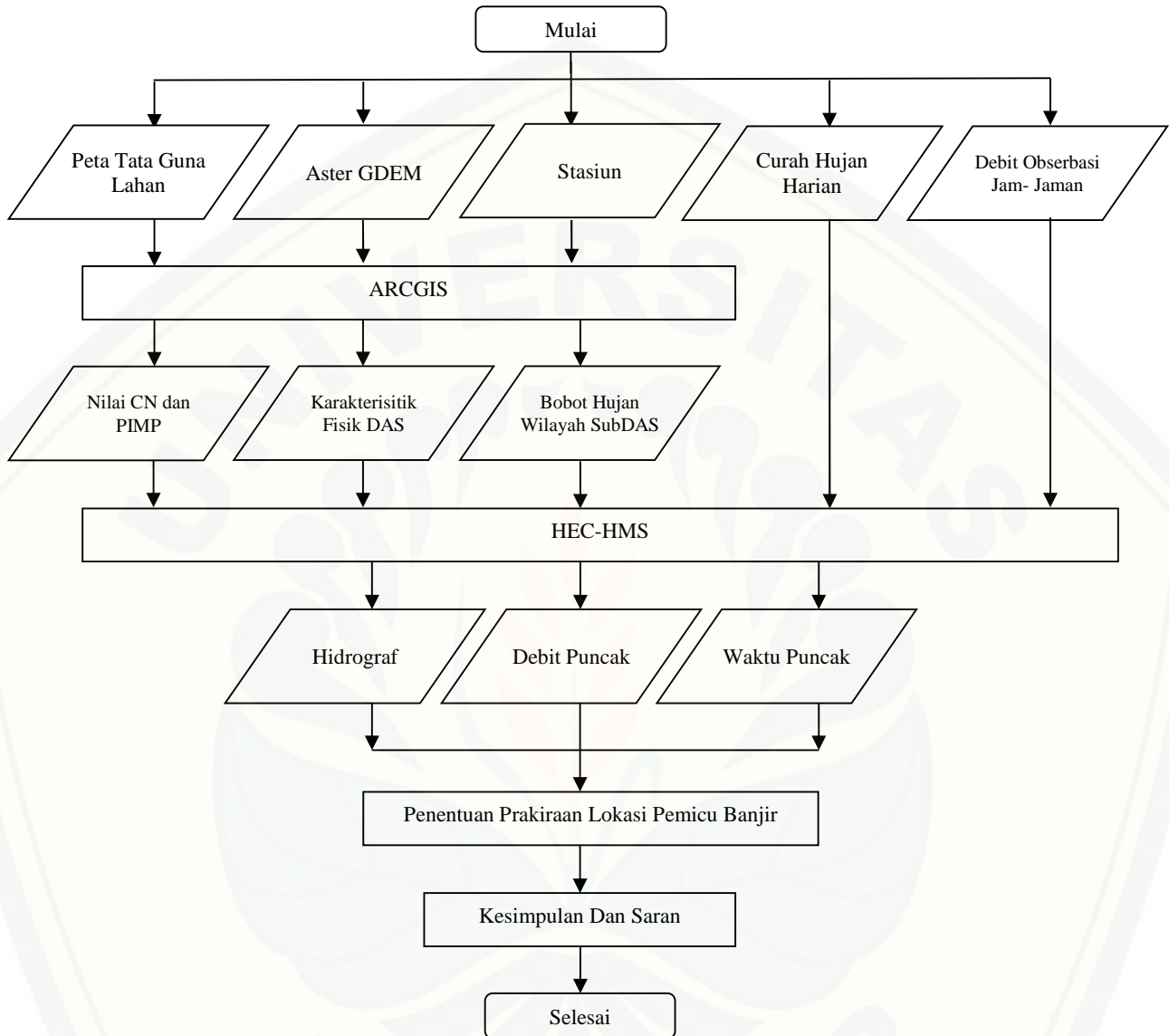
- a. Tingkat akurasi rendah jika  $EI \leq 0,50$
- b. Tingkat akurasi sedang jika  $0,50 < EI < 0,70$
- c. Tingkat akurasi tinggi jika  $EI \geq 0,70$

Selain nilai indek efisiensi metode Nash dan Sutcliffe, evaluasi model didasarkan pada hubungan korelasi regresi  $R^2$ .

g. Simulasi hujan-aliran rencana

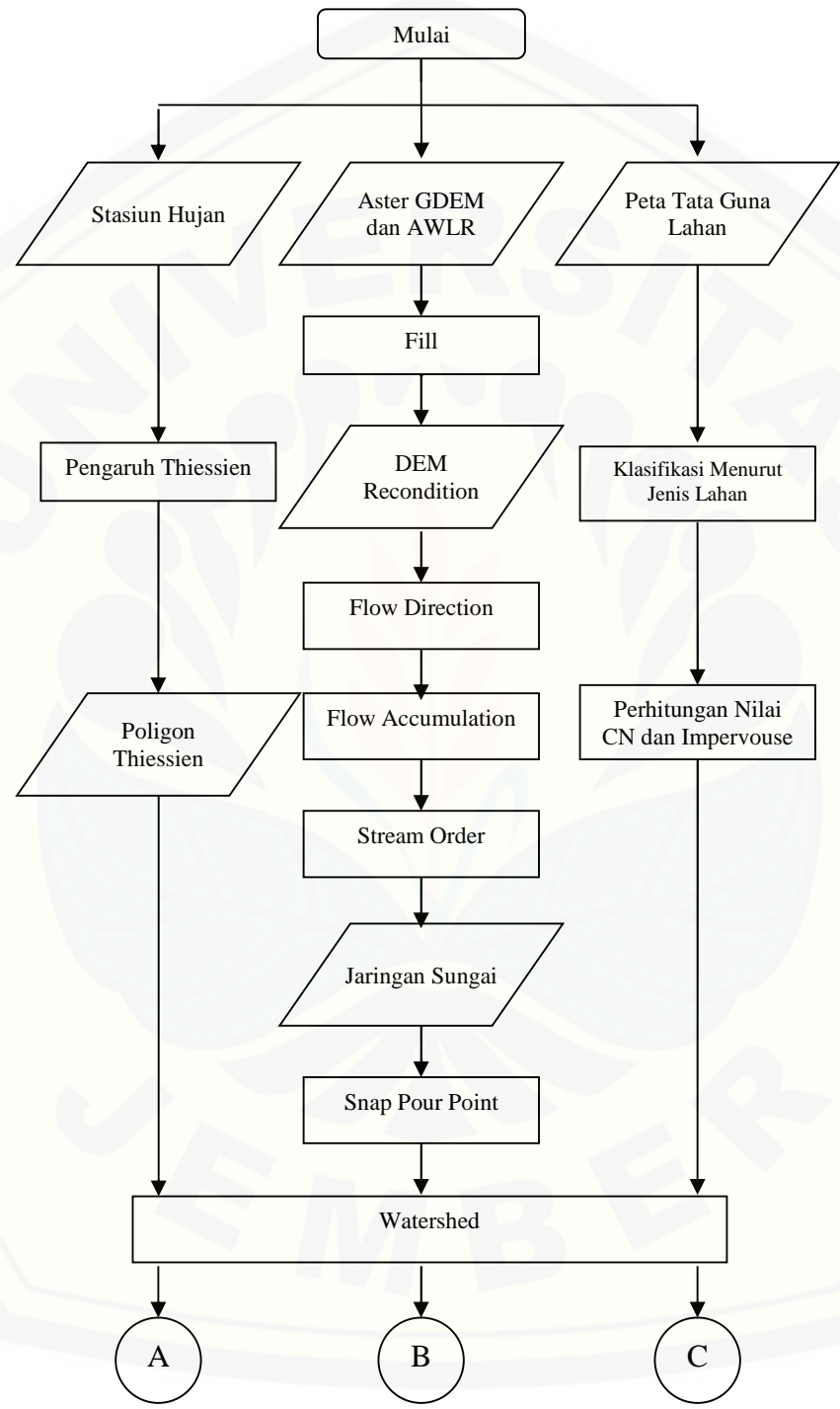
Simulasi hujan-aliran rencana bertujuan untuk mengetahui kondisi hidrologi berdasarkan parameter yang telah dievaluasi model. Tiap subDAS disimulasikan akan terjadi hujan hanya pada satu subDAS sehingga titik subDAS tersebut akan diketahui besaran nilai debit banjir dan waktu puncak.

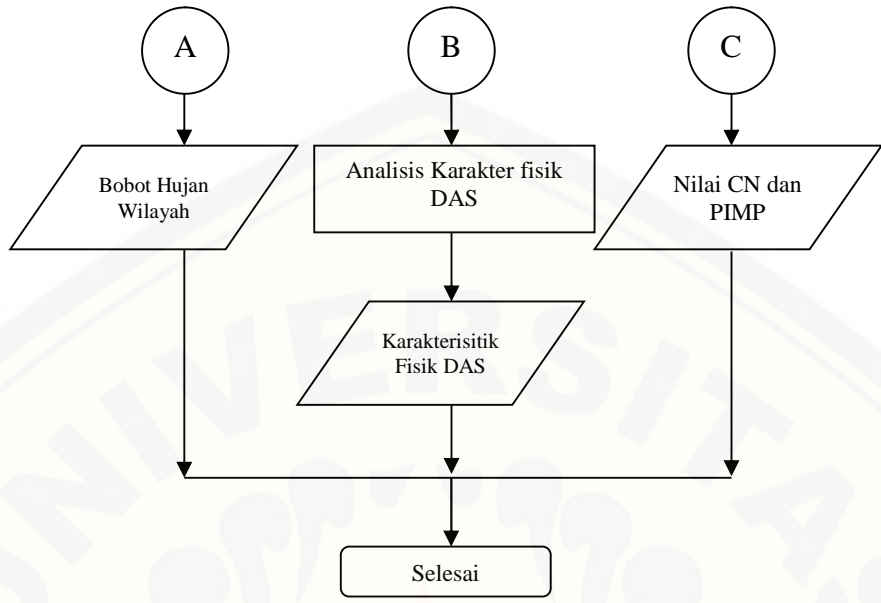
### 3.5 Alur Penelitian



Gambar 3.3 Diagram Alur Penelitian

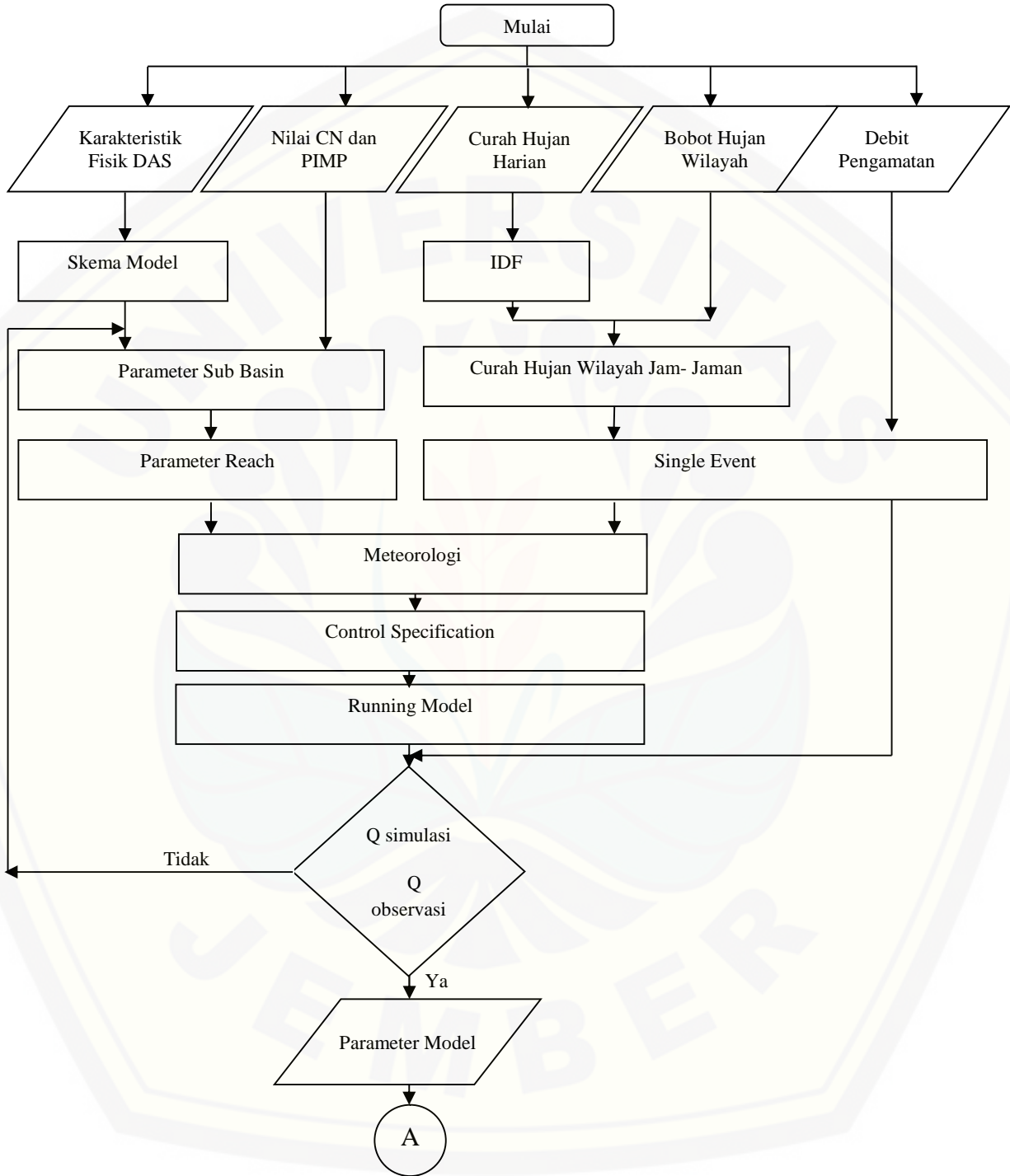
### 3.7 Alur Pengelolaan ArcGIS

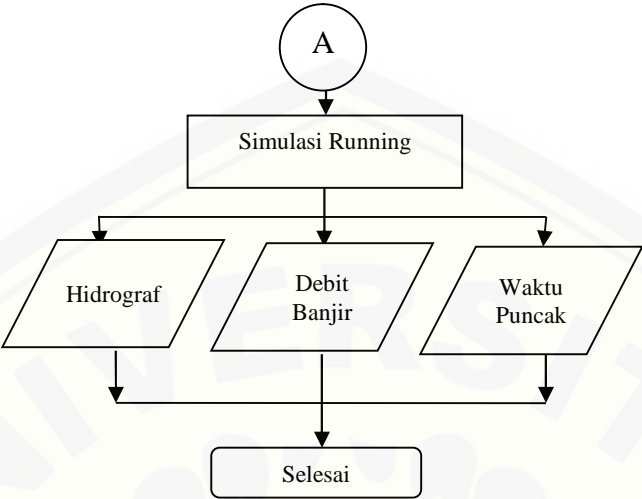




Gambar 3.4 Diagram Alur Pengelolaan Data pada ArcGIS

3.8 Alur Pemograman HEC-HMS



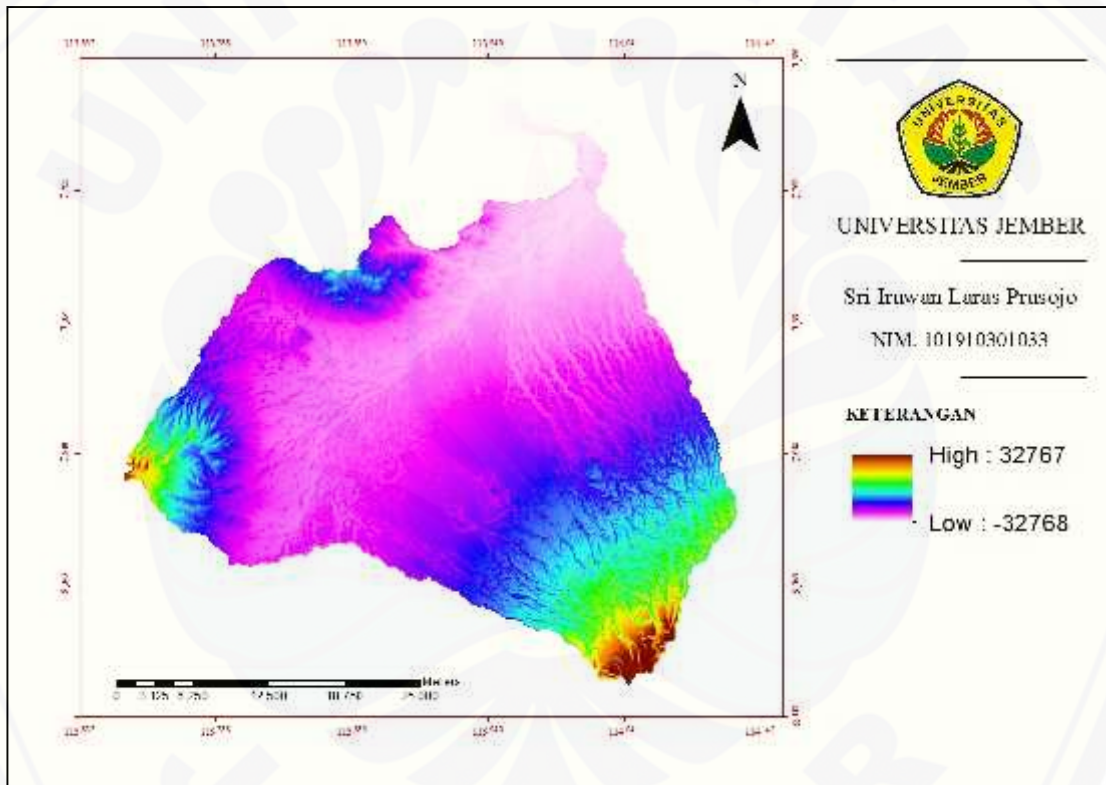


Gambar 3.5 Diagram Alur Pemodelan HEC-HMS

## BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Analisis hidrologi spasial.

Digital Elevasi Model atau DEM merupakan jenis data geospasial yang banyak gunanya. Atribut dari DEM dapat berupa kemiringan lereng dan arah aliran. Dalam GIS dapat mendeskripsikan DEM menjadi kontur dan elevasi tiap grid. Raster dari DEM mewakili distribusi spasial ketinggian (Phillip B.,2008).



Gambar 4.1 DEM DAS Sampean

Data spasial diperoleh dari hasil analisis data ASTER GDEM v2 30 M dan stasiun hujan yang berada di sekitar DAS Sampean dengan menggunakan ArcGIS 10.00. Hasil analisis data spasial merupakan data format raster dan vektor yang akan



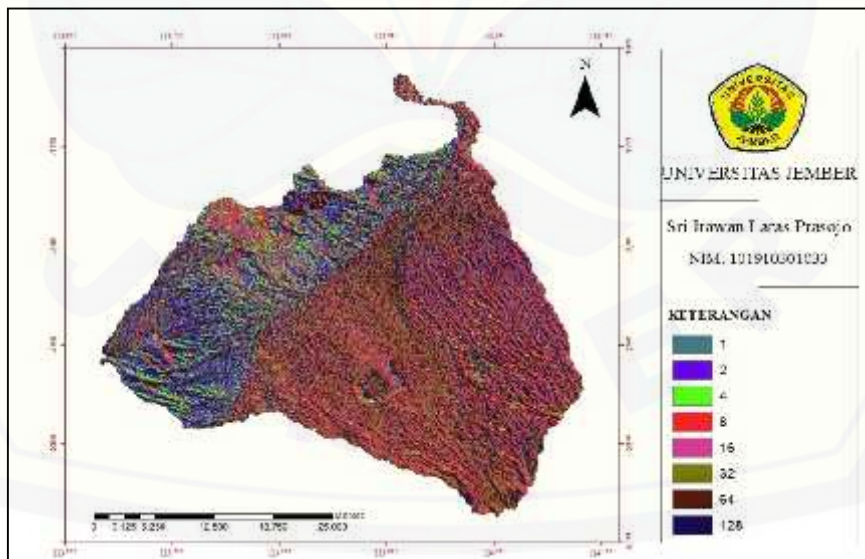
digunakan mendeskripsikan karakter fisik DAS Sampean. Data yang dihasilkan analisa spasial sebagai berikut :

- Arah Aliran.
- Akumulasi Aliran.
- Sungai.
- Kemiringan DAS
- Penentuan Titik Outlet SubDAS.
- Delinasi SubDAS.
- Peta Pengaruh Polygon Thiessen SubDAS.

Berikut uraian proses analisis data hidrologi spasial untuk setiap data informasi yang diperlukan untuk mendeskripsikan karakter fisik DAS Sampean guna kebutuhan variable awal HEC-HMS.

#### 4.1.1. Arah Aliran (*Flow Direction*).

Analisis data spasial diawali dengan mendeskripsikan arah aliran hujan maupun sungai pada suatu daerah. Analisis arah aliran di ArcGIS dapat menggunakan *tool Flow Direction* pada menu *Hydrology* di *toolbox Spatial Analysis*. Peta arah aliran disajikan pada Gambar 4.2.

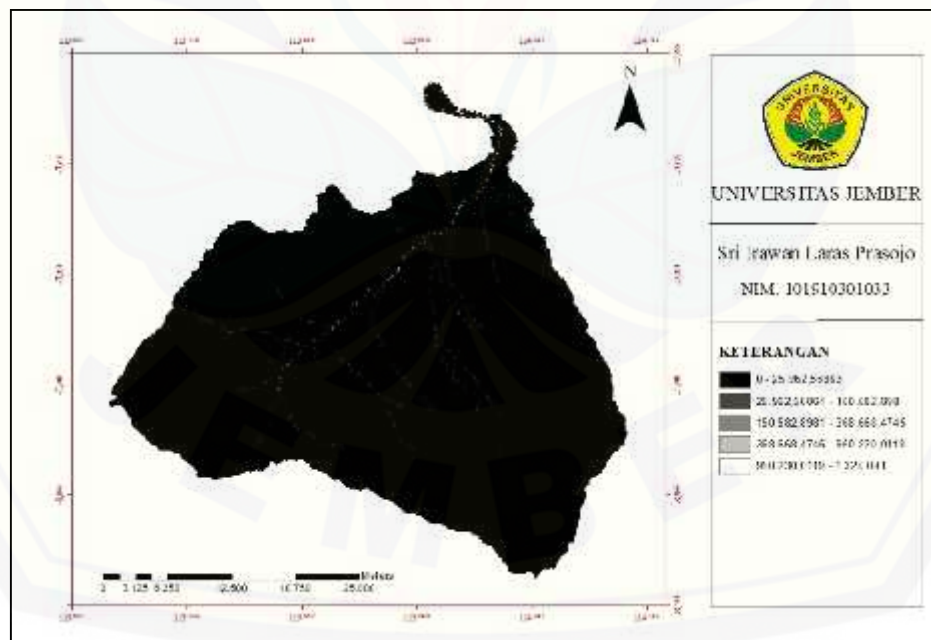


Gambar 4.2 Peta Arah Aliran DAS Sampean

Pendeskrripsian arah aliran ini berguna untuk mengetahui lokasi anak sungai dan sungai utama serta kapasitas tiap aliran melewati lereng maupun sungai. Kapasitas aliran menunjukkan arah kemana aliran akan berjalan mengikuti lereng dan lembah sesuai dengan aturan pendekatan delapan arah (D8). Arah utara ditunjukkan nilai 64, arah timur laut ditunjukkan nilai 128, arah timur ditunjukkan nilai 1, arah tenggara ditunjukkan nilai 2, arah selatan ditunjukkan nilai 4, arah barat daya ditunjukkan nilai 8, arah barat ditunjukkan nilai 16 dan arah barat laut ditunjukkan nilai 32.

#### 4.1.2. Akumulasi Aliran.

Akumulasi aliran merupakan langkah berikut dalam analisis hidrologi spasial. Analisis akumulasi aliran di ArcGIS dapat menggunakan *tool Flow Accumulation* pada menu *Hydrology* di *toolbox Spatial Analysis*. Akumulasi aliran akan menentukan titik outlet untuk tiap subdas. Dalam analisa ini, jika terdapat nilai akumulasi yang besar maka terdapat aliran anak sungai menuju sungai utama atau titik akhir sungai utama/ outlet. Peta akumulasi aliran disajikan pada Gambar 4.3.

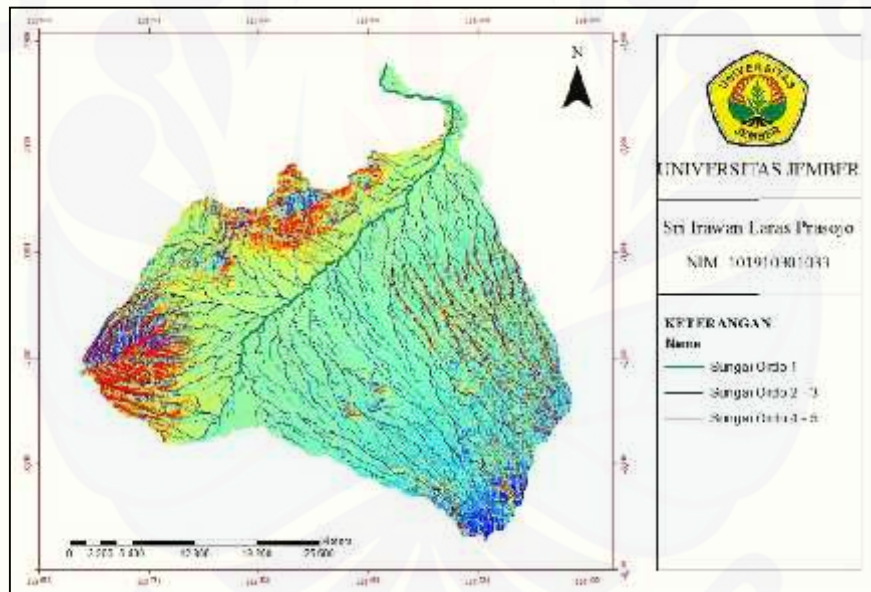


Gambar 4.3 Peta Akumulasi Aliran DAS Sampean

Nilai akumulasi menunjukkan bahwa semakin besar nilainya maka aliran tersebut berada di lembah sungai. Nilai kisaran 950.230 – 1.324.091 merupakan nilai akumulasi yang mengidentifikasi sungai sampean.

#### 4.1.3. Sungai.

Hasil raster dari akumulasi aliran dapat dikonversi untuk menghasilkan jaringan sungai dalam bentuk data format vektor. Hasil ini akan mempermudah identifikasi mengenai bentuk, kerapatan jaringan panjang serta kemiringan tiap ruas sungai. Bentuk sungai dalam *polyline* akan menjadi dasar dalam menentukan letak titik outlet tiap subDAS karena hasil ini memperlihatkan orde sungai tiap lokasi. Konversi data raster akumulasi di ArcGIS dapat menggunakan *tool Raster to Polyline* pada menu *From Raster* di *toolbox Conversion*. Peta sungai disajikan pada Gambar 4.4.

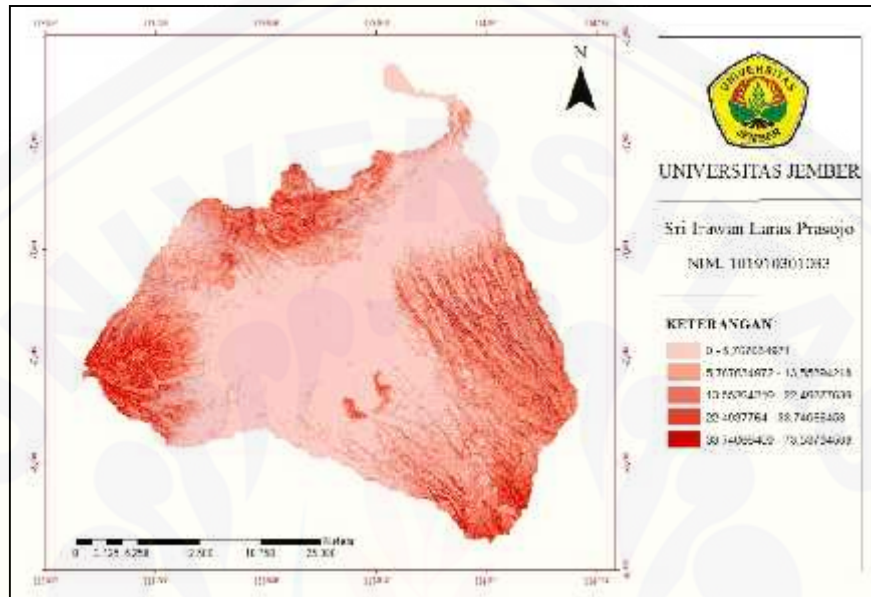


Gambar 4.4 Peta Sungai DAS Sampean

#### 4.1.4. Kemiringan lereng DAS

Data spasial kemiringan lereng dapat dihasilkan dari pengolahan DEM selanjutnya diproses sehingga menghasilkan data nilai sudut kemiringan lereng. Proses penentuan sudut kemiringan lereng di ArcGIS dapat menggunakan *tool Slope* pada menu *Surface* di *toolbox Spatial Analysis*. Kemiringan lereng akan

diklasifikasikan ke dalam 5 kelas yaitu datar, agak curam, curam, dan sangat curam. Hasil klasifikasi kemiringan lereng DAS Sampean disajikan pada Tabel 4.1 dan peta kemiringan lereng disajikan dalam Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Peta Kemiringan Lereng DAS Sampean

Tabel 4.1 Klasifikasi Kemiringan Lereng DAS Sampean

| Keterangan | Kelas        | Luas (km <sup>2</sup> ) | Luas (%) |
|------------|--------------|-------------------------|----------|
| 0 - 8      | Datar        | 758,680                 | 57,289   |
| 8 - 15     | Miring       | 230,331                 | 17,393   |
| 15 - 25    | Agak Curam   | 199,471                 | 15,062   |
| 25 - 40    | Curam        | 118,318                 | 8,934    |
| >40        | Sangat Curam | 175,07                  | 1,322    |

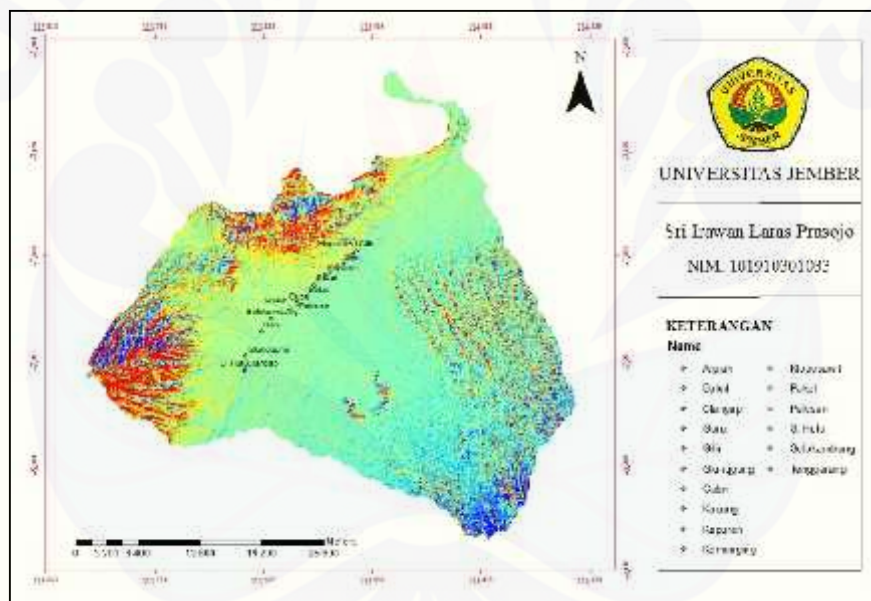
Sumber : Hasil Analisis Perhitungan (2015)

Berdasarkan tabel 4.1 dapat diketahui bahwa sebagian besar wilayah DAS Sampean berada di kelas datar, yaitu sebesar 57,289% dengan luas 758,680 km<sup>2</sup> sedangkan yang berada di kelas sangat curam hanya 1,322% dengan luas 175,07 km<sup>2</sup>.

#### 4.1.5. Penentuan Titik Outlet SubDAS.

Penentuan titik outlet bertujuan untuk membagi tiap subdas di DAS Sampean berdasarkan pertemuan antara sungai besar Kali Sampean dengan anak sungainya ordo ke dua dengan nilai akumulasi yang tinggi pada lokasi tersebut dan titik stasiun AWLR Tengareng, Kloposawit serta Tapen.

Dalam analisis ini titik outlet dalam bentuk vektor, namun kemudian akan dikonversi menjadi data raster guna analisis pembagian subdas menurut lereng yang ada. Proses pengolahan titik outlet untuk menghasilkan titik outlet di ArcGIS dapat menggunakan *tool Snap Pour Point* pada menu *Hydrology* di *toolbox Spatial Analysis*. Peta titik outlet disajikan pada Gambar 4.6

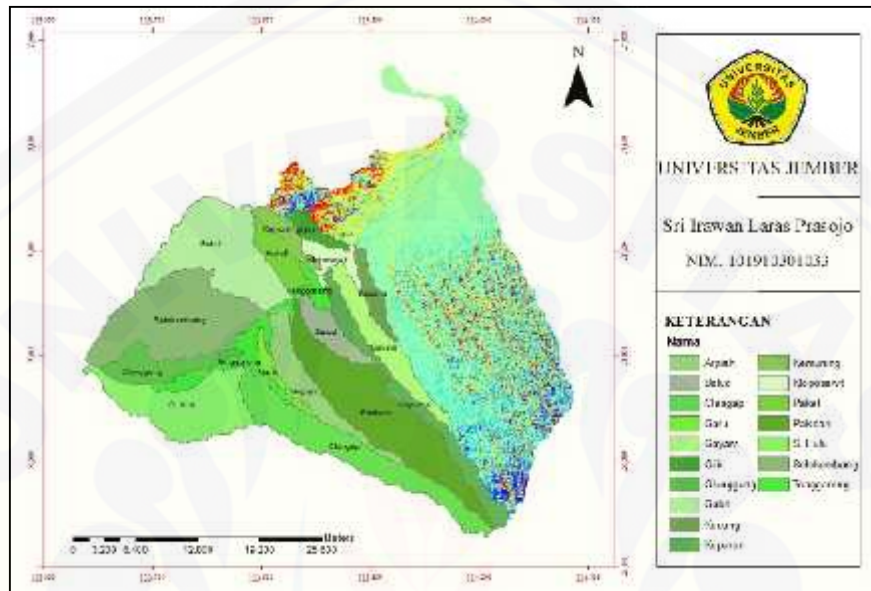


Gambar 4.6 Peta Titik Outlet Penelitian

#### 4.1.6. Delinasi SubDAS.

Setelah penentuan titik outlet untuk masing- masing subDAS akan di analisis menggunakan *tool Watershed* pada menu *Hydrology* di *toolbox Spatial Analysis*. Analisis ini akan menghasilkan wilayah tiap subDAS dalam bentuk data format raster. Keseluruhan wilayah subDAS hasil analisis akan dikonversi bentuk data format vektor guna delinasi batas subdas di DAS Sampean. Hasil delinasi tersebut

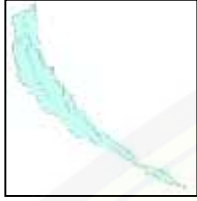
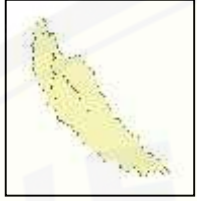















akan menghasilkan dua data yaitu data raster dalam bentuk DEM dan vektor dalam bentuk polygon tiap subdas. Peta pembagian subDAS pada DAS Sampean disajikan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Peta SubDAS Penelitian

Berdasarkan Gambar 4.7 terdapat 17 subDAS yang ditinjau penelitian ini. Setiap penamaan subDAS akan disesuaikan dengan nama sungai terpanjang yang melalui subDAS tersebut. Bentuk tiap subDAS hasil analisis delinasi disajikan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Bentuk SubDAS Sampean

|   |   |  |   |
|---|---|--|---|
| Arpiah  | Balud   | Clangap  | Garu  |
|    |    |    |    |
| Gayam   | Gilir   | Glungungung  | Gubri   |
|    |    |    |    |
| Kacung  | Kapuran   | Kemuning   | Kloposawit  |
|   |   |   |   |
| Pakel   | Pakistan  | Sampean Hulu   | Selokambang   |
|  |  |  |  |
| Tenggarang  |   |  |   |
|  |   |  |   |

#### 4.1.8. Pengaruh Thiessen SubDAS.

Lokasi penelitian terdapat 25 stasiun hujan yang berada di sekitar wilayah DAS Sampean, nama stasiun dan lokasi disajikan pada Tabel 4.3:

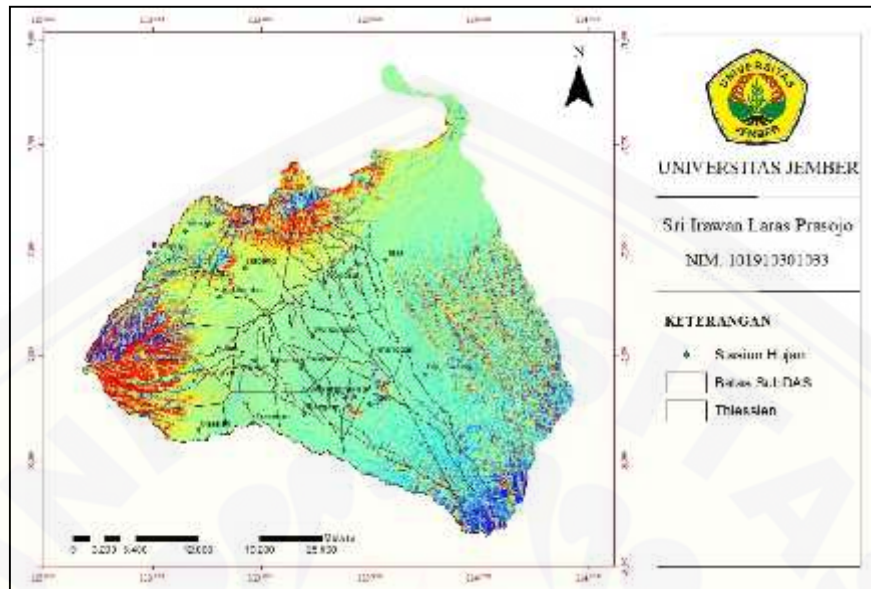
Tabel 4.3. Stasiun Hujan dan Lokasi

| No | NAMA_POS      | LAT        | LON          | DESA          | KECAMATAN    | KABUPATEN |
|----|---------------|------------|--------------|---------------|--------------|-----------|
| 1  | Klabang       | -7.8667000 | +113.8187800 | Klabang       | Tegalampel   | Bondowoso |
| 2  | Selolembu     | -7.8703000 | +113.8202600 | Selolembu     | Curahdami    | Bondowoso |
| 3  | Sbr. Dumpyong | -7.8968500 | +113.7966200 | Sbr. Dumpyong | Pakem        | Bondowoso |
| 4  | Wringin       | -7.8966500 | +113.7970000 | Jatisari      | Wringin      | Bondowoso |
| 5  | Blimbing      | -7.8811300 | +113.7463100 | Petung        | Pakem        | Bondowoso |
| 6  | Kesemek       | -7.7642000 | +113.7718600 | Kesemek       | Tenggarang   | Bondowoso |
| 7  | Kejayan       | -7.7384700 | +113.7987500 | Kejayan       | Pujer        | Bondowoso |
| 8  | Wonosroyo     | -7.9627000 | +113.8723300 | Tumpeng       | Wonosari     | Bondowoso |
| 9  | Sbr. Gading   | -7.9600800 | +113.8749100 | Sbr. Wringin  | Sbr. Wringin | Bondowoso |
| 10 | Taal          | -7.9334900 | +113.8826600 | Taal          | Tapen        | Bondowoso |
| 11 | Bluncong      | -7.9336400 | +113.8825500 | Pandak        | Klabang      | Bondowoso |
| 12 | Jero          | -7.8082300 | +114.0300000 | Gunung Anyar  | Tapen        | Bondowoso |
| 13 | Wonosari      | -7.7996800 | +114.0458200 | Wonosari      | Wonosari     | Bondowoso |
| 14 | Sumberanyar   | -7.7772100 | +114.0523100 | Sumberanyar   | Banyuputih   | Situbondo |
| 15 | Ancar         | -7.7327200 | +113.7037500 | Jetis         | Curahdami    | Bondowoso |
| 16 | Wonosari II   | -7.7327200 | +113.7037500 | Wonosari      | Grujugan     | Bondowoso |
| 17 | Maesan        | -7.7327200 | +113.7037500 | Maesan        | Maesan       | Bondowoso |
| 18 | Pinangpiat    | -7.7327200 | +113.7037500 | Pecalongan    | Sukosari     | Bondowoso |
| 19 | Maskuning Wt  | -7.7327200 | +113.7037500 | Maskuning Wt  | Pujer        | Bondowoso |
| 20 | Tlogo         | -7.7327200 | +113.7037500 | Tlogo         | Tlogo        | Bondowoso |
| 21 | Pakistan      | -7.7327200 | +113.7037500 | Pakistan      | Tlogo        | Bondowoso |
| 22 | Clangap       | -7.7327200 | +113.7037500 | Alas sumur    | Pujer        | Bondowoso |
| 23 | Tamanan       | -7.7327200 | +113.7037500 | Tamanan       | Tamanan      | Bondowoso |
| 24 | Grujugan      | -7.7327200 | +113.7037500 | Grujugan Lor  | Grujugan     | Bondowoso |
| 25 | Sukokerto     | -7.7327200 | +113.7037500 | Maskuning     | Pujer        | Bondowoso |

Sumber: BPP DAS Sampean Baru (2014)

Tiap stasiun hujan mempunyai luasan pengaruh tertentu terhadap wilayah di DAS Sampean. Untuk menganalisis luasan pengaruh dari tiap stasiun hujan menggunakan analisa pengaruh thiessen. Analisis pengaruh thiessen di ArcGIS dapat menggunakan *tool Create Thiessen Polygon* pada menu *Analysis* di *toolbox Spatial Analysis*. Luasan pengaruh thiessen akan menjadi bobot hujan wilayah tiap subDAS, hasil perhitungan bobot luasan thiessen akan disajikan pada Lampiran C dan peta pengaruh stasiun hujan polygon thiessen disajikan pada Gambar 4.8.





Gambar 4.8 Peta Poligon Thiessen

#### 4.2 Karakteristik Fisik DAS Sampean

Data karakteristik fisik DAS Sampean diperoleh dari hasil analisis terhadap beberapa data spasial. Berdasarkan PerMenhut Nomer P.3/V-SET/2013 tentang Pedoman Identifikasi Karakteristik Daerah Aliran Sungai, parameter data karakteristik fisik DAS meliputi :

- Luas
- Jaringan Sungai
- Bentuk DAS
- Kemiringan Lereng DAS
- Bentuk Lereng

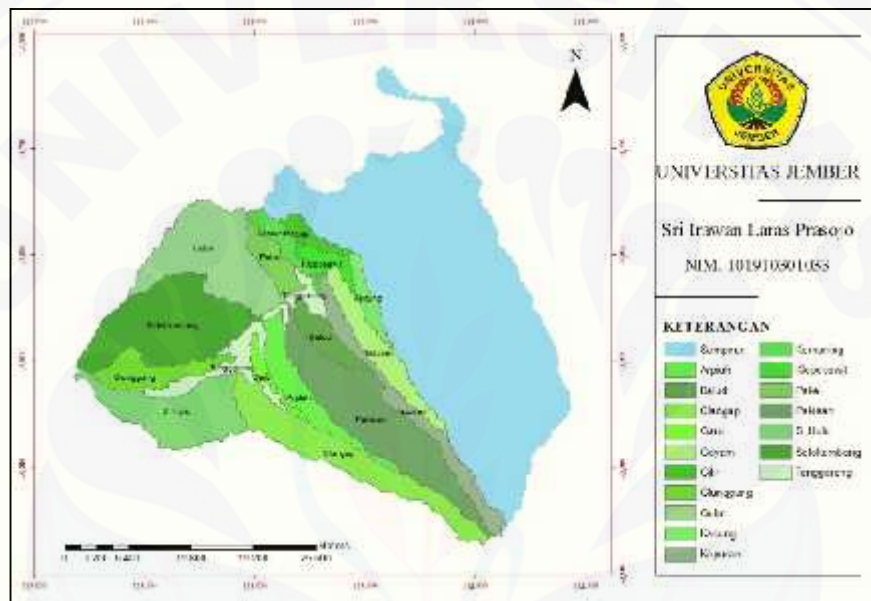
Pengidentifikasi data karakter fisik DAS dilakukan sesuai dengan data spasial yang berkaitan. Berikut uraian karakteristik fisik DAS berdasarkan Peraturan Kementerian Kehutanan di DAS Sampean.

#### 4.2.1. Luas

Identifikasi luas DAS akan dibagi menjadi dua, yaitu luas DAS Sampean dan luas tiap wilayah subDAS.

##### 4.2.1.1 Luas DAS Sampean

Nilai luas DAS total adalah 1245,233 km<sup>2</sup> meliputi wilayah daerah kabupaten Situbondo dan kabupaten Bondowoso.



Gambar 4.9 Peta DAS Sampean dan SubDAS Penelitian

##### 4.2.1.2 Luas SubDAS

SubDAS pada penelitian ini ditentukan melalui pemilihan titik outlet di analisa spasial. Data format raster yang dihasilkan dari analisa spasial di konversi menjadi data format vektor berbentuk polygon. Data format vektor tersebut diproses untuk mencari luas area dengan menggunakan *tool Calculate Areas* pada menu *Utilities* di *toolbox Spatial Statistic*. Luas subDAS Sampean akan disajikan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Luas SubDAS Sampean

| SubDAS       | Luas Area (km <sup>2</sup> ) |
|--------------|------------------------------|
| Pakistan     | 106,080                      |
| Selokambang  | 105,466                      |
| Gubri        | 90,445                       |
| Clangap      | 75,780                       |
| Sampean Hulu | 69,564                       |
| Kapuran      | 39,684                       |
| Tenggarang   | 36,400                       |
| Arpiah       | 35,234                       |
| Gayam        | 35,040                       |
| Glunggung    | 29,067                       |
| Balud        | 19,160                       |
| Pakel        | 18,300                       |
| Kemuning     | 13,904                       |
| Kloposawit   | 13,558                       |
| Kacung       | 12,398                       |
| Gilir        | 9,782                        |
| Garu         | 8,546                        |

Sumber: Hasil Analisis Perhitungan (2015)

Berdasarkan Tabel 4.4. dapat diketahui bahwa luas area subdas yang terluas yaitu subDAS Pakistan dengan luasan 106,080 km<sup>2</sup>, kemudian diikuti oleh subDAS Selokambang dengan luasan 105,466 km<sup>2</sup> dan Gubri dengan luasan 90,445 km<sup>2</sup>.

#### 4.2.2. Bentuk DAS

DAS mempunyai bentuk yang bermacam- macam berdasarkan bentuk topografi dan geologinya. Bentuk- bentuk DAS tersebut berpengaruh terhadap hidrograf dan debit aliran puncak.

Pada umumnya menurut Gambar 2.5 dan Gambar 2.6, bentuk dari DAS Sampean berada di kategori 6 yaitu memiliki debit puncak yang terbesar ke-3 setelah kategori 1 dan 2, namun bentuk dari subDAS penelitian dengan titik AWLR Kloposawit berada di kategori 1. Maka dari itu, analisa bentuk secara subDAS akan lebih teliti daripada secara keseluruhan untuk menentukan wilayah yang mempunyai pengaruh besar terhadap debit puncak di DAS Sampean, hasil analisis kategori tiap subDAS disajikan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5. Analisa Bentuk SubDAS

| SubDAS       | Kategori |
|--------------|----------|
| Arpiah       | 4        |
| Balud        | 3        |
| Clangap      | 3        |
| Garu         | 4        |
| Gayam        | 3        |
| Gilir        | 4        |
| Glunggung    | 6        |
| Gubri        | 6        |
| Kacung       | 4        |
| Kapuran      | 3        |
| Kemuning     | 3        |
| Kloposawit   | 6        |
| Pakel        | 3        |
| Pakistan     | 3        |
| Sampean Hulu | 6        |
| Selokambang  | 6        |
| Tenggarang   | 4        |

Sumber: Hasil Analisis Perhitungan (2015)

Dapat diketahui dari Tabel 4.5 bahwa sebagian besar bentuk subDAS penelitian ini berada di kategori 3, 4 dan 6. Berdasarkan hasil simulasi hujan-aliran kategori 3 dan 6 memiliki nilai debit lebih besar dibandingkan kategori 4. Ini menunjukkan bahwa bentuk subDAS akan mempengaruhi debit puncak.

#### 4.2.3 Kemiringan DAS.

Faktor topografi wilayah suatu DAS mewakili pengaruh terhadap besarnya limpasan air permukaan. Kemiringan lereng pada umumnya mempengaruhi kecepatan dan volume limpasan permukaan. Menurut persamaan 2.11 untuk perbedaan waktu puncak aliran di daerah lokasi hujan dengan lokasi outlet pengamatan debit, nilai prosentase kemiringan ( $Y$ ) berbanding terbalik dengan perbedaan waktu ( $L$ ). Apabila suatu wilayah memiliki perbedaan tinggi yang cukup signifikan dan panjang aliran cukup pendek, akan menyebabkan perbedaan waktu puncak akan semakin pendek antara lokasi hujan dengan outlet yang dituju sehingga menyebabkan waktu debit puncak semakin cepat.

Prosentase kemiringan lereng diklasifikasikan sesuai dengan kelas kemiringan. Kelas prosentase kemiringan diklasifikasikan ke dalam 4 kelas yaitu datar, agak curam, curam, dan sangat curam.

Semakin curam suatu lereng maka kecepatan aliran permukaannya semakin besar, dengan demikian semakin singkat pula kesempatan air melakukan infiltrasi sehingga volume aliran besar (Slamet,2010). Hasil analisis data spatial kemiringan lereng tiap subdas disajikan pada Tabel 4.6

Tabel 4.6. Karakteristik Kemiringan Lereng SubDAS Sampean

| SubDAS       | Sudut<br>Kemiringan<br>Maksimum (°) | Panjang<br>(Km) | Slope (%) | Kelas |
|--------------|-------------------------------------|-----------------|-----------|-------|
| Arpiah       | 22,263                              | 60,304          | 1,695     | Datar |
| Balud        | 10,847                              | 72,005          | 1,616     | Datar |
| Clangap      | 67,174                              | 103,877         | 2,72      | Datar |
| Garu         | 15,782                              | 123,686         | 0,669     | Datar |
| Gayam        | 19,215                              | 145,687         | 4,338     | Datar |
| Gilir        | 58,492                              | 153,148         | 3,027     | Datar |
| Glunggung    | 68,307                              | 168,220         | 6,362     | Datar |
| Gubri        | 54,588                              | 183,0130        | 1,059     | Datar |
| Kacung       | 16,831                              | 193,833         | 2,129     | Datar |
| Kapuran      | 63,386                              | 226,735         | 4,743     | Datar |
| Kemuning     | 53,399                              | 241,081         | 6,396     | Datar |
| Kloposawit   | 29,957                              | 249,604         | 0,975     | Datar |
| Pakel        | 53,736                              | 281,365         | 4,746     | Datar |
| Pakistan     | 56,542                              | 325,876         | 2,271     | Datar |
| Sampean Hulu | 73,537                              | 345,549         | 5,954     | Datar |
| Selokambang  | 68,3391                             | 2,7798          | 3,724     | Datar |
| Tenggarang   | 50,3946                             | 23,2751         | 0,671     | Datar |

Sumber: Hasil Analisis Perhitungan (2015)

Berdasarkan Tabel 4.6 diketahui bahwa subDAS Sampean Hulu memiliki sudut kemiringan terbesar sebesar  $73,537^\circ$  dan subDAS terpanjang dengan panjang 345,549 km. Untuk prosentase kemiringan subDAS terbesar berada di subDAS Kemuning dengan prosentase 6,396% dan prosentase terkecil berada di subDAS Garu dengan prosentase 0,66%.

#### 4.2.4. Jaringan Sungai

Karakteristik jaringan sungai pada umumnya meliputi panjang sungai, kemiringan sungai, kerapatan jaringan dan pola jaringan. Untuk karakteristik mengenai panjang dan kemiringan sungai tiap subDAS disajikan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7. Panjang dan Kemiringan sungai tiap subDAS.

| SubDAS       | Panjang Sungai (km) | Slope (%) |
|--------------|---------------------|-----------|
| Arpiah       | 17,555              | 0,016     |
| Balud        | 6,638               | 0,0161    |
| Clangap      | 31,860              | 0,027     |
| Garu         | 3,437               | 0,006     |
| Gayam        | 10,677              | 0,043     |
| Gilir        | 3,071               | 0,030     |
| Glunggung    | 13,668              | 0,063     |
| Gubri        | 17,374              | 0,010     |
| Kacung       | 5,728               | 0,021     |
| Kapuran      | 31,159              | 0,047     |
| Kemuning     | 8,629               | 0,063     |
| Kloposawit   | 5,364               | 0,047     |
| Pakel        | 29,150              | 0,022     |
| Pakistan     | 19,150              | 0,059     |
| Sampean Hulu | 21,288              | 0,037     |
| Selokambang  | 2,896               | 0,048     |
| Tenggarang   | 14,572              | 0,006     |

Sumber: Hasil Analisis Perhitungan (2015)

Berdasarkan Tabel 4.7 dapat diketahui bahwa sungai terpanjang terletak pada subDAS Clangap sepanjang 31,860 km, sungai terpanjang kedua terletak pada subDAS Kapuran sepanjang 31,159 km dan sungai terpanjang ketiga terletak pada subDAS Pakel sepanjang 29,150 km.

Pola Aliran atau susunan sungai pada suatu DAS merupakan karakteristik fisik setiap drainase basin karena pola aliran sungai mempengaruhi efisiensi sistem drainase serta karakter. Pola aliran diklasifikasikan menjadi 7 macam, antara lain pola aliran rectangular, dendritic, paralel, trellis, radial, annular, deranged. DAS Sampean

memiliki pola aliran dendritik yaitu percabangan anak sungai dengan arah dan sudut yang beragam dengan muara di laut. Identifikasi pola jaringan di subDAS akan disajikan dalam Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Identifikasi Kerapatan dan Pola Jaringan di subDAS Penelitian

| SubDAS       | Kerapatan Jaringan | Pola Jaringan |
|--------------|--------------------|---------------|
| Arpiah       | Tinggi             | Paralel       |
| Balud        | Tinggi             | Paralel       |
| Clangap      | Tinggi             | Paralel       |
| Garu         | Rendah             | Paralel       |
| Gayam        | Tinggi             | Paralel       |
| Gilir        | Tinggi             | Paralel       |
| Glunggung    | Tinggi             | Dendritic     |
| Gubri        | Tinggi             | Dendritic     |
| Kacung       | Tinggi             | Paralel       |
| Kapuran      | Tinggi             | Paralel       |
| Kemuning     | Tinggi             | Paralel       |
| Kloposawit   | Rendah             | Dendritic     |
| Pakel        | Tinggi             | Paralel       |
| Pakistan     | Tinggi             | Paralel       |
| Sampean Hulu | Tinggi             | Dendritic     |
| Selokambang  | Tinggi             | Paralel       |
| Tenggarang   | Rendah             | Dendritic     |

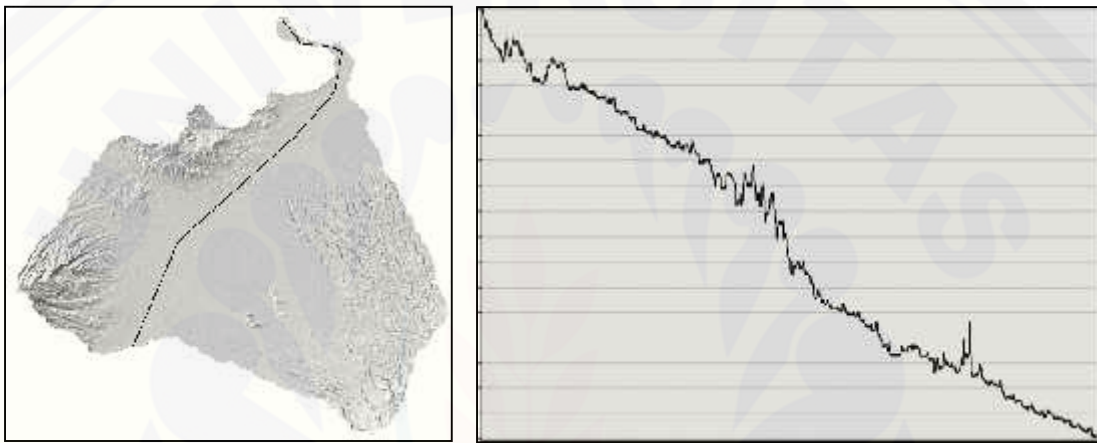
Sumber: Hasil Analisis (2015)

Dari Tabel 4.8 bahwa kerapatan jaringan rendah berada pada subDAS Garu, Kloposawit dan Tenggarang dengan pola jaringan dendritic. Sebagian besar subDAS Sampean memiliki kerapatan jaringan tinggi dengan pola jaringan paralel.



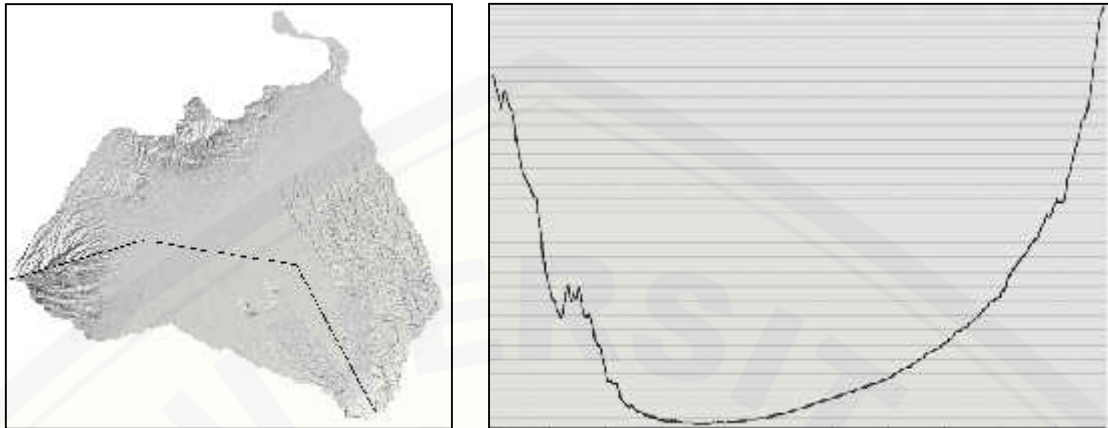
#### 4.2.5 Bentuk Lereng DAS

DAS Sampean berada di ketinggian sekitar 1963 – 3100 mdpl searah horisontal dan 65,9 - 461,6 mdpl searah vertikal terhadap garis pantai. Daerah ini merupakan daerah yang dikelilingi beberapa gunung dan pegunungan, sehingga titik akumulasi volume hujan berada di tengah yaitu Sungai Sampean. Bentuk DAS Sampean memberikan gambaran kualitatif arah laju aliran yang melewati permukaan yang di analisa dari kemiringan permukaan.



Gambar 4.10 Hasil Garis *Cross Section* Memanjang DAS Sampean

Pada Gambar 4.10 menunjukkan bahwa bentuk memanjang dari DAS Sampean adalah curam. Adanya permukaan yang cekung akan menyebabkan aliran air terjebak dan terjadi pengumpulan air.

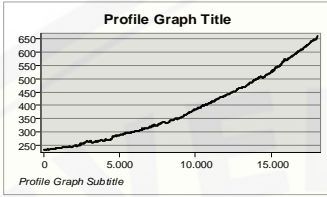
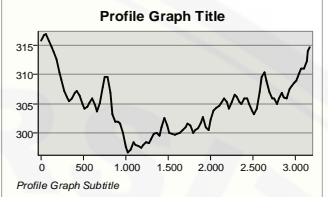
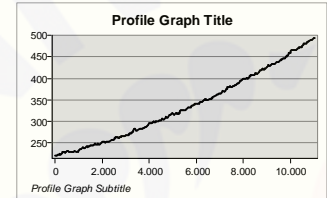
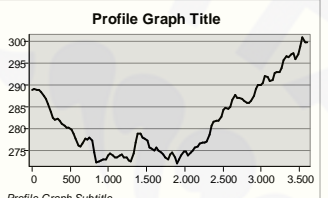
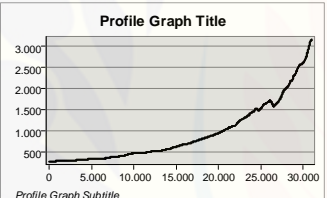
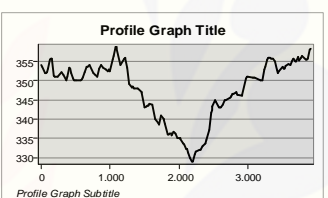
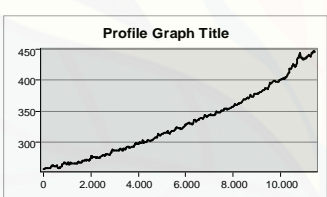
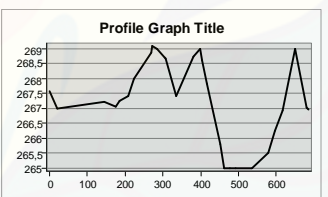
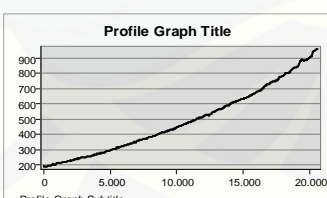
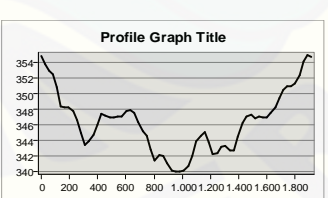
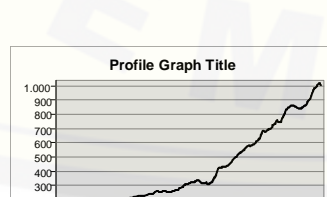
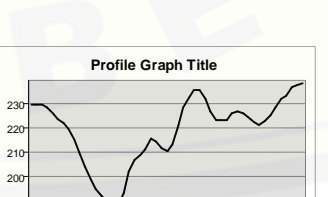


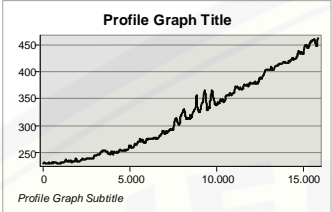
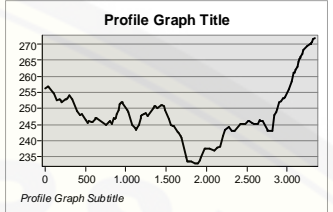
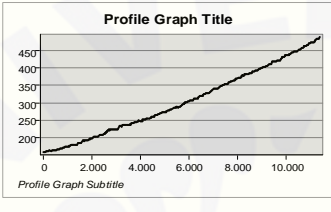
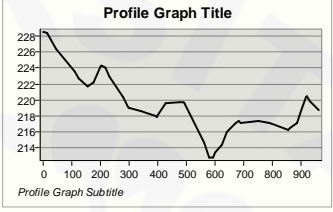
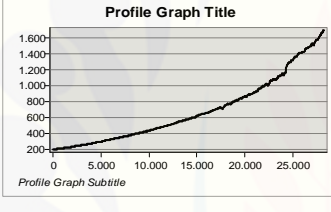
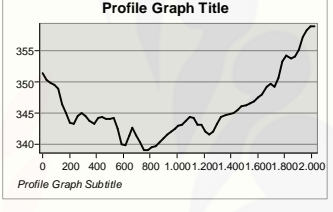
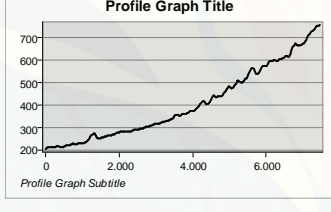
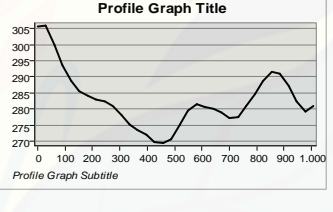
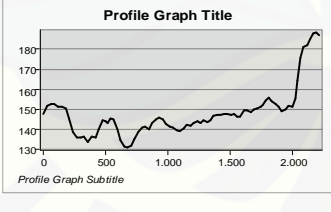
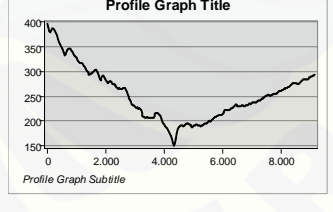
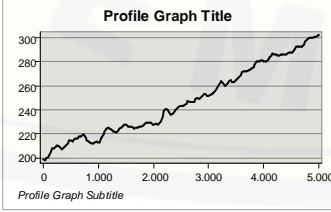
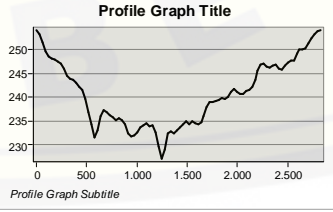
Gambar 4.11 Hasil Garis *Cross Section* Melintang DAS Sampean

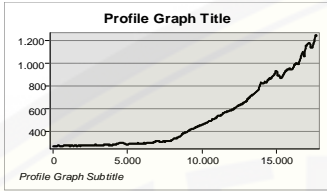
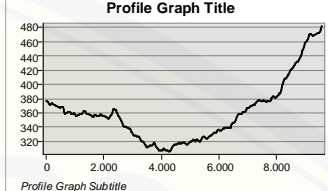
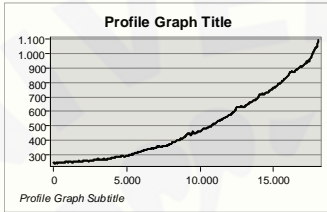
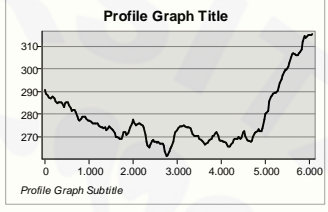
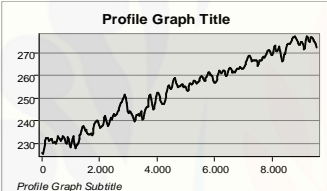
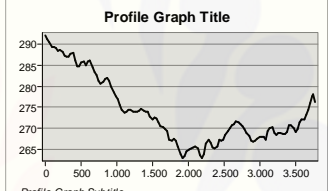
Pada Gambar 4.11 menunjukkan bahwa bentuk melintang dari DAS Sampean adalah cekung. DAS Sampean memiliki lereng yang curam pada posisi kanan dan kirinya sehingga terjadi akumulasi beban aliran mengikuti lereng yang lebih rendah.

Bentuk lereng cekung pada DAS Sampean akan menghasilkan kenaikan hidrograf lebih tajam daripada bentuk cembung, sedangkan untuk permukaan hulu menuju hilir menunjukkan bentuk lereng curam sehingga waktu konsentrasi aliran lebih cepat dalam menuju titik outlet pada DAS Sampean ini. Adapun hasil dari *cross section* tiap subDAS disajikan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Bentuk Lereng tiap subDAS Sampean

| SubDAS  | Cross Section<br>Memanjang (m)  | Cross Section<br>Melintang (m)   | Identifikasi<br>Bentuk |
|---------|---|--|------------------------|
| Arpiah  |    |    | Cekung<br>berbukit     |
| Balud   |    |    | Cekung<br>berbukit     |
| Clangap |   |   | Cekung<br>berbukit     |
| Garu    |  |  | Cekung<br>berbukit     |
| Gayam   |  |  | Cekung<br>berbukit     |
| Gilir   |  |  | Cekung<br>berbukit     |

| SubDAS     | Cross Section<br>Memanjang (m)  | Cross Section<br>Melintang (m)   | Identifikasi<br>Bentuk             |
|------------|---|--|------------------------------------|
| Gubri      |    |    | Cekung<br>berbukit                 |
| Kacung     |    |    | Cekung<br>berbukit                 |
| Kapuran    |   |   | Cekung<br>berbukit                 |
| Kemuning   |  |  | Cekung                             |
| Kloposawit |  |  | Bergelom-<br>bang curam,<br>cekung |
| Pakel      |  |  | cekung<br>berbukit                 |

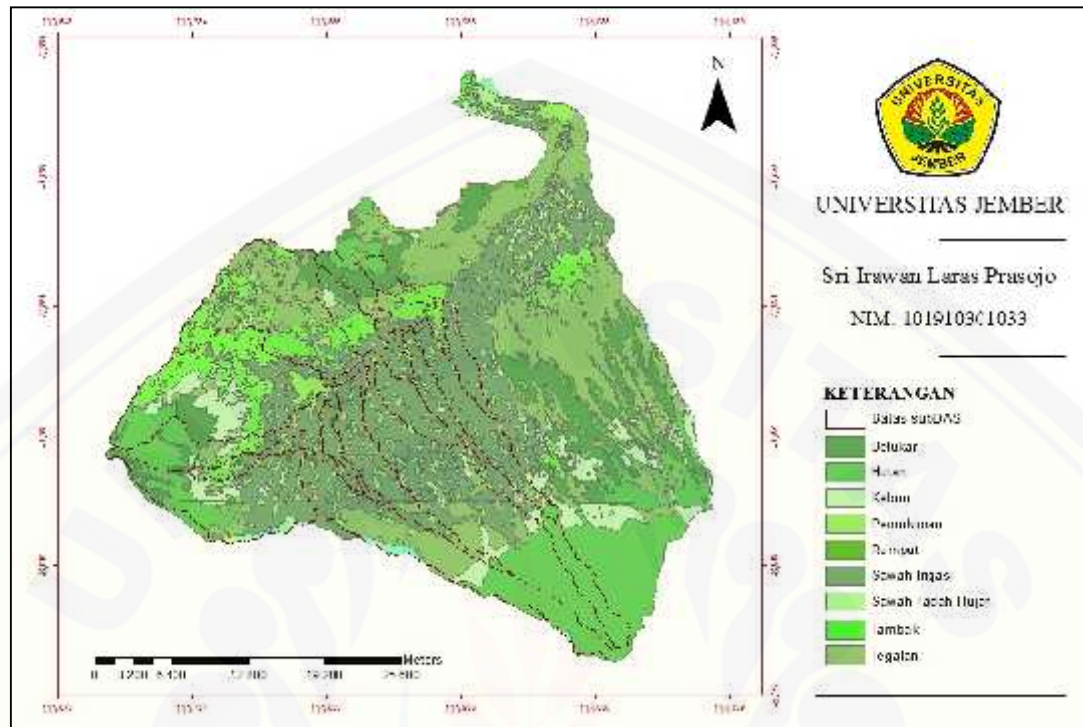
| SubDAS          | Cross Section<br>Memanjang (m)   | Cross Section<br>Melintang (m)  | Identifikasi<br>Bentuk |
|-----------------|--|---|------------------------|
| Sampean<br>Hulu |   |   | Cekung                 |
| Selokambang     |   |   | Cekung                 |
| Tenggarang      |  |  | Cekung<br>berbukit     |

Sumber: Hasil Analisis (2015)

Dapat diketahui dari Tabel 4.9 bahwa sebagian besar wilayah subDAS Sampean memiliki lereng cekung dengan prosentase kemiringan memanjang variatif.

### 4.3. Tata Guna Lahan

Tata guna lahan merupakan salah satu faktor utama dalam pengelolaan lingkungan, khususnya dalam penelitian ini adalah hidrologi spasial. Tata guna lahan dalam penelitian ini diklasifikasikan menjadi 8 jenis tutupan lahan, antara lain pemukiman, kebun, hutan, sawah irigasi, sawah tadah hujan, tegalan, rumput dan belukar. Peta tata guna lahan disajikan pada Gambar 4.12 dan luas serta nilai CN tiap jenis lahan disajikan pada Tabel 4.10



Gambar 4.12 Peta Tata Guna Lahan (Sumber: BPP DAS Sampean,2007)

Tabel 4.10 Luas dan Nilai CN Tiap Jenis Lahan di DAS Sampean

| Jenis Lahan       | Luas (km <sup>2</sup> ) | CN    |
|-------------------|-------------------------|-------|
| Belukar           | 175,23                  | 56    |
| Hutan             | 807,615                 | 55    |
| Kebun             | 160,997                 | 65    |
| Pemukiman         | 124,203                 | 80,25 |
| Rumput            | 0,097                   | 58    |
| Sawah Irigasi     | 5262,486                | 75    |
| Sawah Tadah Hujan | 451,08                  | 72    |
| Tegalan           | 640,964                 | 74    |

Sumber: Hasil Analisis Perhitungan (2015)

Adapun hasil interpretasi tata guna lahan tiap subDAS disajikan pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11. Interpretasi Tata Guna Lahan

| Subdas     | Lahan             | Luas (km <sup>2</sup> ) | %      | Nilai CN |
|------------|-------------------|-------------------------|--------|----------|
| Arpiah     | Tegalan           | 32,464                  | 5,065  | 74,000   |
|            | Pemukiman         | 7,130                   | 5,741  | 80,250   |
|            | Kebun             | 6,756                   | 4,196  | 65,000   |
|            | Hutan             | 131,231                 | 16,249 | 55,000   |
|            | Sawah Irigasi     | 323,882                 | 6,155  | 75,000   |
|            | Total Luas        | 501,463                 |        |          |
| Balud      | Pemukiman         | 4,501                   | 3,624  | 80,250   |
|            | Sawah Irigasi     | 298,512                 | 5,672  | 75,000   |
|            | Total Luas        | 303,013                 |        |          |
| Clangap    | Pemukiman         | 6,876                   | 5,536  | 80,250   |
|            | Kebun             | 6,620                   | 4,112  | 65,000   |
|            | Sawah Tadah hujan | 2,529                   | 0,561  | 72,000   |
|            | Tegalan           | 131,231                 | 20,474 | 74,000   |
|            | Hutan             | 131,231                 | 16,249 | 55,000   |
|            | Sawah Irigasi     | 340,809                 | 6,476  | 75,000   |
| Total Luas | 619,296           |                         |        |          |
| Garu       | Pemukiman         | 3,004                   | 2,419  | 80,250   |
|            | Sawah Irigasi     | 323,882                 | 6,155  | 75,000   |
|            | Total Luas        | 326,886                 |        |          |
| Gayam      | Pemukiman         | 6,940                   | 5,588  | 80,250   |
|            | Kebun             | 15,150                  | 9,410  | 65,000   |
|            | Tegalan           | 2,727                   | 0,425  | 74,000   |
|            | Hutan             | 131,231                 | 16,249 | 55,000   |
|            | Sawah Irigasi     | 323,882                 | 6,155  | 75,000   |
|            | Total Luas        | 479,930                 |        |          |
| Gilir      | Pemukiman         | 0,422                   | 0,340  | 80,250   |
|            | Belukar           | 23,543                  | 13,436 | 56,000   |
|            | Hutan             | 9,538                   | 1,181  | 55,000   |
|            | Sawah tadah hujan | 9,450                   | 2,095  | 72,000   |
|            | Total Luas        | 119,588                 |        |          |

| Subdas    | Lahan             | Luas (km <sup>2</sup> ) | %       | Nilai CN |
|-----------|-------------------|-------------------------|---------|----------|
| Glunggung | Tegalan           | 3,518                   | 0,549   | 74,000   |
|           | Pemukiman         | 13,482                  | 10,855  | 80,250   |
|           | Kebun             | 7,331                   | 4,554   | 65,000   |
|           | Belukar           | 11,900                  | 6,791   | 56,000   |
|           | Hutan             | 36,661                  | 4,539   | 55,000   |
|           | Sawah tadah hujan | 67,834                  | 15,038  | 72,000   |
|           | Sawah Irigasi     | 298,512                 | 5,672   | 75,000   |
|           | Total Luas        | 439,238                 |         |          |
| Gubri     | Pemukiman         | 12,862                  | 10,356  | 80,250   |
|           | Tegalan           | 46,766                  | 7,296   | 74,000   |
|           | Kebun             | 0,671                   | 0,417   | 65,000   |
|           | Sawah tadah hujan | 75,889                  | 16,824  | 72,000   |
|           | Belukar           | 23,543                  | 13,436  | 56,000   |
|           | Sawah Irigasi     | 299,435                 | 5,690   | 75,000   |
|           | Hutan             | 9,538                   | 1,181   | 55,000   |
|           | Total Luas        | 468,704                 |         |          |
| Kacung    | Pemukiman         | 3,192                   | 2,570   | 80,250   |
|           | Kebun             | 0,211                   | 0,131   | 65,000   |
|           | Sawah tadah hujan | 1,515                   | 0,336   | 72,000   |
|           | Sawah Irigasi     | 298,512                 | 5,672   | 75,000   |
|           | Total Luas        | 303,430                 |         |          |
| Kapuran   | Pemukiman         | 5,828                   | 4,692   | 80,250   |
|           | Kebun             | 13,103                  | 8,139   | 65,000   |
|           | Tegalan           | 5,144                   | 0,803   | 74,000   |
|           | Hutan             | 131,231                 | 16,249  | 55,000   |
|           | Sawah Irigasi     | 323,882                 | 6,155   | 75,000   |
|           | Total Luas        | 479,188                 |         |          |
| Kemuning  | Tegalan           | 41,580                  | 6,487   | 74,000   |
|           | Rumput            | 0,097                   | 100,000 | 77,000   |
|           | Pemukiman         | 0,695                   | 0,560   | 80,250   |
|           | Sawah tadah hujan | 0,282                   | 0,063   | 72,000   |
|           | Belukar           | 23,543                  | 13,436  | 56,000   |
|           | Sawah Irigasi     | 298,512                 | 5,672   | 75,000   |
|           | Total Luas        | 374,247                 |         |          |



| Subdas       | Lahan             | Luas<br>(km <sup>2</sup> ) | %      | Nilai<br>CN |
|--------------|-------------------|----------------------------|--------|-------------|
| Kloposawit   | Pemukiman         | 3,122                      | 2,514  | 80,250      |
|              | Belukar           | 23,543                     | 13,436 | 56,000      |
|              | Sawah tadah hujan | 10,965                     | 2,431  | 72,000      |
|              | Tegalan           | 40,794                     | 6,364  | 74,000      |
|              | Sawah Irigasi     | 298,512                    | 5,672  | 75,000      |
|              | Total Luas        | 376,936                    |        |             |
| Pakel        | Tegalan           | 41,400                     | 6,459  | 74,000      |
|              | Pemukiman         | 1,332                      | 1,072  | 80,250      |
|              | Kebun             | 1,193                      | 0,741  | 65,000      |
|              | Belukar           | 23,543                     | 13,436 | 56,000      |
|              | Sawah tadah hujan | 67,834                     | 15,038 | 72,000      |
|              | Sawah Irigasi     | 298,512                    | 5,672  | 75,000      |
|              | Total Luas        | 433,814                    |        |             |
| Pakisan      | Tegalan           | 42,748                     | 6,669  | 74,000      |
|              | Pemukiman         | 13,057                     | 10,513 | 80,250      |
|              | Kebun             | 76,657                     | 47,614 | 65,000      |
|              | Belukar           | 0,472                      | 0,269  | 56,000      |
|              | Hutan             | 131,231                    | 16,249 | 55,000      |
|              | Sawah Irigasi     | 323,882                    | 6,155  | 75,000      |
|              | Total Luas        | 588,047                    |        |             |
| Sampean Hulu | Pemukiman         | 5,394                      | 4,343  | 80,250      |
|              | Kebun             | 7,905                      | 4,910  | 65,000      |
|              | Hutan             | 49,524                     | 6,132  | 55,000      |
|              | Belukar           | 8,893                      | 5,075  | 56,000      |
|              | Tegalan           | 6,221                      | 0,971  | 74,000      |
|              | Sawah tadah hujan | 68,149                     | 15,108 | 72,000      |
|              | Sawah Irigasi     | 315,439                    | 5,994  | 75,000      |
|              | Total Luas        | 461,525                    |        |             |
| Selokambang  | Pemukiman         | 16,714                     | 13,457 | 80,250      |
|              | Tegalan           | 51,260                     | 7,997  | 74,000      |
|              | Belukar           | 11,189                     | 6,385  | 56,000      |
|              | Sawah Irigasi     | 299,297                    | 5,687  | 75,000      |

| Subdas      | Lahan             | Luas (km <sup>2</sup> ) | %      | Nilai CN |
|-------------|-------------------|-------------------------|--------|----------|
| Selokambang | Hutan             | 36,661                  | 4,539  | 55,000   |
|             | Sawah tadah hujan | 67,834                  | 15,038 | 72,000   |
|             | Total Luas        | 501,582                 |        |          |
| Tenggarang  | Tegalan           | 41,841                  | 5,672  | 74,000   |
|             | Pemukiman         | 18,048                  | 1,291  | 80,250   |
|             | Kebun             | 6,773                   | 13,436 | 65,000   |
|             | Belukar           | 1,518                   | 2,431  | 58,000   |
|             | Sawah tadah hujan | 67,834                  | 11,956 | 72,000   |
|             | Sawah Irigasi     | 298,512                 | 5,672  | 75,000   |
|             | Total Luas        | 434,526                 |        |          |

Sumber: Hasil Analisis Perhitungan (2015)

Berdasarkan Tabel 4.11 dapat diketahui bahwa sebagian besar lahan pemukiman berada di wilayah subDAS Tenggaang dengan luas 18,048 km<sup>2</sup>. Untuk lahan hutan berada di lima wilayah subDAS, antara lain subDAS Arpiah, Clangap, Gayam, Kapuran, Pakisan dengan luas yang sama yaitu 131,231 km<sup>2</sup>. Untuk lahan kebun berada di wilayah subDAS Pakisan dengan luas 76,657 km<sup>2</sup>. Untuk lahan sawah irigasi berada di wilayah subDAS Clangap dengan luas 340,809 km<sup>2</sup>. Untuk lahan sawah tadah hujan berada di wilayah subDAS Gubri dengan luas 75,889 km<sup>2</sup>. Untuk lahan semak belukar berada di lima wilayah subDAS, antara lain subDAS Gilir, Gubri, Kemuning, Kloposawit, Pakel dengan luas 23,543 km<sup>2</sup>. Untuk lahan tegalan berada di wilayah subDAs Clangap dengan luas 131,231 km<sup>2</sup>. Untuk lahan rumput berada di wilayah subDAS Kemuning dengan luas 0,097 km<sup>2</sup>.

Untuk menghitung nilai rerata CN berdasarkan persamaan 2.6 dan persentase impervious berdasarkan persamaan 2.7. Hasil dari perhitungan disajikan pada Tabel 4.12

Tabel 4.12. Rekapitulasi Nilai Rerata CN dan Impervious

| Subdas       | CN    | Imp (%) |
|--------------|-------|---------|
| Arpiah       | 69,64 | 17,09   |
| Balud        | 75,08 | 13,58   |
| Clangap      | 70,49 | 16,78   |
| Garu         | 75,05 | 11,09   |
| Gayam        | 69,29 | 16,86   |
| Gilir        | 68,81 | 4,16    |
| Glunggung    | 72,34 | 23,50   |
| Gubri        | 73,18 | 22,95   |
| Kacung       | 75,03 | 11,43   |
| Kapuran      | 69,30 | 15,45   |
| Kemuning     | 73,19 | 5,34    |
| Kloposawit   | 73,66 | 11,31   |
| Pakel        | 73,39 | 7,39    |
| Pakistan     | 69,26 | 23,13   |
| Sampean Hulu | 71,92 | 14,86   |
| Selokambang  | 72,41 | 26,16   |
| Tenggarang   | 74,44 | 27,19   |

Sumber: Hasil Analisis Perhitungan (2015)

Dapat diketahui dari tabel 4.12. bahwa subDAS yang memiliki nilai CN tinggi berada di subDAS Balud dengan nilai CN 75,08 karena di wilayah ini hanya terdiri pemukiman dan sawah irigasi saja sedangkan untuk impervious berada di subDAS Tenggarang sebesar 27,19% karena sebagian besar lahan pemukiman berada di subDAS ini.

#### 4.4. Data Hidrometrologi.

Data hidrometrologi untuk tahun 2007 didapatkan dari BPP DAS Sampean Baru. Data hidrometrologi terdiri dari dua data, antara lain

##### 4.4.1 Data Debit Observasi

Data debit observasi jam- jaman berasal dari dua stasiun AWLR, yaitu Tenggarang dan Kloposawit dengan lokasi koordinat disajikan pada tabel 4.13

Tabel 4.13. Lokasi Stasiun AWLR

| Stasiun AWLR | Lat    | Lon      |
|--------------|--------|----------|
| Tenggarang   | 7,8755 | 113,8868 |
| Kloposawit   | 7,8486 | 113,9223 |

Sumber: BPP DAS Sampean Baru (2007)

Waktu data debit observasi pada rentang tanggal 29 Januari 2007 hingga 31 Januari 2007 disajikan pada tabel 4.14 dan tabel 4.15.

Tabel 4.14. Data Debit Observasi Stasiun Tenggarang

| Jam | 29 januari 2007            | 30 januari 2007            | 31 januari 2007            |
|-----|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
|     | Debit (m <sup>3</sup> /dt) | Debit (m <sup>3</sup> /dt) | Debit (m <sup>3</sup> /dt) |
| 1   | 4,34                       | 3,20                       | 2,67                       |
| 2   | 3,85                       | 2,93                       | 2,67                       |
| 3   | 3,20                       | 2,75                       | 2,67                       |
| 4   | 2,67                       | 2,75                       | 2,67                       |
| 5   | 2,49                       | 2,75                       | 2,67                       |
| 6   | 2,41                       | 2,75                       | 2,67                       |
| 7   | 2,41                       | 2,71                       | 2,67                       |
| 8   | 2,41                       | 2,67                       | 2,75                       |
| 9   | 2,41                       | 2,67                       | 2,71                       |
| 10  | 2,41                       | 2,67                       | 2,71                       |
| 11  | 2,41                       | 2,67                       | 2,75                       |
| 12  | 2,41                       | 2,67                       | 2,84                       |
| 13  | 2,41                       | 2,67                       | 3,20                       |
| 14  | 2,41                       | 2,67                       | 3,85                       |
| 15  | 2,41                       | 2,67                       | 4,53                       |
| 16  | 2,41                       | 2,67                       | 4,93                       |
| 17  | 2,41                       | 2,67                       | 4,53                       |
| 18  | 2,49                       | 2,67                       | 4,05                       |

| Jam | 29 januari 2007            | 30 januari 2007            | 31 januari 2007            |
|-----|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
|     | Debit (m <sup>3</sup> /dt) | Debit (m <sup>3</sup> /dt) | Debit (m <sup>3</sup> /dt) |
| 19  | 2,67                       | 2,67                       | 3,90                       |
| 20  | 3,02                       | 2,67                       | 3,81                       |
| 21  | 3,29                       | 2,67                       | 3,67                       |
| 22  | 3,67                       | 2,67                       | 3,57                       |
| 23  | 3,67                       | 2,67                       | 3,48                       |
| 24  | 3,39                       | 2,67                       | 3,43                       |

Sumber: BPP DAS Sampean Baru (2007)

Berdasarkan Tabel 4.14 debit puncak observasi tertinggi di stasiun Tenggarang adalah 4,93 m<sup>3</sup>/dt pada tanggal 31 Januari 2007 jam ke-16.

Tabel 4.15. Data Debit Obervasi Stasiun Kloposawit

| Jam | 29 Januari 2007            | 30 Januari 2007            | 31 Januari 2007            |
|-----|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
|     | Debit (m <sup>3</sup> /dt) | Debit (m <sup>3</sup> /dt) | Debit (m <sup>3</sup> /dt) |
| 1   | 8,45                       | 12,63                      | 9,77                       |
| 2   | 8,45                       | 13,24                      | 9,77                       |
| 3   | 8,45                       | 10,04                      | 9,77                       |
| 4   | 8,45                       | 9,77                       | 9,77                       |
| 5   | 8,45                       | 9,77                       | 9,77                       |
| 6   | 8,45                       | 9,77                       | 9,77                       |
| 7   | 8,45                       | 9,77                       | 10,04                      |
| 8   | 8,45                       | 9,77                       | 10,32                      |
| 9   | 8,45                       | 9,77                       | 10,04                      |
| 10  | 8,45                       | 9,77                       | 10,04                      |
| 11  | 8,45                       | 9,77                       | 10,04                      |
| 12  | 8,45                       | 9,77                       | 10,32                      |
| 13  | 8,45                       | 9,77                       | 10,88                      |
| 14  | 8,45                       | 9,77                       | 16,46                      |

| Jam | 29 Januari 2007            | 30 Januari 2007            | 31 Januari 2007            |
|-----|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
|     | Debit (m <sup>3</sup> /dt) | Debit (m <sup>3</sup> /dt) | Debit (m <sup>3</sup> /dt) |
| 15  | 8,45                       | 9,77                       | 21,45                      |
| 16  | 8,45                       | 9,77                       | 25,33                      |
| 17  | 8,45                       | 9,77                       | 22,97                      |
| 18  | 9,23                       | 9,77                       | 20,70                      |
| 19  | 10,88                      | 9,77                       | 17,83                      |
| 20  | 12,63                      | 9,77                       | 17,14                      |
| 21  | 14,18                      | 9,77                       | 16,13                      |
| 22  | 15,80                      | 9,77                       | 15,80                      |
| 23  | 15,80                      | 9,77                       | 15,14                      |
| 24  | 13,86                      | 9,77                       | 14,50                      |

Sumber: BPP DAS Sampean Baru (2007)

Berdasarkan Tabel 4.15 debit puncak observasi tertinggi di stasiun Kloposawit adalah 25,33 m<sup>3</sup>/dt pada tanggal 31 Januari 2007 jam ke-16.

#### 4.3.2. Data Hujan

Data Hujan didapat dari 26 Stasiun Hujan dengan rentang waktu tanggal 29 Januari 2007 – 31 Januari 2007 disajikan pada tabel 4.16.

Tabel 4.16 Data Hujan Harian Bulan Januari 2007

| Stasiun   | 29 Jan (mm) | 30 Jan (mm) | 31 Jan (mm) |
|-----------|-------------|-------------|-------------|
| Ancar     | 0,00        | 0,00        | 0,00        |
| Belimbing | 0,00        | 0,00        | 20,00       |
| Clangap   | 0,00        | 1,00        | 1,00        |
| Bluncong  | 18,00       | 0,00        | 19,00       |
| Grujugan  | 0,00        | 0,00        | 0,00        |
| Jeru      | 24,00       | 41,00       | 23,00       |
| Kasemek   | 0,00        | 0,00        | 0,00        |
| Kejayan   | 0,00        | 0,00        | 0,00        |

| Stasiun    | 29 Jan (mm) | 30 Jan (mm) | 31 Jan (mm) |
|------------|-------------|-------------|-------------|
| Kelabang   | 0,00        | 0,00        | 50,00       |
| Maesan     | 0,00        | 0,00        | 0,00        |
| Msk Wetan  | 0,00        | 0,00        | 0,00        |
| Pakistan   | 0,00        | 0,00        | 0,00        |
| Pait       | 0,00        | 0,00        | 0,00        |
| Dumpyong   | 0,00        | 0,00        | 49,00       |
| Selolembu  | 5,00        | 0,00        | 24,00       |
| Sukokerto  | 0,00        | 0,00        | 0,00        |
| Sbr Gading | 6,00        | 0,00        | 0,00        |
| Taal       | 0,00        | 0,00        | 0,00        |
| Tamanan    | 0,00        | 0,00        | 0,00        |
| Tlogo      | 0,00        | 0,00        | 0,00        |
| Wonosari   | 2,00        | 0,00        | 0,00        |
| Wonosari 2 | 0,00        | 0,00        | 0,00        |
| Wonosroyo  | 1,00        | 2,00        | 30,00       |
| Wringin    | 0,00        | 0,00        | 14,00       |
| Sbr Anyat  | 0           | 0           | 0           |

Sumber: BPP DAS Sampean Baru (2007)

Mengingat lokasi stasiun hujan di daerah pengamatan di subDAS Sampean tidak tersebar merata, maka perhitungan curah hujan wilayah dilakukan dengan menghitung bobot luasan stasiun hujan yang dibatasi oleh polygon Thiessen terhadap suatu wilayah subDAS menggunakan persamaan 2.2. Hasil perhitungan bobot tiap stasiun hujan terhadap subDAS dapat dilihat pada Lampiran C.2. Hasil perhitungan curah hujan wilayah tiap subDAS disajikan pada tabel 4.17.

Tabel 4.17 Curah Hujan Wilayah Tiap SubDAS.

| SubDAS       | Tanggal |         |         |
|--------------|---------|---------|---------|
|              | 29 (mm) | 30 (mm) | 31 (mm) |
| Arpiah       | 0,160   | 0,425   | 4,921   |
| Balud        | 0,841   | 1,303   | 19,553  |
| Clangap      | 0,367   | 0,294   | 0,294   |
| Garu         | 0       | 0,218   | 0,218   |
| Gayam        | 7,383   | 9,092   | 5,100   |
| Gilir        | 9,458   | 14,076  | 11,314  |
| Glunggung    | 0       | 0       | 0,226   |
| Gubri        | 0,337   | 0       | 33,965  |
| Kacung       | 14,754  | 25,205  | 14,139  |
| Kapuran      | 3,823   | 0,115   | 1,736   |
| Kemuning     | 0,810   | 0       | 29,727  |
| Kloposawit   | 13,287  | 21,036  | 11,800  |
| Pakel        | 0,661   | 0       | 33,469  |
| Pakistan     | 1,203   | 0,183   | 2,746   |
| Sampean Hulu | 0       | 0       | 0       |
| Selokambang  | 1,296   | 0       | 27,981  |
| Tapen        | 14,585  | 16,074  | 14,481  |
| Tenggarang   | 0,570   | 0,147   | 2,061   |

Sumber: Hasil Analisis Perhitungan (2015)

Dapat diketahui dari tabel 4.17 dari curah hujan tertinggi terjadi pada tanggal 31 Januari 2007 pada lokasi subDAS Gubri sebesar 33,9658 mm/hari dan subDAS Pakel sebesar 33,4669 mm/hari.

Untuk keperluan analisis banjir di program simulasi banjir aliran HEC-HMS dibutuhkan data hujan jam-jaman karena memiliki resolusi data yang tinggi. Keterbatasan data yang diperoleh akan dirubah menjadi data hujan jam- jaman



dengan menggunakan metode Mononoba. Untuk menghitung nilai hujan jam-jaman metode Mononoba menggunakan Persamaan 2.1 dan hasil perhitungan tiap wilayah subDAS disajikan pada Tabel 4.18 dan Tabel 4.19. Apabila  $t$  merupakan interval waktu dari 1 jam hingga 6 jam, maka persamaan dapat dijadikan, sebagai berikut :

- $t = 1 \text{ jam} \rightarrow I = 0,5503 * R_{24} = 0,5503 * 2,061 = 0,02$
- $t = 2 \text{ jam} \rightarrow I = 0,3467 * R_{24} = 0,3467 * 2,061 = 0,02$
- $t = 3 \text{ jam} \rightarrow I = 0,2646 * R_{24} = 0,2646 * 2,061 = 0,02$
- $t = 4 \text{ jam} \rightarrow I = 0,2184 * R_{24} = 0,2184 * 2,061 = 0,02$
- $t = 5 \text{ jam} \rightarrow I = 0,1882 * R_{24} = 0,1882 * 2,061 = 0,02$
- $t = 6 \text{ jam} \rightarrow I = 0,1667 * R_{24} = 0,1667 * 2,061 = 0,02$

Tabel 4.18. Tabel Hasil Perhitungan Jam- Jaman

| Tanggal | Jam | Sub DAS |       |         |      |       |       |           |       |        |
|---------|-----|---------|-------|---------|------|-------|-------|-----------|-------|--------|
|         |     | Arpiah  | Balud | Clangap | Garu | Gayam | Gilir | Glunggung | Gubri | Kacung |
| 29      | 1   | 0,09    | 0,46  | 0,20    | 0,00 | 4,06  | 5,21  | 0,00      | 0,19  | 8,12   |
|         | 2   | 0,06    | 0,29  | 0,13    | 0,00 | 2,56  | 3,28  | 0,00      | 0,12  | 5,12   |
|         | 3   | 0,06    | 0,29  | 0,13    | 0,00 | 2,56  | 3,28  | 0,00      | 0,12  | 5,12   |
|         | 4   | 0,06    | 0,29  | 0,13    | 0,00 | 2,56  | 3,28  | 0,00      | 0,12  | 5,12   |
|         | 5   | 0,06    | 0,29  | 0,13    | 0,00 | 2,56  | 3,28  | 0,00      | 0,12  | 5,12   |
|         | 6   | 0,06    | 0,29  | 0,13    | 0,00 | 2,56  | 3,28  | 0,00      | 0,12  | 5,12   |
| 30      | 1   | 0,03    | 0,16  | 0,07    | 0,00 | 1,41  | 1,80  | 0,00      | 0,06  | 2,81   |
|         | 2   | 0,02    | 0,10  | 0,04    | 0,00 | 0,89  | 1,14  | 0,00      | 0,04  | 1,77   |
|         | 3   | 0,02    | 0,10  | 0,04    | 0,00 | 0,89  | 1,14  | 0,00      | 0,04  | 1,77   |
|         | 4   | 0,02    | 0,10  | 0,04    | 0,00 | 0,89  | 1,14  | 0,00      | 0,04  | 1,77   |
|         | 5   | 0,02    | 0,10  | 0,04    | 0,00 | 0,89  | 1,14  | 0,00      | 0,04  | 1,77   |
|         | 6   | 0,02    | 0,10  | 0,04    | 0,00 | 0,89  | 1,14  | 0,00      | 0,04  | 1,77   |
| 31      | 1   | 0,01    | 0,06  | 0,02    | 0,00 | 0,49  | 0,63  | 0,00      | 0,02  | 0,98   |
|         | 2   | 0,01    | 0,04  | 0,02    | 0,00 | 0,31  | 0,39  | 0,00      | 0,01  | 0,61   |
|         | 3   | 0,01    | 0,04  | 0,02    | 0,00 | 0,31  | 0,39  | 0,00      | 0,01  | 0,61   |
|         | 4   | 0,01    | 0,04  | 0,02    | 0,00 | 0,31  | 0,39  | 0,00      | 0,01  | 0,61   |
|         | 5   | 0,01    | 0,04  | 0,02    | 0,00 | 0,31  | 0,39  | 0,00      | 0,01  | 0,61   |
|         | 6   | 0,01    | 0,04  | 0,02    | 0,00 | 0,31  | 0,39  | 0,00      | 0,01  | 0,61   |

Sumber: Hasil Analisis Perhitungan (2015)

Tabel 4.19 Tabel Hasil Perhitungan Jam- Jaman (2)

| Tanggal | Jam | Sub DAS |          |            |       |         |              |             |       |            |
|---------|-----|---------|----------|------------|-------|---------|--------------|-------------|-------|------------|
|         |     | Kapuran | Kemuning | Kloposawit | Pakel | Pakisan | Sampean Hulu | Selokambang | Tapen | Tenggarang |
| 29      | 1   | 2,10    | 0,45     | 7,31       | 0,36  | 0,66    | 0,00         | 0,71        | 8,03  | 0,31       |
|         | 2   | 1,33    | 0,28     | 4,61       | 0,23  | 0,42    | 0,00         | 0,45        | 5,06  | 0,20       |
|         | 3   | 1,33    | 0,28     | 4,61       | 0,23  | 0,42    | 0,00         | 0,45        | 5,06  | 0,20       |
|         | 4   | 1,33    | 0,28     | 4,61       | 0,23  | 0,42    | 0,00         | 0,45        | 5,06  | 0,20       |
|         | 5   | 1,33    | 0,28     | 4,61       | 0,23  | 0,42    | 0,00         | 0,45        | 5,06  | 0,20       |
|         | 6   | 1,33    | 0,28     | 4,61       | 0,23  | 0,42    | 0,00         | 0,45        | 5,06  | 0,20       |
| 30      | 1   | 0,73    | 0,15     | 2,54       | 0,13  | 0,23    | 0,00         | 0,25        | 2,78  | 0,11       |
|         | 2   | 0,46    | 0,10     | 1,60       | 0,08  | 0,14    | 0,00         | 0,16        | 1,75  | 0,07       |
|         | 3   | 0,46    | 0,10     | 1,60       | 0,08  | 0,14    | 0,00         | 0,16        | 1,75  | 0,07       |
|         | 4   | 0,46    | 0,10     | 1,60       | 0,08  | 0,14    | 0,00         | 0,16        | 1,75  | 0,07       |
|         | 5   | 0,46    | 0,10     | 1,60       | 0,08  | 0,14    | 0,00         | 0,16        | 1,75  | 0,07       |
|         | 6   | 0,46    | 0,10     | 1,60       | 0,08  | 0,14    | 0,00         | 0,16        | 1,75  | 0,07       |
| 31      | 1   | 0,25    | 0,05     | 0,88       | 0,04  | 0,08    | 0,00         | 0,09        | 0,96  | 0,04       |
|         | 2   | 0,16    | 0,03     | 0,55       | 0,03  | 0,05    | 0,00         | 0,05        | 0,61  | 0,02       |
|         | 3   | 0,16    | 0,03     | 0,55       | 0,03  | 0,05    | 0,00         | 0,05        | 0,61  | 0,02       |
|         | 4   | 0,16    | 0,03     | 0,55       | 0,03  | 0,05    | 0,00         | 0,05        | 0,61  | 0,02       |
|         | 5   | 0,16    | 0,03     | 0,55       | 0,03  | 0,05    | 0,00         | 0,05        | 0,61  | 0,02       |
|         | 6   | 0,16    | 0,03     | 0,55       | 0,03  | 0,05    | 0,00         | 0,05        | 0,61  | 0,02       |

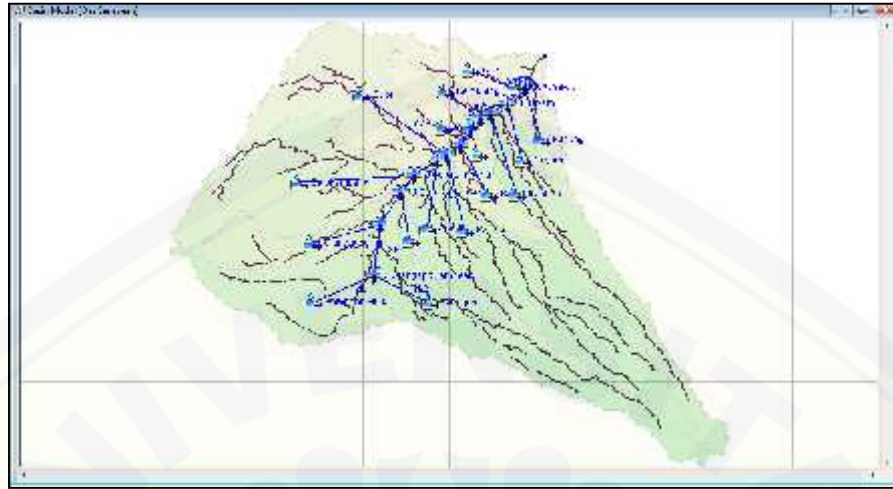
Sumber: Hasil Analisis Perhitungan (2015)

#### 4.5. Skematisasi Model dengan HEC-HMS

Untuk mengetahui respon tiap subDAS dapat dilakukan setelah tahapan- tahapan diatas tersusun terlebih dahulu. Berikut uraian tahapan-tahapan penyusunan model untuk setiap subDAS penentuan lokasi banjir.

##### 4.5.1. Skema Komponen Model

Pada dasarnya sebuah DAS harus memiliki tiga komponen utama, yaitu wilayah, sungai, dan titik outlet. Komponen DAS dalam penelitian ini akan diwakilkan oleh komponen model dalam HEC-HMS seperti wilayah DAS diwakilkan basin model ataupun subbasin model, sungai diwakilkan reach, dan titik outlet diwakilkan junction. Dalam skema komponen model penelitian ini, terdapat dua macam sungai yaitu sungai utama diwakilkan Reach SP dan sungai subDAS diwakilkan SB. Bentuk pemodelan pada HEC-HMS disajikan pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Skema model penelitian dalam HEC-HMS

Dalam HEC-HMS dilakukan penamaan komponen model untuk mewakili lokasi subDAS dan sungai. Penamaan subDAS disajikan pada Tabel 4.20 dan penamaan sungai utama disajikan pada Tabel 4.21.

Tabel 4.20 Penamaan Komponen Model SubDAS

| SubDAS       | Komponen Subbasin | Komponen Reach | Junction          |
|--------------|-------------------|----------------|-------------------|
| Arpiah       | Arpiah            | SB6            | J Arpiah          |
| Balud        | Balud             | SB10           | J Balud           |
| Clangap      | Clangap           | SB2            | J Sampean&Clangap |
| Garu         | Garu              | SB4            | J Garu            |
| Gayam        | Gayam             | SB14           | J Gayam           |
| Gilir        | Gilir             | SB13           | J Gilir           |
| Glunggung    | Glunggung         | SB3            | J Glunggung       |
| Gubri        | Gubri             | SB7            | J Gubri&Pakisan   |
| Kacung       | Kacung            | SB15           | J Kacung          |
| Kapuran      | Kapuran           | SB12           | J Kapuran         |
| Kemuning     | Kemuning          | SB11           | J Kemuning        |
| Kloposawit   | Kloposawit        | -              | J Kacung          |
| Pakel        | Pakel             | SB9            | J Pakel           |
| Pakisan      | Pakisan           | SB8            | J Gubri&Pakisan   |
| Sampean Hulu | Sampean Hulu      | SB10           | J Sampean&Clangap |
| Selokambang  | Selokambang       | SB5            | J Selokambang     |
| Tenggarang   | Tenggarang        | -              | J Pakel           |

Sumber: Hasil Analisis (2015)

Berdasarkan tabel 4.20 terdapat dua subDAS yang tidak terdapat komponen reach yaitu subDAS Kloposawit dan subDAS Tenggarang karena lokasi subDAS ini berada di wilayah AWLR Kloposawit dan AWLR Tenggarang.

Tabel 4.21 Penamaan Komponen Model Sungai Utama

| Titik Outlet        | Reach |
|---------------------|-------|
| Clangap-Glunggung   | SP1   |
| Glunggung-Garu      | SP2   |
| Garu-Selokambang    | SP3   |
| Selokambang-Arpiah  | SP4   |
| Arpiah-Gubri&Pakis  | SP5   |
| Gubri&Pakis-Balud   | SP6   |
| Balud-Pakel         | SP7   |
| Pakel-Outlet Tengg  | SP8   |
| Outlet Tengg-Kemun  | SP9   |
| Kemuning-Kapuran    | SP10  |
| Kapuran-Gayam       | SP11  |
| Gayam-Gili          | SP12  |
| Gili-Kacung         | SP13  |
| Kacung-Outlet Klopo | SP14  |

Sumber: Hasil Analisis (2015)

Berdasarkan Tabel 4.21 terdapat 14 komponen reach yang berfungsi sebagai penghubung tiap titik outlet subDAS menuju titik outlet akhir yakni outlet Kloposawit.

#### 4.5.2. Data *Intial Condition*.

Data *Intial Condition* meliputi data karakteristik suDAS meliputi tutupan lahan, nilai CN, panjang sungai, kemiringan sungai dan *impervious*. Data *initial condition* akan diolah menjadi nilai input parameter *canopy*, *surface*, *loss*, *transform* dan *lag routing*. Berikut tahapan pengolahan data *initial condition* sesuai dengan metode parameter yang diterapkan.

##### 4.5.2.1. *Canopy* dan *Surface*

*Canopy* merupakan nilai proporsi antar area tanah dengan tutupan vegetasi yang berada di atasnya, seperti pohon . Air hujan jika kerapatan canopy tinggi akan

mengakibatkan berkurangnya proses air hujan infiltrasi dalam tanah karena air hujan terbendung/ terhalang oleh daun-daun. Seperti halnya terjadi pada *canopy*, namun *surface* lebih identik pada lapangan luas seperti sawah. Prosentase *canopy* dan *surface* dapat dilihat dari tata guna lahan yang mempunyai lahan hijau, seperti pada Tabel 4.22

Tabel 4.22 Prosentase Lahan Hijau Tiap Jenis Lahan pada SubDAS

| SubDAS       | Hutan   | Kebun   | Semak   | Rumput  | Sawah Irigasi | Sawah Tadah | Tegalan |
|--------------|---------|---------|---------|---------|---------------|-------------|---------|
| Arpia        | 0,60004 | 0,03089 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000       | 1,48091     | 0,04361 |
| Balud        | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000       | 1,14572     |         |
| Clangap      | 0,20029 | 0,01010 | 0,00000 | 0,00000 | 0,01034       | 0,52015     | 0,20029 |
| Garu         | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000       | 0,35368     |         |
| Gayam        | 0,06273 | 0,00724 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000       | 0,15482     | 0,02367 |
| Gilir        | 0,00230 | 0,00000 | 0,00568 | 0,00000 | 0,00172       | 0,00000     | 0,00885 |
| Glunggung    | 0,00440 | 0,00088 | 0,00283 | 0,00000 | 0,00054       | 0,03585     | 0,00081 |
| Gubri        | 0,00057 | 0,00004 | 0,00142 | 0,00000 | 0,00041       | 0,01803     | 0,00040 |
| Kacung       | 0,00421 | 0,00001 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00010       | 0,00958     |         |
| Kapuran      | 0,00000 | 0,00021 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000       | 0,00520     | 0,00024 |
| Kemuning     | 0,00008 | 0,00000 | 0,00019 | 0,09700 | 6,94000       | 0,00238     | 0,00006 |
| Kloposawit   | 0,00000 | 0,00000 | 0,00010 | 0,00000 | 0,00000       | 0,00122     | 0,00000 |
| Pakel        | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00003       | 0,00061     | 0,00000 |
| Pakisan      | 0,00014 | 0,00008 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000       | 0,00033     | 0,00001 |
| Sampean Hulu | 0,00003 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00001       | 0,00016     | 0,00000 |
| Selokambang  | 0,00001 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000       | 0,00008     | 0,00002 |
| Tapen        | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000       | 0,00004     | 0,00000 |
| Tenggarang   | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000       | 0,00002     | 0,00000 |

Sumber: Hasil Analisis Perhitungan (2015)

Berdasarkan Tabel 4.22 prosentase tertinggi untuk lahan hutan berada di subDAS Arpia sebesar 0,6 %, lahan kebun berada di subDAS Arpia sebesar 0,03089%, lahan semak berada di subDAS Gilir 0,00568%, lahan rumput berada di subDAS Kemuning sebesar 0,097%, lahan sawah irigasi berada di subDAS Kemuning sebesar 0,6942%, lahan sawah tadah hujan berada di subDAS sebesar 0,03585%, dan lahan tegalan berada di subDAS Clangap sebesar 0,2003%

Prosentase *initial storage canopy* dapat dihitung dari prosentase lahan hutan, kebun dan semak belukar sedangkan prosentase *initial storage surface* dapat dihitung dari prosentase lahan sawah irigasi, sawah tadah hujan dan tegalan seperti pada Tabel 4.23.

Tabel 4.23. Prosentase Intial Storage Canopy dan Surface tiap subDAS.

| SubDAS       | Canopy  | Surface |
|--------------|---------|---------|
| Arpiah       | 0,63093 | 0,39450 |
| Balud        | 0,00000 | 0,98515 |
| Clangap      | 0,21039 | 0,73078 |
| Garu         | 0,00000 | 0,35368 |
| Gayam        | 0,06997 | 0,17849 |
| Gilir        | 0,00799 | 0,01057 |
| Glunggung    | 0,00811 | 0,03720 |
| Gubri        | 0,00203 | 0,01884 |
| Kacung       | 0,00422 | 0,00967 |
| Kapuran      | 0,00021 | 0,00544 |
| Kemuning     | 0,00026 | 0,69424 |
| Kloposawit   | 0,00010 | 0,00123 |
| Pakel        | 0,00000 | 0,00064 |
| Pakistan     | 0,00021 | 0,00035 |
| Sampean Hulu | 0,00003 | 0,00017 |
| Selokambang  | 0,00001 | 0,00010 |
| Tapen        | 0,00000 | 0,00004 |
| Tenggarang   | 0,00000 | 0,00002 |

Sumber: Hasil Analisis Perhitungan (2015)

Berdasarkan Tabel 4.23 dapat diketahui bahwa hubungan nilai parameter *initial storage canopy* dan *surface* berbanding terbalik. Semakin besar nilai parameter *canopy* maka nilai parameter *surface* akan semakin kecil dan sebaliknya. Untuk nilai parameter *initial storage canopy* memiliki rentang antara 0,630 – 0,000 dengan nilai terbesar berada di subDAS Arpiah. Untuk nilai parameter *initial storage surface* memiliki rentang antara 0,985 – 0,000 dengan nilai terbesar berada di subDAS Balud.

Untuk nilai *max storage* untuk masing- masing parameter dilakukan secara *trial-error* dikarenakan masih belum terdapat penelitian terdahulu mengenai nilai *max storage*, namun nantinya perlu dikalibrasi guna mencocokkan dengan kondisi eksisting menurut debit banjir pengamatan. Adapun nilai awal *max storage canopy* dan *surface* tiap subDAS disajikan pada Tabel 4.24.

Tabel 4.24. Nilai input parameter *max storage Canopy* dan *Surface*

| Subdas       | Storage Canopy | Storage Surface |
|--------------|----------------|-----------------|
| Arpiah       | 2,8            | 0,93            |
| Balud        | 2,8            | 0,93            |
| Clangap      | 2,8            | 0,93            |
| Garu         | 2,8            | 0,93            |
| Gayam        | 0,1            | 0,05            |
| Gilir        | 0,1            | 0,05            |
| Glunggung    | 2,8            | 0,93            |
| Gubri        | 2,8            | 0,93            |
| Kacung       | 0,1            | 0,05            |
| Kapuran      | 0,1            | 0,05            |
| Kemuning     | 0,1            | 0,05            |
| Kloposawit   | 0,1            | 0,05            |
| Pakel        | 2,8            | 0,93            |
| Pakistan     | 2,8            | 0,93            |
| Sampean Hulu | 2,8            | 0,93            |
| Selokambang  | 2,8            | 0,93            |
| Tenggarang   | 2,8            | 0,93            |

Sumber: Hasil Analisis Perhitungan (2015)

Nilai *trial-error* untuk *max storage canopy* dan *surface* disesuaikan dengan kenaikan hidrograf simulasi, semakin besar nilai *max storage canopy* dan *surface* akan menurunkan debit puncak di titik kalibrasi yaitu outlet Tenggarang dan outlet Kloposawit. Berdasarkan Tabel 4.24 untuk subDAS dengan lokasi kalibrasi awal di outlet Tenggarang ditunjukkan nilai *max storage canopy* sebesar 2,8 dan nilai *max*

*storage surface* sebesar 0,93. Sedangkan untuk subDAS lokasi berada setelah outlet Tenggarang menggunakan kalibrasi di outlet Kloposawit ditunjukkan nilai *max storage canopy* sebesar 0,1 dan nilai *max storage surface* sebesar 0,05.

#### 4.5.2.2. SCS Curve Number

Terdapat tiga parameter input, antara lain *initial abstraction*, *curve number*, dan *impervious*. Data *initial abstraction* membutuhkan nilai parameter retensi (S). Nilai parameter retensi berkaitan dengan nilai CN pada lokasi subDAS tersebut. Untuk perhitungan parameter retensi menurut Persamaan 2.5 dan perhitungan parameter *initial abstraction* menurut Persamaan 2.4. Berikut hasil perhitungan nilai parameter retensi dan *initial abstraction* disajikan pada Tabel 4.25

Tabel 4.25. Nilai Retensi dan *Initial Abstraction* Tiap SubDAS

| Subdas       | S      | Ia    |
|--------------|--------|-------|
| Arpiah       | 110,73 | 22,15 |
| Balud        | 84,31  | 16,86 |
| Clangap      | 106,34 | 21,27 |
| Garu         | 84,45  | 16,89 |
| Gayam        | 112,60 | 22,52 |
| Gilir        | 115,16 | 23,03 |
| Glunggung    | 97,13  | 19,43 |
| Gubri        | 93,08  | 18,62 |
| Kacung       | 84,52  | 16,90 |
| Kapuran      | 112,51 | 22,50 |
| Kemuning     | 93,03  | 18,61 |
| Kloposawit   | 90,82  | 18,16 |
| Pakel        | 92,08  | 18,42 |
| Pakistan     | 112,72 | 22,54 |
| Sampean Hulu | 99,16  | 19,83 |
| Selokambang  | 96,78  | 19,36 |
| Tenggarang   | 87,22  | 17,44 |

Sumber: Hasil Analisis Perhitungan (2015)



Berdasarkan tabel 4.25 hubungan antara nilai retensi ( $S$ ) dan *initial abstraction* ( $I_a$ ) berbanding lurus. Semakin besar nilai retensi maka nilai *initial abstraction* pun akan semakin besar pula. Adapun nilai parameter untuk metode SCS CN disajikan pada Tabel 4.26.

Tabel 4.26. Nilai Parameter Model SCS CN

| Subdas       | Ia    | CN    | Imp (%) |
|--------------|-------|-------|---------|
| Arpiah       | 22,15 | 69,64 | 17,09   |
| Balud        | 16,86 | 75,08 | 13,58   |
| Clangap      | 21,27 | 70,49 | 16,78   |
| Garu         | 16,89 | 75,05 | 11,09   |
| Gayam        | 22,52 | 69,29 | 16,86   |
| Gilir        | 23,03 | 68,81 | 4,16    |
| Glunggung    | 19,43 | 72,34 | 23,50   |
| Gubri        | 18,62 | 73,18 | 22,95   |
| Kacung       | 16,90 | 75,03 | 11,43   |
| Kapuran      | 22,50 | 69,30 | 15,45   |
| Kemuning     | 18,61 | 73,19 | 5,34    |
| Kloposawit   | 18,16 | 73,66 | 11,31   |
| Pakel        | 18,42 | 73,39 | 7,39    |
| Pakistan     | 22,54 | 69,26 | 23,13   |
| Sampean Hulu | 19,83 | 71,92 | 14,86   |
| Selokambang  | 19,36 | 72,41 | 26,16   |
| Tapen        | 18,05 | 73,78 | 8,11    |
| Tenggarang   | 17,44 | 74,44 | 27,19   |

Sumber: Hasil Analisis Perhitungan (2015)

Berdasarkan tabel 4.26, nilai parameter *initial abstraction* ( $I_a$ ) menunjukkan semakin kecil ketika nilai CN semakin besar, namun untuk nilai *impervious* tidak menunjukkan adanya hubungan antara nilai  $I_a$  dan CN karena nilai *impervious* hanya bergantung besarnya luas daerah pemukiman pada lokasi tersebut.

#### 4.5.2.3. Clark Unit Hydrograph

Terdapat dua parameter input, antara lain *time of concentration* dan *storage coefficient*. Untuk perhitungan nilai *time of concentration* ( $T_c$ ) dan nilai *storage coefficient* ( $R$ ) membutuhkan data panjang sungai ( $L$ ) dan kemiringan sungai ( $Y$ ).

Nilai  $T_c$  dan  $R$  dibatasi oleh nilai parameter menurut *Technical Reference Manual HEC-HMS* (USCE,2000) untuk nilai  $T_c$  harus berada di ratio 0,1 – 500 jam sedangkan  $R$  harus berada di ratio 0,1 – 1 jam. Apabila nilai  $T_c$  dan  $R$  berada di luar ratio maka nilai  $T_c$  dan  $R$  dianggap batas dari masing- masing ratio. Untuk perhitungan nilai *time of concentration* menurut Persamaan 2.8 dan perhitungan *storage coefficient* menurut Persamaan 2.9. Berikut hasil perhitungan nilai  $T_c$  dan  $R$  tiap subDAS disajikan pada tabel 4.27.

Tabel 4.27. Nilai parameter  $T_c$  dan  $R$  Tiap SubDAS.

| Subdas       | $T_c$ | $R$   |
|--------------|-------|-------|
| Arpiah       | 0,659 | 0,304 |
| Balud        | 0,284 | 0,226 |
| Clangap      | 1,019 | 0,256 |
| Garu         | 0,187 | 0,363 |
| Gayam        | 0,360 | 0,122 |
| Gilir        | 0,129 | 0,106 |
| Glunggung    | 0,417 | 0,098 |
| Gubri        | 0,711 | 0,439 |
| Kacung       | 0,237 | 0,173 |
| Kapuran      | 0,903 | 0,164 |
| Kemuning     | 0,278 | 0,084 |
| Kloposawit   | 0,194 | 0,090 |
| Pakel        | 0,974 | 0,287 |
| Pakistan     | 0,566 | 0,116 |
| Sampean Hulu | 0,676 | 0,174 |
| Selokambang  | 0,113 | 0,071 |
| Tenggarang   | 0,662 | 0,593 |

Sumber: Hasil Analisis Perhitungan (2015)

Berdasarkan tabel 4.2- dapat dilihat bahwa nilai  $T_c$  tidak mempunyai hubungan dengan nilai  $R$  karena kedua nilai tidak berada dalam satu persamaan.

#### 4.5.2.4 Time Lag Routing

Nilai time lag routing didapatkan dari persamaan time lag SCS CN. Pemilihan metode time lag pada sungai di setiap subDAS dikarenakan jenis data curah hujan yaitu *single event* dan aliran sungai melewati penggunaan lahan oleh manusia, misalnya permukiman, sawah, kebun, dan lain-lain. Perhitungan nilai *time lag* menurut persamaan 2.11 yang membutuhkan data panjang sungai, parameter retensi, kemiringan sungai. Berikut hasil perhitungan nilai *time lag* tiap sungai di subDAS disajikan pada tabel 4.28.

Tabel 4.28. Nilai parameter *Time Lag*.

| Subdas       | Time Lag |
|--------------|----------|
| Arpiah       | 1,242    |
| Balud        | 0,446    |
| Clangap      | 1,516    |
| Garu         | 0,410    |
| Gayam        | 0,530    |
| Gilir        | 0,240    |
| Glunggung    | 0,461    |
| Gubri        | 1,312    |
| Kacung       | 0,346    |
| Kapuran      | 1,193    |
| Kemuning     | 0,305    |
| Kloposawit   | 0,236    |
| Pakel        | 1,341    |
| Pakistan     | 0,723    |
| Sampean Hulu | 0,876    |
| Selokambang  | 0,152    |
| Tenggarang   | 1,342    |

Sumber: Hasil Analisis Perhitungan (2015)

Dapat dilihat pada Tabel 4.28 bahwa nilai *time lag* terlama pertama berada di subDAS Tenggarang karena di subDAS Tenggarang memiliki kemiringan kelas datar

dan *time lag* terlama kedua berada di subDAS Pakel karena disubDAS ini memiliki sungai terpanjang dibandingkan dengan subDAS lainnya.

#### 4.5.3. Data *Boundry Condition*

Data *Boundry Condition* meliputi data *recession* dan *muskingum routing*. Data *boundry condition* merupakan nilai data input trial-error namun harus sesuai dengan rentang nilai parameter untuk kalibrasi tiap model. Berikut ulasan mengenai nilai parameter tiap metode dalam data *boundry condition*.

##### 4.5.3.1. Baseflow

Baseflow merupakan aliran dasar sungai, penentuan nilai *baseflow* biasanya dilakukan secara penelitian untuk tiap sungai di subDAS karena keterbatasan data nilai *baseflow* dilakukan secara *trial error* namun nantinya akan dilakukan optimasi terhadap nilai *baseflow* debit banjir di titik outlet. Metode baseflow yang digunakan yaitu *Recession*. Parameter model yang terdapat metode *recession* diantaranya *initial discharge*, *recession constan*, dan *ratio to peak*. Untuk tiap nilai parameter terdapat nilai ratio, untuk ratio nilai *recession constan* dapat dilihat di Tabel 2.7 Sedangkan untuk nilai raito *initial discharge* dan *ratio to peak* dapat dilihat di Lampiran B. Nilai parameter metode *recession* tiap subDAS disajikan pada tabel. 4.29.

Tabel 4.29. Nilai Baseflow metode *Recession* tiap subDAS

| Subdas    | Initial | Recession<br>Constant | Ratio<br>Peak |
|-----------|---------|-----------------------|---------------|
| Arpiah    | 0,242   | 0,700                 | 0,310         |
| Balud     | 0,242   | 0,700                 | 0,310         |
| Clangap   | 0,242   | 0,700                 | 0,310         |
| Garu      | 0,242   | 0,700                 | 0,310         |
| Gayam     | 1,200   | 0,700                 | 0,310         |
| Gilir     | 1,200   | 0,700                 | 0,310         |
| Glunggung | 0,242   | 0,700                 | 0,310         |
| Gubri     | 0,242   | 0,700                 | 0,310         |
| Kacung    | 1,200   | 0,700                 | 0,310         |
| Kapuran   | 1,200   | 0,700                 | 0,310         |
| Kemuning  | 1,200   | 0,700                 | 0,310         |

| Subdas       | Initial | Recession<br>Constant | Ratio<br>Peak |
|--------------|---------|-----------------------|---------------|
| Kloposawit   | 1,200   | 0,700                 | 0,310         |
| Pakel        | 0,242   | 0,700                 | 0,310         |
| Pakisan      | 0,242   | 0,700                 | 0,310         |
| Sampean Hulu | 0,242   | 0,700                 | 0,310         |
| Selokambang  | 0,242   | 0,700                 | 0,310         |
| Tenggarang   | 0,242   | 0,700                 | 0,310         |

Sumber: Hasil Analisis Perhitungan (2015)

Berdasarkan tabel 4.29 menunjukkan nilai *trial-error baseflow initial* sebesar 0,242 m<sup>3</sup>/dt berada di wilayah kalibrasi outlet Tenggarang sedangkan nilai sebesar 1,2 m<sup>3</sup>/dt berada di wilayah kalibrasi outlet Kloposawit. Untuk nilai *recession constant* sebesar 0,7 didasarkan bahwa komponen aliran adalah *surface runoff*. Nilai ratio peak sebesar 0,31 didasarkan hidrograf debit banjir pada saat simulasi.

#### 4.5.3.2. Muskingum Routing

Metode Muskingum diaplikasikan pada Reach SP yang merupakan model dari sungai utama. Metode Muskingum dipilih dikarenakan keterbatasan data mengenai karakteristik sungai Sampean. Terdapat dua parameter input yaitu nilai K, nilai X dan *number of step*. Nilai K disini merupakan nilai waktu perjalanan air, nilai X merupakan titik berat dimensi saluran tersebut, dan *number of step* mengidentifikasi jumlah reach yang terhubung. Nilai parameter *muskingum routing* memiliki nilai ratio yang dapat dilihat di Lampiran B. Untuk nilai parameter masukkan ke dalam permodelan disajikan pada tabel 4.30.

Tabel 4.30 Nilai Paramater Muskingum Routing

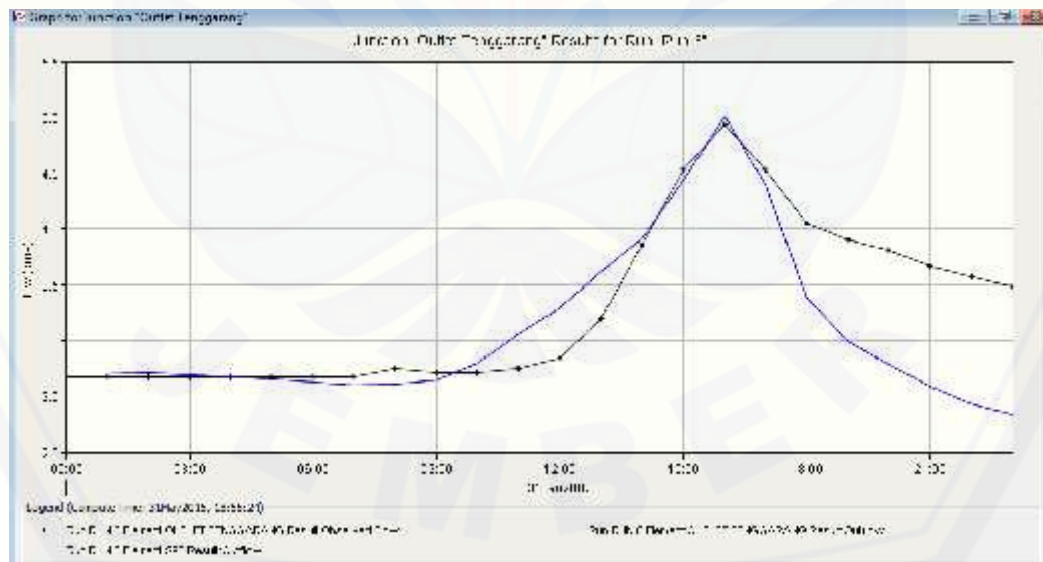
| Reach | K   | X    | Number of Reach |
|-------|-----|------|-----------------|
| SP1   | 0,9 | 0,3  | 1               |
| SP2   | 0,9 | 0,3  | 1               |
| SP3   | 0,9 | 0,3  | 1               |
| SP4   | 0,9 | 0,3  | 1               |
| SP5   | 0,9 | 0,3  | 1               |
| SP6   | 0,9 | 0,3  | 1               |
| SP7   | 0,9 | 0,3  | 1               |
| SP8   | 0,9 | 0,3  | 1               |
| SP9   | 0,6 | 0,18 | 1               |
| SP10  | 0,6 | 0,18 | 1               |
| SP11  | 0,6 | 0,18 | 1               |
| SP12  | 0,6 | 0,18 | 1               |
| SP13  | 0,6 | 0,18 | 1               |
| SP14  | 0,6 | 0,18 | 1               |

Berdasarkan tabel 4.30 nilai reach *muskingum* yang berada di kalibrasi outlet Tenggarang ditunjukkan nilai parameter K sebesar 0,9 dan X sebesar 0,3. Untuk reach yang berada di kalibrasi outlet Kloposawit ditunjukkan nilai K sebesar 0,6 dan X sebesar 0,18. Perbedaan nilai K dan X di dua kalibrasi outlet didasarkan waktu puncak hidrograf.

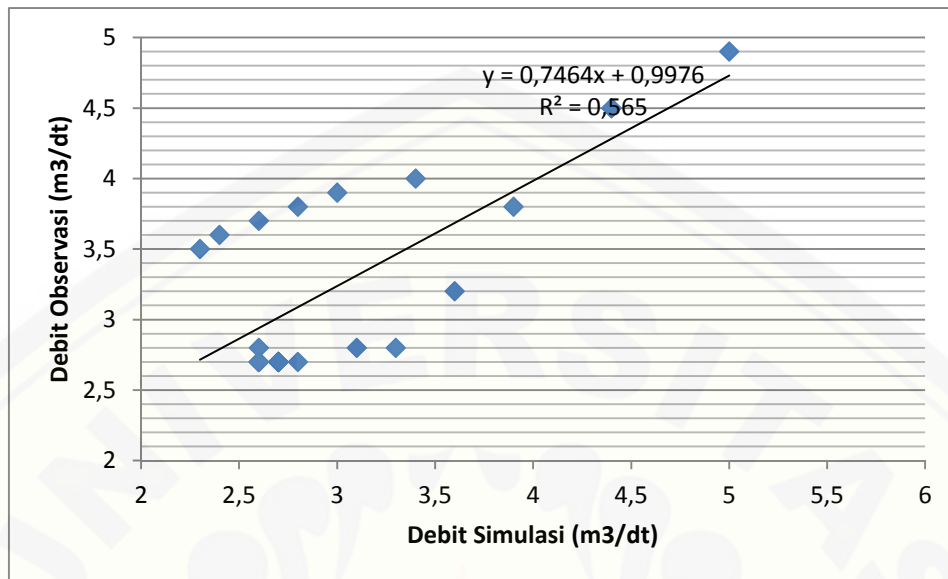
#### 4.6 Kalibrasi dan Optimasi Parameter Model.

Keakuratan model ini dievaluasi melalui kalibrasi model dengan menganalisis sensitifitas parameter yang digunakan. Analisis sensitifitas model dilakukan untuk menentukan parameter penting yang tepat untuk membuat prediksi debit yang akurat pada DAS (Hidayah, 2014). Proses pemodelan diawali dengan memasukan input data awal untuk menjalankan model yang kemudian di cek terhadap output yang tersedia. Selanjutnya diikuti dengan memvariasikan input setiap parameter dengan mempertahankan yang lain konstan.

Model hidrologi ini di kalibrasi menggunakan data debit pengamatan di dua stasiun AWLR yakni Tenggarang dan Kloposawit. Kalibrasi pertama dilakukan di titik outlet Tenggarang, meliputi subDAS Sampean Hulu, Clangap, Glunggung, Selokambang, Garu, Pakisan, Balud, Gubri, Arpiah, Pakel dan Tenggarang. Hasil simulasi model disajikan pada Gambar. 4.15 dan Gambar 4.16



Gambar 4.15 Hasil Output Running Outlet Tenggarang



Gambar 4.16 Scatter Plot pada Outlet Tenggarang

Pada outlet Tenggarang memerlukan optimasi hasil karena memiliki nilai NASH sebesar 0,397 berada di tingkat akurasi rendah dan grafik hubungan antara debit observasi dan simulasi menunjukkan nilai  $R^2 = 0,565$  dengan tingkat korelasi hubungan sedang. Setelah dilakukan optimasi terhadap volume terjadi peningkatan nilai NASH sebesar 0,613 dengan nilai  $R^2 = 0,673$  dengan tingkat korelasi hubungan baik. Berikut hasil optimasi simulasi model disajikan pada Gambar 4.17, plot scatter pada Gambar 4.18 dan nilai sensitifitas parameter disajikan pada Gambar 4.19.

Objective Function Results for Trial "Trial 5"

Project: Das Sampaan Optimization: Trial: Trial 5

Start of Trial: 31Jan2007, 00:00 Basin Model: Das Sampaan  
 End of Trial: 31Jan2007, 23:00 Meteorologic Mode: Met-1  
 Compute Time: 31May2015, 15:15:43 Control Specifications: Control 1

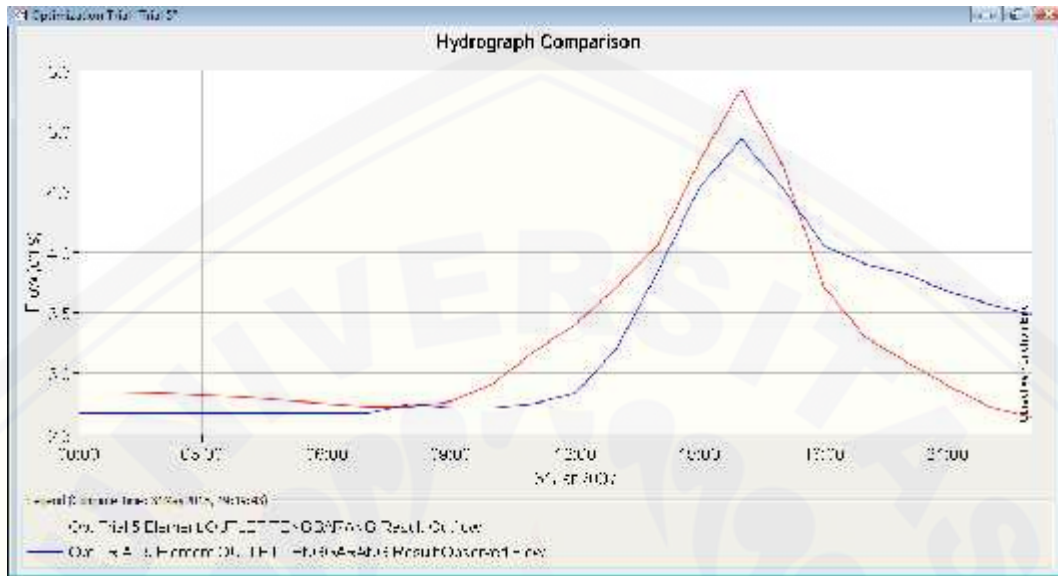
Objective Function at Basin Element: "Outlet Tenggarang"

Start of Function: 31Jan2007, 00:00 Type: Percent Error in Volume  
 End of Function: 31Jan2007, 23:00 Value: 0.0

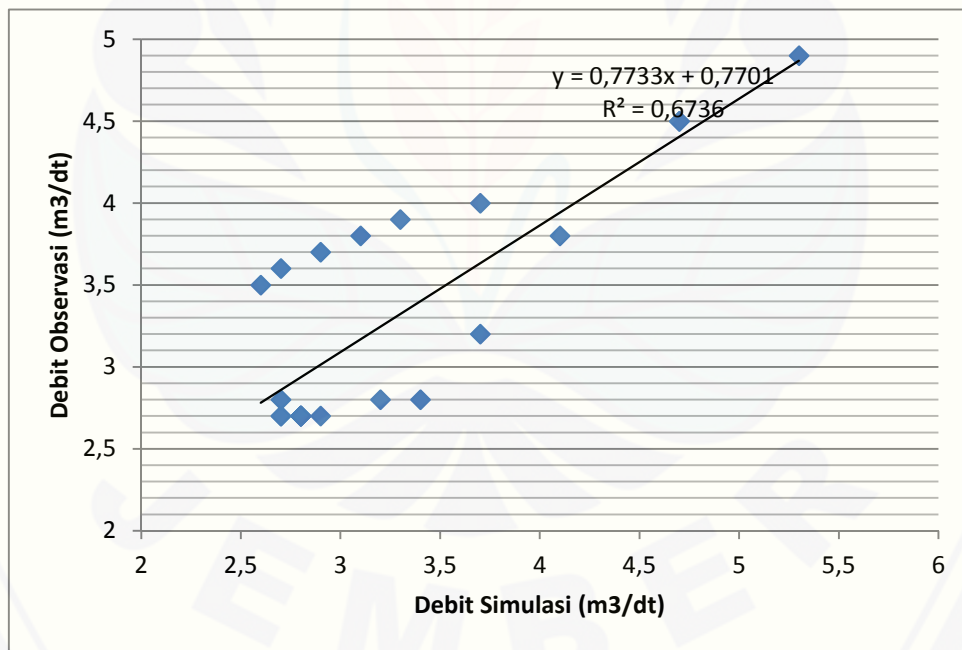
Volume Units:  MM  1000 M<sup>3</sup>

| Measure                       | Simulated        | Observed         | Difference | Percent Difference |
|-------------------------------|------------------|------------------|------------|--------------------|
| Volume (MM)                   | 0.45             | 0.45             | -0.00      | -0.05              |
| Peak Flow (M <sup>3</sup> /S) | 5.3              | 4.9              | 0.4        | 8.3                |
| Time of Peak                  | 31Jan2007, 16:00 | 31Jan2007, 16:00 |            |                    |
| Time of Center of Mass        | 31Jan2007, 12:05 | 31Jan2007, 12:34 |            |                    |





Gambar 4.17 Hasil Optimasi Volume Simulasi Model Outlet Tenggarang

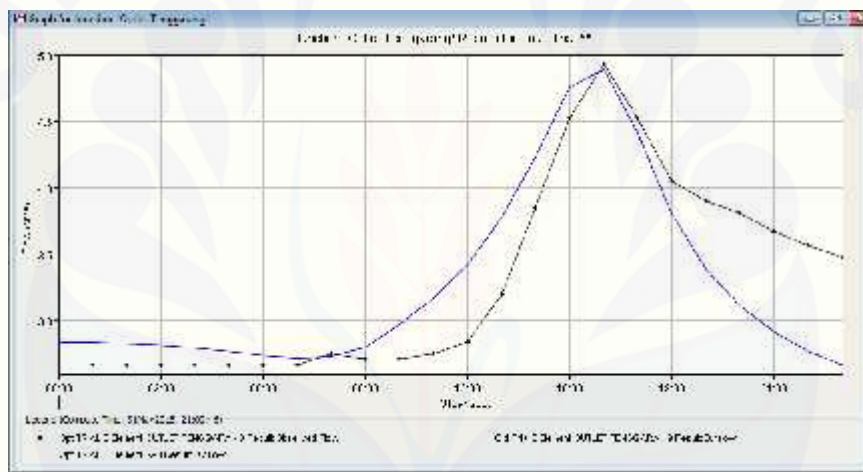
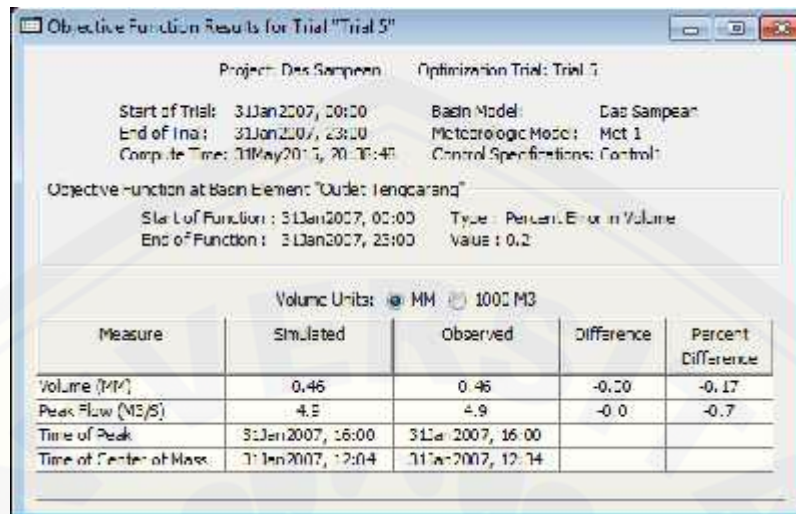


Gambar 4.18 Plot Scatter Optimasi Volume Simulasi Model Outlet Tenggarang

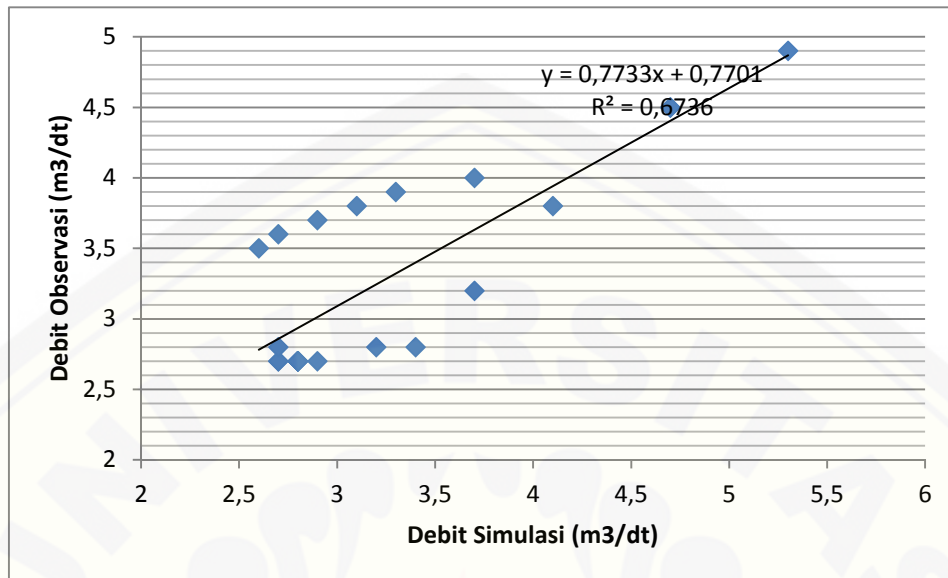
| Element     | Parameter                 | Units             | Initial Value | Optimized Value | Objective Function Sensitivity |
|-------------|---------------------------|-------------------|---------------|-----------------|--------------------------------|
| Gubri       | Clark Storage Coefficient | HR                | 0,50651       | 0,15611         | 0,00                           |
| Gubri       | Curve Number              |                   | 73,183        | 73,103          | 27,21                          |
| Gubri       | Recession Constant        |                   | 0,7           | 0,71046         | -37,73                         |
| Fake        | Curve Number              |                   | 73,793        | 73,793          | 4,47                           |
| Fake        | Clark Storage Coefficient | HR                | 1             | 0,64027         | 16,78                          |
| Fake        | Recession Constant        |                   | 0,7           | 0,71046         | -44,77                         |
| Selokembang | Clark Storage Coefficient | HR                | 0,11476       | 0,11476         | 0,00                           |
| Selokembang | Curve Number              |                   | 72,710        | 72,710          | 0,00                           |
| Selokembang | Recession Constant        |                   | 0,7           | 0,72693         | -32,22                         |
| Balud       | Clark Storage Coefficient | HR                | 0,32978       | 0,32978         | 0,00                           |
| Balud       | Curve Number              |                   | 75,070        | 75,070          | 0,00                           |
| Balud       | Recession Constant        |                   | 0,7           | 0,72696         | -40,29                         |
| Amiah       | Baseflow Initial Flow     | M <sup>3</sup> /S | 0,247         | 0,12050         | -59,72                         |
| Balud       | Baseflow Initial Flow     | M <sup>3</sup> /S | 0,247         | 0,24823         | -79,57                         |
| Gangan      | Baseflow Initial Flow     | M <sup>3</sup> /S | 0,247         | 0,24810         | -77,30                         |
| Geru        | Baseflow Initial Flow     | M <sup>3</sup> /S | 0,247         | 0,24700         | -81,25                         |
| Klungung    | Baseflow Initial Flow     | M <sup>3</sup> /S | 0,247         | 0,24810         | -81,77                         |
| Gubri       | Baseflow Initial Flow     | M <sup>3</sup> /S | 0,247         | 0,24700         | -79,58                         |
| Kalisan     | Baseflow Initial Flow     | M <sup>3</sup> /S | 0,247         | 0,24823         | -79,06                         |
| Sampar Hulu | Baseflow Initial Flow     | M <sup>3</sup> /S | 0,247         | 0,24700         | -82,15                         |
| Selokembang | Baseflow Initial Flow     | M <sup>3</sup> /S | 0,247         | 0,24700         | 50,11                          |
| Tenggara    | Baseflow Initial Flow     | M <sup>3</sup> /S | 0,247         | 0,24700         | -78,56                         |

Gambar 4.19 Parameter Sensitifitas Optimasi Volume Model Outlet Tenggara

Setelah mendapatkan parameter sensitifitas optimasi terhadap volume, maka nilai parameter tersebut diinputkan ke dalam tiap komponen yang mengalami optimasi nilai. Dapat dilihat pada Gambar 4.19 bahwa hasil optimasi belum menunjukkan bahwa nilai *peak flow* simulasi mendekati observasi dengan nilai *percentage difference* sebesar 8,1 maka tahap kedua akan dilakukan optimasi terhadap *peak flow* untuk mendapatkan nilai debit puncak yang sesuai. Berikut hasil optimasi *peak flow* disajikan pada Gambar 4.20, plot scatter pada Gambar 4.21 dan nilai sensitifitas parameter disajikan pada Gambar 4.22.



Gambar 4.20 Hasil Optimasi *Peak Flow* Simulasi Model Outlet Tenggarang



Gambar 4.21 Plot Scatter Optimasi *Peak Flow* Simulasi Model Outlet Tenggarang

Optimized Parameter Results for Trial: Trial 5

Project: Das Sembarang Optimization Trial: Trial 5

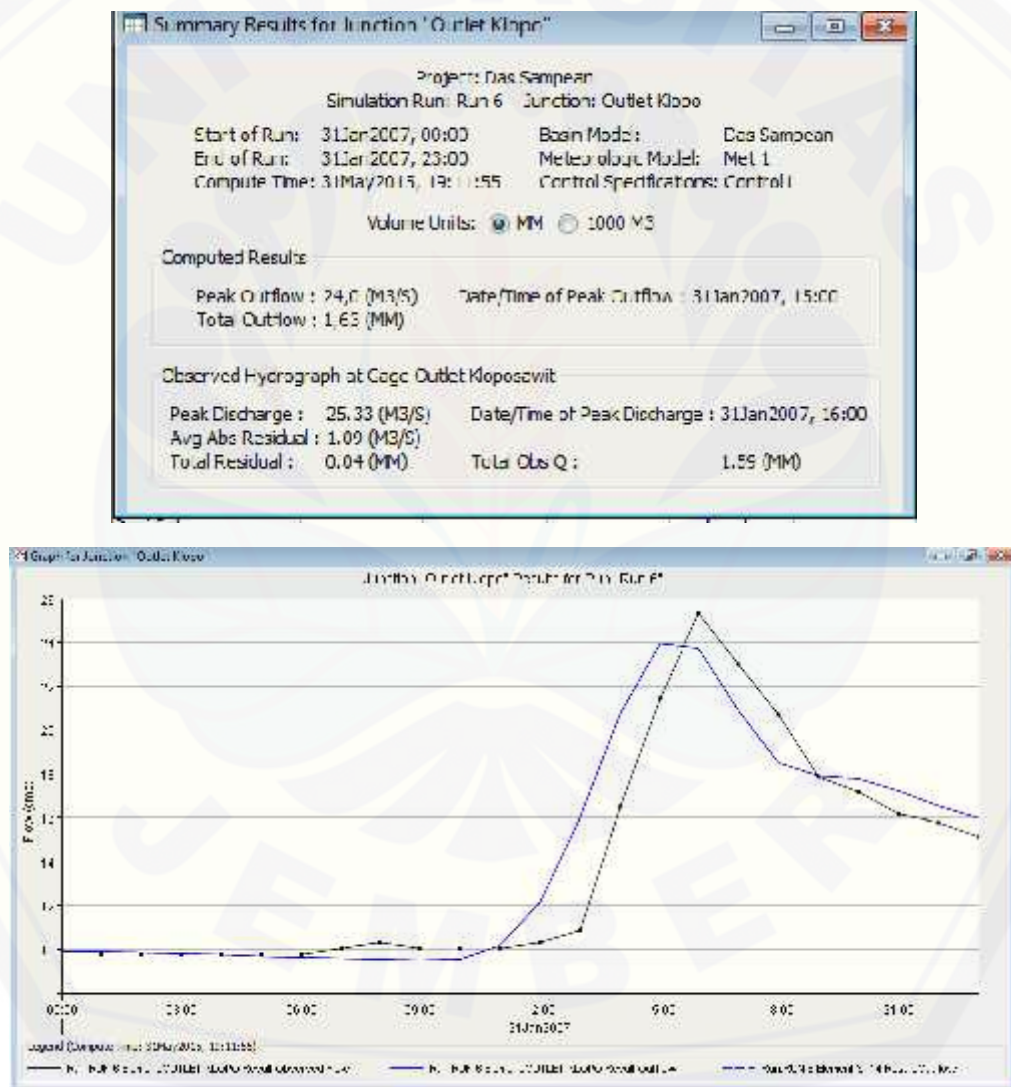
Start of Trial: 31Jan2007, 00:00 Run Model: Das Sembarang  
 End of Trial: 31Jan2007, 23:00 Meteorologic Mode: Met 1  
 Compute Time: 31May2015, 20:38:48 Control Specifications: Control 1

| Element        | Parameter                 | Units             | Initial Value | Optimized Value | Objective Function Sensitivity |
|----------------|---------------------------|-------------------|---------------|-----------------|--------------------------------|
| Cubri          | Clark Storage Coeffic ... | HR                | 0,10657       | 0,10671         | 0,00                           |
| Gubri          | Curve Number              |                   | 71,187        | 71,187          | 12,40                          |
| Gubri          | Recession Constant        |                   | 0,7           | 0,71046         | -12,60                         |
| Pakel          | Curve Number              |                   | 73,393        | 73,393          | -12,08                         |
| Pakel          | Clark Storage Coeffic ... | HR                | 1             | 0,64027         | 4,57                           |
| Pakel          | Recession Constant        |                   | 0,7           | 0,71075         | 15,11                          |
| Seukanibeng    | Clark Storage Coeffic ... | HR                | 0,11471       | 0,11471         | 0,00                           |
| Seukanibeng    | Curve Number              |                   | 72,410        | 72,410          | 0,00                           |
| Seukanibeng    | Recession Constant        |                   | 0,7           | 0,70693         | -10,59                         |
| Baud           | Clark Storage Coeffic ... | HR                | 0,39578       | 0,39578         | 0,00                           |
| Baud           | Curve Number              |                   | 75,078        | 75,078          | 0,00                           |
| Baud           | Recession Constant        |                   | 0,7           | 0,70606         | 13,65                          |
| Arpah          | Baseflow Initial Flow     | M <sup>3</sup> /S | 0,247         | 0,24711         | -44,94                         |
| Baud           | Baseflow Initial Flow     | M <sup>3</sup> /S | 0,247         | 0,24543         | -12,17                         |
| Clangap        | Baseflow Initial Flow     | M <sup>3</sup> /S | 0,247         | 0,24700         | -33,50                         |
| Garu           | Baseflow Initial Flow     | M <sup>3</sup> /S | 0,247         | 0,24623         | -33,12                         |
| Glunggunc      | Baseflow Initial Flow     | M <sup>3</sup> /S | 0,247         | 0,24700         | -33,24                         |
| Cubri          | Baseflow Initial Flow     | M <sup>3</sup> /S | 0,217         | 0,21700         | 32,26                          |
| Pakel          | Baseflow Initial Flow     | M <sup>3</sup> /S | 0,247         | 0,24671         | -12,75                         |
| Sembarang Hulu | Baseflow Initial Flow     | M <sup>3</sup> /S | 0,247         | 0,24621         | -17,61                         |
| Seukanibeng    | Baseflow Initial Flow     | M <sup>3</sup> /S | 0,247         | 0,24700         | -32,33                         |
| Tenggarang     | Baseflow Initial Flow     | M <sup>3</sup> /S | 0,247         | 0,24700         | -31,48                         |

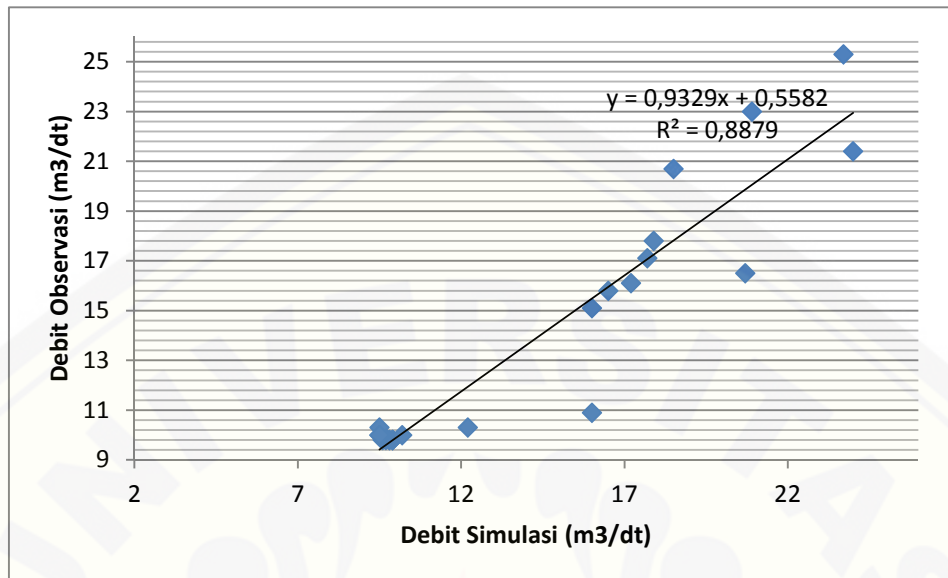
Gambar 4.22 Parameter Sensitifitas Optimasi *Peak Flow* Model Outlet Tenggarang

Setelah dilakukan optimasi terhadap *peak flow* terjadi peningkatan nilai NASH sebesar 0,649 dengan nilai  $R^2 = 0,673$  tingkat korelasi hubungan baik dan pengurangan *percentage difference* sebesar -0,7. Di optimasi kedua nilai *peakflow* simulasi sama dengan nilai *peakflow* observasi dan terjadi pula pada nilai volume aliran. Sehingga parameter model dengan titik outlet Tenggarang dikatakan layak.

Kalibrasi kedua dilakukan di outlet Kloposawit meliputi keseluruhan subDAS penelitian. Hasil dari simulasi model pada Gambar 4.23 dan Gambar 4.24.



Gambar 4.23 Hasil Output Running Outlet Kloposawit



Gambar 4.24 Scatter Plot pada Outlet Klopasawit

Outlet Klopasawit memiliki nilai NASH sebesar 0,965731. Grafik hubungan antara debit observasi dan simulasi menunjukkan nilai  $R^2 = 0,887$ . Sehingga model ini sudah dapat digunakan simulasi hujan rencana jam- jaman. Berdasarkan gambar 4.23 pada outlet Klopasawit memerlukan optimasi nilai *peakflow* untuk mendapatkan nilai debit puncak simulasi mendekati debit puncak observasi. Berikut hasil optimasi *peak flow* disajikan pada Gambar 4.25, plot scatter pada Gambar 4.26 dan nilai sensitifitas parameter disajikan pada Gambar 4.27.

Objective Function Results for Trial "Trial 4"

Project: Des Sampaan Optimization Trial: Trial 4

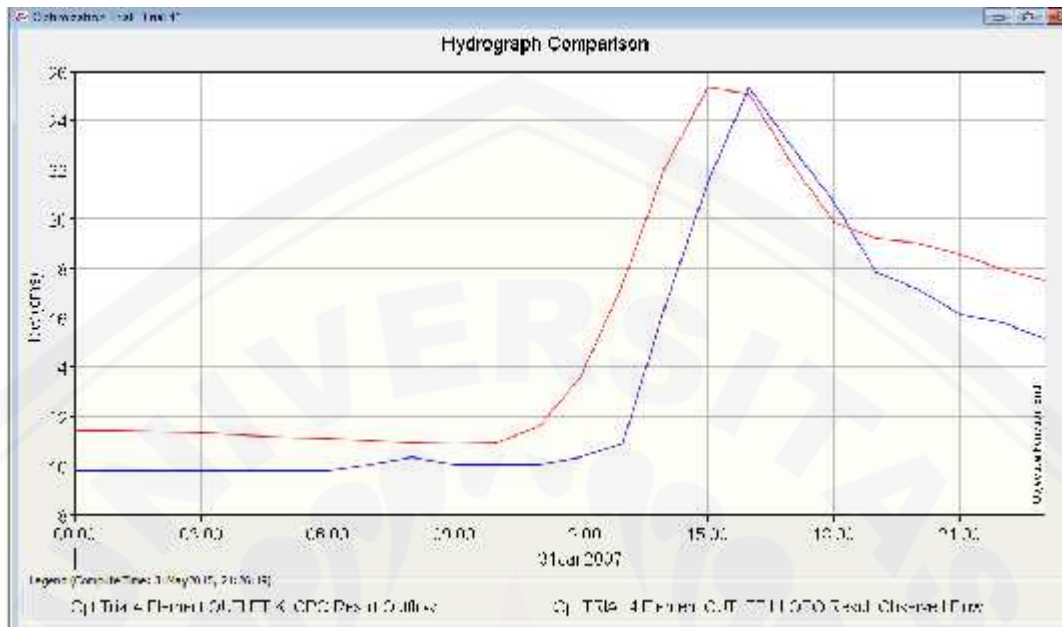
Start of Trial: 31Jan2007, 00:00 Basin Model: Des Sampaan  
 End of Trial: 31Jan2007, 23:00 Meteorologic Model: Met. 1  
 Compute Time: 31May2015, 21:26:19 Control Specifications: Control1

Objective Function: at Basin Element "Culvert Kupu"

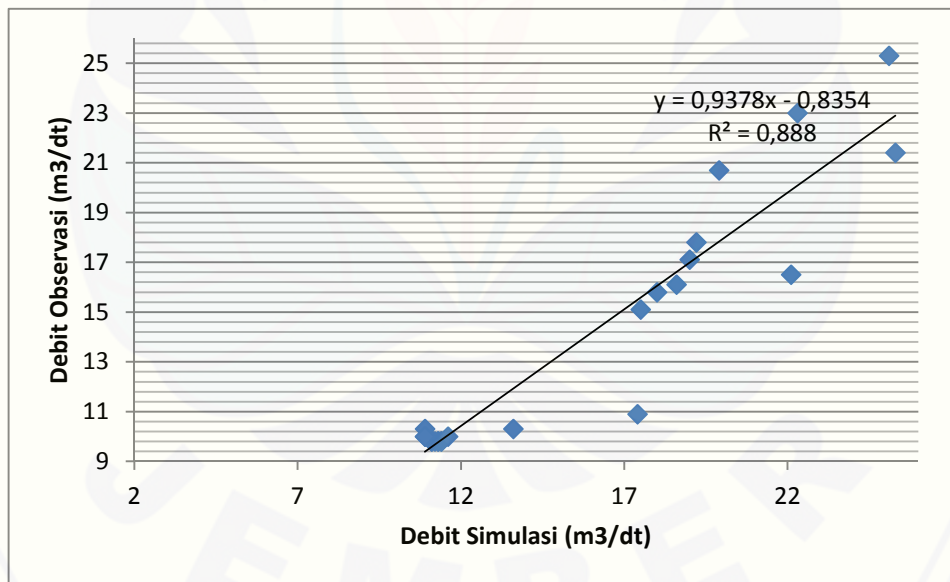
Start of Function: 31Jan2007, 00:00 Type: Percent Error in Peak Flow  
 End of Function: 31Jan2007, 23:00 Value: 0.0

Volume Units: @ MM @ 1000 M3

| Measure                 | Simulated         | Observed          | Difference | Percent Difference |
|-------------------------|-------------------|-------------------|------------|--------------------|
| Volume (MM)             | 1.79              | 1.89              | 0.21       | 12.96              |
| Peak Flow (M³/S)        | 25.3              | 25.3              | 0.0        | 0.0                |
| Time of Peak:           | 31Jan2007, 15:00  | 31Jan2007, 16:00  |            |                    |
| Time of Center of Mass: | 31Jan2007, 1:40:5 | 31Jan2007, 1:4:13 |            |                    |



Gambar 4.25 Hasil Optimasi *Peak Flow* Simulasi Model Outlet Kloposawit



Gambar 4.26 Plot Scatter Optimasi *Peak Flow* Simulasi Model Outlet Kloposawit

| Element   | Parameter                | Units             | Initial Value | Optimized Value | Objective Function Sensitivity |
|-----------|--------------------------|-------------------|---------------|-----------------|--------------------------------|
| Kemuning  | Baseflow Initial Flow    | M <sup>3</sup> /S | 1.2           | 1,3000          | 27,72                          |
| Kemuning  | Clark Storage Coeffi...  | HR                | 0,0835531     | 0,0835531       | 0,00                           |
| Kemuning  | Curve Number             |                   | 72,192        | 72,192          | 1,72                           |
| Kemuning  | Recession Constant       |                   | 0.8           | 0,80095         | -45,29                         |
| Kapuran   | Baseflow Initial Flow    | M <sup>3</sup> /S | 1.2           | 1,3000          | 27,90                          |
| Kapuran   | Clark Storage Coeffic... | HR                | 0,15415       | 0,15415         | 0,00                           |
| Kapuran   | Curve Number             |                   | 55,002        | 55,002          | 0,00                           |
| Kapuran   | Recession Constant       |                   | 0.8           | 0,80396         | 60,36                          |
| Gayam     | Baseflow Initial Flow    | M <sup>3</sup> /S | 1.2           | 1,3060          | 45,00                          |
| Gayam     | Clark Storage Coeffic... | HR                | 0,12213       | 0,12213         | 0,00                           |
| Gayam     | Curve Number             |                   | 59,286        | 59,286          | 0,00                           |
| Gayam     | Recession Constant       |                   | 0.8           | 0,80396         | 58,81                          |
| Gilr      | Baseflow Initial Flow    | M <sup>3</sup> /S | 1.2           | 1,3800          | 38,60                          |
| Gilr      | Clark Storage Coeffi...  | HR                | 0,10596       | 0,10596         | 0,00                           |
| Gilr      | Curve Number             |                   | 68,8050...    | 68,805          | 0,00                           |
| Gilr      | Recession Constant       |                   | 0.8           | 0,73825         | 78,00                          |
| Kaposawit | Baseflow Initial Flow    | M <sup>3</sup> /S | 1.2           | 1,2000          | -46,07                         |
| Kaposawit | Clark Storage Coeffic... | HR                | 0,0898847     | 0,0898847       | 0,00                           |
| Kaposawit | Curve Number             |                   | 75,661        | 75,661          | 0,00                           |
| Kaposawit | Recession Constant       |                   | 0.8           | 0,80000         | 09,46                          |
| Kadung    | Baseflow Initial Flow    | M <sup>3</sup> /S | 1.2           | 1,2000          | -46,07                         |
| Kadung    | Clark Storage Coeffic... | HR                | 0,17315       | 0,17315         | 0,00                           |
| Kadung    | Curve Number             |                   | 77,033        | 77,033          | -4,68                          |
| Kadung    | Recession Constant       |                   | 0.8           | 0,8017315       | 89,14                          |

Gambar 4.27 Parameter Sensitifitas Optimasi *Peak Flow* Model Outlet Kloposawit

Setelah dilakukan optimasi terhadap *peak flow* terjadi penurunan nilai NASH sebesar 0,925 dengan nilai  $R^2 = 0,888$  hubungan korelasi sangat baik dan pengurangan *percentage difference* sebesar -0,00. Nilai parameter optimasi terhadap *peak flow* akan diinputkan ke dalam tiap komponen yang mengalami optimasi nilai. Nilai tiap parameter komponen yang dianggap layak untuk dilakukan simulasi model hujan rencana dapat dilihat di Lampiran D.

#### 4.7. Simulasi Hujan Aliran Rencana

Saat model HEC-HMS sudah melalui kalibrasi model dan model tersebut dianggap layak maka model tersebut akan disimulasi sesuai hujan rencana. Rencana



simulasi penelitian guna mencari subDAS yang memiliki pengaruh debit banjir puncak terhadap titik outlet Kloposawit. Nilai hujan rencana tiap subDAS akan diberikan besaran yang sama. Adapun hujan rencana jam-jaman yang akan diberikan pada tiap subDAS disajikan pada Tabel 4.31.

Tabel 4.31. Hujan jam- jaman rencana.

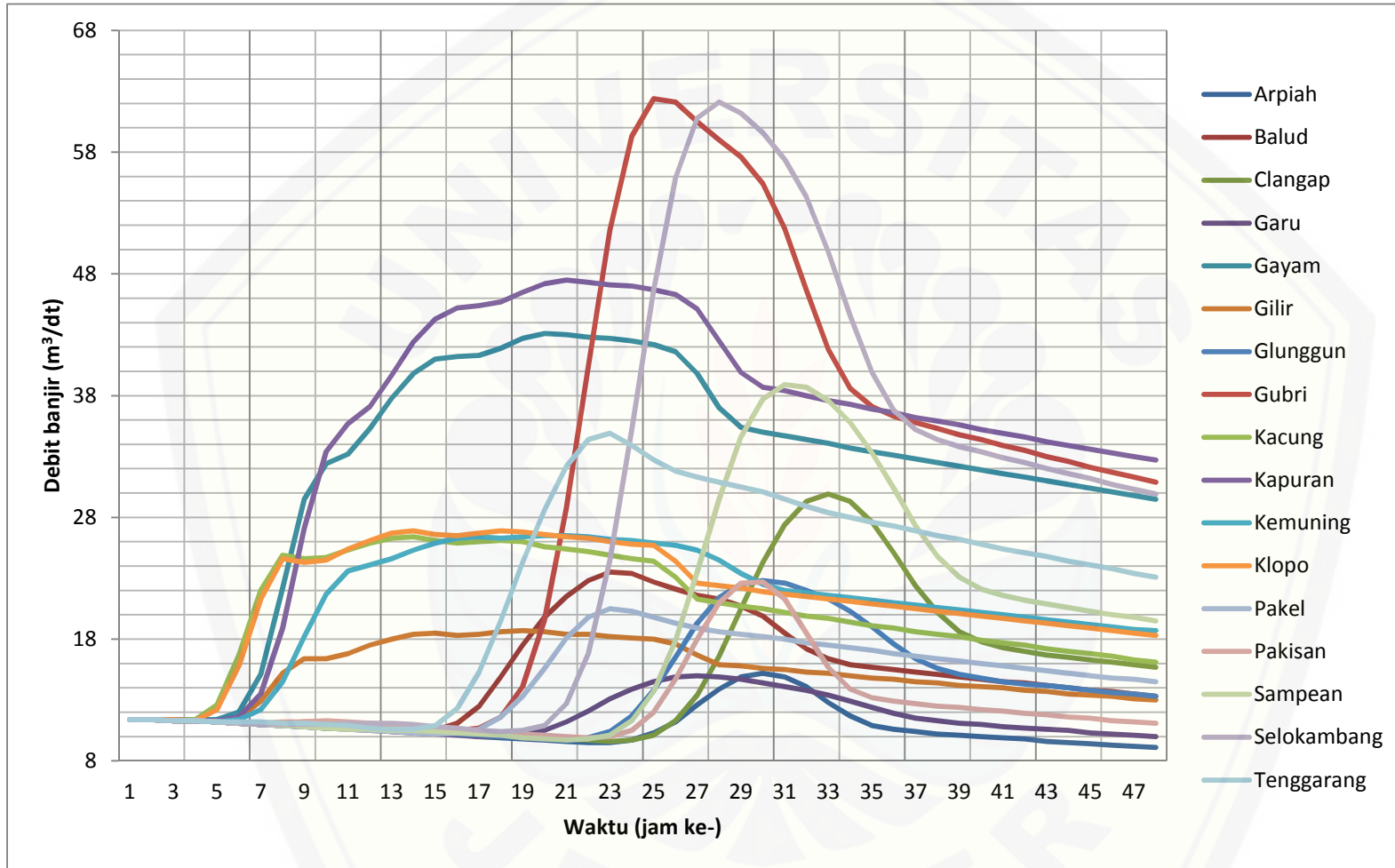
| Hari | Pertama             | Kedua               |
|------|---------------------|---------------------|
| Jam  | Curah Hujan<br>(mm) | Curah Hujan<br>(mm) |
| 1    | 10                  | 0                   |
| 2    | 10                  | 0                   |
| 3    | 10                  | 0                   |
| 4    | 10                  | 0                   |
| 5    | 10                  | 0                   |
| 6    | 10                  | 0                   |
| 7    | 5                   | 0                   |
| 8    | 5                   | 0                   |
| 9    | 5                   | 0                   |
| 10   | 5                   | 0                   |
| 11   | 5                   | 0                   |
| 12   | 5                   | 0                   |
| 13   | 4                   | 0                   |
| 14   | 4                   | 0                   |
| 15   | 4                   | 0                   |
| 16   | 4                   | 0                   |
| 17   | 4                   | 0                   |
| 18   | 3                   | 0                   |
| 19   | 3                   | 0                   |
| 20   | 3                   | 0                   |
| 21   | 2                   | 0                   |
| 22   | 2                   | 0                   |
| 23   | 2                   | 0                   |
| 24   | 0                   | 0                   |

Sumber: Hasil Analisis (2015)

Setelah data hujan jam-jam rencana di input ke dalam model HEC-HMS penelitian kemudian di running. Tiap hasil running hujan menghasilkan debit banjir (*peak flow*) dan waktu puncak. Hasil running simulasi tiap subDAS disajikan pada Tabel 4.32. dan Grafik hidrograf simulasi disajikan pada Gambar 4.28.

Tabel 4.32. Hasil Running Simulasi Hujan-Aliran Rencana tiap SubDAS

| SubDAS       | Peak Outflow<br>(m <sup>3</sup> /dt) | Waktu Puncak |
|--------------|--------------------------------------|--------------|
| Arpiah       | 15,2                                 | 30           |
| Balud        | 23,5                                 | 23           |
| Clangap      | 29,9                                 | 33           |
| Garu         | 15                                   | 27           |
| Gayam        | 43,1                                 | 20           |
| Gilir        | 18,7                                 | 19           |
| Glunggung    | 22,8                                 | 30           |
| Gubri        | 64,4                                 | 25           |
| Kacung       | 26,4                                 | 14           |
| Kapuran      | 47,5                                 | 21           |
| Kemuning     | 26,5                                 | 21           |
| Kloposawit   | 26,9                                 | 14           |
| Pakel        | 20,5                                 | 23           |
| Pakisan      | 22,7                                 | 30           |
| Sampean Hulu | 38,9                                 | 31           |
| Selokambang  | 62,1                                 | 28           |
| Tenggarang   | 34,9                                 | 23           |



Gambar 4.28 Grafik Hidrograf Debit Banjir Simulasi

#### 4.8. Analisis Kontribusi Hujan

Pada hasil simulasi model yang disajikan pada Tabel 4.32 menunjukkan waktu puncak tercepat pertama berada di dua lokasi subDAS yaitu subDAS Kloposawit dan subDAS Kacung dengan waktu puncak jam ke-14, waktu puncak tercepat kedua berada di subDAS Gayam dengan waktu puncak jam ke-20 dan waktu puncak tercepat ketiga berada di dua lokasi subDAS yaitu subDAS Kapuran dan subDAS Kemuning dengan waktu puncak jam ke-21.

Terdapat waktu puncak yang sama dengan subDAS berbeda, yaitu waktu puncak jam ke-14, jam ke-21 dan jam ke-23. Untuk waktu puncak jam ke-14 terjadi di wilayah subDAS Kacung dengan debit banjir  $26,4 \text{ m}^3/\text{dt}$  dan subDAS Kloposawit dengan debit banjir  $26,9 \text{ m}^3/\text{dt}$ . Untuk waktu puncak jam ke-21 terjadi di subDAS Kapuran dengan debit banjir  $47,5 \text{ m}^3/\text{dt}$  dan subDAS Kemuning dengan debit banjir  $26,5 \text{ m}^3/\text{dt}$ . Untuk waktu puncak jam ke-23 terjadi di subDAS Balud dengan debit banjir  $23,5 \text{ m}^3/\text{dt}$  dan subDAS Pakel dengan debit banjir  $20,5 \text{ m}^3/\text{dt}$ .

Hasil debit banjir terbesar menunjukkan bahwa wilayah subDAS Gubri memiliki debit banjir terbesar yaitu  $64,4 \text{ m}^3/\text{dt}$  dengan waktu puncak jam ke-24. Selanjutnya terjadi di wilayah subDAS Selokambang memiliki debit banjir sebesar  $62,1 \text{ m}^3/\text{dt}$  dengan waktu puncak jam ke-28. Dan terakhir terjadi di wilayah subDAS Kapuran memiliki debit banjir sebesar  $47,5 \text{ m}^3/\text{dt}$  dengan waktu puncak jam ke-21.

Perbedaan debit banjir antara subDAS Kloposawit dan subDAS Kacung dipengaruhi oleh variabel luasan wilayah, nilai CN, dan prosentase impervious. Untuk subDAS Kloposawit memiliki luasan sebesar  $13,558 \text{ km}^2$ , nilai CN sebesar 73,66, dan prosentase impervious sebesar 11,31%. Sedangkan subDAS Kacung memiliki luasan sebesar  $12,398 \text{ km}^2$ , nilai CN sebesar 75,03, dan prosentase impervious sebesar 11,43%. Kedua subDAS ini terletak dekat dengan titik outlet dengan jarak saling berdekatan antara subDAS satu sama lain. Meski demikian kedua subDAS ini sangat mempengaruhi perubahan hidrograf banjir di outlet Kloposawit apabila terjadi hujan bersamaan di kedua lokasi ini. Adapun tabel sensitifitas tiap subDAS berdasarkan karakter fisik dan tata guna lahan disajikan pada Tabel 4.33.

Tabel 4.33 Sensitifitas tiap SubDAS menurut Karakteristik Fisik dan Tutupan Lahan

| Subdas       | Luas DAS (km <sup>2</sup> ) | Panjang Sungai subDAS (km) | Kemiringan Sungai (%) | Kelas Kemiringan Sungai | Jarak sungai ke Kloposawit (km) | Nilai CN | Impervious (%) | Debit Puncak (m <sup>3</sup> /dt) | Waktu Puncak (jam ke-) | Volume (m <sup>3</sup> ) |
|--------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------------------|----------|----------------|-----------------------------------|------------------------|--------------------------|
| Arpiah       | 35,234                      | 17,555                     | 0,016                 | Datar                   | 10,857                          | 69,64    | 17,09          | 15,2                              | 30                     | 1841,1                   |
| Balud        | 19,16                       | 6,638                      | 0,0161                | Datar                   | 8,214                           | 75,08    | 13,58          | 23,5                              | 23                     | 2582,7                   |
| Clangap      | 75,78                       | 31,86                      | 0,027                 | Datar                   | 20,225                          | 70,49    | 16,78          | 29,9                              | 33                     | 2573,9                   |
| Garu         | 8,546                       | 3,437                      | 0,006                 | Datar                   | 14,934                          | 75,05    | 11,09          | 15                                | 27                     | 1974,5                   |
| Gayam        | 35,04                       | 10,677                     | 0,043                 | Datar                   | 2,309                           | 69,29    | 16,86          | 43,1                              | 20                     | 5485                     |
| Gilir        | 9,782                       | 3,071                      | 0,03                  | Datar                   | 0,759                           | 68,81    | 4,16           | 18,7                              | 19                     | 2616,8                   |
| Glunggung    | 29,067                      | 13,668                     | 0,063                 | Datar                   | 18,728                          | 72,34    | 23,5           | 22,8                              | 30                     | 2357,8                   |
| Gubri        | 90,445                      | 17,374                     | 0,01                  | Datar                   | 9,663                           | 73,18    | 22,95          | 64,4                              | 25                     | 5042,5                   |
| Kacung       | 12,398                      | 5,728                      | 0,021                 | Datar                   | 0,057                           | 75,03    | 11,43          | 26,4                              | 14                     | 3504,2                   |
| Kapuran      | 39,684                      | 31,159                     | 0,047                 | Datar                   | 4,257                           | 69,3     | 15,45          | 47,5                              | 21                     | 5956                     |
| Kemuning     | 13,904                      | 8,629                      | 0,063                 | Datar                   | 4,896                           | 73,19    | 5,34           | 26,5                              | 21                     | 3574                     |
| Kloposawit   | 13,558                      | 5,364                      | 0,047                 | Datar                   | 0,057                           | 73,66    | 11,31          | 26,9                              | 14                     | 3678,3                   |
| Pakel        | 18,3                        | 29,15                      | 0,022                 | Datar                   | 6,515                           | 73,39    | 7,39           | 20,5                              | 23                     | 2500,1                   |
| Pakistan     | 106,08                      | 19,15                      | 0,059                 | Datar                   | 9,663                           | 69,26    | 23,13          | 22,7                              | 30                     | 2149,6                   |
| Sampean Hulu | 69,564                      | 21,288                     | 0,037                 | Datar                   | 20,225                          | 71,92    | 14,86          | 38,9                              | 31                     | 3140,7                   |
| Selokambang  | 105,466                     | 2,896                      | 0,048                 | Datar                   | 13,142                          | 72,41    | 26,16          | 62,1                              | 28                     | 4699,2                   |
| Tenggarang   | 36,4                        | 14,572                     | 0,006                 | Datar                   | 6,515                           | 74,44    | 27,19          | 11,4                              | 23                     | 3746,4                   |

Untuk perbedaan debit terbesar dengan waktu yang bervariasi antara subDAS Gubri, subDAS Selokambang dan subDAS Kapuran dipengaruhi oleh variabel luasan wilayah, panjang sungai, kemiringan sungai, nilai CN dan prosentase impervious. Untuk subDAS Gubri memiliki luasan sebesar 90,445 km<sup>2</sup>, panjang sungai sebesar 17,374 km, kemiringan sungai sebesar 0,01%, nilai CN sebesar 73,18, dan prosentase impervious sebesar 22,95% . Sedangkan subDAS Selokambang memiliki luasan sebesar 105,466 km<sup>2</sup>, panjang sungai sebesar 2,896 km, kemiringan sungai sebesar 0,037%, nilai CN sebesar 72,41, dan prosentase impervious sebesar 26,16% . Dan terakhir di subDAS Kapuran memiliki luasan sebesar 39,684 km<sup>2</sup>, panjang sungai sebesar 5,728 km, kemiringan sungai sebesar 0,047%, nilai CN sebesar 69,3, dan prosentase impervious sebesar 15,45% .

Dapat diperkirakan berdasarkan Tabel 4.33 apabila terjadi hujan pada seluruh subDAS maka waktu yang terlama limpasan air hujan menuju titik outlet Kloposawit hanya dalam waktu 33 jam atau kurang dari dua hari. Ini menandakan bahwa setiap lokasi subDAS dapat dikatakan sebagai pemicu banjir karena ketika hujan terjadi, limpasan air hujan memiliki waktu puncak yang singkat menuju Waduk Sampean Baru.

Waktu puncak tercepat berada di subDAS Kloposawit dan subDAS Kacung disebabkan kedua lokasi sangat berdekatan dengan titik outlet Kloposawit berjarak 0,057 km. Perbedaan waktu puncak setiap subDAS dipengaruhi oleh panjang sungai, kemiringan sungai dan jarak sungai tiap subDAS ke titik outlet Kloposawit.

Panjang sungai subDAS terpanjang berada di subDAS Kapuran dengan panjang 31,159 km dibandingkan panjang sungai subDAS terpendek di subDAS Selokambang dengan panjang 2,896 km dengan kemiringan sungai dengan selisih 0,001% meski begitu waktu puncak kedua subDAS hanya selisih 7 jam. Waktu yang paling cepat antara kedua subDAS ini berada di subDAS Kapuran karena lokasi subDAS Kapuran berjarak 4,257 km terhadap titik outlet dibandingkan subDAS Selokambang berjarak 13,142 km.

Kemiringan sungai subDAS terbesar berada di subDAS Kemuning dan subDAS Glunggung dengan kemiringan sungai sebesar 0,063%. memiliki. SubDAS Kemuning memiliki waktu puncak yang sama dengan subDAS Kapuran yakni jam ke- 21 meskipun jarak sungai terhadap titik outlet pada subDAS Kemuning 4,896 km lebih jauh dibandingkan subDAS Kapurang berjarak 4,257 km. Kesamaan waktu tersebut disebabkan SubDAS Kemuning memiliki kemiringan sungai kemiringan sungai lebih besar dan panjang sunga lebih pendek dibandingkan subDAS Kapuran yang mempunyai kemiringan sungai sebesar 0,047%.

Debit terbesar yakni  $64,4 \text{ m}^3/\text{dt}$  berada di subDAS Gubri diakibatkan faktor luas DAS  $90,455 \text{ km}^2$  dan nilai CN 73,18. Debit terbesar di subDAS Gubri lebih tinggi dibandingkan dengan subDAS Selokambang meskipun luas pada subDAS Selokambang lebih luas dibandingkan subDAS Gubri. Perbedaan debit disebabkan pada subDAS Gubri luas pengolahan lahan sebagai sawah tadah hujan lebih luas dibandingkan subDAS Selokambang.

Perlu diperhatikan bahwa lokasi pemicu banjir memiliki debit banjir tertinggi dengan interval waktu yang terkecil yakni subDAS Kapuran karena memiliki debit banjir terbesar ketiga dan waktu puncak tercepat ketiga.

## BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan kajian yang sudah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Berdasarkan hasil analisis spasial di ArcGIS, terdapat tujuh parameter karakteristik fisik subDAS, yakni luas, bentuk, kemiringan lereng, jaringan sungai, pola aliran, nilai CN dan persentase Impervious. Untuk luas wilayah yang terluas berada di wilayah subDAS Pakisan dengan luasan 106,080 km<sup>2</sup>. Bentuk subDAS di lokasi penelitian umumnya berada di kategori 3 dan 6 yakni berbentuk persegi dan segitiga. Kemiringan sungai yang paling terbesar berada di wilayah subDAS Balud yakni 0,0161% dan sungai terpanjang berada di di wilayah subDAS Clangap dengan panjang 31,860 km. Nilai CN tertinggi pada daerah Balud sebesar 75,08 karena wilayah ini sebagian besar lahan sawah irigasi dan untuk prosentase impervious pada daerah subDAS Tenggarang sebesar 27,19 % karena lokasi merupakan daerah pemukiman. Jaringan sungai pada DAS Sampean pola aliran dendritic dengan kerapatan jaringan yang tinggi, namun apabila di analisis secara spasial tiap subDAS memiliki pola aliran parallel dengan kerapatan tinggi pula. Bentuk melintang DAS Sampean yaitu cekung sedangkan bentuk memanjang DAS Sampean yaitu landai, yang dapat menunjukkan kenaikan hidrograf banjir lebih tinggi dengan waktu puncak yang sangat cepat.
2. Hasil simulasi dengan hujan jam-jaman rencana menunjukkan bahwa terdapat lokasi wilayah subDAS yang dapat sebagai pemicu di outlet Kloposawit yakni subDAS Kapuran memiliki debit banjir terbesar ketiga yaitu 47,6 m<sup>3</sup>/dt dan waktu puncak tercepat ketiga yaitu jam ke-21. SubDAS Kapuran memiliki luasan sebesar 39,684 km<sup>2</sup>, panjang sungai sebesar 5,728 km, kemiringan sungai sebesar 0,047% ,nilai CN sebesar 69,3, dan prosentase impervious sebesar 15,45% .



## 5.2 Saran

Adapun saran yang ditujukan kepada peneliti selanjutnya guna pengembangan penelitian ini, antara lain

1. Pada penelitian ini masih belum melakukan analisis secara hidrolika terhadap kinerja saluran sungai karena banjir dapat disebabkan sungai kurang mampu menerima limpasan debit hujan.
2. Perlu dilakukan *sensitifitas variabel* awal karakter fisik DAS dan Tata Guna Lahan agar menemukan *variabel* awal yang memiliki pengaruh besar terhadap debit banjir dan waktu puncak.
3. Untuk mendapatkan hasil simulasi hujan-aliran pada HEC-HMS sesuai dengan keadaan *existing* perlu dilakukan penelitian terhadap nilai *initial condition* supaya pemberian nilai parameter tidak perlu melakukan *trial-error*.
4. Penelitian ini dapat sebagai acuan prakiraan penempatan *early warning system* dan pengoperasian pintu banjir waduk Sampean Baru gunaantisipasi banjir di daerah hilir.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Affandy, Nur Azizah dan Nadjadji Anwar. (Tanpa Tahun). *Pemodelan Hujan-Debit Menggunakan Model HEC-HMS di DAS Sampean Baru*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh September.
- Asmantoro, Runi, Erry Suhartanto dan Bias Angga P. 2012. *Aplikasi Sistem Informasi Geografis (SIG) Untuk Identifikasi Lahan Kritis dan Arah Fungsi Lahan Daerah Aliran Sungai Sampean*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Azizah, Aisya Abas and Mazlan Hashim. 2000. *Estimation of Impervious Surface Using Multi-Temporal Landsat Imagery and Its Impact to Runoff*. Malaysia: University Teknologi Malaysia.
- Bakar, Abu. 2012. *GDEM Versi 2*. <http://www.citrasatelit.com/2012/03/05/download-gdem-aster-versi-2-0/>. 11 Mei 2015.
- Bolch, Tobias. 2003. *DEM Generation from Aster Satellite Data for Geomorphometric Analysis of Cerro Syllajhuay*. International Journal of Remoting Sensing. Nuremberg: University of Erlangen, Germany.
- Butler, D. and Davies, J.W. 2000. *Urban Drainage*. London: E&FN Spon.
- Chu, Xuefeng, and Alan Steinman. 2009 *Event and Continuous Hydrologic Modeling with HEC-HMS*. *Journal Of Irrigation And Drainage Engineering Vol. 135, No. 1, February 1, 2009*
- Dewi, Ika Fitrianan dan Faiza Nor. 2007. *Perencanaan Pengendalian Banjir Sungai Sragi Lama Kabupaten Pekalongan*. Thesis. Tidak Dipublikasikan. Semarang: Universitas Dipenogoro.
- DHAKAL, Shinta dan Dennis M. FOX . 2014. *Hydrological Modeling of the Potential Impact of a Forest Fire on Runoff In a Mediterranean Catchment*. Malaysia : FIG Congress
- Duke, Guy D. 2003. *Improving Overland Flow Routing by Incorporating Ancillary Road Data Into DEM*. *Journal of Spatial Hydrology Vol. 3 : No. 2*

- D. Roy, S. Begam, S. Ghosh and S. Jana. 2012. Calibration and Validation of HEC-HMS Model For A River Basin In Eastern India. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences Vol. 8 No.1*: hal.40-56.
- ESRI. 2012. ArcGIS Help 10.1. <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/009z0009z0000004w000000.htm>. 11 Mei 2015.
- Evans, Barry M , David W. Lehing, Kenneth J. C *et al.* 2002. A Comprehensive GIS-Based Modeling Approach For Predicting Nutrient Loads in Watersheds. *Journal of Spatial Hydrology Vol. 2 No. 2*: hal. 1-18.
- Ferrant, S, S. Gascoin, A. Veloso, *et al.* 2014. Agro-Hydrology and Multi-temporal High-resolution Remote Sensing: Toward an Explicit Spatial Process Calibration. *Journal of Hydrology and Earth System Sciences Vol 18*: hal. 5219-5237.
- Firmansyah, Adiet. 2012. “Perbandingan Pemodelan Hujan Aliran Berdasarkan Kerapatan Spasial Hujan Menggunakan Mudrain (Studi Kasus Subdas Klop Sawit Das Sampean)”. Jember: Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Guettner, Allison. 2010. A GIS-based Approach to Watershed Analysis in Texas. Texas: Texas A&M University
- Hidayah, Entin, Indarto dan Subandi. 2014a. Prediksi Banjir Kali Porong. Sumatra Selatan: INACID.
- Hidayah, Entin, Wiwik Yunarni dan Indarto. 2014b. Perbandingan Aplikasi IHECRAS dan HEC-HMS untuk Peramalan Banjir di DAS Sampean Baru. Sulawesi : HATHI.
- Harsoyo, Budi. 2010. Review Modeling Hidrologi DAS di Indonesia. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca Vol 11 No.1* : 41-47.
- Harto, Sri Br. 1993. *Analisis Hidrologi*. Jakarta: PT. Gramedia.
- Hilmi, H.S.M. ,M.Y. Mohamed, E.S. Ganawa. 2014. Impact of water harvesting dam on the Wadi’s Morphology using digital elevation model Study case: Wadi Al-Kanger, Sudan. *International Journal of Innovative Science, Engineering, & Technology, Vol.1 Issue 9*: hal. 13-21.

- Indarto. 2010. *Hidrologi Dasar teori Dan Contoh Aplikasi Model Hidrologi*. Jakarta : PT Bumi Aksara.
- J. Bhaskar dan C.R. Suribabu. 2013. Estimation of Surface Run-off for Urban Area Using Integrated Remote Sensing and GIS Approach. *Jordan Journal of Civil Engineering, Volume 8, No. 1, 2014*: hal 70-80
- Kementerian Kehutanan. 2013. Peraturan Direktur Jenderal Bina Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dan Perhutanan Sosial Nomor : P.3/ V-SET /2013 Tentang Pedoman Identifikasi Karakteristik Daerah Aliran Sungai. Jakarta : Direktorat Jenderal Bina Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dan Perhutanan Sosial.
- Kodotie. 2013. *Rekayasa dan Manajemen Banjir Kota*. Jakarta : Penerbit Andi Yogyakarta
- Konsorsium Aceh Nias. 2007. Modul Pelatihan ArcGIS Tingkat Dasar. *Training GIS Tingkat Dasar Bagi Aparatur Pemerintahan Daerah di Provinsi Nanggroe Aceh Darussalam*. Banda Aceh: 26 Maret s.d 5 April 2007
- Loebis, Joesron. 1992. *Banjir Rencana Untuk Bangunan Air*. Jakarta : Departemen Pekerjaan Umum.
- Mahfudi, Umar. 2010. Identifikasi Penyebab dan Upaya Non-Struktural Pengendalian Banjir Kali Sampean. *Tesis Tidak Dipublikasikan*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada
- Nag, Anita ,Kinley Penjor, Sonam Tobgay, and Choda Jamtsho. 2013. Hydrological Modeling of Watershed using HEC-HMS Software and ArcGIS. *International Journal of Advanced Scientific and Technical Research Vol. 2 Issue 3*: hal. 313-319.
- Philip B. Bedient. 2008. *Hydrology and Floodplain Analysis* 4<sup>th</sup> edition.
- Purba, Endo. 2013. Prioritas Pengelolaan DAS Berdasarkan Analisis Morfometri SUB DAS CI KASO, Kabupaten Sukabumi, Provinsi Jawa Barat. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Jatinangor: Universitas Padjadjaran
- Raharjo, Puguh Dwi. 2009. Penggunaan Sistem Informasi Geografi Untuk

- Pendeteksian Konsentrasi Aliran Permukaan Di DAS Citarum Hulu. <https://puguhdraharjo.wordpress.com/2009/05/29/2009/05/29/penggunaan-sistem-informasi-geografi-untuk-pendeteksian-konsentrasi-aliran-permukaan-di-das-citarum-hulu/>. 10 Februari 2015
- Raziqa, Yeni dan Nawiyanto. 2012. Tsunami Kali Sampean: Banjir Bandang Situbondo, 2008. Jember: Universitas Jember.
- Slamet, Edy. 2014. Identifikasi Kekritisn Lahan DAS Sampean Menggunakan ArcView GIS 3.3. *Skripsi*, Tidak dipublikasikan. Jember: Universitas Jember.
- Straub, Timothy D., Charles S. Melching and Kyle E. Kocher. 2000. Equation for Estimating Clark Unit Hydrograph Parameters for Small Rural Watershed in Illinois. Illinois: U.S Geological Survey (USGS).
- Suroso. 2004. Analisa Curah Hujan untuk Membuat Kurva *Intensity-Duration-Frequency* (IDF) di Kawasan Rawan Banjir Kabupaten Bayumas. *Jurnal Teknik Sipil Vol 3 No. 1*: hal. 37-40.
- Universitas Jember. 2011. *Pedoman Penulisan Karya Ilmiah*. Jember : UPT Penerbitan Universitas Jember.
- University of Washington. 2010. Surface Hydrologic Modeling and Watershed Delineation. <http://courses.washington.edu/gis250/lessons/hydrology/>. 27 Mei 2015.
- USACE.2000. *Hydrologic Modeling System HEC-HMS Technical Reference Manual*. US Army Corps of Engineers. <http://www.hec.usace.army.mil>.
- USACE.2013 *Geospatial Hydrologic Modelling Extension HEC GeoHMS Users Manual*. US Army Corps of Engineers. <http://www.hec.usace.army.mil>.
- USDA. 2010. *Part 630 Hydrology National Engineering Handbook Chapter 15 Time of Concentration*. Washington DC: U.S Departement of Agriculture (USDA).
- Usman, Ferdinan. 2014. Aplikasi Model HEC-RAS dan Hec-GeoRAS (Arcview Extension) untuk Identifikasi Luas Genangan Banjir. *Skripsi*. Tidak Dipublikasikan. Jember: Universitas Jember.

Wirosoedarmo, Ruslan, A. Tunggul Sutan Haji, dan Erlita Meidya Pramesti. 2010. Studi Bentuk, Jaringan Drainase dan Hidrograf Daerah Aliran Sungai Menggunakan SIMODAS (Studi Kasus di Pulau Sabu – Nusa Tenggara Timur). *Jurnal Teknologi Pertanian Vol. 11 No.2 Agustus 2010*: hal. 123-130



## LAMPIRAN A. Nilai Curve Number

## A.1. Nilai CN untuk Lahan Bervegetasi Lahan Pertanian

| <i>Cover description</i>                                    |   |                             | <i>Curve number for hydrologic soil group</i> |          |          |          |
|---|---|-----------------------------|---|----------|----------|----------|
| <i>Cover type</i>   | <i>Treatment</i>                            | <i>Hydrologic Condition</i> | <i>A</i>                                      | <i>B</i> | <i>C</i> | <i>D</i> |
| <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  | 79       | 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 &amp; terraced (C &amp; T)</i> | <i>Poor</i>                 | 66  | 74       | 80       | 82       |
|   |   | <i>Good</i>                 | 62  | 71       | 78       | 81       |
| <i>C &amp; T + CR</i>                                       | <i>Poor</i>                                 | 65                          | 73  | 79       | 81       |          |
|   | <i>Good</i>                                 | 61                          | 70  | 77       | 80       |          |
| <i>Small Grain</i>  | <i>Straight row (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>Contoured (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>Contoured &amp; terraced (C &amp; T)</i> | <i>Poor</i>                 | 61  | 72       | 79       | 82       |
|   |   | <i>Good</i>                 | 59  | 70       | 78       | 81       |
| <i>C &amp; 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>Straight row (SR)</i>                    | <i>Poor</i>                 | 66  | 77       | 85       | 89       |
|   |   | <i>Good</i>                 | 58  | 72       | 81       | 85       |
|   | <i>Contoured (C)</i>                        | <i>Poor</i>                 | 64  | 75       | 83       | 85       |
|   |   | <i>Good</i>                 | 55  | 69       | 78       | 83       |
|   | <i>Contoured &amp; terraced (C &amp; T)</i> | <i>Poor</i>                 | 63  | 73       | 80       | 83       |
|   |   | <i>Good</i>                 | 51  | 67       | 76       | 80       |

## A.2. Nilai CN untuk Lahan Bervegetasi selain Lahan Pertanian

| <i>Cover description</i>   |                             | <i>Curve number for hydrologic soil group</i> |          |          |          |
|--|-----------------------------|---|----------|----------|----------|
| <i>Cover type and hydrologic condition</i>   | <i>Hydrologic Condition</i> | <i>A</i>                                      | <i>B</i> | <i>C</i> | <i>D</i> |
| <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       |



## A.3. Nilai CN untuk Area Pemukiman

| <i>Cover description</i>  | <i>Average percent impervious area</i> | <i>Curve number for hydrologic soil group</i> |          |          |          |
|---|--|---|----------|----------|----------|
|   |  | <i>A</i>                                      | <i>B</i> | <i>C</i> | <i>D</i> |
| <i>Fully developed urban areas</i>  |  |   |          |          |          |
| <i>Open space (lawns, parks, golf courses, cemeteries, etc.):</i>   |  |   |          |          |          |
| <i>Poor condition (grass cover &lt; 50% )</i> .....   |  | 68  | 79       | 86       | 89       |
| <i>Fair condition (grass cover 50% to 75% )</i> .....   |  | 49  | 69       | 79       | 84       |
| <i>Good condition (grass cover &gt; 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>Paved; open ditches (including right-of-way)</i> .....   |  | 83  | 89       | 92       | 93       |
| <i>Gravel (including right-of-way)</i> .....  |  | 76  | 85       | 89       | 91       |
| <i>Dirt (including right-of-way)</i> .....  |  | 72  | 82       | 87       | 89       |
| <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 districts 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>   |  |   |          |          |          |

## LAMPIRAN B. Nilai Ratio Parameter Model HEC-HMS

| <i>Model</i>                          | <i>Parameter</i>               | <i>Min</i>               | <i>Max</i>                    |
|---------------------------------------|--------------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| <i>Initial and Constant-rate loss</i> | <i>Initial loss</i>            | <i>0 mm</i>              | <i>500 mm</i>                 |
|                                       | <i>Constant-rate loss</i>      | <i>0 mm/hr</i>           | <i>300 mm/hr</i>              |
| <i>SCS Loss</i>                       | <i>Initial abstraction</i>     | <i>0 mm</i>              | <i>500 mm</i>                 |
|                                       | <i>Curve Number</i>            | <i>1</i>                 | <i>100</i>                    |
| <i>Green and Ampt loss</i>            | <i>Moisture deficit</i>        | <i>0</i>                 | <i>1</i>                      |
|                                       | <i>Hydraulic conductivity</i>  | <i>0 mm/mm</i>           | <i>250 mm/mm</i>              |
|                                       | <i>Wetting front suction</i>   | <i>0 mm</i>              | <i>1000 mm</i>                |
| <i>deficit and constant-rate</i>      | <i>Initial deficit</i>         | <i>0 mm</i>              | <i>500 mm</i>                 |
|                                       | <i>Maximum deficit</i>         | <i>0 mm</i>              | <i>500 mm</i>                 |
|                                       | <i>Deficit recovery factor</i> | <i>0.1</i>               | <i>5</i>                      |
|                                       | <i>Time of concentration</i>   | <i>0.1 hr</i>            | <i>500 hr</i>                 |
| <i>Clark's UH</i>                     | <i>Storage coefficient</i>     | <i>0 hr</i>              | <i>1</i>                      |
|                                       | <i>Lag</i>                     | <i>0.1 hr</i>            | <i>500 hr</i>                 |
| <i>Snyder's UH</i>                    | <i>Cp</i>                      | <i>0.1</i>               | <i>1</i>                      |
|                                       | <i>Lag</i>                     | <i>0.1 min</i>           | <i>30000 min</i>              |
| <i>SCS UH</i>                         | <i>Lag</i>                     | <i>0.1 min</i>           | <i>30000 min</i>              |
| <i>Kinematic wave</i>                 | <i>Manning's n</i>             | <i>0</i>                 | <i>1</i>                      |
| <i>Baseflow</i>                       | <i>Initial baseflow</i>        | <i>0 m<sup>3</sup>/s</i> | <i>100000 m<sup>3</sup>/s</i> |
|                                       | <i>Recession factor</i>        | <i>0.000011</i>          | <i>-</i>                      |
|                                       | <i>Flow-to-peak ratio</i>      | <i>0</i>                 | <i>1</i>                      |
| <i>Muskingum Routing</i>              | <i>K</i>                       | <i>0.1 hr</i>            | <i>150 hr</i>                 |
|                                       | <i>X</i>                       | <i>0</i>                 | <i>0.5</i>                    |
|                                       | <i>Number of steps</i>         | <i>1</i>                 | <i>100</i>                    |
| <i>Kinematic wave routing</i>         | <i>N-value factor</i>          | <i>0.01</i>              | <i>10</i>                     |
| <i>Lag routing</i>                    | <i>Lag</i>                     | <i>0 min</i>             | <i>30000min</i>               |

**LAMPIRAN C. Polygon Thiessen dan Curah Hujan Wilayah**

| Stasiun       | Sub DAS |       |         |       |       |       |           |       |        |
|---------------|---------|-------|---------|-------|-------|-------|-----------|-------|--------|
|               | Arpiah  | Balud | Clangap | Garu  | Gayam | Gilir | Glunggung | Gubri | Kacung |
| klabang       | 0,000   | 0,000 | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,067 | 0,000     | 0,443 | 0,000  |
| Selolembu     | 0,000   | 0,000 | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000     | 0,068 | 0,000  |
| Sbr. Dumpyong | 0,000   | 0,000 | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,005     | 0,088 | 0,000  |
| Wringin       | 0,000   | 0,000 | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000     | 0,356 | 0,000  |
| Blimbing      | 0,000   | 0,000 | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000     | 0,046 | 0,000  |
| Kesemek       | 0,282   | 0,000 | 0,000   | 0,130 | 0,000 | 0,000 | 0,000     | 0,000 | 0,000  |
| Kejayan       | 0,041   | 0,000 | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000     | 0,000 | 0,000  |
| Wonosroyo     | 0,161   | 0,652 | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000     | 0,000 | 0,000  |
| Sbr, Gading   | 0,000   | 0,000 | 0,061   | 0,000 | 0,325 | 0,000 | 0,000     | 0,000 | 0,000  |
| Taal          | 0,000   | 0,000 | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000     | 0,000 | 0,105  |
| Bluncong      | 0,000   | 0,000 | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,000     | 0,000 | 0,000  |
| Jero          | 0,000   | 0,000 | 0,000   | 0,000 | 0,222 | 0,343 | 0,000     | 0,000 | 0,615  |
| Wonosari      | 0,000   | 0,095 | 0,000   | 0,000 | 0,056 | 0,587 | 0,000     | 0,000 | 0,000  |
| Sumberanyar   | 0,000   | 0,000 | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000     | 0,000 | 0,000  |
| Ancar         | 0,000   | 0,000 | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,157     | 0,000 | 0,000  |
| Wonosari II   | 0,000   | 0,000 | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,821     | 0,000 | 0,000  |
| Maesan        | 0,000   | 0,000 | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000     | 0,000 | 0,000  |
| Pinangpiat    | 0,000   | 0,253 | 0,000   | 0,000 | 0,397 | 0,000 | 0,000     | 0,000 | 0,280  |
| Maskuning Wt  | 0,000   | 0,000 | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000     | 0,000 | 0,000  |
| Tlogo         | 0,122   | 0,000 | 0,413   | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000     | 0,000 | 0,000  |

|           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Pakisan   | 0,026 | 0,000 | 0,004 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Clangap   | 0,104 | 0,000 | 0,295 | 0,219 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Tamanan   | 0,000 | 0,000 | 0,139 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Grujugan  | 0,091 | 0,000 | 0,081 | 0,651 | 0,000 | 0,000 | 0,017 | 0,000 | 0,000 |
| Sukokerto | 0,173 | 0,000 | 0,008 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Total     | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |

| Stasiun       | Sub DAS |          |            |       |         |                 |             |       |            |
|---------------|---------|----------|------------|-------|---------|-----------------|-------------|-------|------------|
|               | Kapuran | Kemuning | Kloposawit | Pakel | Pakisan | Sampean<br>Hulu | Selokambang | Tapen | Tenggarang |
| klabang       | 0,000   | 0,595    | 0,000      | 0,669 | 0,000   | 0,000           | 0,001       | 0,000 | 0,004      |
| Selolembu     | 0,000   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 0,000   | 0,000           | 0,259       | 0,000 | 0,000      |
| Sbr. Dumpyong | 0,000   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 0,000   | 0,000           | 0,443       | 0,000 | 0,000      |
| Wringin       | 0,000   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 0,000   | 0,000           | 0,000       | 0,000 | 0,000      |
| Blimbing      | 0,000   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 0,000   | 0,000           | 0,000       | 0,000 | 0,000      |
| Kesemek       | 0,000   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 0,003   | 0,000           | 0,000       | 0,000 | 0,000      |
| Kejayan       | 0,000   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 0,069   | 0,000           | 0,000       | 0,000 | 0,022      |
| Wonosroyo     | 0,058   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 0,092   | 0,000           | 0,000       | 0,000 | 0,062      |
| Sbr, Gading   | 0,577   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 0,185   | 0,000           | 0,000       | 0,000 | 0,000      |
| Taal          | 0,000   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 0,000   | 0,000           | 0,000       | 0,320 | 0,000      |
| Bluncong      | 0,000   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 0,000   | 0,000           | 0,000       | 0,288 | 0,000      |
| Jero          | 0,000   | 0,000    | 0,513      | 0,000 | 0,000   | 0,000           | 0,000       | 0,392 | 0,000      |
| Wonosari      | 0,152   | 0,405    | 0,487      | 0,331 | 0,002   | 0,000           | 0,000       | 0,000 | 0,254      |
| Sumberanyar   | 0,000   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 0,000   | 0,000           | 0,000       | 0,000 | 0,000      |
| Ancar         | 0,000   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 0,000   | 0,033           | 0,174       | 0,000 | 0,081      |

|              |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Wonosari II  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,451 | 0,112 | 0,000 | 0,191 |
| Maesan       | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,350 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Pinangpiat   | 0,158 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,058 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Maskuning Wt | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,074 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Tlogo        | 0,056 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,406 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Pakisan      | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,078 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Clangap      | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,024 |
| Tamanan      | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,128 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Grujugan     | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,038 | 0,011 | 0,000 | 0,363 |
| Sukokerto    | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,034 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Total        | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |

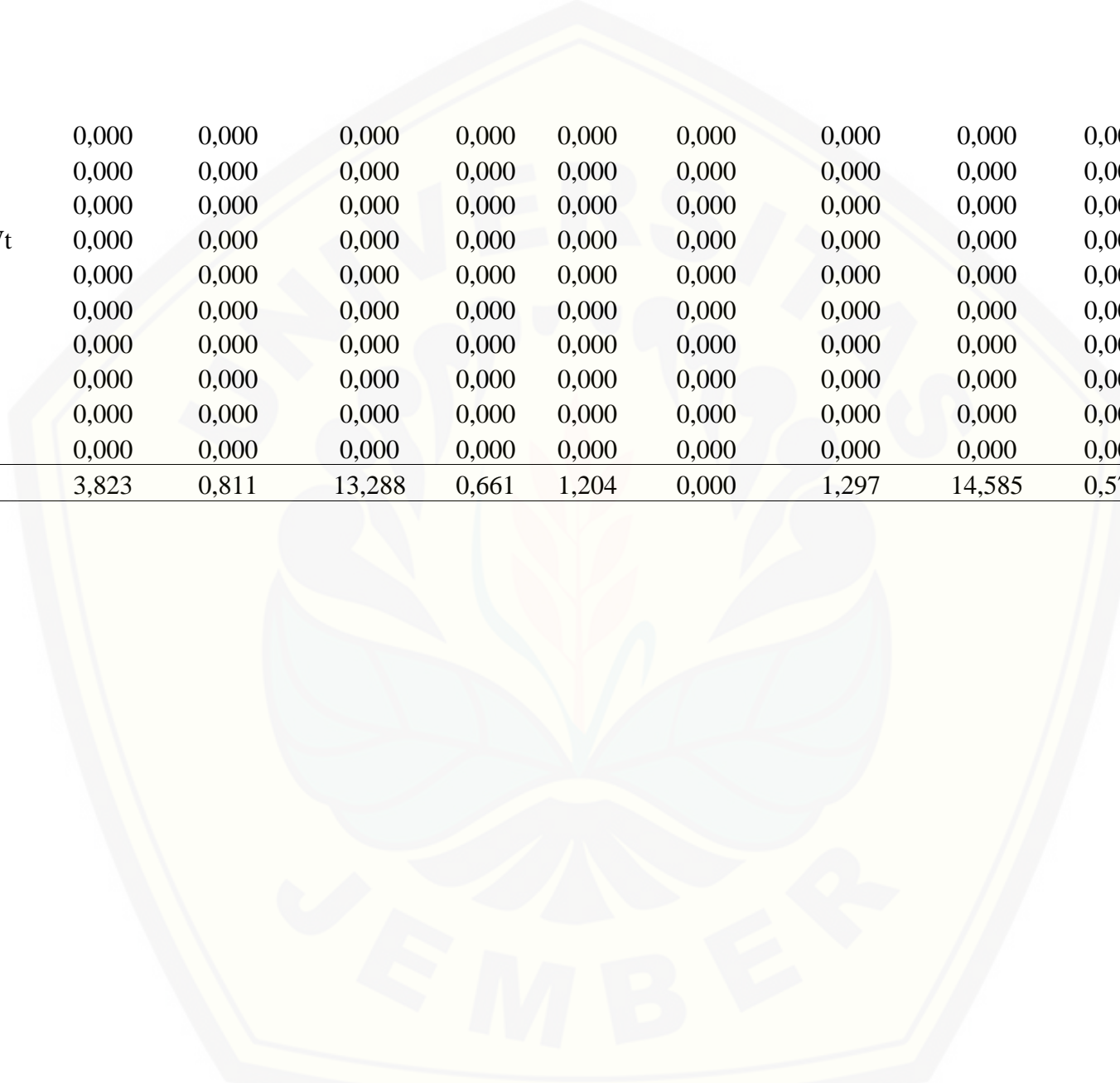
## Lampiran E. Hujan Wilayah Tiap Stasiun dan subDAS

## E.1 Curah Hujan Wilayah Tanggal 29 Januari 2007

| Stasiun       | Sub DAS |       |         |       |       |       |           |       |        |
|---------------|---------|-------|---------|-------|-------|-------|-----------|-------|--------|
|               | Arpiah  | Balud | Clangap | Garu  | Gayam | Gilir | Glunggung | Gubri | Kacung |
| klabang       | 0,000   | 0,000 | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000     | 0,000 | 0,000  |
| Selolembu     | 0,000   | 0,000 | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000     | 0,338 | 0,000  |
| Sbr. Dumpyong | 0,000   | 0,000 | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000     | 0,000 | 0,000  |
| Wringin       | 0,000   | 0,000 | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000     | 0,000 | 0,000  |
| Blimbing      | 0,000   | 0,000 | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000     | 0,000 | 0,000  |
| Kesemek       | 0,000   | 0,000 | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000     | 0,000 | 0,000  |
| Kejayan       | 0,000   | 0,000 | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000     | 0,000 | 0,000  |
| Wonosroyo     | 0,161   | 0,652 | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000     | 0,000 | 0,000  |
| Sbr, Gading   | 0,000   | 0,000 | 0,368   | 0,000 | 1,950 | 0,000 | 0,000     | 0,000 | 0,000  |
| Taal          | 0,000   | 0,000 | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000     | 0,000 | 0,000  |
| Bluncong      | 0,000   | 0,000 | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,045 | 0,000     | 0,000 | 0,000  |
| Jero          | 0,000   | 0,000 | 0,000   | 0,000 | 5,322 | 8,240 | 0,000     | 0,000 | 14,755 |
| Wonosari      | 0,000   | 0,190 | 0,000   | 0,000 | 0,112 | 1,174 | 0,000     | 0,000 | 0,000  |
| Sumberanyar   | 0,000   | 0,000 | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000     | 0,000 | 0,000  |
| Ancar         | 0,000   | 0,000 | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000     | 0,000 | 0,000  |
| Wonosari II   | 0,000   | 0,000 | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000     | 0,000 | 0,000  |
| Maesan        | 0,000   | 0,000 | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000     | 0,000 | 0,000  |
| Pinangpiat    | 0,000   | 0,000 | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000     | 0,000 | 0,000  |
| Maskuning Wt  | 0,000   | 0,000 | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000     | 0,000 | 0,000  |
| Tlogo         | 0,000   | 0,000 | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000     | 0,000 | 0,000  |

|              |              |              |              |              |              |              |              |              |               |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| Pakisan      | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000         |
| Clangap      | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000         |
| Tamanan      | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000         |
| Grujugan     | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000         |
| Sukokerto    | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000         |
| <b>Total</b> | <b>0,161</b> | <b>0,842</b> | <b>0,368</b> | <b>0,000</b> | <b>7,384</b> | <b>9,458</b> | <b>0,000</b> | <b>0,338</b> | <b>14,755</b> |

| Stasiun       | Sub DAS |          |            |       |         |                 |             |       |            |
|---------------|---------|----------|------------|-------|---------|-----------------|-------------|-------|------------|
|               | Kapuran | Kemuning | Kloposawit | Pakel | Pakisan | Sampean<br>Hulu | Selokambang | Tapen | Tenggarang |
| klabang       | 0,000   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 0,000   | 0,000           | 0,000       | 0,000 | 0,000      |
| Selolembu     | 0,000   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 0,000   | 0,000           | 1,297       | 0,000 | 0,000      |
| Sbr. Dumpyong | 0,000   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 0,000   | 0,000           | 0,000       | 0,000 | 0,000      |
| Wringin       | 0,000   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 0,000   | 0,000           | 0,000       | 0,000 | 0,000      |
| Blimbing      | 0,000   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 0,000   | 0,000           | 0,000       | 0,000 | 0,000      |
| Kesemek       | 0,000   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 0,000   | 0,000           | 0,000       | 0,000 | 0,000      |
| Kejayan       | 0,000   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 0,000   | 0,000           | 0,000       | 0,000 | 0,000      |
| Wonosroyo     | 0,058   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 0,092   | 0,000           | 0,000       | 0,000 | 0,062      |
| Sbr, Gading   | 3,462   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 1,108   | 0,000           | 0,000       | 0,000 | 0,000      |
| Taal          | 0,000   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 0,000   | 0,000           | 0,000       | 0,000 | 0,000      |
| Bluncong      | 0,000   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 0,000   | 0,000           | 0,000       | 5,176 | 0,000      |
| Jero          | 0,000   | 0,000    | 12,314     | 0,000 | 0,000   | 0,000           | 0,000       | 9,409 | 0,000      |
| Wonosari      | 0,304   | 0,811    | 0,974      | 0,661 | 0,004   | 0,000           | 0,000       | 0,000 | 0,508      |
| Sumberanyar   | 0,000   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 0,000   | 0,000           | 0,000       | 0,000 | 0,000      |
| Ancar         | 0,000   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 0,000   | 0,000           | 0,000       | 0,000 | 0,000      |



|              |       |       |        |       |       |       |       |        |       |
|--------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| Wonosari II  | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 |
| Maesan       | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 |
| Pinangpiat   | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 |
| Maskuning Wt | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 |
| Tlogo        | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 |
| Pakisan      | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 |
| Clangap      | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 |
| Tamanan      | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 |
| Grujugan     | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 |
| Sukokerto    | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 |
| Total        | 3,823 | 0,811 | 13,288 | 0,661 | 1,204 | 0,000 | 1,297 | 14,585 | 0,570 |

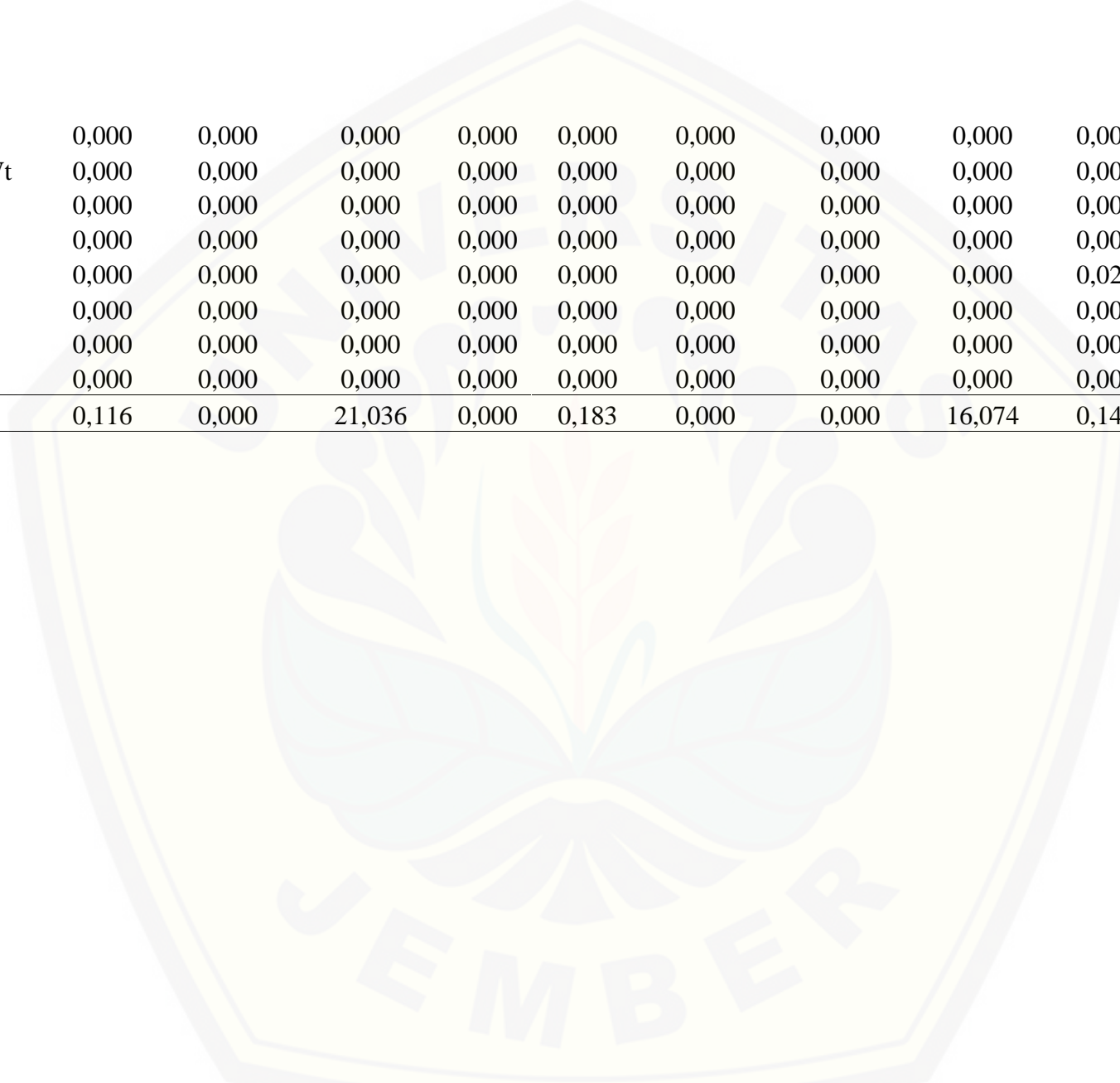


**E.2. Curah Hujan Wilayah Tanggal 30 Januari 2007**

| Stasiun       | Sub DAS |       |         |       |       |        |           |       |        |
|---------------|---------|-------|---------|-------|-------|--------|-----------|-------|--------|
|               | Arpiah  | Balud | Clangap | Garu  | Gayam | Gilir  | Glunggung | Gubri | Kacung |
| klabang       | 0,000   | 0,000 | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000     | 0,000 | 0,000  |
| Selolembu     | 0,000   | 0,000 | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000     | 0,000 | 0,000  |
| Sbr. Dumpyong | 0,000   | 0,000 | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000     | 0,000 | 0,000  |
| Wringin       | 0,000   | 0,000 | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000     | 0,000 | 0,000  |
| Blimbing      | 0,000   | 0,000 | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000     | 0,000 | 0,000  |
| Kesemek       | 0,000   | 0,000 | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000     | 0,000 | 0,000  |
| Kejayan       | 0,000   | 0,000 | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000     | 0,000 | 0,000  |
| Wonosroyo     | 0,321   | 1,304 | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000     | 0,000 | 0,000  |
| Sbr, Gading   | 0,000   | 0,000 | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000     | 0,000 | 0,000  |
| Taal          | 0,000   | 0,000 | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000     | 0,000 | 0,000  |
| Bluncong      | 0,000   | 0,000 | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000     | 0,000 | 0,000  |
| Jero          | 0,000   | 0,000 | 0,000   | 0,000 | 9,092 | 14,076 | 0,000     | 0,000 | 25,206 |
| Wonosari      | 0,000   | 0,000 | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000     | 0,000 | 0,000  |
| Sumberanyar   | 0,000   | 0,000 | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000     | 0,000 | 0,000  |
| Ancar         | 0,000   | 0,000 | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000     | 0,000 | 0,000  |
| Wonosari II   | 0,000   | 0,000 | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000     | 0,000 | 0,000  |
| Maesan        | 0,000   | 0,000 | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000     | 0,000 | 0,000  |
| Pinangpiat    | 0,000   | 0,000 | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000     | 0,000 | 0,000  |
| Maskuning Wt  | 0,000   | 0,000 | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000     | 0,000 | 0,000  |
| Tlogo         | 0,000   | 0,000 | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000     | 0,000 | 0,000  |
| Pakisan       | 0,000   | 0,000 | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000     | 0,000 | 0,000  |
| Clangap       | 0,104   | 0,000 | 0,295   | 0,219 | 0,000 | 0,000  | 0,000     | 0,000 | 0,000  |

|              |              |              |              |              |              |               |              |              |               |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|---------------|
| Tamanan      | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000         | 0,000        | 0,000        | 0,000         |
| Grujugan     | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000         | 0,000        | 0,000        | 0,000         |
| Sukokerto    | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000         | 0,000        | 0,000        | 0,000         |
| <b>Total</b> | <b>0,425</b> | <b>1,304</b> | <b>0,295</b> | <b>0,219</b> | <b>9,092</b> | <b>14,076</b> | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> | <b>25,206</b> |

| Stasiun       | Sub DAS |          |            |       |         |                 |             |        |            |
|---------------|---------|----------|------------|-------|---------|-----------------|-------------|--------|------------|
|               | Kapuran | Kemuning | Kloposawit | Pakel | Pakisan | Sampean<br>Hulu | Selokambang | Tapen  | Tenggarang |
| klabang       | 0,000   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 0,000   | 0,000           | 0,000       | 0,000  | 0,000      |
| Selolembu     | 0,000   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 0,000   | 0,000           | 0,000       | 0,000  | 0,000      |
| Sbr. Dumpyang | 0,000   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 0,000   | 0,000           | 0,000       | 0,000  | 0,000      |
| Wringin       | 0,000   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 0,000   | 0,000           | 0,000       | 0,000  | 0,000      |
| Blimbing      | 0,000   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 0,000   | 0,000           | 0,000       | 0,000  | 0,000      |
| Kesemek       | 0,000   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 0,000   | 0,000           | 0,000       | 0,000  | 0,000      |
| Kejayan       | 0,000   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 0,000   | 0,000           | 0,000       | 0,000  | 0,000      |
| Wonosroyo     | 0,116   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 0,183   | 0,000           | 0,000       | 0,000  | 0,124      |
| Sbr, Gading   | 0,000   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 0,000   | 0,000           | 0,000       | 0,000  | 0,000      |
| Taal          | 0,000   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 0,000   | 0,000           | 0,000       | 0,000  | 0,000      |
| Bluncong      | 0,000   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 0,000   | 0,000           | 0,000       | 0,000  | 0,000      |
| Jero          | 0,000   | 0,000    | 21,036     | 0,000 | 0,000   | 0,000           | 0,000       | 16,074 | 0,000      |
| Wonosari      | 0,000   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 0,000   | 0,000           | 0,000       | 0,000  | 0,000      |
| Sumberanyar   | 0,000   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 0,000   | 0,000           | 0,000       | 0,000  | 0,000      |
| Ancar         | 0,000   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 0,000   | 0,000           | 0,000       | 0,000  | 0,000      |
| Wonosari II   | 0,000   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 0,000   | 0,000           | 0,000       | 0,000  | 0,000      |
| Maesan        | 0,000   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 0,000   | 0,000           | 0,000       | 0,000  | 0,000      |



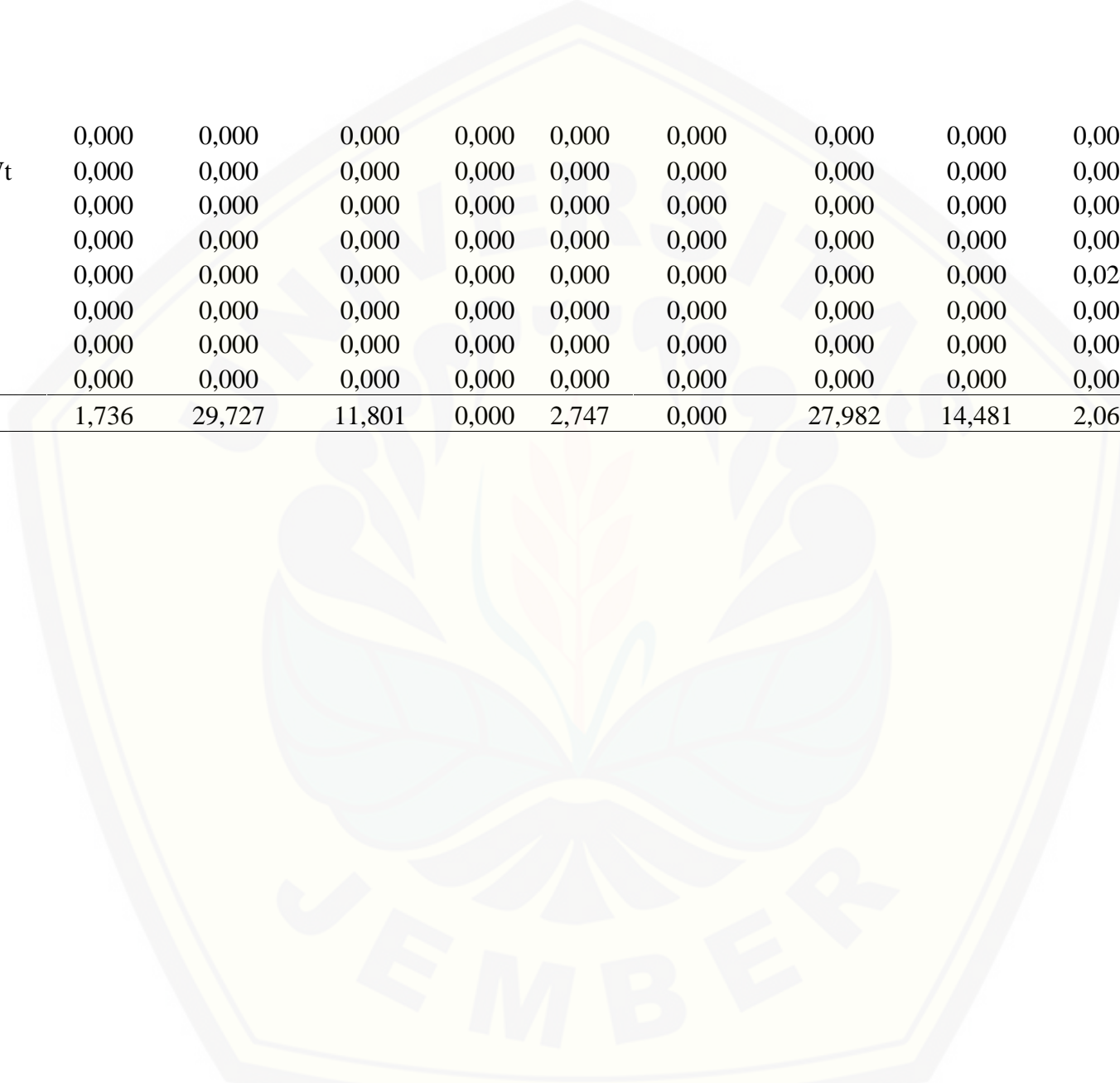
|              |       |       |        |       |       |       |       |        |       |
|--------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| Pinangpiat   | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 |
| Maskuning Wt | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 |
| Tlogo        | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 |
| Pakisan      | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 |
| Clangap      | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,024 |
| Tamanan      | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 |
| Grujugan     | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 |
| Sukokerto    | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 |
| Total        | 0,116 | 0,000 | 21,036 | 0,000 | 0,183 | 0,000 | 0,000 | 16,074 | 0,147 |

**E.3 Curah Hujan Wilayah Tanggal 31 Januari 2007**

| Stasiun       | Sub DAS |        |         |       |       |       |           |        |        |
|---------------|---------|--------|---------|-------|-------|-------|-----------|--------|--------|
|               | Arpiah  | Balud  | Clangap | Garu  | Gayam | Gilir | Glunggung | Gubri  | Kacung |
| klabang       | 0,000   | 0,000  | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 3,371 | 0,000     | 22,135 | 0,000  |
| Selolembu     | 0,000   | 0,000  | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000     | 1,620  | 0,000  |
| Sbr. Dumpyong | 0,000   | 0,000  | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,227     | 4,308  | 0,000  |
| Wringin       | 0,000   | 0,000  | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000     | 4,980  | 0,000  |
| Blimbing      | 0,000   | 0,000  | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000     | 0,923  | 0,000  |
| Kesemek       | 0,000   | 0,000  | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000     | 0,000  | 0,000  |
| Kejayan       | 0,000   | 0,000  | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000     | 0,000  | 0,000  |
| Wonosroyo     | 4,818   | 19,554 | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000     | 0,000  | 0,000  |
| Sbr, Gading   | 0,000   | 0,000  | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000     | 0,000  | 0,000  |
| Taal          | 0,000   | 0,000  | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000     | 0,000  | 0,000  |
| Bluncong      | 0,000   | 0,000  | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,047 | 0,000     | 0,000  | 0,000  |
| Jero          | 0,000   | 0,000  | 0,000   | 0,000 | 5,100 | 7,896 | 0,000     | 0,000  | 14,140 |
| Wonosari      | 0,000   | 0,000  | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000     | 0,000  | 0,000  |
| Sumberanyar   | 0,000   | 0,000  | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000     | 0,000  | 0,000  |
| Ancar         | 0,000   | 0,000  | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000     | 0,000  | 0,000  |
| Wonosari II   | 0,000   | 0,000  | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000     | 0,000  | 0,000  |
| Maesan        | 0,000   | 0,000  | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000     | 0,000  | 0,000  |
| Pinangpiat    | 0,000   | 0,000  | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000     | 0,000  | 0,000  |
| Maskuning Wt  | 0,000   | 0,000  | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000     | 0,000  | 0,000  |
| Tlogo         | 0,000   | 0,000  | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000     | 0,000  | 0,000  |
| Pakisan       | 0,000   | 0,000  | 0,000   | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000     | 0,000  | 0,000  |
| Clangap       | 0,104   | 0,000  | 0,295   | 0,219 | 0,000 | 0,000 | 0,000     | 0,000  | 0,000  |

|              |              |               |              |              |              |               |              |               |               |
|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|---------------|---------------|
| Tamanan      | 0,000        | 0,000         | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000         | 0,000        | 0,000         | 0,000         |
| Grujugan     | 0,000        | 0,000         | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000         | 0,000        | 0,000         | 0,000         |
| Sukokerto    | 0,000        | 0,000         | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000         | 0,000        | 0,000         | 0,000         |
| <b>Total</b> | <b>4,922</b> | <b>19,554</b> | <b>0,295</b> | <b>0,219</b> | <b>5,100</b> | <b>11,315</b> | <b>0,227</b> | <b>33,966</b> | <b>14,140</b> |

| Stasiun       | Sub DAS |          |            |       |         |                 |             |       |            |
|---------------|---------|----------|------------|-------|---------|-----------------|-------------|-------|------------|
|               | Kapuran | Kemuning | Kloposawit | Pakel | Pakisan | Sampean<br>Hulu | Selokambang | Tapen | Tenggarang |
| klabang       | 0,000   | 29,727   | 0,000      | 0,000 | 0,000   | 0,000           | 0,064       | 0,000 | 0,185      |
| Selolembu     | 0,000   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 0,000   | 0,000           | 6,224       | 0,000 | 0,000      |
| Sbr. Dumpyang | 0,000   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 0,000   | 0,000           | 21,694      | 0,000 | 0,000      |
| Wringin       | 0,000   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 0,000   | 0,000           | 0,000       | 0,000 | 0,000      |
| Blimbing      | 0,000   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 0,000   | 0,000           | 0,000       | 0,000 | 0,000      |
| Kesemek       | 0,000   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 0,000   | 0,000           | 0,000       | 0,000 | 0,000      |
| Kejayan       | 0,000   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 0,000   | 0,000           | 0,000       | 0,000 | 0,000      |
| Wonosroyo     | 1,736   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 2,747   | 0,000           | 0,000       | 0,000 | 1,854      |
| Sbr, Gading   | 0,000   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 0,000   | 0,000           | 0,000       | 0,000 | 0,000      |
| Taal          | 0,000   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 0,000   | 0,000           | 0,000       | 0,000 | 0,000      |
| Bluncong      | 0,000   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 0,000   | 0,000           | 0,000       | 5,464 | 0,000      |
| Jero          | 0,000   | 0,000    | 11,801     | 0,000 | 0,000   | 0,000           | 0,000       | 9,017 | 0,000      |
| Wonosari      | 0,000   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 0,000   | 0,000           | 0,000       | 0,000 | 0,000      |
| Sumberanyar   | 0,000   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 0,000   | 0,000           | 0,000       | 0,000 | 0,000      |
| Ancar         | 0,000   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 0,000   | 0,000           | 0,000       | 0,000 | 0,000      |
| Wonosari II   | 0,000   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 0,000   | 0,000           | 0,000       | 0,000 | 0,000      |
| Maesan        | 0,000   | 0,000    | 0,000      | 0,000 | 0,000   | 0,000           | 0,000       | 0,000 | 0,000      |



|              |       |        |        |       |       |       |        |        |       |
|--------------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|
| Pinangpiat   | 0,000 | 0,000  | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000  | 0,000 |
| Maskuning Wt | 0,000 | 0,000  | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000  | 0,000 |
| Tlogo        | 0,000 | 0,000  | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000  | 0,000 |
| Pakisan      | 0,000 | 0,000  | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000  | 0,000 |
| Clangap      | 0,000 | 0,000  | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000  | 0,024 |
| Tamanan      | 0,000 | 0,000  | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000  | 0,000 |
| Grujugan     | 0,000 | 0,000  | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000  | 0,000 |
| Sukokerto    | 0,000 | 0,000  | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000  | 0,000 |
| Total        | 1,736 | 29,727 | 11,801 | 0,000 | 2,747 | 0,000 | 27,982 | 14,481 | 2,062 |

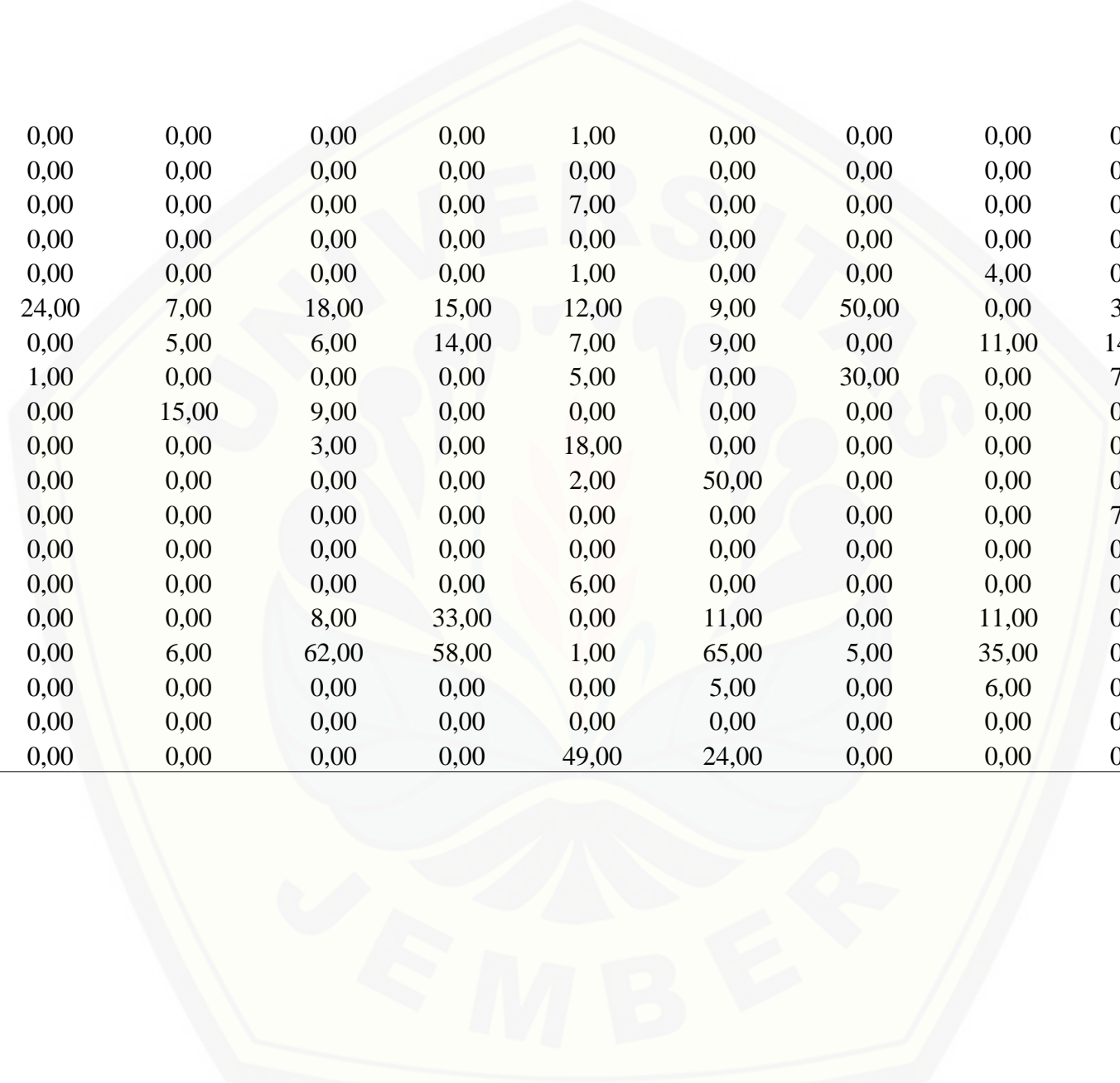
**Lampiran D. Data Hujan Harian**

| Tanggal | STASIUN |          |         |          |          |       |         |         |          |
|---------|---------|----------|---------|----------|----------|-------|---------|---------|----------|
|         | Ancar   | Blimbing | Clangap | Bluncong | Grujugan | Jeru  | Kasemek | Kejayan | Kelabang |
| 1       | 0,00    | 0,00     | 9,00    | 11,00    | 0,00     | 5,00  | 21,00   | 5,00    | 0,00     |
| 2       | 0,00    | 8,00     | 0,00    | 0,00     | 0,00     | 5,00  | 15,00   | 16,00   | 8,00     |
| 3       | 0,00    | 0,00     | 0,00    | 0,00     | 0,00     | 0,00  | 0,00    | 0,00    | 0,00     |
| 4       | 0,00    | 0,00     | 0,00    | 0,00     | 0,00     | 0,00  | 0,00    | 0,00    | 0,00     |
| 5       | 0,00    | 0,00     | 0,00    | 0,00     | 0,00     | 0,00  | 0,00    | 0,00    | 0,00     |
| 6       | 0,00    | 0,00     | 0,00    | 0,00     | 0,00     | 0,00  | 0,00    | 0,00    | 0,00     |
| 7       | 0,00    | 0,00     | 0,00    | 0,00     | 0,00     | 0,00  | 0,00    | 0,00    | 0,00     |
| 8       | 0,00    | 0,00     | 0,00    | 0,00     | 0,00     | 0,00  | 0,00    | 0,00    | 0,00     |
| 9       | 0,00    | 0,00     | 0,00    | 0,00     | 0,00     | 0,00  | 0,00    | 0,00    | 0,00     |
| 10      | 0,00    | 0,00     | 0,00    | 0,00     | 0,00     | 0,00  | 0,00    | 0,00    | 0,00     |
| 11      | 0,00    | 0,00     | 0,00    | 0,00     | 0,00     | 0,00  | 0,00    | 0,00    | 0,00     |
| 12      | 0,00    | 0,00     | 0,00    | 0,00     | 0,00     | 0,00  | 0,00    | 0,00    | 0,00     |
| 13      | 0,00    | 0,00     | 0,00    | 0,00     | 0,00     | 0,00  | 0,00    | 0,00    | 0,00     |
| 14      | 0,00    | 0,00     | 0,00    | 0,00     | 0,00     | 0,00  | 0,00    | 0,00    | 0,00     |
| 15      | 0,00    | 3,00     | 0,00    | 0,00     | 0,00     | 0,00  | 0,00    | 0,00    | 0,00     |
| 16      | 0,00    | 0,00     | 0,00    | 0,00     | 0,00     | 0,00  | 0,00    | 0,00    | 0,00     |
| 17      | 0,00    | 0,00     | 0,00    | 4,00     | 0,00     | 0,00  | 0,00    | 0,00    | 0,00     |
| 18      | 0,00    | 23,00    | 66,00   | 24,00    | 0,00     | 0,00  | 0,00    | 0,00    | 0,00     |
| 19      | 7,00    | 4,00     | 0,00    | 23,00    | 0,00     | 25,00 | 11,00   | 13,00   | 0,00     |
| 20      | 0,00    | 0,00     | 4,00    | 0,00     | 0,00     | 1,00  | 0,00    | 0,00    | 0,00     |
| 21      | 17,00   | 0,00     | 34,00   | 0,00     | 21,00    | 0,00  | 23,00   | 27,00   | 0,00     |
| 22      | 0,00    | 0,00     | 3,00    | 61,00    | 38,00    | 0,00  | 8,00    | 10,00   | 12,00    |

|    |      |       |      |       |       |       |       |       |        |
|----|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 23 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 14,00 | 1,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00   |
| 24 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00   |
| 25 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 6,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00   |
| 26 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00   |
| 27 | 0,00 | 6,00  | 1,00 | 12,00 | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 55,00  |
| 28 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 26,00 | 20,00 | 8,00  | 27,00 | 30,00 | 105,00 |
| 29 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 18,00 | 0,00  | 24,00 | 0,00  | 0,00  | 0,00   |
| 30 | 0,00 | 0,00  | 1,00 | 0,00  | 0,00  | 41,00 | 0,00  | 0,00  | 0,00   |
| 31 | 0,00 | 20,00 | 1,00 | 19,00 | 0,00  | 23,00 | 0,00  | 0,00  | 50,00  |

| Tanggal | STASIUN |           |         |       |          |           |           |            |      |
|---------|---------|-----------|---------|-------|----------|-----------|-----------|------------|------|
|         | Maesan  | Msk Wetan | Pakisan | Pait  | Dumpyong | Selolembu | Sukokerto | Sbr Gading | Taal |
| 1       | 0,00    | 19,00     | 74,00   | 18,00 | 6,00     | 0,00      | 11,00     | 18,00      | 7,00 |
| 2       | 15,00   | 1,00      | 4,00    | 7,00  | 11,00    | 9,00      | 9,00      | 9,00       | 5,00 |
| 3       | 0,00    | 0,00      | 0,00    | 0,00  | 0,00     | 0,00      | 0,00      | 8,00       | 0,00 |
| 4       | 0,00    | 0,00      | 0,00    | 0,00  | 0,00     | 0,00      | 0,00      | 0,00       | 3,00 |
| 5       | 0,00    | 0,00      | 0,00    | 0,00  | 0,00     | 0,00      | 0,00      | 0,00       | 0,00 |
| 6       | 0,00    | 0,00      | 0,00    | 0,00  | 0,00     | 0,00      | 0,00      | 0,00       | 0,00 |
| 7       | 0,00    | 0,00      | 0,00    | 0,00  | 0,00     | 0,00      | 0,00      | 0,00       | 0,00 |
| 8       | 0,00    | 0,00      | 0,00    | 0,00  | 0,00     | 0,00      | 0,00      | 0,00       | 0,00 |
| 9       | 0,00    | 0,00      | 0,00    | 0,00  | 0,00     | 0,00      | 0,00      | 0,00       | 0,00 |
| 10      | 0,00    | 0,00      | 0,00    | 0,00  | 0,00     | 0,00      | 0,00      | 0,00       | 0,00 |
| 11      | 0,00    | 0,00      | 0,00    | 0,00  | 0,00     | 0,00      | 0,00      | 0,00       | 0,00 |
| 12      | 0,00    | 0,00      | 0,00    | 0,00  | 0,00     | 0,00      | 0,00      | 0,00       | 0,00 |



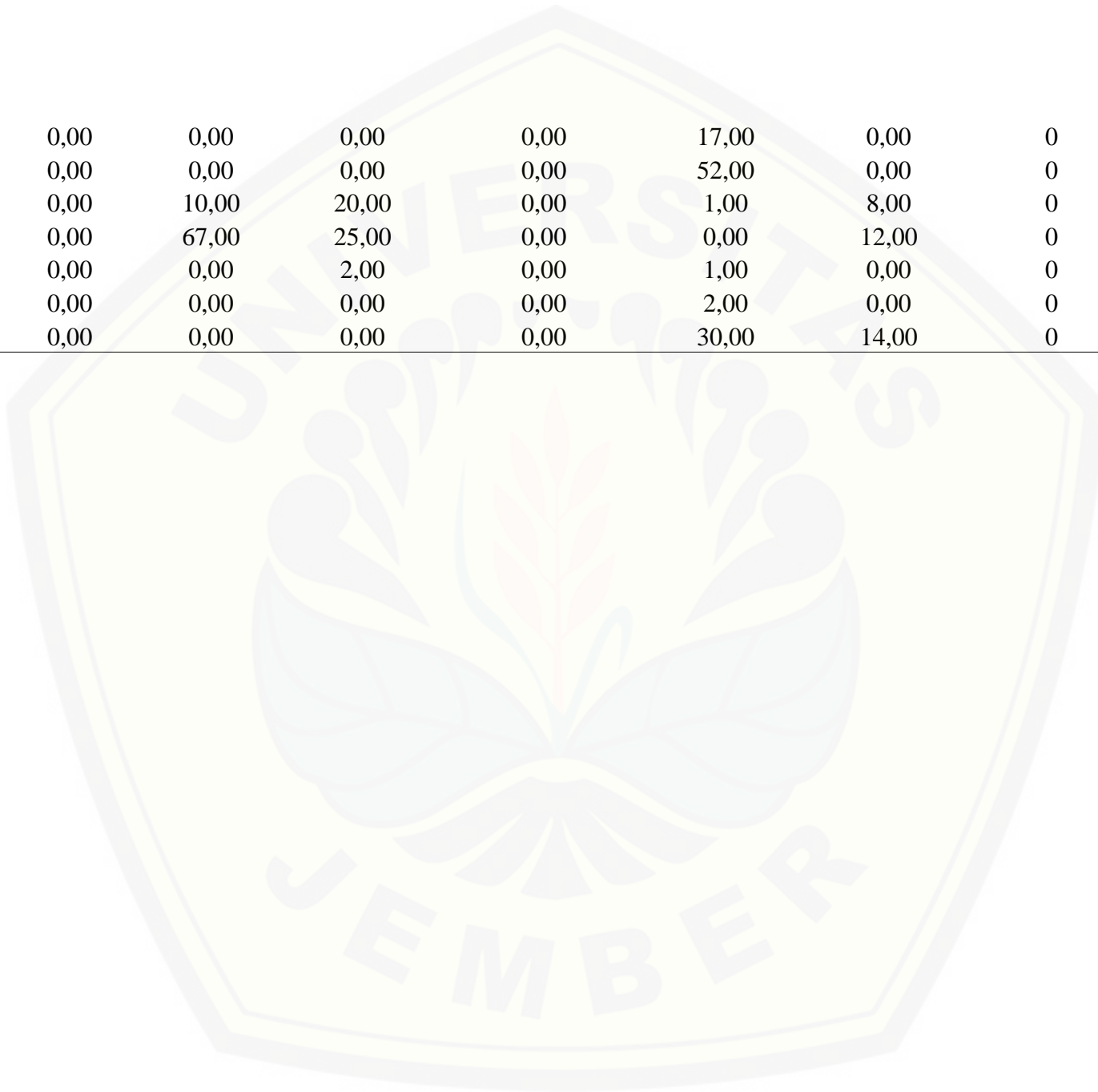


|    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 13 | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 1,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  |
| 14 | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  |
| 15 | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 7,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  |
| 16 | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  |
| 17 | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 1,00  | 0,00  | 0,00  | 4,00  | 0,00  |
| 18 | 24,00 | 7,00  | 18,00 | 15,00 | 12,00 | 9,00  | 50,00 | 0,00  | 3,00  |
| 19 | 0,00  | 5,00  | 6,00  | 14,00 | 7,00  | 9,00  | 0,00  | 11,00 | 14,00 |
| 20 | 1,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 5,00  | 0,00  | 30,00 | 0,00  | 7,00  |
| 21 | 0,00  | 15,00 | 9,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  |
| 22 | 0,00  | 0,00  | 3,00  | 0,00  | 18,00 | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  |
| 23 | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 2,00  | 50,00 | 0,00  | 0,00  | 0,00  |
| 24 | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 7,00  |
| 25 | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  |
| 26 | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 6,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  |
| 27 | 0,00  | 0,00  | 8,00  | 33,00 | 0,00  | 11,00 | 0,00  | 11,00 | 0,00  |
| 28 | 0,00  | 6,00  | 62,00 | 58,00 | 1,00  | 65,00 | 5,00  | 35,00 | 0,00  |
| 29 | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 5,00  | 0,00  | 6,00  | 0,00  |
| 30 | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  |
| 31 | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 49,00 | 24,00 | 0,00  | 0,00  | 0,00  |

---

| Tanggal | STASIUN |       |          |            |           |         |            |
|---------|---------|-------|----------|------------|-----------|---------|------------|
|         | Tamanan | Tlogo | Wonosari | Wonosari 2 | Wonosroyo | Wringin | Smbr Anyar |
| 1       | 18,00   |       | 12,00    | 0,00       | 13,00     | 4,00    | 0          |
| 2       | 14,00   | 3,00  | 14,00    | 0,00       | 0,00      | 10,00   | 0          |
| 3       | 0,00    | 0,00  | 5,00     | 22,00      | 43,00     | 0,00    | 0          |
| 4       | 0,00    | 0,00  | 0,00     | 0,00       | 3,00      | 0,00    | 0          |
| 5       | 0,00    | 0,00  | 0,00     | 0,00       | 42,00     | 0,00    | 0          |
| 6       | 0,00    | 0,00  | 0,00     | 0,00       | 20,00     | 0,00    | 0          |
| 7       | 0,00    | 0,00  | 0,00     | 0,00       | 0,00      | 0,00    | 0          |
| 8       | 0,00    | 0,00  | 0,00     | 0,00       | 12,00     | 0,00    | 0          |
| 9       | 0,00    | 0,00  | 0,00     | 0,00       | 5,00      | 0,00    | 0          |
| 10      | 0,00    | 0,00  | 0,00     | 0,00       | 0,00      | 0,00    | 0          |
| 11      | 0,00    | 0,00  | 0,00     | 0,00       | 3,00      | 0,00    | 0          |
| 12      | 0,00    | 0,00  | 0,00     | 0,00       | 0,00      | 0,00    | 0          |
| 13      | 0,00    | 0,00  | 0,00     | 0,00       | 0,00      | 0,00    | 0          |
| 14      | 0,00    | 0,00  | 0,00     | 0,00       | 6,00      | 0,00    | 0          |
| 15      | 0,00    | 0,00  | 0,00     | 0,00       | 10,00     | 19,00   | 3          |
| 16      | 0,00    | 0,00  | 0,00     | 0,00       | 17,00     | 0,00    | 0          |
| 17      | 0,00    | 0,00  | 0,00     | 0,00       | 19,00     | 3,00    | 0          |
| 18      | 48,00   | 17,00 | 0,00     | 0,00       | 1,00      | 10,00   | 0          |
| 19      | 0,00    | 13,00 | 23,00    | 6,00       | 65,00     | 6,00    | 0          |
| 20      | 0,00    | 0,00  | 0,00     | 8,00       | 0,00      | 0,00    | 0          |
| 21      | 14,00   | 6,00  | 0,00     | 0,00       | 0,00      | 0,00    | 0          |
| 22      | 8,00    | 0,00  | 6,00     | 0,00       | 0,00      | 3,00    | 0          |
| 23      | 0,00    | 0,00  | 1,00     | 0,00       | 9,00      | 0,00    | 0          |
| 24      | 0,00    | 0,00  | 0,00     | 0,00       | 44,00     | 4,00    | 5          |

|    |      |       |       |      |       |       |   |
|----|------|-------|-------|------|-------|-------|---|
| 25 | 0,00 | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 17,00 | 0,00  | 0 |
| 26 | 0,00 | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 52,00 | 0,00  | 0 |
| 27 | 0,00 | 10,00 | 20,00 | 0,00 | 1,00  | 8,00  | 0 |
| 28 | 0,00 | 67,00 | 25,00 | 0,00 | 0,00  | 12,00 | 0 |
| 29 | 0,00 | 0,00  | 2,00  | 0,00 | 1,00  | 0,00  | 0 |
| 30 | 0,00 | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 2,00  | 0,00  | 0 |
| 31 | 0,00 | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 30,00 | 14,00 | 0 |



**Lampiran F. Perhitungan NASH Kalibrasi dan Optimasi Simulasi.****F.1 Kalibrasi Outlet Tenggarang**

| Debit<br>Simulasi Qs<br>(m <sup>3</sup> /dt) | Debit<br>Observasi Qo<br>(m <sup>3</sup> /dt) | Qo - Qs | (Qo-Qs) <sup>2</sup> | (Qo-Qa) | (Qo-Qa) <sup>2</sup> |
|--|---|---------|----------------------|---------|----------------------|
| 2,7  | 2,7   | 0,000   | 0,000                | -0,583  | 0,340                |
| 2,7  | 2,7   | 0,000   | 0,000                | -0,583  | 0,340                |
| 2,7  | 2,7   | 0,000   | 0,000                | -0,583  | 0,340                |
| 2,7  | 2,7   | 0,000   | 0,000                | -0,583  | 0,340                |
| 2,7  | 2,7   | 0,000   | 0,000                | -0,583  | 0,340                |
| 2,6  | 2,7   | 0,100   | 0,010                | -0,583  | 0,340                |
| 2,6  | 2,7   | 0,100   | 0,010                | -0,583  | 0,340                |
| 2,6  | 2,7   | 0,100   | 0,010                | -0,583  | 0,340                |
| 2,6  | 2,8   | 0,200   | 0,040                | -0,483  | 0,234                |
| 2,6  | 2,7   | 0,100   | 0,010                | -0,583  | 0,340                |
| 2,8  | 2,7   | -0,100  | 0,010                | -0,583  | 0,340                |
| 3,1  | 2,8   | -0,300  | 0,090                | -0,483  | 0,234                |
| 3,3  | 2,8   | -0,500  | 0,250                | -0,483  | 0,234                |
| 3,6  | 3,2   | -0,400  | 0,160                | -0,083  | 0,007                |
| 3,9  | 3,8   | -0,100  | 0,010                | 0,517   | 0,267                |
| 4,4  | 4,5   | 0,100   | 0,010                | 1,217   | 1,480                |
| 5  | 4,9   | -0,100  | 0,010                | 1,617   | 2,614                |
| 4,4  | 4,5   | 0,100   | 0,010                | 1,217   | 1,480                |
| 3,4  | 4   | 0,600   | 0,360                | 0,717   | 0,514                |
| 3  | 3,9   | 0,900   | 0,810                | 0,617   | 0,380                |
| 2,8  | 3,8   | 1,000   | 1,000                | 0,517   | 0,267                |
| 2,6  | 3,7   | 1,100   | 1,210                | 0,417   | 0,174                |
| 2,4  | 3,6   | 1,200   | 1,440                | 0,317   | 0,100                |
| 2,3  | 3,5   | 1,200   | 1,440                | 0,217   | 0,047                |
| Rata-rata<br>Qa                              | 3,283   | Jumlah  | 6,890                |         | 11,433               |

$$\begin{aligned} \text{Nilai NASH} &= 1 - \frac{(Q_o - Q_s)^2}{(Q_o - Q_a)^2} \\ &= 1 - 6,890/11,433 = 0,397 \end{aligned}$$

**F.2 Optimasi Volume Outlet Tenggarang**

| Debit<br>Simulasi Qs<br>(m <sup>3</sup> /dt) | Debit<br>Observasi Qo<br>(m <sup>3</sup> /dt) | Qo - Qs | (Qo-Qs) <sup>2</sup> | (Qo-Qa) | (Qo-Qa) <sup>2</sup> |
|--|---|---------|----------------------|---------|----------------------|
| 2,800  | 2,700   | -0,100  | 0,010                | -0,583  | 0,340                |
| 2,800  | 2,700   | -0,100  | 0,010                | -0,583  | 0,340                |
| 2,800  | 2,700   | -0,100  | 0,010                | -0,583  | 0,340                |
| 2,800  | 2,700   | -0,100  | 0,010                | -0,583  | 0,340                |
| 2,800  | 2,700   | -0,100  | 0,010                | -0,583  | 0,340                |
| 2,800  | 2,700   | -0,100  | 0,010                | -0,583  | 0,340                |
| 2,700  | 2,700   | 0,000   | 0,000                | -0,583  | 0,340                |
| 2,700  | 2,700   | 0,000   | 0,000                | -0,583  | 0,340                |
| 2,700  | 2,800   | 0,100   | 0,010                | -0,483  | 0,234                |
| 2,800  | 2,700   | -0,100  | 0,010                | -0,583  | 0,340                |
| 2,900  | 2,700   | -0,200  | 0,040                | -0,583  | 0,340                |
| 3,200  | 2,800   | -0,400  | 0,160                | -0,483  | 0,234                |
| 3,400  | 2,800   | -0,600  | 0,360                | -0,483  | 0,234                |
| 3,700  | 3,200   | -0,500  | 0,250                | -0,083  | 0,007                |
| 4,100  | 3,800   | -0,300  | 0,090                | 0,517   | 0,267                |
| 4,700  | 4,500   | -0,200  | 0,040                | 1,217   | 1,480                |
| 5,300  | 4,900   | -0,400  | 0,160                | 1,617   | 2,614                |
| 4,700  | 4,500   | -0,200  | 0,040                | 1,217   | 1,480                |
| 3,700  | 4,000   | 0,300   | 0,090                | 0,717   | 0,514                |
| 3,300  | 3,900   | 0,600   | 0,360                | 0,617   | 0,380                |
| 3,100  | 3,800   | 0,700   | 0,490                | 0,517   | 0,267                |
| 2,900  | 3,700   | 0,800   | 0,640                | 0,417   | 0,174                |
| 2,700  | 3,600   | 0,900   | 0,810                | 0,317   | 0,100                |
| 2,600  | 3,500   | 0,900   | 0,810                | 0,217   | 0,047                |
| Rata-rata<br>Qa                              | 3,283   | Jumlah  | 4,420                |         | 11,433               |

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai NASH} &= 1 - \frac{(Q_o - Q_s)^2}{(Q_o - Q_a)^2} \\
 &= 1 - 4,420/11,433 \\
 &= 0,6134
 \end{aligned}$$

**F.3 Optimasi Debit Outlet Tenggarang**

| Debit Simulasi Qs (m3/dt) | Debit Observasi Qo (m3/dt) | Qo - Qs | (Qo-Qs) <sup>2</sup> | (Qo-Qa) | (Qo-Qa) <sup>2</sup> |
|---------------------------|----------------------------|---------|----------------------|---------|----------------------|
| 2,800                     | 2,700                      | -0,100  | 0,010                | -0,583  | 0,340                |
| 2,800                     | 2,700                      | -0,100  | 0,010                | -0,583  | 0,340                |
| 2,800                     | 2,700                      | -0,100  | 0,010                | -0,583  | 0,340                |
| 2,800                     | 2,700                      | -0,100  | 0,010                | -0,583  | 0,340                |
| 2,800                     | 2,700                      | -0,100  | 0,010                | -0,583  | 0,340                |
| 2,800                     | 2,700                      | -0,100  | 0,010                | -0,583  | 0,340                |
| 2,700                     | 2,700                      | 0,000   | 0,000                | -0,583  | 0,340                |
| 2,700                     | 2,700                      | 0,000   | 0,000                | -0,583  | 0,340                |
| 2,700                     | 2,800                      | 0,100   | 0,010                | -0,483  | 0,234                |
| 2,800                     | 2,700                      | -0,100  | 0,010                | -0,583  | 0,340                |
| 3,000                     | 2,700                      | -0,300  | 0,090                | -0,583  | 0,340                |
| 3,200                     | 2,800                      | -0,400  | 0,160                | -0,483  | 0,234                |
| 3,400                     | 2,800                      | -0,600  | 0,360                | -0,483  | 0,234                |
| 3,800                     | 3,200                      | -0,600  | 0,360                | -0,083  | 0,007                |
| 4,200                     | 3,800                      | -0,400  | 0,160                | 0,517   | 0,267                |
| 4,800                     | 4,500                      | -0,300  | 0,090                | 1,217   | 1,480                |
| 4,900                     | 4,900                      | 0,000   | 0,000                | 1,617   | 2,614                |
| 4,400                     | 4,500                      | 0,100   | 0,010                | 1,217   | 1,480                |
| 3,800                     | 4,000                      | 0,200   | 0,040                | 0,717   | 0,514                |
| 3,400                     | 3,900                      | 0,500   | 0,250                | 0,617   | 0,380                |
| 3,100                     | 3,800                      | 0,700   | 0,490                | 0,517   | 0,267                |
| 2,900                     | 3,700                      | 0,800   | 0,640                | 0,417   | 0,174                |
| 2,800                     | 3,600                      | 0,800   | 0,640                | 0,317   | 0,100                |
| 2,700                     | 3,500                      | 0,800   | 0,640                | 0,217   | 0,047                |
| Rata-rata Qa              | 3,28333                    | Jumlah  | 4,01                 |         | 11,4333              |

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai NASH} &= 1 - \frac{(Q_o - Q_s)^2}{(Q_o - Q_a)^2} \\
 &= 1 - 4,01/11,4333 \\
 &= 0,6493
 \end{aligned}$$

**F.4 Kalibrasi Outlet Kloposawit**

| Debit<br>Simulasi Qs<br>(m <sup>3</sup> /dt) | Debit<br>Observasi Qo<br>(m <sup>3</sup> /dt) | Qo - Qs | (Qo-Qs) <sup>2</sup> | (Qo-Qa) | (Qo-Qa) <sup>2</sup> |
|--|---|---------|----------------------|---------|----------------------|
| 9,900  | 9,800   | -0,100  | 0,010                | 6,517   | 42,467               |
| 9,900  | 9,800   | -0,100  | 0,010                | 6,517   | 42,467               |
| 9,900  | 9,800   | -0,100  | 0,010                | 6,517   | 42,467               |
| 9,800  | 9,800   | 0,000   | 0,000                | 6,517   | 42,467               |
| 9,800  | 9,800   | 0,000   | 0,000                | 6,517   | 42,467               |
| 9,700  | 9,800   | 0,100   | 0,010                | 6,517   | 42,467               |
| 9,600  | 9,800   | 0,200   | 0,040                | 6,517   | 42,467               |
| 9,600  | 10,000  | 0,400   | 0,160                | 6,717   | 45,114               |
| 9,500  | 10,300  | 0,800   | 0,640                | 7,017   | 49,234               |
| 9,500  | 10,000  | 0,500   | 0,250                | 6,717   | 45,114               |
| 9,500  | 10,000  | 0,500   | 0,250                | 6,717   | 45,114               |
| 10,200                                       | 10,000  | -0,200  | 0,040                | 6,717   | 45,114               |
| 12,200                                       | 10,300  | -1,900  | 3,610                | 7,017   | 49,234               |
| 16,000                                       | 10,900  | -5,100  | 26,010               | 7,617   | 58,014               |
| 20,700                                       | 16,500  | -4,200  | 17,640               | 13,217  | 174,680              |
| 24,000                                       | 21,400  | -2,600  | 6,760                | 18,117  | 328,214              |
| 23,700                                       | 25,300  | 1,600   | 2,560                | 22,017  | 484,734              |
| 20,900                                       | 23,000  | 2,100   | 4,410                | 19,717  | 388,747              |
| 18,500                                       | 20,700  | 2,200   | 4,840                | 17,417  | 303,340              |
| 17,900                                       | 17,800  | -0,100  | 0,010                | 14,517  | 210,734              |
| 17,700                                       | 17,100  | -0,600  | 0,360                | 13,817  | 190,900              |
| 17,200                                       | 16,100  | -1,100  | 1,210                | 12,817  | 164,267              |
| 16,500                                       | 15,800  | -0,700  | 0,490                | 12,517  | 156,667              |
| 16,000                                       | 15,100  | -0,900  | 0,810                | 11,817  | 139,634              |
| Rata-rata<br>Qa                              | 11,959  | Jumlah  | 58,000               |         | 1621,831             |

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai NASH} &= 1 - \frac{(Q_o - Q_s)^2}{(Q_o - Q_a)^2} \\
 &= 1 - 58,000/1621,831 \\
 &= 0,9642
 \end{aligned}$$

**F.5 Optimasi Outlet Kloposawit**

| Debit<br>Simulasi Qs<br>(m <sup>3</sup> /dt) | Debit<br>Observasi Qo<br>(m <sup>3</sup> /dt) | Qo - Qs | (Qo-Qs) <sup>2</sup> | (Qo-Qa) | (Qo-Qa) <sup>2</sup> |
|--|---|---------|----------------------|---------|----------------------|
| 11,400                                       | 9,800   | -1,600  | 2,560                | 6,517   | 42,467               |
| 11,400                                       | 9,800   | -1,600  | 2,560                | 6,517   | 42,467               |
| 11,300                                       | 9,800   | -1,500  | 2,250                | 6,517   | 42,467               |
| 11,300                                       | 9,800   | -1,500  | 2,250                | 6,517   | 42,467               |
| 11,200                                       | 9,800   | -1,400  | 1,960                | 6,517   | 42,467               |
| 11,100                                       | 9,800   | -1,300  | 1,690                | 6,517   | 42,467               |
| 11,100                                       | 9,800   | -1,300  | 1,690                | 6,517   | 42,467               |
| 11,000                                       | 10,000  | -1,000  | 1,000                | 6,717   | 45,114               |
| 10,900                                       | 10,300  | -0,600  | 0,360                | 7,017   | 49,234               |
| 10,900                                       | 10,000  | -0,900  | 0,810                | 6,717   | 45,114               |
| 10,900                                       | 10,000  | -0,900  | 0,810                | 6,717   | 45,114               |
| 11,600                                       | 10,000  | -1,600  | 2,560                | 6,717   | 45,114               |
| 13,600                                       | 10,300  | -3,300  | 10,890               | 7,017   | 49,234               |
| 17,400                                       | 10,900  | -6,500  | 42,250               | 7,617   | 58,014               |
| 22,100                                       | 16,500  | -5,600  | 31,360               | 13,217  | 174,680              |
| 25,300                                       | 21,400  | -3,900  | 15,210               | 18,117  | 328,214              |
| 25,100                                       | 25,300  | 0,200   | 0,040                | 22,017  | 484,734              |
| 22,300                                       | 23,000  | 0,700   | 0,490                | 19,717  | 388,747              |
| 19,900                                       | 20,700  | 0,800   | 0,640                | 17,417  | 303,340              |
| 19,200                                       | 17,800  | -1,400  | 1,960                | 14,517  | 210,734              |
| 19,000                                       | 17,100  | -1,900  | 3,610                | 13,817  | 190,900              |
| 18,600                                       | 16,100  | -2,500  | 6,250                | 12,817  | 164,267              |
| 18,000                                       | 15,800  | -2,200  | 4,840                | 12,517  | 156,667              |
| 17,500                                       | 15,100  | -2,400  | 5,760                | 11,817  | 139,634              |
| Rata-rata<br>Qa                              | 11,959  | Jumlah  | 120,250              |         | 1621,831             |

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai NASH} &= 1 - \frac{(Q_o - Q_s)^2}{(Q_o - Q_a)^2} \\
 &= 1 - 58,000/1621,831 \\
 &= 0,9259
 \end{aligned}$$



## Lampiran G. Nilai Parameter Setelah Optimasi Model

| SubDAS       | Recession |                    |            | SCS    |        |       | Clark |       | Canopy  |         | Surface |         | Lag      |
|--------------|-----------|--------------------|------------|--------|--------|-------|-------|-------|---------|---------|---------|---------|----------|
|              | Initial   | Recession Constant | Ratio Peak | Ia     | CN     | Imp   | Tc    | R     | Initial | Storage | Initial | Storage | Lag Time |
| Clangap      | 0,247     | 0,700              | 0,800      | 21,268 | 70,489 | 0,168 | 1,019 | 0,256 | 0,210   | 2,800   | 0,731   | 0,930   | 1,516    |
| Sampean Hulu | 0,242     | 0,700              | 0,800      | 19,833 | 71,921 | 0,149 | 0,676 | 0,174 | 0,000   | 2,800   | 0,000   | 0,930   | 0,876    |
| Glunggung    | 0,242     | 0,700              | 0,800      | 19,425 | 72,339 | 0,235 | 0,417 | 0,098 | 0,008   | 2,800   | 0,037   | 0,930   | 0,461    |
| Garu         | 0,242     | 0,700              | 0,800      | 16,890 | 75,048 | 0,111 | 0,187 | 0,363 | 0,000   | 2,800   | 0,354   | 0,930   | 0,410    |
| Selokambang  | 0,242     | 0,707              | 0,800      | 19,356 | 72,410 | 0,262 | 0,113 | 0,115 | 0,000   | 2,800   | 0,000   | 0,930   | 0,152    |
| Arpiah       | 0,371     | 0,700              | 0,800      | 22,145 | 69,641 | 0,171 | 0,659 | 0,304 | 0,631   | 2,800   | 0,395   | 0,930   | 1,242    |
| Pakistan     | 0,248     | 0,700              | 0,800      | 22,545 | 69,262 | 0,231 | 0,566 | 0,116 | 0,000   | 2,800   | 0,000   | 0,930   | 0,723    |
| Gubri        | 0,242     | 0,710              | 0,800      | 18,615 | 73,183 | 0,230 | 0,711 | 0,496 | 0,002   | 2,800   | 0,019   | 0,930   | 1,312    |
| Balud        | 0,248     | 0,707              | 0,800      | 16,863 | 75,078 | 0,136 | 0,284 | 0,400 | 0,000   | 2,800   | 0,985   | 0,930   | 0,446    |
| Tenggarang   | 0,242     | 0,700              | 0,800      | 17,445 | 74,438 | 0,272 | 0,662 | 0,593 | 0,000   | 2,800   | 0,000   | 0,930   | 1,342    |
| Pakel        | 0,242     | 0,710              | 0,800      | 18,416 | 73,393 | 0,074 | 0,974 | 0,640 | 0,000   | 2,800   | 0,001   | 0,930   | 1,341    |
| Kemuning     | 1,800     | 0,804              | 1,000      | 18,607 | 73,192 | 0,053 | 0,278 | 0,084 | 0,000   | 0,100   | 6,942   | 0,050   | 0,305    |
| Kapuran      | 1,800     | 0,804              | 1,000      | 22,502 | 69,302 | 0,155 | 0,903 | 0,164 | 0,000   | 0,100   | 0,005   | 0,050   | 1,193    |
| Gayam        | 1,206     | 0,804              | 1,000      | 22,519 | 69,286 | 0,169 | 0,360 | 0,122 | 0,070   | 0,100   | 0,178   | 0,050   | 0,530    |
| Gilir        | 1,380     | 0,798              | 1,000      | 23,032 | 68,805 | 0,042 | 0,129 | 0,106 | 0,008   | 0,100   | 0,011   | 0,050   | 0,240    |
| Kloposawit   | 1,200     | 0,800              | 1,000      | 18,164 | 73,661 | 0,113 | 0,194 | 0,090 | 0,000   | 0,100   | 0,001   | 0,050   | 0,236    |
| Kacung       | 1,200     | 0,700              | 1,000      | 16,903 | 75,033 | 0,114 | 0,237 | 0,173 | 0,004   | 0,100   | 0,010   | 0,050   | 0,346    |

## Lampiran H. Debit Hasil Simulasi Hujan-Aliran Rencana

| Jam | Arpi<br>ah | Ba-<br>lud | Clan<br>gap | Garu | Ga-<br>yam | Gi-<br>lir | Glung<br>gung | Gub<br>ri | Kacu<br>ng | Kapu<br>ran | Kemu<br>ning | Klopo<br>sawit | Pakel | Paki<br>san | Sam<br>pean | Selok<br>abang | Tengg<br>arang |
|-----|------------|------------|-------------|------|------------|------------|---------------|-----------|------------|-------------|--------------|----------------|-------|-------------|-------------|----------------|----------------|
| 1   | 11,4       | 11,4       | 11,4        | 11,4 | 11,4       | 11,4       | 11,4          | 11,4      | 11,4       | 11,4        | 11,4         | 11,4           | 11,4  | 11,4        | 11,4        | 11,4           | 11,4           |
| 2   | 11,4       | 11,4       | 11,4        | 11,4 | 11,4       | 11,4       | 11,4          | 11,4      | 11,4       | 11,4        | 11,4         | 11,4           | 11,4  | 11,4        | 11,4        | 11,4           | 11,4           |
| 3   | 11,3       | 11,3       | 11,3        | 11,3 | 11,4       | 11,3       | 11,3          | 11,3      | 11,4       | 11,4        | 11,3         | 11,4           | 11,3  | 11,3        | 11,3        | 11,3           | 11,3           |
| 4   | 11,3       | 11,3       | 11,3        | 11,3 | 11,4       | 11,3       | 11,3          | 11,3      | 11,4       | 11,3        | 11,3         | 11,3           | 11,3  | 11,3        | 11,3        | 11,3           | 11,3           |
| 5   | 11,2       | 11,2       | 11,2        | 11,2 | 11,4       | 11,2       | 11,2          | 11,2      | 12,6       | 11,3        | 11,2         | 12,2           | 11,2  | 11,2        | 11,2        | 11,2           | 11,2           |
| 6   | 11,1       | 11,1       | 11,1        | 11,1 | 12         | 11,5       | 11,1          | 11,1      | 16,7       | 11,6        | 11,4         | 15,8           | 11,1  | 11,1        | 11,1        | 11,1           | 11,2           |
| 7   | 11         | 11         | 11          | 11   | 15,1       | 12,9       | 11            | 11,1      | 22         | 13,5        | 12,2         | 21,3           | 11    | 11,1        | 11          | 11             | 11,2           |
| 8   | 10,9       | 11         | 10,9        | 10,9 | 22,2       | 15,2       | 10,9          | 11,1      | 24,9       | 18,9        | 14,5         | 24,6           | 10,9  | 11,2        | 10,9        | 11             | 11,1           |
| 9   | 10,9       | 10,9       | 10,8        | 10,8 | 29,5       | 16,4       | 10,8          | 11,2      | 24,6       | 27,1        | 18,2         | 24,3           | 10,8  | 11,2        | 10,8        | 11             | 11,1           |
| 10  | 10,8       | 10,8       | 10,7        | 10,7 | 32,4       | 16,4       | 10,7          | 11,2      | 24,7       | 33,4        | 21,7         | 24,5           | 10,7  | 11,3        | 10,7        | 11             | 11             |
| 11  | 10,7       | 10,7       | 10,7        | 10,6 | 33,2       | 16,8       | 10,7          | 11,1      | 25,3       | 35,7        | 23,6         | 25,4           | 10,6  | 11,2        | 10,6        | 11,1           | 10,9           |
| 12  | 10,6       | 10,6       | 10,6        | 10,5 | 35,3       | 17,5       | 10,6          | 11        | 25,9       | 37,1        | 24,1         | 26,1           | 10,5  | 11,1        | 10,6        | 11,1           | 10,7           |
| 13  | 10,5       | 10,4       | 10,5        | 10,4 | 37,8       | 18         | 10,5          | 10,9      | 26,3       | 39,7        | 24,6         | 26,7           | 10,4  | 11          | 10,5        | 11,1           | 10,6           |
| 14  | 10,4       | 10,4       | 10,5        | 10,3 | 39,8       | 18,4       | 10,4          | 10,8      | 26,4       | 42,4        | 25,3         | 26,9           | 10,3  | 10,8        | 10,5        | 11             | 10,6           |
| 15  | 10,3       | 10,5       | 10,4        | 10,2 | 41         | 18,5       | 10,3          | 10,6      | 26,1       | 44,3        | 25,9         | 26,6           | 10,2  | 10,7        | 10,4        | 10,8           | 10,9           |
| 16  | 10,2       | 11,1       | 10,4        | 10,1 | 41,2       | 18,3       | 10,2          | 10,5      | 25,9       | 45,2        | 26,3         | 26,5           | 10,3  | 10,6        | 10,3        | 10,7           | 12,3           |
| 17  | 10         | 12,5       | 10,2        | 10   | 41,3       | 18,4       | 10,1          | 10,7      | 26         | 45,4        | 26,4         | 26,7           | 10,6  | 10,4        | 10,2        | 10,5           | 15,3           |
| 18  | 9,9        | 14,9       | 10,1        | 10   | 41,9       | 18,6       | 10            | 11,6      | 26,1       | 45,7        | 26,3         | 26,9           | 11,6  | 10,3        | 10,1        | 10,4           | 19,5           |
| 19  | 9,8        | 17,5       | 10          | 10,1 | 42,7       | 18,7       | 9,9           | 14,1      | 26         | 46,5        | 26,4         | 26,8           | 13,3  | 10,2        | 9,9         | 10,5           | 24,3           |
| 20  | 9,7        | 19,8       | 9,9         | 10,5 | 43,1       | 18,6       | 9,8           | 19,6      | 25,6       | 47,2        | 26,5         | 26,6           | 15,6  | 10,1        | 9,8         | 10,9           | 28,6           |
| 21  | 9,6        | 21,5       | 9,8         | 11,2 | 43         | 18,4       | 9,7           | 28,8      | 25,4       | 47,5        | 26,5         | 26,4           | 18,1  | 10          | 9,7         | 12,7           | 32,2           |
| 22  | 9,5        | 22,8       | 9,7         | 12,1 | 42,8       | 18,4       | 9,9           | 40,4      | 25,2       | 47,3        | 26,4         | 26,3           | 19,8  | 9,9         | 9,8         | 16,8           | 34,4           |
| 23  | 9,5        | 23,5       | 9,6         | 13,1 | 42,7       | 18,2       | 10,4          | 51,6      | 24,9       | 47,1        | 26,2         | 26             | 20,5  | 10          | 10,1        | 24,5           | 34,9           |
| 24  | 9,7        | 23,4       | 9,7         | 13,9 | 42,5       | 18,1       | 11,7          | 59,3      | 24,6       | 47          | 26,1         | 25,8           | 20,3  | 10,5        | 11,3        | 35,2           | 33,9           |
| 25  | 10,3       | 22,7       | 10,1        | 14,5 | 42,2       | 18         | 13,8          | 62,4      | 24,4       | 46,7        | 25,9         | 25,7           | 19,8  | 12          | 13,7        | 46,7           | 32,7           |

|    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 26 | 11,2 | 22,1 | 11,3 | 14,9 | 41,6 | 17,6 | 16,5 | 62,1 | 23,1 | 46,3 | 25,7 | 24,4 | 19,3 | 14,7 | 17,9 | 55,9 | 31,8 |
| 27 | 12,6 | 21,6 | 13,4 | 15   | 39,8 | 16,7 | 19,3 | 60,5 | 21,3 | 45,1 | 25,3 | 22,6 | 18,9 | 18   | 23,5 | 60,8 | 31,3 |
| 28 | 13,9 | 21,3 | 16,6 | 14,9 | 37   | 15,9 | 21,4 | 59   | 21   | 42,5 | 24,5 | 22,4 | 18,6 | 21   | 29,5 | 62,1 | 30,9 |
| 29 | 14,9 | 20,7 | 20,5 | 14,7 | 35,4 | 15,8 | 22,5 | 57,6 | 20,7 | 39,9 | 23,4 | 22,2 | 18,4 | 22,6 | 34,6 | 61,2 | 30,5 |
| 30 | 15,2 | 19,9 | 24,3 | 14,4 | 35   | 15,6 | 22,8 | 55,4 | 20,5 | 38,7 | 22,5 | 21,9 | 18,2 | 22,7 | 37,7 | 59,6 | 30,1 |
| 31 | 14,9 | 18,5 | 27,4 | 14,1 | 34,7 | 15,5 | 22,6 | 51,7 | 20,2 | 38,4 | 22   | 21,7 | 18   | 21,3 | 38,9 | 57,4 | 29,5 |
| 32 | 14,1 | 17,2 | 29,3 | 13,8 | 34,4 | 15,3 | 22   | 46,7 | 19,9 | 38   | 21,8 | 21,5 | 17,7 | 18,5 | 38,7 | 54,3 | 28,9 |
| 33 | 12,8 | 16,4 | 29,9 | 13,4 | 34,1 | 15,2 | 21,3 | 41,8 | 19,7 | 37,6 | 21,6 | 21,3 | 17,5 | 15,7 | 37,6 | 49,8 | 28,4 |
| 34 | 11,7 | 15,9 | 29,3 | 12,9 | 33,7 | 15   | 20,3 | 38,6 | 19,4 | 37,3 | 21,4 | 21,1 | 17,3 | 13,9 | 35,8 | 44,6 | 28   |
| 35 | 10,9 | 15,7 | 27,6 | 12,4 | 33,4 | 14,8 | 19   | 37,1 | 19,1 | 36,9 | 21,2 | 20,9 | 17,1 | 13,2 | 33,3 | 39,9 | 27,6 |
| 36 | 10,6 | 15,5 | 25,1 | 11,9 | 33,1 | 14,7 | 17,6 | 36,3 | 18,9 | 36,6 | 21   | 20,7 | 16,8 | 12,9 | 30,4 | 36,8 | 27,3 |
| 37 | 10,4 | 15,3 | 22,4 | 11,5 | 32,8 | 14,5 | 16,4 | 35,8 | 18,6 | 36,2 | 20,8 | 20,5 | 16,6 | 12,7 | 27,3 | 35,2 | 26,9 |
| 38 | 10,2 | 15,1 | 20,2 | 11,3 | 32,5 | 14,4 | 15,6 | 35,3 | 18,4 | 35,9 | 20,6 | 20,3 | 16,4 | 12,5 | 24,8 | 34,4 | 26,5 |
| 39 | 10,1 | 14,9 | 18,6 | 11,1 | 32,2 | 14,2 | 15,1 | 34,8 | 18,2 | 35,6 | 20,4 | 20,1 | 16,2 | 12,4 | 23,1 | 33,8 | 26,2 |
| 40 | 10   | 14,7 | 17,8 | 11   | 31,9 | 14,1 | 14,8 | 34,4 | 17,9 | 35,2 | 20,2 | 19,9 | 16   | 12,2 | 22,1 | 33,4 | 25,8 |
| 41 | 9,9  | 14,5 | 17,3 | 10,8 | 31,6 | 14   | 14,5 | 33,9 | 17,7 | 34,9 | 20   | 19,7 | 15,8 | 12,1 | 21,6 | 32,9 | 25,4 |
| 42 | 9,8  | 14,4 | 17   | 10,7 | 31,3 | 13,8 | 14,3 | 33,5 | 17,5 | 34,6 | 19,8 | 19,5 | 15,6 | 11,9 | 21,2 | 32,5 | 25,1 |
| 43 | 9,6  | 14,2 | 16,7 | 10,6 | 31   | 13,7 | 14,2 | 33   | 17,2 | 34,2 | 19,6 | 19,3 | 15,4 | 11,8 | 20,9 | 32   | 24,8 |
| 44 | 9,5  | 14   | 16,5 | 10,5 | 30,7 | 13,5 | 14   | 32,6 | 17   | 33,9 | 19,4 | 19,1 | 15,2 | 11,6 | 20,6 | 31,6 | 24,4 |
| 45 | 9,4  | 13,8 | 16,3 | 10,3 | 30,4 | 13,4 | 13,8 | 32,1 | 16,8 | 33,6 | 19,2 | 18,9 | 15   | 11,5 | 20,3 | 31,2 | 24,1 |
| 46 | 9,3  | 13,7 | 16,1 | 10,2 | 30,1 | 13,3 | 13,6 | 31,7 | 16,6 | 33,3 | 19   | 18,7 | 14,8 | 11,3 | 20   | 30,7 | 23,8 |
| 47 | 9,2  | 13,5 | 15,9 | 10,1 | 29,8 | 13,1 | 13,5 | 31,3 | 16,3 | 33   | 18,8 | 18,5 | 14,7 | 11,2 | 19,8 | 30,3 | 23,4 |
| 48 | 9,1  | 13,3 | 15,7 | 10   | 29,5 | 13   | 13,3 | 30,9 | 16,1 | 32,7 | 18,7 | 18,3 | 14,5 | 11,1 | 19,5 | 29,9 | 23,1 |