**VARIASI SPASIAL DAN TEMPORAL SIFAT ALIRAN, PERILAKU
BANJIR, DAN RESPONS DEBIT TERHADAP HUJAN
DI SISTEM DRAINASE KARST PINDUL,
KABUPATEN GUNUNGKIDUL**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi syarat
memperoleh gelar kesarjanaan S1 pada
Fakultas Geografi UGM

Oleh:

Afid Nurkholis
NIM. 13/348596/GE/07606

**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS GADJAH MADA
FAKULTAS GEOGRAFI
DEPARTEMEN GEOGRAFI LINGKINGAN
YOGYAKARTA
2017**

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi dengan judul

**VARIASI SPASIAL DAN TEMPORAL SIFAT ALIRAN, PERILAKU BANJIR, DAN
RESPONS DEBIT TERHADAP HUJAN DI SISTEM DRAINASE KARST PINDUL,
KABUPATEN GUNUNGKIDUL**

Disusun oleh:
Afid Nurkholis
13/348596/GE/07606

diuji pada hari dan tanggal,
Selasa, 17 Oktober 2017

dinyatakan lulus pada hari dan tanggal,
Selasa, 17 Oktober 2017

Oleh tim penguji skripsi,

Ketua/Pembimbing Utama :	Dr. Tjahyo Nugroho Adji, M.Sc. Tech.
Anggota Penguji I :	Dr. Eko Haryono, M. Si.
Anggota Penguji II :	Dr. Taufik Hery Purwanto, M.Si.

Yogyakarta, Oktober 2017

Dekan,

Prof. Dr. Muh Aris Marfai, M. Sc.

SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS PENELITIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa : Afid Nurkholis
No. mahasiswa : 13/348596/GE/07606
Program studi : Geografi Lingkungan
Tempat, tanggal lahir : Bantul, 29 Mei 1993
Alamat rumah : Nyutran MG II 1509 Yogyakarta
Telepon : 082136271248

Dengan ini, saya menyatakan bahwa skripsi yang berjudul **Variasi Spasial dan Temporal Sifat Aliran, Perilaku Banjir, dan Respons Debit Terhadap Hujan di Sistem Drainase Karst Pindul, Kabupaten Gunungkidul** adalah benar-benar karya asli (orisinil) yang dibuat oleh saya sendiri dan belum pernah dipublikasikan di media apapun.

Demikian surat pernyataan ini dibuat, agar dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Yogyakarta, 24 Oktober 2017

Afid Nurkholis

**VARIASI SPASIAL DAN TEMPORAL SIFAT ALIRAN, PERILAKU
BANJIR, DAN RESPONS DEBIT TERHADAP HUJAN
DI SISTEM DRAINASE KARST PINDUL,
KABUPATEN GUNUNGKIDUL**

Intisari

Sebagai bentanglahan karst, Sistem Pindul memiliki keunikan berupa adanya zona dengan dominasi sungai bawah tanah dan sungai permukaan. Aktivitas manusia berupa wisata gua, pemukiman, dan pertanian juga telah intensif memanfaatkan sumberdaya air di wilayah ini. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini akan melakukan karakterisasi Sistem Drainase Karst Pindul. Tujuan dari penelitian ini adalah: (1) menemukan variasi spasial dan temporal dari pelepasan komponen aliran dan prosentase aliran dasar (PAD); (2) menemukan perilaku banjir; (3) menemukan perilaku Sistem Drainase Karst Pindul dalam merespons hujan.

Data yang digunakan adalah debit aliran dan hujan yang diukur pada interval 15 menit di Gua Pindul (*outlet* sistem karst) dan *Sinking Stream* Kedungbuntung. Kedua data diukur selama 6 bulan (Januari-Juni). Data hujan dicatat menggunakan alat *logger* hujan yang dipasang pada tengah sistem karst. Data tinggi muka air (TMA) dicatat menggunakan tiga alat *logger* muka air yang dipasang di kedua lokasi (masing-masing satu buah) dan sebagai *logger* kalibrasi (satu buah). Perhitungan konstanta resesi dilakukan untuk menganalisis pelepasan komponen aliran. Pemisahan aliran dasar dilakukan untuk menghitung PAD. Kedua analisis mencerminkan sifat aliran Sistem Drainase Karst Pindul. Perilaku banjir dianalisis menggunakan perhitungan hujan efektif dan analisis komponen hidrogaf banjir. *Time series analysis* digunakan untuk menemukan respons sistem karst terhadap hujan.

Hasil penelitian menunjukkan Sistem Drainase Karst Pindul memiliki sifat aliran yang bersifat campuran (*mixed*). Sistem karst memiliki pelepasan aliran *conduit* dan perilaku banjir yang cepat cepat ($K_c < 0,5$ dan $T_p = 2,7$ jam), namun masih mampu menyimpan airtanah dengan baik ($K_b > 0,98$ dan $T_b = 14$ jam). Secara spasial, Gua Pindul memiliki pelepasan komponen aliran *conduit* dan *fissure* yang identik dengan Kedungbuntung karena Gua Pindul merupakan outlet dari sungai bawah tanah dan Kedungbuntung adalah sungai permukaan. Sementara itu, Gua Pindul melepaskan komponen aliran *diffuse* yang lebih cepat dibandingkan Kedungbuntung. Hal ini disebabkan karena Gua Pindul diimbuh oleh sistem sungai bawah tanah sedangkan Kedungbuntung diimbuh oleh akuifer dengan dominasi *diffuse*. Secara temporal, Sistem Drainase Karst Pindul memiliki perilaku banjir yang lebih besar pada akhir musim penghujan. Hal ini disebabkan karena sistem karst telah jenuh.

Kata Kunci: perilaku banjir, respons sistem karst, sifat aliran, Sistem Karst Pindul

**SPATIAL AND TEMPORAL VARIATION OF FLOW PROPERTIES,
FLOOD CHARACTERISTICS, AND RAINFALL-RUNOFF
RELATIONSHIP IN PINDUL KARST DRAINAGE SYSTEM,
GUNUNGKIDUL REGENCY**

Abstract

As a karst landscape, Pindul System has unique characteristics. There are zones with dominating surface rivers and with dominance of underground rivers. Human activities in the form of cave tourism, settlements, and agriculture have been intensively using this water resources. Hence, this research will characterize Pindul Karst Drainage System. The objectives of this research are: (1) Identify the karst flow properties; (2) Identify flood characteristics of the karst system; (3) Identify the transformations of the input signal (rainfall) and output signal (discharge);

Water level logger is installed in Pindul Cave and Kedungbuntung Sinking Stream to get the discharge data every 15 minutes. Rainfall data obtained by installing rain gauge on the middle of karst drainage system. Both data were collected for six months (January-June 2017). Calculations of recession constant and baseflow separation are undertaken for define flow properties. Flood characteristics are obtained by flood hydrograph analysis and effective rainfall calculations. Time series analysis was applied in order to identify rainfall-runoff relationships.

The results showed that Pindul Karst Drainage System has mixed karst flow components. The karst system has shortest time of conduit flow and time to peak ($K_c < 0.5$; duration of conduit < 30 minutes; $T_p = 2.7$ hours), but still good capability to store groundwater ($K_b > 0.98$ and $T_b = 14$ hours). Spatially, Pindul Cave and Kedungbuntung have identical release of conduit and fissure flow. Pindul Cave is an outlet of underground river while Kedungbuntung is a surface river. Meanwhile, Pindul Cave releases diffuse flow components faster than Kedungbuntung. That is because the Pindul Cave is recharged by underground river system while Kedungbuntung is recharged by aquifer with diffuse dominance cracks. Temporally, Pindul Karst Drainage System has greater flooding characteristics at the end of rainy season. That is because the karst system has been saturated.

Keywords: *flood characteristics, flow properties, Pindul Karst System, rainfall-runoff relationship*

KATA PENGANTAR

Penelitian ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar kesarjanaan di Departemen Geografi Lingkungan, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada. Selain itu, penelitian ini juga merupakan bagian dari Hibah Penelitian Unggul Perguruan Tinggi (PUPT) Dikti tahun 2016 yang berjudul “Karakterisasi Hidrologi dan Banjir di Sungai Bawah Tanah Gua Pindul untuk Mendukung Pengelolaan Pariwisata Berkelanjutan Berbasis Manajemen Kebencanaan”. Sistem Drainase Karst Gua Pindul merupakan obyek utama dalam penelitian ini. Lokasi tersebut pada saat ini terkenal dengan wisata alam yang berupa susur gua. Selain dimanfaatkan untuk kegiatan pariwisata, sumberdaya air pada sistem karst ini banyak digunakan untuk kepentingan pertanian dan rumah tangga. Oleh karena itu, penelitian ini berusaha untuk mengungkap perilaku/karakteristik dari sistem drainase karst dalam kaitannya dengan sumber daya air.

Penulis memohon kritik dan saran apabila dalam penelitian ini terdapat hal-hal yang perlu diperbaiki. Penelitian ini dapat diselesaikan dengan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Ibu Safrotun, Bpk. Dwi Riyanto, adik saya Ela Bahar, dan simbah Waljiyah yang selalu memberi suasana nyaman di rumah dan memberikan banyak doa dan bantuan.
2. Dr. Tjahyo Nugroho Adji, M.Sc.Tech. selaku dosen pembimbing skripsi yang selalu memberikan dukungan dan bimbingan selama penelitian ini.
3. Dr. Eko Haryono, M.Si. selaku dosen penguji skripsi dan pembina *Karst Research Group* FGE UGM yang banyak memberikan pengetahuan dalam diskusi dan kegiatan lapangan.
4. Dr. rer. nat. Muhammad Anggri Setiawan, M.Si. dan Nugroho Christanto, M.Si. yang telah memberi pengetahuan baru mengenai hidrologi dan geomorfologi.

5. Ahmad Cahyadi, M.Sc. yang telah mengizinkan penulis untuk bergabung dalam penelitian hibah PUPT tahun 2016 dan memberikan banyak saran dan bantuan dalam penelitian ini.
6. Prof. Dr. rer. nat. Muh. Aris Marfai, M.Sc. selaku dosen pembimbing akademik dan Dr. Emilya Nurjani, M.Si. selaku sekretaris departemen yang banyak memberikan motivasi selama kuliah.
7. Dr. Slamet Suprayogi, M.S. selaku ketua tim hibah PUPT tahun 2016 yang telah mengizinkan penulis untuk terlibat dalam hibah tersebut.
8. Para senior di *Karst Research Group* FGE UGM (Romza Fauzan Agniy, S.Si., Hendy Fatchurohman, S.Si., Igor Bahtiar, S.Si., Eko Bayu Dharma Putra, S.Si., dan yang lainnya) yang telah banyak membantu dalam diskusi kelas dan kegiatan lapangan.
9. Tim Peneliti Sistem Karst Pindul (Galih Dwi Jayanto, N Yogi Jurnawan, Fuad Dwi R, Agung Hidayat, Tri Mulia Anisa, Hanindha Pradipa, Mutiara Ayu, Egga Friyansai, Erna Puji Lestari) yang telah berjuang bersama melakukan penelitian.
10. Bpk. Suratmin dan keluarga, Bpk Subagyo selaku pimpinan operator wisata Dewa Bedjo, serta warga sekitar Gua Pindul yang telah memberikan tumpangan menginap dan bantuan lain selama penelitian.
11. Keluarga Himpunan Mahasiswa Geografi Lingkungan (EGSA UGM) yang memberikan pengalaman berorganisasi dan berbagai kenangan selama perkuliahan. Terimakasih kepada Muhammad Naufal, M Jundi Bariq, Najib, dan Aji Dwi P yang telah membantu pengukuran lapangan.
12. Sahabat perjuangan Geografi Lingkungan 2013 yang selalu menemani hari-hari selama empat tahun terakhir. Terimakasih kepada Surya Subda N, Ghina Nur F, Novian Khoirul A, Briantama Asmara, Zahra Octavia, Vischa Findanissa, Maulana Yudinugroho yang telah membantu pengambilan data lapangan.

DAFTAR ISI

Halaman Pengesahan	i
Surat Pernyataan	ii
Intisari	iii
Abstract	iv
Kata Pengantar	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
 BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Manfaat Penelitian	4
1.5. Tinjauan Pustaka	5
1.5.1. Konsep Karst dan Karstifikasi.....	5
1.5.2. Konsep Sistem Drainase Karst	7
1.5.3. Klasifikasi Sistem Drainase Karst.....	9
a. Konseptual Model Imbuhan Sistem Drainase Karst.....	9
b. Tipe Aliran <i>Diffuse</i> , <i>Fissure</i> , dan <i>Conduit</i>	100
c. Konsep Skema 3-Dimensi Sistem Drainase Karst.....	111
1.5.4. Karakterisasi Sistem Drainase Karst	122
1.6. Penelitian Terdahulu	133
1.7. Kerangka Pemikiran	177
 BAB II METODE PENELITIAN	20
2.1. Alat dan Bahan Penelitian	20
2.1.1. Alat Penelitian	20
2.1.2. Bahan Penelitian.....	20
2.2. Data Penelitian	21
2.3. Cara Penelitian	21
2.3.1. Teknik Pengumpulan Data	21
a. Pencatatan Data Tinggi Muka Air (TMA).....	21

b. Pencatatan Data Tebal Hujan	22
c. Pengukuran Debit Aliran	23
2.3.2. Teknik Pengolahan Data	25
a. Pengolahan Data untuk Karakterisasi Pelepasan Komponen Aliran dan Prosentase Aliran Dasar	25
b. Pengolahan Data untuk Karakterisasi Banjir	28
c. Pengolahan Data untuk Karakterisasi Respons Debit Terhadap Hujan	30
2.3.3. Teknik Analisis Data	37
a. Analisis Data untuk Karakterisasi Pelepasan Komponen Aliran dan Prosentase Aliran Dasar	37
b. Analisis Data untuk Karakterisasi Banjir	38
c. Analisis Data untuk Karakterisasi Respons Debit Terhadap Hujan	39
2.4. Tahapan Penelitian	39
2.4.1. Tahap Pra-Lapangan	39
2.4.2. Tahap Lapangan	40
2.4.3. Tahap Paska Lapangan	40
BAB III DESKRIPSI WILAYAH	42
3.1. Letak, Batas, dan Luas Daerah Penelitian	42
3.2. Kondisi Iklim	42
3.2.1. Curah Hujan	42
3.2.2. Suhu dan Kelembaban Udara	44
3.3. Kondisi Geologi	46
3.3.1. Fisiografi	46
3.3.2. Stratigrafi	46
3.3.3. Struktur Geologi	50
3.4. Kondisi Geomorfologi	50
3.5. Kondisi Tanah	51
3.6. Kondisi Penggunaan Lahan	53
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	56
4.1. Karakteristik Pelepasan Komponen Aliran dan Prosentase Aliran Dasar 	56
4.1.1. Sinking Stream Kedungbuntung	56
a. Rating Curve Sinking Stream Kedungbuntung	56

b. Konstanta Resesi Sinking Stream Kedungbuntung	57
c. Prosentase Aliran Dasar Sinking Stream Kedungbuntung	59
4.1.2. Gua Pindul	63
a. Rating Curve Gua Pindul	63
b. Konstanta Resesi Gua Pindul	64
c. Prosentase Aliran Dasar Gua Pindul	66
4.1.3. Variasi Spasial dan Temporal Karakteristik Aliran Sistem Drainase Karst Pindul	69
a. Variasi Spasial Pelepasan Komponen Aliran	70
b. Variasi Spasial dan Temporal Prosentase Aliran Dasar	71
4.2. Karakteristik Banjir	73
4.2.1. <i>Sinking Stream</i> Kedungbuntung	73
4.2.2. Gua Pindul	75
4.2.3. Variasi Spasial dan Temporal Karakteristik Banjir Sistem Drainase Karst Pindul	82
4.3. Karakteristik Respons Sistem Drainase Karst Terhadap Curah Hujan	84
4.3.1. Respons Aliran <i>Conduit</i>	84
4.3.2. Respons Aliran <i>Fissure</i>	88
4.3.3. Respons Aliran <i>Diffuse</i>	89
4.3.3. Variasi Spasial Respons Sistem Drainase Karst Terhadap Curah Hujan	91
BAB V	94
5.1. Kesimpulan	94
5.2. Saran	95
DAFTAR PUSTAKA	96
LAMPIRAN	100

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Faktor pengontrol dan pendorong proses karstifikasi.....	6
Tabel 1.2. Zonasi sistem drainase karst.....	7
Tabel 1.3. Model karakterisasi akuifer karst pada setiap kondisi yang berbeda ...	13
Tabel 1.4. Perbandingan penelitian terdahulu dengan penelitian ini	14
Tabel 2.1. Penilaian koefisien <i>mannig</i>	24
Tabel 2.2. Nilai konstanta resesi.....	27
Tabel 2.3. Klasifikasi <i>time series analysis</i> untuk karakterisasi sistem drainase karst.....	31
Tabel 3.1. Luas desa di Kecamatan Karangmojo	44
Tabel 3.2. Data hujan selama 10 tahun	45
Tabel 3.3. Suhu dan kelembaban udara.....	46
Tabel 3.4. Karakteristik jenis tanah di Sistem Karst Pindul.....	53
Tabel 3.5. Luas penggunaan lahan di Sistem Karst Pindul.....	53
Tabel 4.1. Hasil pengukuran debit aliran <i>Sinking Stream</i> Kedungbuntung	57
Tabel 4.2. Konstanta resesi, T_p , T_b , dan Q_p dari hidrograf banjir terpilih <i>Sinking Stream</i> Kedungbuntung	59
Tabel 4.3. Fluktuasi PAD bulanan <i>Sinking Stream</i> Kedungbuntung	62
Tabel 4.4. PAD setiap kejadian banjir di <i>Sinking Stream</i> Kedungbuntung.....	62
Tabel 4.5. Hasil pengukuran debit aliran Gua Pindul	64
Tabel 4.6. Konstanta Resesi, T_p , T_b , dan Q_p hidrograf banjir terpilih di Gua Pindul	66
Tabel 4.7. Fluktuasi PAD bulanan Gua Pindul	69
Tabel 4.8. PAD setiap kejadian banjir Gua Pindul.....	69
Tabel 4.9. Ringkasan nilai konstanta resesi dan parameter banjir di Gua Pindul dan Kedungbuntung.....	70
Tabel 4.10. Uji <i>independent samples t-test</i> konstanta resesi	71
Tabel 4.11. PAD kejadian banjir di Gua Pindul dan Kedungbuntung	72

Tabel 4.12. Komponen hidrograf banjir dan karakteristik hujan di <i>Sinking Stream</i> Kedungbuntung	76
Tabel 4.13. Korelasi dan regresi simultan karakteristik hujan - debit puncak di <i>Sinking Stream</i> Kedungbuntung.....	78
Tabel 4.14. Komponen hidrograf banjir dan karakteristik hujan di Gua Pindul.....	81
Tabel 4.15. Korelasi dan regresi simultan karakteristik hujan dengan debit puncak di Gua Pindul.....	81
Tabel 4.16. Nilai Q_p , T_p , T_{lag} , dan P_e di Gua Pindul dan Kedungbuntung	83
Tabel 4.17. Nilai P_e di Gua Pindul dan Kedungbuntun.....	83
Tabel 4.18. Nilai R^2 uji korelasi parsial antara debit puncak dengan karakteristik hujan di Gua Pindul dan Kedungbuntung	84
Tabel 4.19. Uji korelasi simultan dan regresi linier antara debit puncak dengan tebal, puncak, dan durasi hujan di Gua Pindul dan Kedungbuntung...	84
Tabel 4.20. Hasil perhitungan <i>time series analysis</i> , T_{lag} , T_b , dan konstanta resesi di Gua Pindul dan Kedungbuntung	93

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Sistem Drainase Karst Pindul.....	2
Gambar 1.2. Obyek wisata di Sistem Pindul.....	3
Gambar 1.3. Klasifikasi Karst Gunungsewu.....	7
Gambar 1.4. Lapisan <i>subcutaneous</i> dan perkembangannya.....	8
Gambar 1.5. Konseptual model aliran air pada sistem drainase karst.....	9
Gambar 1.6. Klasifikasi sistem drainase karst.....	11
Gambar 1.7. Skema tiga sifat aliran pada suatu sistem drainase karst.....	12
Gambar 1.8. Hubungan imbuhan, simpanan, dan sifat aliran.....	12
Gambar 1.9. Alur kerangka pikiran.....	19
Gambar 2.1. <i>Logger</i> muka air Hobo U-20-01.....	22
Gambar 2.2. <i>Logger</i> hujan Hobo RG-03.....	22
Gambar 2.3. Pengukuran luas penampang sungai.....	24
Gambar 2.4. Ilustrasi perhitungan kemiringan sungai dan pemasangan piskal.....	25
Gambar 2.5. <i>Rating curve</i>	26
Gambar 2.6. Contoh resesi hidrograf banjir terpilih.....	27
Gambar 2.7. Grafik hasil perhitungan hujan efektif.....	28
Gambar 2.8. Ilustrasi parameter hidrograf banjir.....	30
Gambar 2.9. Ilustrasi <i>time series analysis</i> sebagai model <i>black box</i>	30
Gambar 2.10. Contoh grafik <i>auto-correlation</i>	32
Gambar 2.11. Contoh grafik <i>spectral density</i>	33
Gambar 2.12. Contoh grafik <i>cross-correlogram</i>	34
Gambar 2.13. Contoh grafik <i>cross-amplitude</i>	35
Gambar 2.14. Contoh grafik <i>phase functions</i>	36
Gambar 2.15. Contoh grafik <i>gain functions</i>	36
Gambar 2.16. Diagram alir penelitian.....	41
Gambar 3.1. Peta administrasi wilayah kajian.....	43
Gambar 3.2. Rerata hujan bulanan Stasiun Karangmojo	44
Gambar 3.3. Suhu dan kelembaban udara wilayah kajian.....	45
Gambar 3.4. Fisiografi Zona Pegunungan Selatan Jawa Timur Bagian Barat.....	47

Gambar 3.5. Peta Geologi wilayah Gua Pindul dan sekitarnya	48
Gambar 3.6. Kolom stratigrafi wilayah Gua Pindul dan sekitarnya	49
Gambar 3.7. Peta Bentuklahan wilayah Gua Pindul dan sekitarnya	52
Gambar 3.8. Peta Tanah wilayah Pindul dan sekitarnya.....	54
Gambar 3.9. Peta Penggunaan Lahan Sistem Drainase Karst Pindul	55
Gambar 4.1. <i>Sinking Stream</i> Kedungbuntung.....	56
Gambar 4.2. <i>Rating Curve Sinking Stream</i> Kedungbuntung.....	58
Gambar 4.3. Hidrograf aliran <i>Sinking Stream</i> Kedungbuntung.....	58
Gambar 4.4.a. Kejadian resesi banjir-banjir terpilih <i>Sinking Stream</i> <i>Kedungbuntung</i>	60
Gambar 4.4.b. Kejadian resesi banjir-banjir terpilih <i>Sinking Stream</i> <i>Kedungbuntung</i>	61
Gambar 4.5. Fluktuasi aliran dasar <i>Sinking Stream</i> Kedungbuntung.....	62
Gambar 4.6. Mataair Mudal.....	63
Gambar 4.7. Gua Pindul.....	63
Gambar 4.8. <i>Rating curve</i> Gua Pindul.....	65
Gambar 4.9. Hidrograf aliran Gua Pindul.....	65
Gambar 4.10.a. Kejadian resesi banjir-banjir terpilih Gua Pindul.....	67
Gambar 4.10.b. Kejadian resesi banjir-banjir terpilih Gua Pindul.....	68
Gambar 4.11. Fluktuasi aliran dasar Gua Pindul.....	69
Gambar 4.12. Prosentase aliran dasar bulanan Gua Pindul dan <i>Sinking Stream</i> <i>Kedungbuntung</i>	72
Gambar 4.13. PAD setiap kejadian banjir Gua Pindul dan <i>Sinking Stream</i> <i>Kedungbuntung</i>	74
Gambar 4.14.a. Hidrograf banjir dan hyetograf terpilih awal musim hujan di <i>Sinking Stream</i> Kedungbuntung.....	75
Gambar 4.14.b Hidrograf banjir dan hyetograf terpilih akhir musim hujan di <i>Sinking Stream</i> Kedungbuntung.....	74
Gambar 4.15. Korelasi parsial karakteristik hujan dengan debit puncak di <i>Sinking</i> <i>Stream</i> Kedungbuntung.....	77

Gambar 4.16.a. Hidrograf banjir dan hyetograf terpilih awal musim hujan di Gua Pindul.....	79
Gambar 4.16.b. Hidrograf banjir dan hyetograf terpilih akhir musim hujan di Gua Pindul.....	80
Gambar 4.17. Korelasi parsial karakteristik hujan dengan debit puncak di Gua Pindul.....	82
Gambar 4.18. Grafik <i>cross-correlation</i> Gua Pindul dan Kedungbuntung	85
Gambar 4.19. Grafik <i>phase functions</i> Gua Pindul dan Kedungbuntung	86
Gambar 4.20. Grafik <i>cross-amplitude</i> Gua Pindul.....	87
Gambar 4.21. Grafik <i>cross-amplitude</i> Kedungbuntung.....	87
Gambar 4.22. Grafik <i>gain functions</i> Gua Pindul.....	88
Gambar 4.23. Grafik <i>gain functions</i> Kedungbuntung.....	88
Gambar 4.24. Grafik <i>auto-correlation</i> Gua Pindul dan Kedungbuntung.....	89
Gambar 4.25. Grafik <i>spectral-density</i> Gua Pindul dan Kedungbuntung.....	90

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan konstanta resesi Gua Pindul	100
Lampiran 2. Perhitungan konstanta resesi <i>Sinking Stream</i> Kedungbuntung	111
Lampiran 3. Perhitungan hujan efektif Gua Pindul.....	122
Lampiran 4. Perhitungan hujan efektif <i>Sinking Stream</i> Kedungbuntung.....	149

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Karst merupakan bentanglahan dengan ciri khas aliran permukaan yang langka dan sering ditemukannya sungai bawah tanah (White, 1988; Ford dan Williams, 1989). Goldscheider dan Drew (2007) mengistilahkan karst sebagai suatu sistem yang sulit diprediksi. Karst memiliki area yang luas dari permukaan bumi yang tidak terselimuti es dan 20-25% populasi dunia bergantung dari air yang disimpannya (Ford dan Williams, 1989). Karena keunikan dan tingginya nilai karst seperti yang dijelaskan diatas, pengetahuan mengenai perilaku atau karakteristik hidrologi karst menjadi penting.

Adanya berbagai tipe aliran (*diffuse*, *fissure*, dan *conduit*) menjadikan metode karakterisasi akuifer yang pada umumnya dikenal, seperti pengukuran transmisibilitas dan *hydraulic conductivity*, sulit diterapkan (Ford dan Williams, 1989; Gillieson, 1996). Batuan penyusun karst yang mampu menyimpan air menjadikannya didefinisikan sebagai akuifer. Berdasarkan tipe alirannya, White (1969) dan Atkinson (1977) mengklasifikasikan akuifer karst sebagai aliran *diffuse* (aliran laminar, mengalir melalui pori-pori homogen) dan aliran *conduit* (aliran turbulen, mengalir melalui lorong perpipaan). Atkinson (1985) memberikan konsep baru mengenai adanya tipe aliran *fissure* yang mengalir melalui rekahan batuan. Sementara itu, Smart dan Hobbs (1986) memberikan konsep “skema 3-dimensi” yang mencakup tipe imbuhan, tipe simpanan, dan tipe aliran.

Terminologi “sistem drainase karst” diperkenalkan oleh Gillieson (1996) untuk menjelaskan kekompleksan akuifer karst yang dijelaskan di atas. Sistem ini mencakup seluruh bentangalam karst yang dibedakan menjadi lapisan atas (*epikarst*) dan lapisan bawah (*endokarst*). Karakterisasi akuifer pada bentanglahan karst dilakukan pada kedua lapisan sistem drainase karst (lapisan *epikarst* dan *endokarst*). Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan konsep sistem drainase karst untuk mengkaji dinamika hidrologi karst.

Sistem Drainase Karst Pindul merupakan salah satu bentanglahan karst yang secara administrasi berada di Kecamatan Karangmojo, Kabupaten Gunungkidul. Menurut fisiografi Bemmelen (1949), sistem ini terletak di Basin Wonosari. Sistem Pindul pada Gambar 1.1 menjadi menarik diteliti karena adanya dua tipe akuifer karst (aliran *diffuse* dan *conduit*) (Agniy, 2016). Sistem *diffuse* dicirikan dengan batuan berpori-pori homogen yang dibuktikan dengan dapat dilakukannya *pumping test* dan pembuatan peta *flownet* oleh Agniy (2016). Sistem *conduit* dibuktikan dengan adanya gua-gua yang saling terhubung (Haryono, 2014) (Gambar 1.1).

Gambar 1.1. Sistem Drainase Karst Pindul (Agniy, 2016)

Gua Pindul dan Gua Tanding merupakan obyek wisata yang menjadi ikon pada Sistem Drainase Karst Pindul (Gambar 1.2). Wisata gua tersebut mampu menarik sejumlah 122.423 wisatawan dan menyumbang 50% dari total Pendapatan Asli Daerah (PAD) sektor pariwisata pada periode 2012-2013 (Musadad, 2014). Gambar 1.1 menunjukkan bahwa obyek wisata Gua Pindul terletak pada outlet sistem karst dan Gua Tanding terletak tepat setelah *Sinking Stream* Kedungbuntung. Posisi kedua obyek tersebut menjadikannya rawan terhadap banjir yang membahayakan wisatawan.

Gambar 1.2. Obyek wisata di Sistem Pindul: (a) pintu keluar Gua Pindul, (b) wisatawan memadati Gua Pindul, (c) wisata perahu Gua Tanding

Selain itu, Peta Penggunaan Lahan (Gambar 3.9) menunjukkan dominannya permukiman dan lahan pertanian. Kedua aktifitas tersebut tentunya bergantung pada ketersediaan air di Sistem Drainase Karst Pindul. Oleh karena itu, pemahaman mengenai perilaku Sistem Drainase Karst Pindul kian menjadi penting mengingat intensifnya aktifitas manusia. Penelitian ini akan mengkaji karakteristik Sistem Drainase Karst Pindul yang mencakup perilaku pelepasan komponen aliran, perilaku banjir, dan respons debit aliran terhadap hujan.

1.2.Rumusan Masalah

Seiring aktifitas manusia yang intensif memanfaatkan Sistem Drainase Karst Pindul, Pemerintah Kabupaten Gunungkidul mulai menyusun dokumen AMDAL (Analisis Mengenai Dampak Lingkungan) pada bulan Juni tahun 2016. Dokumen legal ini diharapkan mampu menjadi referensi pengelolaan yang tepat terhadap kawasan Sistem Pindul. Permasalahan yang muncul kemudian adalah belum adanya penelitian yang mengkaji mengenai perilaku hidrologi kawasan ini. Oleh karena itu, permasalahan-permasalahan penelitian dapat disusun sebagai berikut:

1. Bagaimana variasi spasial dan temporal sifat aliran Sistem Drainase Karst Pindul yang tercermin dari pelepasan komponen aliran dan prosentase aliran dasar ?;
2. Bagaimana karakteristik banjir Sistem Drainase Karst Pindul ?;
3. Bagaimana perilaku Sistem Drainase Karst Pindul dalam merespons curah hujan ?

Untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan penelitian diatas, tiga metode untuk mengkararakterisasi sistem drainase karst dilakukan. Perhitungan konstanta resesi dan pemisahan aliran dasar dilakukan untuk menjawab permasalahan pertama. Permasalahan kedua dijawab dengan menganalisis parameter hidrograf banjir dan karakteristik hujan. *Time series analysis* digunakan untuk menjawab permasalahan ketiga. Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah diatas, penelitian ini memiliki judul **“Variasi Spasial dan Temporal Sifat Aliran, Perilaku Banjir, dan Respons Debit Aliran Terhadap Curah Hujan di Sistem Drainase Karst Pindul”**.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini secara spesifik dijabarkan seperti berikut:

1. menemukanli variasi spasial dan temporal dari pelepasan komponen aliran dan prosentase aliran dasar Sistem Drainase Karst Pindul.
2. menemukanli karakteristik banjir Sistem Drainase Karst Pindul.
2. menemukanli perilaku Sistem Drainase Karst Pindul dalam merespons curah hujan.

Untuk mencapai tujuan tersebut, sasaran dari penelitian adalah: (1) fluktuasi debit aliran, (2) prosentase aliran dasar, (3) perilaku resesi banjir, (4) hubungan debit aliran dengan curah hujan, dan (5) perilaku banjir.

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian mengenai karakterisasi Sistem Drainase Karst Pindul dapat memberikan manfaat untuk ilmu pengetahuan dan manfaat secara praktis. Manfaat tersebut dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Manfaat untuk ilmu pengetahuan:

- a. Memberi pengetahuan baru mengenai variasi spasial dan temporal perilaku sifat aliran, perilaku banjir, dan respons sistem karst terhadap hujan di Sistem Drainase Karst Pindul yang secara fisiografis berada di Basin Wonosari.
 - b. Data curah hujan dan debit aliran yang tercatat selama penelitian dapat digunakan untuk berbagai kepentingan.
2. Manfaat praktis:
- a. Karakteristik sifat aliran dan hubungan debit aliran dengan curah hujan dapat digunakan sebagai landasan pengelolaan sumberdaya air di Sistem Drainase Karst Pindul.
 - b. Perilaku banjir dapat digunakan untuk merancang *early warning system* yang berguna bagi kepentingan pariwisata gua di Sistem Drainase Karst Pindul.

1.5. Tinjauan Pustaka

1.5.1. Konsep Karst dan Karstifikasi

Karst merupakan suatu medan yang memiliki kondisi hidrologi khas, seperti minimnya sungai permukaan dan terbentuknya sungai bawah tanah (Ford dan Williams, 1989). Ciri khas diatas disebabkan oleh adanya material batuan yang mudah larut dan memiliki porositas sekunder. Adanya batuan mudah larut yang tersingkap di permukaan menjadikan proses pelarutan kimia berlangsung intensif (White, 1988). Ciri khas bentanglahan karst menurut White (1988), yaitu: (1) adanya cekungan tertutup dengan berbagai ukuran dan bentuk, (2) aliran permukaan yang langka, (3) adanya sistem perguaan dan drainase bawah permukaan.

Terbentuknya bentanglahan karst tidak dapat dilepaskan dari proses pembentukannya yang disebut karstifikasi. Menurut Bogli (1980), proses karstifikasi berawal dari air hujan yang jatuh ke permukaan sehingga terjadi proses fisika dan kimia yang menyebabkan perpindahan massa dan reaksi antara fase udara, air, dan batuan. Sistem perpindahan massa dan reaksi kemudian dikenal dengan sistem $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O-CaCO}_3$. Proses karstifikasi secara sederhana dijelaskan oleh Haryono dan Adji (2004) seperti berikut:

Labih lanjut lagi, Haryono dan Adji (2004) menyatakan bahwa karstifikasi dipengaruhi oleh adanya faktor pengontrol dan pendorong. Terjadinya proses karstifikasi ditentukan oleh keberadaan faktor pengontrol, sedangkan kecepatan dan hasil bentukan karstifikasi ditentukan oleh keberadaan faktor pendorong. Kedua faktor karstifikasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Faktor pengontrol dan pendorong proses karstifikasi
(Haryono dan Adji, 2004)

Faktor Pengontrol	Faktor Pendorong
Batuan dengan karakteristik mudah larut, kompak, dan tebal.	Temperatur
Curah hujan yang cukup (>250 mm/tahun)	Penutup lahan dan aktivitas organisme
Batuan tersingkap pada ketinggian yang memungkinkan perkembangan drainase secara vertikal.	

Adanya kedua faktor dalam karstifikasi menjadikan bentukan-bentukan karst bervariasi. Indonesia memiliki kawasan karst sebesar 20% dari wilayahnya (Balazs, 1968 dalam Adji 2009). Salah satu kawasan karst yang memiliki hubungan dengan wilayah penelitian ini adalah Karst Gunungsewu. Menurut Sweeting (1972), Karst Gunungsewu dikategorikan sebagai kegelkarst/kerucut karst yang dicirikan oleh bukit-bukit yang saling terhubung. Haryono dan Day (2004) mendetailkan klasifikasi diatas dengan mengklasifikasikan Karst Gunungsewu menjadi tiga (Gambar 1.3), yaitu:

1. *Labyrinth-cone karst* dicirikan dengan ngarai memanjang yang berbentuk kerucut. Bentukan ini terletak di tengah kawasan Karst Gunungsewu. Bentukan ini disusun oleh batugamping keras dan tebal yang mengalami deformasi intensif.
2. *Polygonal karst* dicirikan dengan bentukan kerucut karst yang padat pada suatu area sehingga terbentuk *cockpit* (dataran karst yang berbentuk bintang). Bentukan ini terletak di kawasan Karst Gunungsewu sebelah barat. Material penyusun *polygonal karst* berupa batugamping keras namun memiliki perlapisan yang tipis.
3. *Residual cone karst* dicirikan dengan kerucut karst yang saling terisolasi/tersebar diantara dataran karst. Bentukan ini terletak di sebelah

utara kawasan Karst Gunungsewu. Material penyusun *residual cone karst* berupa batuan gamping yang lebih lunak dan *porous* dibanding dua bentukan yang lain.

Gambar 1.3. Klasifikasi Karst Gunungsewu menurut Haryono dan Day (2004):
(a) *labyrinth-cone karst*, (b) *polygonal karst*, (c) *residual cone karst*

1.5.2. Konsep Sistem Drainase Karst

Gillieson (1996) menjelaskan bahwa sistem drainase karst merupakan kesatuan hidrologis yang terdiri dari zona permukaan (*epikarst*) dan bawah permukaan (*endokarst*). Zonasi tersebut didasarkan pada perilaku hidrologi, seperti cara melalukan air dan kandungan kimia pada air. Tabel 1.2 menjelaskan konsep sistem drainase karst menurut Gillieson (1996).

Tabel 1.2. Zonasi sistem drainase karst (Gillieson, 1996)

<i>Epikarst</i>	<i>Endokarst</i>
<i>Cutaneous zone</i> : tanah, vegetasi, lapisan permukaan.	<i>Vadose Zone</i> : zona tidak jenuh air
<i>Subcutaneous zone</i> : bahan kasar tanah, rekahan	<i>Phereatic zone</i> : zona jenuh air

Cutaneous merupakan lapisan paling atas yang dapat berupa tanah atau vegetasi. Hujan yang jatuh pada lapisan ini akan mengalami intersepsi atau

infiltrasi. *Subcutaneous* berada di bawah lapisan *cutaneous* yang dicirikan dengan adanya bahan kasar tanah dan rekahan-rakahan batuan.

Williams (1983) menjelaskan bahwa kedua lapisan diatas sangat penting dalam siklus hidrologi karst. *Subcutaneous* memiliki permeabilitas tinggi yang terbentuk akibat adanya proses solusional yang belum terlalu intensif. Lapisan ini akan menahan air dalam jangka waktu lama, kemudian melepaskannya perlahan-lahan ke lapisan *vadose* atau langsung ke lapisan *phreatic*. Permeabilitas tersebut akan menurun seiring bertambahnya kedalaman akibat proses kimia yang berkurang. Ford dan Williams (1989) mengabaikan lapisan *cutaneous* dan menyamakan *subcutaneous* dengan *epikarst* (Gambar 1.4).

Gambar 1.4. Lapisan *subcutaneous* dan perkembangannya: (a) awal mula lapisan *subcutaneous*, (b) perkembangan lapisan seiring berjalannya waktu akibat proses solusional, permeabilitas semakin kecil seiring bertambahnya kedalaman (Ford dan Williams, 1989)

1.5.3. Klasifikasi Sistem Drainase Karst

a. Konseptual Model Imbuhan Sistem Drainase Karst

Karst merupakan formasi batuan yang tergolong sebagai akuifer. Definisi akuifer adalah suatu formasi batuan yang mampu meloloskan air dalam jumlah signifikan (Todd, 1980). Hal tersebut sesuai dengan salah satu karakteristik khas yang dipaparkan oleh White (1988), yaitu karst memiliki sistem perguaan dan drainase bawah permukaan. Meskipun demikian, akuifer karst memiliki keunikan tersendiri berupa rongga batuan yang terkadang homogen dan terkadang membentuk sistem perpipaan. Karena keunikan tersebut, White (1988, 2002) membuat suatu konseptual model mengenai imbuhan pada sistem drainase karst. Konsep ini utamanya dijelaskan melalui empat komponen imbuhan karst (Gambar 1.5), yaitu:

Gambar 1.5. Konseptual model aliran air pada sistem drainase karst (White, 1988, 2002)

1. *Allogenic recharge* merupakan aliran permukaan yang mengimbuhi akuifer karst melalui *sinkhole* atau ponor. Imbuhan ini biasa disebut sebagai sungai yang tertelan. *Allogenic recharge* langsung mengimbuhi sistem pelorongan conduit.

2. *Internal runoff* merupakan imbuhan dari air hujan yang langsung mengimbuh sistem pelorongan *conduit* melalui *sinkhole* atau ponor.
3. *Diffuse infiltration* merupakan imbuhan dari air hujan yang tersimpan dalam waktu cukup lama pada lapisan *epikarst*. Air simpanan ini kemudian mengalir perlahan-lahan ke bawah melalui rekahan atau rongga sebelum mencapai sistem pelorongan *conduit*.
4. Imbuhan dari akuifer bertengger merupakan imbuhan yang berasal dari lapisan semipermeabel yang juga disebut sebagai akuifer bertengger. Simpanan air pada akuifer ini akan mencapai sistem pelorongan *conduit* melalui saluran penghubung, seperti rongga batuan dan rekahan.

b. Tipe Aliran *Diffuse*, *Fissure*, dan *Conduit*

Klasifikasi sistem drainase karst pertama kali dilakukan oleh White (1969) yang membagi sistem karst menjadi aliran *diffuse* dan *conduit* berdasarkan tipe alirannya. Aliran *conduit* selanjutnya dibedakan menjadi akuifer bebas dan tertekan (Gambar 1.6). Model ini dibuktikan oleh penelitian Atkinson (1977) di *Mendip Hills (Sout West English)*. Penjelasan klasifikasi menurut White (1969) adalah sebagai berikut:

1. *Diffuse flow aquifer* terbentuk pada formasi batuan yang aktivitas pelarutannya mengalami hambatan oleh jenis batuan yang resisten (contohnya dolomit). Air mengalir pada rongga-rongga kecil atau rekahan pada batuan sehingga sifatnya homogen seperti akuifer pada umumnya. Aliran akan keluar melalui beberapa mataair atau rembesan dengan debit kecil.
2. *Free flow aquifer* terbentuk pada formasi batuan yang memiliki tingkat pelarutan dan ketebalan yang membentang dari permukaan tanah hingga lapisan dasar (*base level*). Oleh karena itu, aktivitas pelarutan menyebabkan terbentuknya rongga-rongga kecil dan rekahan (seperti pada *diffuse flow aquifer*) serta adanya perpipaan (*conduit*). Aliran pada akuifer ini akan keluar melalui mataair tunggal dengan debit yang besar.

3. *Confined flow aquifer* terbentuk akibat adanya formasi batuan kedap air atau memiliki permeabilitas rendah yang berada diatas akuifer karst. Akuifer karst akan memiliki sifat artesis atau akuifer tertekan biasa (*sandwich aquifer*).

Gambar 1.6. Klasifikasi sistem drainase karst menurut White (1969):
(a) *diffuse flow aquifer*, (b) *confined flow aquifer*, (c) *free flow aquifer*

Atkinson (1985) selanjutnya menemukan bahwa pembagian sistem karst menjadi *diffuse* dan *conduit* terlalu menyederhanakan. Terdapat sifat aliran karst lain diantara keduanya yang kemudian disebut sebagai *fissure*. Pada dasarnya, ketiga aliran ini tidak pernah berdiri sendiri pada suatu sistem drainase karst (Gambar 1.7).

c. Konsep Skema 3-Dimensi Sistem Drainase Karst

Smart dan Hobbs (1986) menambahkan komponen imbuhan dan simpanan akuifer disamping sifat aliran. Ketiga komponen ini selanjutnya disebut sebagai konsep 3-dimensi (Gambar 1.8). Komponen imbuhan terdiri dari imbuhan

terkonsentrasi dan menyebar, komponen simpanan terdiri dari simpanan besar dan kecil, serta komponen aliran terdiri dari *conduit*, *fissure* dan *diffuse*.

Gambar 1.7. Skema tiga sifat aliran pada suatu sistem drainase karst (Atkinson, 1985)

Gambar 1.8. Hubungan imbuhan, simpanan, dan sifat aliran yang akan menghasilkan perbedaan hidrograf aliran pada mataair karst (Smart dan Hobbs, 1986)

1.5.4. Karakterisasi Sistem Drainase Karst

Sistem karst yang memiliki *triple-porosity* (*diffuse-fissure-conduit*), seperti yang dijelaskan di atas, menjadikan berbagai model yang umum digunakan untuk

mengkarakterisasi akuifer menjadi tidak berlaku. Hal ini karena model-model tersebut didasarkan pada Hukum Darcy yang menganggap aliran pada akuifer *laminar*. Ford dan Williams (1989) menyatakan bahwa terdapat lima metode yang saling terkait untuk melakukan karakterisasi akuifer/sistem drainase karst (Tabel 1.3), yaitu: (1) estimasi kesetimbangan air, (2) *borehole analysis*, (3) analisis hidrograf mataair, (4) *water tracing*, (5) pemodelan akuifer. Sementara itu, Adji dan Cahyadi (2016) memberi penjelasan mendetail mengenai analisis hidrograf mataair untuk karakterisasi sistem drainase karst, diantaranya adalah: (1) analisis parameter hidrograf banjir, (2) perhitungan konstanta resesi, (3) pemisahan aliran dasar, (4) analisis respons debit terhadap hujan, (5) perhitungan derajat perkembangan akuifer karst, (6) analisis hidrokemograf.

Tabel 1.3. Model karakterisasi akuifer karst pada setiap kondisi yang berbeda (Ford dan Williams, 1989)

Tipe Aliran	Kondisi Batas Daerah Tangkapan	Karakteristik Akuifer	Skala Pengukuran	Cara Karakterisasi
<i>Diffuse</i>	tidak terbatas, luas	<i>confined, unconfined</i>	spesifik lokasi/ titik	<i>borehole dillution</i>
	kedap air, bocoran	<i>confined, unconfined</i>	lokal	<i>borehole recharge</i>
<i>Fissure</i>	atas dan bawah permukaan	homogen, heterogen	regional, cekungan airtanah	<i>borehole pumping, recharge-response modelling</i>
<i>Conduit</i>	akuifer <i>diffuse, sinking stream, allogenic recharge</i>	<i>isotropic, anisotropic</i>	DTA yang diketahui, belum diketahui	<i>recharge-response modelling, water budget, spring hydrograph & chemograph, akuifer modelling</i>

1.6. Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai karakterisasi sistem drainase karst telah beberapa kali dilakukan di fisiografi Karst Gunungsewu. Perbandingan antara penelitian lain dengan penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.4. Adji, dkk (2006) di sistem SBT Bribin; Adji (2009) di sistem SBT Bribin dengan pendekatan yang berbeda; Misqi (2010) di Matatair Beton, SBT Seropan, dan SBT Bribin; Oktama (2014) di Mataair Ngeleng; dan Bahtiar (2014) di Mataair Ngeleng dengan pendekatan yang berbeda. Penelitian ini akan mengambil lokasi yang berbeda secara fisiografi dibandingkan penelitian-penelitian yang disebutkan di atas. Penelitian ini akan dilakukan di

fisiografi Basin Wonosari tepatnya pada Sistem Drainase Karst Pindul (Gambar 3.3).

Penelitian mengenai karakterisasi sistem drainase karst belum pernah dilakukan di Sistem Pindul. Penelitian di kawasan karst ini oleh Romza (2016) mengkaji mengenai hidrogeologi karst. Penelitian tersebut juga melakukan karakterisasi sistem drainase karst, namun pengukuran hidrologi tidak dilakukan secara kontinu. Haryono (2014) melakukan penelitian mengenai *speleogenesis* di kawasan ini. Penelitian tersebut membuktikan bahwa terdapat beberapa gua yang saling terhubung sebelum mengimbuah Gua Pindul (Gambar 3.9).

Secara metode, penelitian ini menggabungkan tiga metode karakterisasi sistem drainase karst, yaitu: (1) perhitungan konstantas resesi dan pemisahan aliran dasar, (2) analisis hubungan debit aliran dengan curah hujan, dan (3) analisis parameter hidrograf banjir dan karakteristik hujan. Raeisi dan Karimi (1997); Karimi, Raesi, dan Zare (2003) melakukan karakterisasi sistem drainase karst berdasarkan hidrogeokimia dan sifat aliran (perhitungan konstanta resesi). Penelitian mengenai hubungan debit aliran dengan curah hujan yang menggunakan *time series analysis* dilakukan oleh Padilla dan Pulido-Bosch (1995), Rahnemaei; Zare; Nematollahi; Sedghi (2005), Panagopoulus dan Lambarakis (2006), Jemcov dan Petric (2009), Zang; Chen; Chen; Shi (2013). Penelitian yang menggunakan analisis parameter hidrograf banjir dan karakteristik hujan dilakukan oleh Adji (2009) dan Bahtiar (2014).

Tabel 1.4. Perbandingan penelitian terdahulu dengan penelitian ini

No.	Peneliti, Tahun, Judul	Tujuan Utama	Metode	Hasil
1	Padilla dan Pulido-Bosch (1995), <i>Study of Hydrographs of Karstic Aquifers by means of Correlation and Cross-Spectral Analysis</i>	Mengetahui karakteristik akuifer berdasarkan <i>time series analysis</i> pada empat akuifer karst berbeda	<i>Cross-correlation, cross-amplitude, phase function, gain function, coherency function</i>	Akuifer di Mediterranean didominasi aliran <i>diffuse</i> , akuifer di Pyrenees didominasi aliran <i>conduit</i> .
2	Raeisi dan Karimi (1997), <i>Hydrochemographs of Berghan Karst Spring as Indicators of Aquifer Characteristics</i>	Mengetahui karakteristik akuifer berdasarkan hidrogeokimia dan sifat aliran	Konstanta resesi, pemisahan aliran dasar, hidrogeokimia, kemograf, SI, dan PCO ₂	Hidrogeokimia dan sifat aliran menunjukkan bahwa akuifer karst bertipe <i>diffuse</i>

No.	Peneliti, Tahun, Judul	Tujuan Utama	Metode	Hasil
3	Karimi; Raesi; dan Zare (2003), <i>Hydrodynamic Behavior of the Gilan Karst Spring, West of The Zagros, Iran</i>	Mengetahui karakteristik akuifer karst terutama sifat alirannya	Aspek geologi, parameter fisik-kimia, tes ^{18}O dan deuterium	Akuifer karst tergolong sebagai <i>diffuse</i>
4	Rahnemaei; Zare; Nematollahi; Sedghi (2005), <i>Application of Spectral Analysis of Daily Water Level and Spring Discharge Hydrographs Data for Comparing Physical Characteristics of Karstic Aquifers</i>	Mengetahui karakteristik <i>dual porosity</i> (t_1 dan t_2) melalui <i>time series analysis</i> pada empat akuifer berbeda	<i>Phase Functions, Coherency Functions</i>	Nilai <i>time lag</i> semakin cepat pada tingkat karstifikasi tinggi.
5	Panagopoulus dan Lambarakis (2006), <i>The Contribution of Time Series Analysis to The Study of The Hydrodynamic Characteristics of The Karst Systems: Application on Two Typical Karst Aquifers of Greece (Trifilia, Almyros Crete)</i>	Mengetahui karakteristik akuifer karst menggunakan <i>time series analysis</i> pada dua akuifer berbeda	<i>Auto-correlation, spectral density, cross-correlation, cross-amplitude, phase functions, gain functions, coherency functions</i>	Karst Trifilia didominasi oleh <i>baseflow</i> , sedangkan Karst Almyros didominasi oleh <i>quickflow</i> .
6	Adji; Sudarmadji; Woro, Hendrayana; Hariadi, (2006), <i>The Distribution Of Flood Hydrograph Recession Constant Of Bribin River For Gunung Sewu Karst Aquifer Characterization</i>	Mengetahui karakteristik akuifer karst berdasarkan sifat aliran secara spasial dan temporal	Perhitungan konstanta resesi dan pemisahan aliran dasar	Gua Bribin dan Gua Ngreneng didominasi sifat aliran <i>diffuse</i> , sedangkan Gua Gilap memiliki respons aliran yang paling cepat
7	Adji, (2009), <i>Variasi Spasial-Temporal Hidrogeokimia dan Sifat Aliran untuk Karakterisasi Sistem Karst Dinamis di Sungai bawah Tanah Bribin, Kabupaten Gunungkidul DIY</i>	Mengetahui variasi temporal-spasial komponen aliran, hidrogeokimia, dan sistem karst dinamis	Pemisahan komponen aliran, konstanta resesi analisis kemograf, analisis SI, PCO_2	Terdapat variasi spasial dan temporal sifat aliran, kondisi hidrogeokimia, dan agerisivitas di SBT Bribin. Gua Bribin lebih didominasi oleh aliran dasar dan paling agresif dibandingkan gua di hulu

No.	Peneliti, Tahun, Judul	Tujuan Utama	Metode	Hasil
8	Jemcov dan Petric, (2009, <i>Measured Precipitation vs. Effective Infiltration and Their Influence on The Assessment of Karst Systems Based on Results of The Time Series Analysis</i>)	Mengetahui karakteristik akuifer melalui <i>time series analysis</i> dengan input <i>effective infiltration</i> pada empat akuifer yang berbeda	<i>Auto-correlation, spectral density, cross-correlation, cross-amplitude, phase functions, gain functions, coherency functions</i>	<i>Effective infiltration</i> lebih akurat digunakan pada karst dengan dominasi <i>baseflow</i> . Hujan lebih akurat pada akuifer dengan dominasi <i>quickflow</i> .
9	Misqi, (2010), <i>Analisis Konstanta Resesi Sungai Bawah Tanah untuk Karakterisasi Pelepasan Komponen Akuifer Karst (Studi Kasus: Mataair Beton, Sungai Bawah Tanah Seropan, dan Sungai Bawah Tanah Bribin, Kab. Gunungkidul, Provinsi DIY)</i>	Mengetahui karakteristik akuifer karst berdasarkan sifat aliran secara spasial	Perhitungan konstanta resesi dan pemisahan aliran dasar	Nilai tertinggi konstanta resesi <i>diffuse</i> dimiliki oleh Gua Seropan dan yang terkecil adalah Gua Toto
10	Zang; Chen; Chen; Shi, (2013), <i>Quantifying Time Lag of Epikarst-Spring Hydrograph Response to Rainfall Using Correlation and Spectral Analyses</i>	Mengetahui pengaruh <i>epikarst</i> terhadap <i>time lag</i> dan menggunakan <i>time series analysis</i> pada dua akuifer berbeda	<i>Auto-correlation, spectral density, cross-correlation, cross-amplitude, phase functions, gain functions, coherency functions</i>	<i>Time series analysis</i> dapat membedakan karakteristik akuifer menjadi respons jangka pendek, jangka menengah, jangka panjang, durasi <i>quickflow</i> dan <i>baseflow</i> .
11	Oktama (2014), <i>Karakterisasi Akuifer Karst Mataair Ngeleng dengan Pendekatan Variasi Temporal Sifat Aliran dan Hidrogeokimia</i>	Mengetahui variasi temporal sifat aliran, hidrogeokimia, dan hubungan keduanya.	Pemisahan aliran dasar, konstanta resesi, kemograf, SI, PCO_2	Mataair Ngeleng memiliki sifat aliran <i>mixed</i> , yaitu campuran <i>diffuse</i> dan <i>conduit</i> . Unsur terlarut yang dominan adalah Ca dan HCO_3^- .
12	Bahtiar (2014), <i>Kajian Respons Debit Mataair Ngeleng Terhadap Curah Hujan untuk Karakterisasi Akuifer Karst</i>	Mengetahui korelasi curah hujan dengan debit dan menganalisis sifat aliran .	<i>Cross-correlation</i> , konstanta resesi, pemisahan aliran dasar	Mataair Ngeleng memiliki T_{lag} yang cepat dan sifat aliran campuran <i>conduit</i> dengan <i>diffuse</i> . Simpanan airtanah tergolong baik.

No.	Peneliti, Tahun, Judul	Tujuan Utama	Metode	Hasil
13	Haryono (2014) <i>Speleogenesis Gua Pindul dan Sekitarnya</i>	Mengetahui pola morfologi dan perkembangan Sistem Karst Gua Pindul.	Survei lapangan dan <i>tracing test</i>	Terdapat sistem perguasaan yang saling terhubung pada Gua Asri, Gua Emas, Gua Greng, Gua Candi dan Gua Si Oyot sebelum mengimbuhi Gua Pindul.
14	Agniy (2016), <i>Kajian Hidrogeologi Karst Sistem Gua Pindul, Kecamatan Karangmojo, Kabupaten Gunungkidul</i>	Mengetahui batas daerah tangkapan permukaan dan karakteristik akuifer karst Sistem Pindul	Observasi lapangan, embuatan <i>flownet</i> , uji tracer, <i>pumping test</i>	DTA Sistem Pindul memiliki luas 15,44 km ² . Sistem Pindul memiliki imbuhan dari zona <i>conduit</i> (1,74 km ²) dan <i>diffuse</i> (13,7 km ²).
15	Nurkholis (2017), <i>Variasi Spasial dan Temporal Sifat Aliran, Respons Debit Terhadap Hujan, dan Perilaku Banjir Sistem Drainase Karst Pindul</i>	Mengetahui karakteristik sifat aliran, hubungan debit-hujan, dan karakteristik banjir	Konstanta resesi, pemisahan aliran dasar, <i>time series analysis</i> , hidrograf banjir	Gua Pindul melepaskan komponen aliran lebih cepat dibandingkan <i>sinking stream</i> Kedungbuntung akibat adanya suplai dari jaringan <i>conduit</i> gua-gua yang saling terhubung. Debit puncak paling dipengaruhi hujan efektif

1.7. Kerangka Pemikiran

Karst memiliki kondisi hidrologi yang unik yang dicirikan dengan jaranganya aliran permukaan dan terbentuknya jaringan drainase bawah permukaan. Jaringan ini terdiri dari sistem rongga, rekahan, hingga perpipaan yang sering disebut sebagai sungai bawah tanah (SBT). Keunikan bentukan karst diakibatkan oleh material batuan yang mudah larut dan terbentuknya porositas sekunder batuan. Hal tersebut menjadikan akuifer karst tergolong sebagai heterogen atau anistropis.

Sistem hidrologi karst yang unik menjadikan akuifer karst memiliki empat imbuhan dan tiga sifat aliran. Imbuhan sistem drainase karst tersebut adalah *allogenic recharge*, *internal runoff*, *diffuse infiltration*, dan *perch aquifer recharge*. Keempat imbuhan tersebut tidak selalu ada pada suatu sistem drainase karst. Sistem Drainase Karst Pindul memiliki keempat imbuhan tersebut.

Sifat aliran yang dimiliki sistem drainase karst adalah *diffuse*, *fissure*, dan *conduit*. Ketiga sifat aliran tersebut identik dengan komponen-komponen hidrograf pada sistem aliran permukaan. Aliran *diffuse* identik dengan *baseflow*. Aliran *fissure* identik dengan *interflow*, dan aliran *conduit* identik dengan *overlandflow*. Oleh karena itu, analisis konstanta resesi pada sistem drainase karst dapat menjelaskan sifat aliran yang mendominasi.

Konsep pemisahan komponen hidrograf dilakukan untuk mendapatkan aliran dasar. Komponen hidrograf yang dipisahkan terdiri dari *overlandflow* dan *baseflow*. Perbandingan nilai *baseflow* dengan total debit aliran menghasilkan prosentase aliran dasar (PAD). Nilai PAD suatu sistem drainase karst juga dapat menjelaskan komponen aliran yang mendominasi.

Tingkat karstifikasi akan memengaruhi respons sistem drainase karst terhadap curah hujan. Sistem drainase karst dengan dominasi retakan *conduit* akan langsung mengubah hujan menjadi debit aliran sungai bawah tanah. Sementara itu, karst dengan dominasi retakan *diffuse* akan menyimpan hujan pada lapisan *epikarst* dan melepaskannya perlahan-lahan.

Hidrograf banjir mempunyai bentuk seperti lonceng yang terdiri dari beberapa parameter utama, yaitu T_p (*time to peak*), Q_p (debit puncak), dan T_b (*time to baseflow*). Bentuk hidrograf banjir dari suatu daerah tangkapan air mencerminkan responnya terhadap karakteristik hujan (tebal, puncak, dan durasi). Selain itu, perhitungan hujan efektif (hujan yang menjadi *overlandflow*) juga dapat dilakukan. Oleh karena itu, hidrograf banjir dan karakteristik hujan dapat menjelaskan perilaku banjir di Sistem Drainase Karst Pindul. Gambar 1.9 menjelaskan alur pemikiran pada penelitian ini.

Gambar 1.9. Alur kerangka pikiran

BAB II

METODE PENELITIAN

2.1. Alat dan Bahan Penelitian

2.1.1. Alat Penelitian

Alat yang digunakan untuk penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. *Automatic Water Level Logger* (3 buah), untuk mengukur fluktuasi tinggi muka air (TMA) di Gua Pindul, *Sinking Stream* Kedungbuntung, dan sebagai *logger* kalibrasi.
2. Penakar hujan otomatis (1 buah), untuk mencatat tebal hujan
3. Piskal (4 buah), untuk mengukur fluktuasi TMA pada lokasi pengukuran debit di Gua Pindul (2 buah) dan *Sinking Stream* Kedungbuntung (2 buah).
4. Meteran (2 buah), untuk mengukur panjang, lebar, serta kedalaman saluran di Gua Pindul dan *Sinking Stream* Kedungbuntung.
5. Jallon untuk membagi segmen dalam pengukuran debit aliran.
6. Laptop untuk mengolah dan men-*download* data hujan serta TMA dari logger.
7. *Global Positioning System* (GPS) untuk menentukan lokasi absolut di lapangan.
8. *Software* BFI+ untuk melakukan pemisahan aliran dasar.
9. *Software* Microsoft Office 2017 untuk menulis laporan.
10. *Software* Microsoft Excel 2017 untuk mengolah data angka.
11. *Software* XLSTAT 2017 untuk analisis statistik hubungan debit-hujan.
12. *Software* ArcGIS 10.1 untuk mngolah data spasial.

Lokasi pemasangan logger muka air dan hujan dapat dilihat pada Gambar 3.9.

2.1.2. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan untuk penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) skala 1:25.000 lembar Wonosari dan Karangmojo tahun 1998 untuk orientasi dan mengenali wilayah penelitian.
2. Peta Geologi Lembar Yogyakarta 1408-2 & 1407-5 Skala 1:100.000 tahun 1995 untuk mengidentifikasi jenis batuan penyusun akuifer di lokasi kajian.

3. Citra Google Eye lokasi penelitian tahun 2015 untuk membantu melakukan digitasi penggunaan lahan.
4. *Shapefile* atau data digital batas administrasi, penggunaan lahan, jaringan sungai, persebaran gua dan mataair untuk pembuatan peta digital dan mengidentifikasi lokasi kajian

2.2. Data Penelitian

Data yang dikumpulkan dalam penelitian terdiri dari data primer dan sekunder berdasarkan cara perolehannya. Data primer merupakan data yang didapatkan langsung dari lapangan. Data primer yang dikumpulkan adalah sebagai berikut:

1. Data tinggi muka air (TMA) di kedua lokasi penelitian untuk pembuatan *rating curve*.
2. Data debit aliran pengukuran lapangan di kedua lokasi penelitian untuk pembuatan *rating curve*.
3. Data hujan wilayah sekitar Sistem Karst Gua Pindul untuk *time series analysis* dan analisis perilaku banjir.

Data sekunder merupakan data yang diperoleh dari hasil pengolahan pihak kedua. Data tersebut diantaranya adalah:

1. Data jenis batuan penyusun akuifer untuk membantu analisis karakteristik sistem drainase karst.
2. Data sistem perguaan dan mataair untuk membantu analisis karakteristik sistem drainase karst.

2.3. Cara Penelitian

2.3.1. Teknik Pengumpulan Data

a. Pencatatan Data Tinggi Muka Air (TMA)

TMA dicatat secara otomatis menggunakan alat *automatic water level logger* yang biasa disebut *logger* muka air (Gambar 2.1). *Logger* muka air yang digunakan adalah Hobo U-20-01 yang mampu mencatat hingga kedalaman 12 meter pada air tawar. Alat ini dipasang pada kedua lokasi pengukuran. Prinsip kerja *logger* adalah mencatat TMA berdasarkan perbandingan tekanan udara dengan

tekanan di dalam air. Pencatatan data TMA diatur setiap 15 menit sekali dengan pertimbangan mampu mencatat fluktuasi yang terjadi.

Gambar 2.1. *Logger* muka air Hobo U-20-01 (sumber: <http://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/u20l-01#>)

b. Pencatatan Data Tebal Hujan

Tebal hujan dicatat menggunakan satu penakar hujan otomatis. Agniy (2016) melakukan penelitian yang menunjukkan bahwa luas DTA Sistem Karst Pindul adalah 15,44 km². Berdasarkan data tersebut, alat penakar hujan dipasang di tengah sistem dengan pertimbangan mewakili curah hujan yang terjadi (Gambar 3.9). Alat tersebut adalah Hobo RG-03 (Gambar 2.2). Alat penakar tersebut mengukur tebal hujan sewaktu-waktu apabila ada air yang mengisinya. Air hujan yang masuk akan mengetuk alat pencatat otomatis. Satu kali ketukan setara dengan 0,2 mm.

Gambar 2.2. *Logger* hujan Hobo RG-03
(sumber: <http://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/rg3>)

c. Pengukuran Debit Aliran

Debit merupakan volume air yang mengalir pada penampang sungai persatuan waktu (Soewarno, 1991). Menurut Linsley, dkk (1975) metode pengukuran debit yang paling akurat adalah *velocity method*. Meskipun demikian, pengukuran debit di penelitian ini dilakukan menggunakan *slope method*. Hal ini dikarenakan kecepatan arus saat debit normal pada lokasi penelitian terlalu kecil sehingga alat ukur kecepatan aliran tidak berfungsi dengan baik.

Slope method yang paling umum digunakan adalah koefisien *manning* (Chow, 1959; Linsley, dkk, 1975; Seyhan, 1977; Soewarno, 1991). Metode ini memodelkan kecepatan arus dengan persamaan matematika berdasarkan kemiringan muka air. Sementara itu, luas penampang tetap diukur di lapangan. Persamaan *slope method* dengan koefisien *manning* dijelaskan pada persamaan 1.

$$Q = A \left(\frac{R^{2/3} S^{1/2}}{n} \right) \dots\dots\dots (1)$$

dimana Q merupakan debit aliran (m³/s), A merupakan luas penampang sungai (m²), S merupakan kemiringan sungai (m), n merupakan koefisien *manning*, dan R merupakan *radius hydraulic* sungai (m) yang dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$R = \frac{A}{P} \dots\dots\dots (2)$$

dimana P merupakan perimeter basah (m)

Luas penampang sungai (A) didapatkan dengan mengukur kedalaman dan lebar setiap segmen (Seyhan, 1977). Semakin kecil segmen maka pengukuran semakin akurat (Gambar 2.3). Sementara itu, Pengukuran kemiringan sungai dijelaskan oleh Gambar 2.4. Persamaan kemiringan sungai adalah sebagai berikut:

$$S = \frac{(b-a)}{L} \dots\dots\dots (3)$$

dimana a dan b merupakan tinggi muka air sungai, dan L merupakan panjang sungai pada pengukuran kedua muka air.

Koefisien *manning* (n) didapatkan dari penilaian enam parameter (Tabel 2.1). Parameter tersebut didasarkan atas percobaan pada suatu DAS (daerah aliran sungai) dan telah dilakukan validasi sebanyak 160 percobaan (Chow, 1959).

Tabel 2.1. Penilaian koefisien *manning* (Chow, 1959)

Keadaan Saluran		Harga n	
Material dasar	Tanah	n0	0,02
	Batu		0,025
	Gravel halus		0,024
	Gravel kasar		0,028
Tingkat ketidakseragaman saluran	Halus	n1	0
	Agak halus		0,005
	Sedang		0,01
	Kasar		0,02
Variasi penampang melintang saluran	Lambat laun	n2	0
	Kadang-kadang berubah		0,005
	Sering berubah		0,010 - 0,015
Pengaruh adanya bangunan dan penyempitan penampang	Diabaikan	n3	0
	Agak berpengaruh		0,010 - 0,015
	Cukup berpengaruh		0,020 - 0,030
	Sangat berpengaruh		0,040 - 0,060
Tanaman	Rendah	n4	0,005 - 0,010
	Sedang		0,010 - 0,025
	Tinggi		0,025 - 0,050
	Sangat tinggi		0,050 - 0,100
Tingkat meander	Rendah	m5	1
	Menengah		1,15
	Tinggi		1,3

Keterangan: $n = (n0 + n1 + n2 + n4) m5$

Gambar 2.3. Pengukuran luas penampang sungai (Seyhan, 1977)

Gambar 2.4. (a) Ilustrasi perhitungan kemiringan sungai

Gambar 2.4. (b) dan (c). Pemasangan piskal di lokasi kajian untuk menghitung kemiringan sungai

2.3.2. Teknik Pengolahan Data

a. Pengolahan Data untuk Karakterisasi Pelepasan Komponen Aliran dan Prosentase Aliran Dasar

1. Pembuatan *Rating Curve* dan Hidrograf Aliran

Hubungan antara debit aliran dengan TMA akan membentuk suatu kurva yang disebut *rating curve* (Linsley, dkk, 1975; Soewarno, 1991). Kurva tersebut dibuat berdasarkan pengukuran debit dan TMA yang telah dijelaskan diatas. Contoh *rating curve* dapat dilihat pada Gambar 2.5. Schulz (1976) menyatakan bahwa *rating curve* akan menghasilkan koefisien yang dapat digunakan untuk membuat hidrograf aliran. Hidrograf tersebut dapat dibuat berdasarkan pencatatan TMA secara otomatis yang dilakukan di penelitian ini. Persamaan *rating curve* yang menghasilkan debit aliran berdasarkan konstanta adalah sebagai berikut:

$$Q = a(H - H_0)^b \dots\dots\dots(4)$$

dimana Q merupakan debit aliran, a dan b merupakan konstanta hasil regresi, H merupakan TMA pencatatan *logger*, dan H_0 merupakan TMA ketika debit aliran nol.

Gambar 2.5. *Rating curve* (Soewarno, 1991)

2. Pemilihan Kejadian Banjir dan Perhitungan Konstanta Resesi

Konstanta resesi dihitung pada hidrograf yang memiliki kejadian banjir. Setelah terjadinya puncak banjir, hidrograf akan mengalami resesi yang dapat dihitung konstantanya. Persamaan kurva resesi menurut Barnes (1940, dalam Schulz, 1976) adalah sebagai berikut:

$$Q_t = Q_0 e^{-kt} \dots\dots\dots(5)$$

dimana Q_t merupakan debit aliran pada waktu ke- t , Q_0 merupakan debit aliran pada waktu $(t=0)$, e^{-k} merupakan konstanta resesi yang dapat disimbolkan dengan K_r , dan t merupakan waktu.

Hasil *ploting* dalam skala semi-log menunjukkan bahwa persamaan tersebut linier sehingga dapat diubah menjadi seperti berikut:

$$\ln Q_t = \frac{-1}{(t-t_0)} \ln\left(\frac{Q_t}{Q_0}\right) \dots\dots\dots(6)$$

$$K_r = \frac{-1}{(t-t_0)} \ln\left(\frac{Q_t}{Q_0}\right) \dots\dots\dots(7)$$

Schulz (1976) mengungkapkan bahwa selama kejadian resesi terdapat tiga komponen utama, yaitu *streamflow* (K_{rs}), *interflow* (K_{ri}), dan *baseflow* (K_b). Persamaan dari ketiga resesi tersebut adalah sebagai berikut:

$$K_r = K_{rs} + K_{ri} + K_b \dots\dots\dots(8)$$

Adji, dkk, (2006), Adji (2009), Bahtiar dan Adji (2016) menggunakan konsep konstanta resesi untuk mengkarakterisasi sifat aliran karst yang dicerminkan oleh komponen pelepasannya. Konsep tersebut mengidentikkan komponen *sreamflow* dengan *conduit*, komponen *interflow* dengan *fissure*, dan

komponen *baseflow* dengan *diffuse*. Schulz(1976) mengkategorikan nilai konstanta setiap komponen tersebut seperti pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Nilai konstanta resesi (Schulz, 1976)

Komponen aliran	Nilai konstanta resesi
<i>Overlandflow/conduit</i>	0,05 – 0,5
<i>Interflow/fissure</i>	0,5 – 0,85
<i>Baseflow/diffuse</i>	0,80 – 0,98

Menurut Schulz (1976), tidak semua hidrograf banjir memiliki ketiga komponen resesi. Penelitian ini akan menggunakan konstanta resesi untuk mengkarakterisasi sistem drainase karst sehingga hidrograf banjir dipilih pada bentuk yang memiliki satu kali kejadian hujan dan memiliki waktu resesi cukup panjang. Contoh hidrograf banjir yang dapat dihitung konstanta resesinya dapat dilihat pada Gambar 2.6.

Gambar 2.6. Contoh resesi hidrograf banjir terpilih (Adji dan Bahtiar, 2016)

3. Pemisahan Aliran Dasar

Pemisahan aliran dasar pada penelitian ini menggunakan metode *recursive digital filter* yang dikembangkan oleh Lyne dan Hollick (1979). Metode ini menggunakan prinsip yang biasa digunakan dalam analisis dan pemrosesan sinyal. *Quickflow* mempunyai sifat frekuensi tinggi, sedangkan *baseflow* mempunyai sifat frekuensi rendah (Nathan dan McMahon, 1990). Persamaan *recursive digital filter* dari Lyne dan Hollick (1979) adalah sebagai berikut:

$$f_k = \alpha f_{k-1} + \frac{(1+\alpha)}{2} (y_k - y_{k-1}) \dots \dots \dots (9)$$

$$b_k = y_k - f_k \dots \dots \dots (10)$$

dimana f_k merupakan *quickflow* pada waktu k , y_k merupakan debit aliran pada waktu k , α merupakan konstanta resesi aliran dasar, dan b_k merupakan *baseflow* pada waktu k .

Pemisahan aliran dasar dilakukan dengan modul BFI+ dari *software* hydroOffice 2010. Modul tersebut dikembangkan oleh Milos Gregor. BFI+ memiliki sebelas metode pemisahan aliran dasar (Gregor, 2010). Penggunaan modul ini membutuhkan *input* debit aliran dan waktu secara *time series*.

b. Pengolahan Data untuk Karakterisasi Banjir

1. Perhitungan Hujan Efektif

Hujan efektif adalah hujan yang tidak terinfiltrasi atau menggenang di permukaan (Chow, dkk, 1988). Dalam kata lain, hujan efektif adalah hujan yang menjadi aliran permukaan. Hujan efektif umumnya digunakan untuk membuat hidrograf satuan, yaitu hidrograf yang dihasilkan dari hujan setebal 1 mm yang diasumsikan jatuh merata pada daerah tangkapan air (Linsley, dkk, 1975; Seyhan, 1977).

Penelitian ini menggunakan konsep hujan efektif untuk menganalisis seberapa besar hujan yang menjadi aliran permukaan dan bagaimana hubungannya dengan debit puncak pada Sistem Drainase Karst Pindul. Menurut Chow, dkk (1988), hujan efektif dapat dihitung dengan langkah sebagai berikut (Gambar 2.7):

Gambar 2.7. Grafik hasil perhitungan hujan efektif (Chow, dkk, 1988)

- Langkah pertama adalah menghitung aliran dasar. Penelitian ini menghitung aliran dasar secara kontinu menggunakan *digital filtering* seperti dijelaskan pada Subbab 2.3.2.a.3.
- Langkah kedua adalah menghitung nilai total aliran permukaan dengan cara mengurangi debit aliran dengan aliran dasar kemudian dijumlahkan seluruhnya.
- Langkah ketiga adalah menghitung volume aliran permukaan dengan rumus sebagai berikut:

$$V(m^3) = \text{total run off} \left(\frac{m^3}{\text{detik}} \right) \times \text{waktu pengukuran(jam)} \times \frac{3600 \text{ detik}}{1 \text{ jam}} \dots\dots(11)$$

- Langkah keempat adalah menghitung tebal aliran permukaan (r_d) dengan rumus berikut:

$$r_d(mm) = \frac{V(m^3)}{\text{Luas daerah tangkapan}(m^2)} \times 1000 \dots\dots\dots(12)$$

- Langkah kelima adalah menghitung *initial abstraction* (ϕ), yaitu hujan yang mengalami infiltrasi, penggenangan, atau evapotranspirasi, dengan rumus berikut:

$$r_d(mm) = \sum_{m=1}^M (R_m - \phi \Delta t 1 \text{ jam}) \dots\dots\dots(13)$$

$$\phi \left(\frac{mm}{jam} \right) = \frac{(R_1 + R_2 + \dots R_M) - r_d}{(1 + 2 + \dots M) \Delta t 1 \text{ jam}} \dots\dots\dots(14)$$

- Langkah keenam dilakukan dengan mengurangi hujan maksimum (R_m) yang digunakan pada persamaan 30 dengan nilai ϕ . Hujan efektif adalah jumlah dari nilai tersebut.

2. Perhitungan Parameter Hidrograf Banjir

Hidrograf banjir mempunyai bentuk seperti lonceng yang terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu T_p (*time to peak*), Q_p (debit puncak), dan T_b (*time to baseflow*) (Gambar 2.8). Menurut Adji dan Cahyadi (2016), parameter yang disebutkan diatas dapat digunakan untuk mengkarakterisasi sistem drainase karst karena mencerminkan kondisi daerah tangkapan, simpanan akuifer, cara pelepasan komponen aliran, dan bagaimana hubungan curah hujan dengan debit aliran.

Gambar 2.8. Ilustrasi parameter hidrograf banjir

Parameter hidrograf tersebut dapat dihitung menggunakan definisi dari Linsley, dkk (1975) dan Seyhan (1977), yaitu: (1) T_p merupakan panjang waktu dari puncak hujan hingga terjadinya debit puncak, (2) Q_p merupakan nilai debit puncak banjir, (3) T_b merupakan panjang waktu setelah terjadinya Q_p hingga kembali menjadi aliran dasar.

c. Pengolahan Data untuk Karakterisasi Respons Debit Terhadap Hujan

Karakterisasi respons debit terhadap hujan dilakukan menggunakan *time series analysis*. Konsep dari metode ini adalah menganggap sistem drainase karst sebagai *black box* yang tidak diketahui kinerjanya (Ford & Williams, 1989). Analisis dilakukan melalui hubungan *input* (curah hujan) dengan *output* (debit aliran atau muka airtanah) yang diolah secara statistik (Mangin, 1984; Kovacs dan Sauter, 2007) (Gambar 2.9).

Gambar 2.9. Ilustrasi *time series analysis* sebagai model *black box*

Time series analysis menggunakan perhitungan statistik berupa *univariate* (*auto-correlation*) dan *bivariate* (*cross-correlation*) (Kovacs dan Sauter, 2007). Kedua metode menganalisis data berdasarkan waktu dan dapat diubah bentuk menjadi analisis frekuensi. *Auto-correllation* dapat diubah menjadi *spectral*

density. *Cross-correlation* dapat diubah menjadi *cross-amplitude*, *phase function*, *coherency function*, dan *gain function*. Zang, dkk, (2013) mengklasifikasikan metode *time series analysis* untuk karakterisasi sistem drainase karst (Tabel 2.3). Panagopoulus dan Lambarakis (2006) menjelaskan metode-metode tersebut dalam kaitannya dengan karakterisasi sistem drainase karst, yaitu:

Tabel 2.3. Klasifikasi *time series analysis* untuk karakterisasi sistem drainase karst (Zang, dkk, 2013 dengan modifikasi)

Respons sistem drainase karst		Definisi	Metode	Indikator
Aliran <i>conduit</i>	Waktu tunda aliran <i>conduit</i>	Nilai rerata respons cepat hidrograf terhadap hujan. T_{lag} dihitung pada <i>rising limb</i> hidrograf	<i>Cross-correlation</i> <i>Phase functions</i> <i>Cross-amplitude</i>	Waktu dari puncak grafik $Time\ delay(d)=\theta_{xy}(f)/2\pi f$ Nilai ketika mendekati nol
	Durasi minimum aliran <i>conduit</i>	Durasi minimum pelepasan aliran <i>conduit</i> yang dihitung dari resesi K_c	<i>Gain functions</i>	$G_{xy}(f) < 0,4$
Aliran <i>diffuse</i>	Rerata durasi aliran <i>diffuse</i>	Rerata durasi yang dihitung menggunakan K_b	<i>Auto-correlation</i> <i>Spectral density functions</i>	$Memory\ effect(c)=2/(n^{0,5})$ $Regulation\ time(t_{reg})=s(f=0)/2$
	Durasi maksimum aliran <i>diffuse</i>	Durasi maksimum pelepasan aliran <i>diffuse</i> yang dihitung dari resesi K_b	<i>Gain functions</i>	$G_{xy}(f) > 1$
Aliran <i>fissure</i>	Rerata durasi aliran <i>fissure</i>	Rerata durasi yang dihitung menggunakan K_i	<i>Auto-correlation</i> <i>Cross-correlation</i>	Permulaan penurunan tajam grafik Permulaan penurunan tajam grafik
	Durasi aliran <i>fissure</i>	Durasi yang dihitung pada selang antara K_c dengan K_b	<i>Gain functions</i>	$0,4 < g_{xy}(f) < 1$

1. Auto-Correlation

Auto-correlation disebut sebagai *univariate* karena hanya menggunakan satu *signal* (debit aliran atau TMA) dalam analisisnya. Persamaan metode ini adalah sebagai berikut:

$$r(k) = \frac{C(k)}{C(0)} \dots\dots\dots(15)$$

$$C(k) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n-k} (x_t - \bar{x})(x_{t+k} - \bar{x}) \dots\dots\dots(16)$$

$$C(0) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x})^2 \dots\dots\dots(17)$$

C(k) adalah *correlogram* yang menunjukkan *memory effect*, yaitu kemampuan sistem dalam menyimpan *input signal* (curah hujan). Karst yang telah berkembang akan menyimpan *input signal* dalam waktu yang lebih lama dibandingkan karst yang belum berkembang. Bentuk *correlogram* diidentikkan dengan grafik resesi hidrograf banjir. Oleh karena itu, grafik C(k) pada nilai tertentu menunjukkan durasi pelepasan komponen *baseflow* (durasi penyimpanan *input signal*) (Gambar 2.10). Nilai tertentu tersebut dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$C(k) = \frac{2}{\sqrt{\text{banyak data}}} \dots\dots\dots(18)$$

Gambar 2.10. Contoh *auto-correlation* di dua sistem karst berbeda, Trifilia (dominasi *baseflow*) dan Almyros (dominasi *quickflow*) (Panagopoulus dan Lambarakis, 2006)

2. Spectral Density

Perhitungan *auto-correlation* dapat diubah menjadi bentuk frekuensi yang menghasilkan nilai *spectral density*. Persamaan *spectral density* adalah sebagai berikut:

$$S(f) = 2[1 + 2 \sum_{k=1}^m D(k)r(k) \cos(2\pi fk)] \dots\dots\dots(19)$$

$$D(k) = \frac{1 + \cos \pi \frac{k}{m}}{2} \dots\dots\dots(20)$$

Spectral density menunjukkan distribusi data pada berbagai frekuensi, dimana puncak-puncak grafik menggambarkan siklus atau pola banjir dari suatu sistem karst (Gambar 2.11). Larocque, dkk (1998) dan Zang, dkk (2013) menerangkan bahwa T_{reg} (*time regulation*) merupakan durasi penyimpanan *input signal* oleh sistem yang dapat diukur melalui grafik *spectral density*. Konsep ini menyerupai *memory effect* pada *auto-correlation*. Persamaan T_{reg} adalah sebagai berikut:

$$T_{reg} = \frac{S(f=0)}{2} \dots\dots\dots(21)$$

Gambar 2.11. Contoh grafik *spectral density*, ZJS melepaskan aliran *diffuse* lebih lambat dibandingkan ELP (Zang, dkk, 2013)

3. Cross-Correlation

Cross-correlation merupakan hubungan antara *input signal* (curah hujan) dengan *output signal* (debit aliran) (Gambar 2.12) sehingga disebut juga hubungan *bivariate*. Persamaan dari hubungan ini adalah sebagai berikut:

$$r_{xy}(k) = \frac{C_{xy}(k)}{\sqrt{C_{x(0)}^2 C_{y(0)}^2}} \dots\dots\dots(22)$$

$$C_{xy}(k) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n-k} (x_t - \bar{x})(y_{t+k} - \bar{y}) \dots\dots\dots(23)$$

$$C_x(0) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x})^2 \dots\dots\dots(24)$$

$$C_y(0) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (y_t - \bar{y})^2 \dots\dots\dots (25)$$

$C_{xy}(k)$ merupakan *cross-correlogram*, dimana nilai T_{lag} (waktu tunda) adalah rentang antara nilai T_{lag} (sumbu x) ketika nol hingga puncak *cross-correlogram*. Nilai $C_{xy}(k)$ menunjukkan seberapa cepat hujan akan muncul sebagai debit aliran di titik pengukuran. Oleh karena itu, *cross-correlogram* diidentikkan dengan hidrograf banjir yang memiliki *rising limb*, debit puncak, dan resesi. T_{lag} pada metode ini menggambarkan respons sistem karst terhadap aliran *conduit*. Karst yang telah berkembang akan mempunyai T_{lag} yang cepat (Gambar 2.12).

Gambar 2.12. Contoh *cross-correlogram*, Almyron merupakan karst yang berkembang sehingga memiliki T_{lag} yang lebih cepat dibandingkan Trifilias (Panagopoulus dan Lambarakis, 2006)

4. Cross-Amplitude

Nilai *cross-correlation* yang diubah dari satuan waktu menjadi frekuensi akan menghasilkan *cross-amplitude*. Persamaan metode ini adalah sebagai berikut:

$$S_{xy}(f) = h_{xy}(f) - i\lambda_{xy}(f) \dots\dots\dots (27)$$

$$h_{xy}(f) = 2\{r_{xy}(0) + \sum_1^m [r_{xy}(k) + r_{yx}(k)]D(k)\cos(2\pi fk)\} \dots\dots\dots (28)$$

$$\lambda_{xy}(f) = 2\{\sum_1^m [r_{xy}(k) - r_{yx}(k)]D(k)\sin(2\pi fk)\} \dots\dots\dots (29)$$

S_{xy} merupakan *cross-amplitude* yang menunjukkan seberapa lama *input signal* (hujan) difilter oleh sistem karst sebelum keluar sebagai *output signal* (debit aliran). Menurut Zang, dkk (2013), nilai tersebut menunjukkan T_{lag} maksimum sistem drainase karst dalam merespons hujan. Nilai tersebut terjadi ketika S_{xy} mendekati

nol. Karst yang telah berkembang akan mempunyai T_{lag} maksimum lebih cepat (Gambar 2.13).

5. Phase Functions

Phase functions merupakan hasil modifikasi dari *cross-amplitude*, persamaan tersebut adalah sebagai berikut:

$$\theta_{xy}(f) = \arctan \frac{\lambda_{xy}(f)}{h_{xy}(f)} \dots \dots \dots (30)$$

Nilai θ_{xy} merupakan *phase* yang menunjukkan perbedaan frekuensi antara *input signal* dengan *output signal*. Perbedaan frekuensi ini terjadi karena adanya *input signal* (hujan) yang difilter oleh sistem karst. Nilai tersebut memiliki kegunaan yang komplemen dengan *cross-correlation*, yaitu menunjukkan waktu jeda terhadap aliran *conduit*. Waktu jeda (d) dari *phase functions* dihitung dengan persamaan berikut:

$$d = \frac{\theta_{xy}(f)}{2\pi f} \dots \dots \dots (31)$$

Karst yang berkembang akan mempunyai nilai d yang lebih cepat dibandingkan karst yang belum berkembang (Gambar 2.14)

Gambar 2.13. Contoh grafik *cross-amplitude*, ELP merupakan karst berkembang yang memiliki nilai S_{xy} lebih cepat mendekati nol daripada ZJS (Zang, dkk, 2013).

6. Gain-Functions

Gain functions menunjukkan durasi dari *quickflow*, *interflow*, dan *baseflow*. Padilla dan Pulido-Bosch (1995) membuktikan bahwa *gain* yang bernilai satu

menandakan berlakunya *baseflow*, nilai 0,4 menunjukkan berlakunya *quickflow*, dan diantara nilai keduanya berlaku *interflow*. Karst berkembang akan memiliki durasi *quickflow*, *interflow*, dan *baseflow* yang lebih cepat dibandingkan karst belum berkembang (Gambar 2.15). Persamaan dari fungsi ini adalah sebagai berikut:

$$g_{xy}(f) = \frac{s_{xy}(f)}{s_x(f)} \dots\dots\dots (32)$$

Gambar 2.14. Contoh grafik *phase functions*, (a) merupakan karst belum berkembang yang memiliki nilai *phase* lebih lambat daripada (b) yang merupakan karst berkembang (Padilla dan Pulido-Bosch, 1995).

Gambar 2.15. Contoh grafik *gain functions*, ZJS merupakan karst belum berkembang yang memiliki nilai *gain* 1 dan 0,4 lebih lambat dibandingkan ELP yang merupakan karst berkembang (Zang, dkk, 2013)

2.3.3. Teknik Analisis Data

a. Analisis Data untuk Karakterisasi Pelepasan Komponen Aliran dan Prosentase Aliran Dasar

1. Analisis Deskriptif

Analisis deskriptif yang digunakan berupa grafik dan tabel. Rincian mengenai penggunaan grafik dan tabel pada analisis ini adalah sebagai berikut:

- Tabel:

- Tabel data pengukuran debit aliran dan TMA di Gua Pindul dan *Sinking Stream* Kedungbuntung.
- Tabel hasil perhitungan konstanta resesi di Gua Pindul dan *Sinking Stream* Kedungbuntung.
- Tabel prosentase aliran dasar perbulan selama enam bulan di Gua Pindul dan *Sinking Stream* Kedungbuntung.
- Tabel perbandingan julat dan rerata nilai konstanta resesi antara Gua Pindul dengan *Sinking Stream* Kedungbuntung
- Tabel perbandingan nilai dan rerata prosentase aliran dasar pada setiap kejadian banjir terpilih antara Gua Pindul dengan *Sinking Stream* Kedungbuntung

- Grafik:

- Grafik *rating curve* Gua Pindul dan *Sinking Stream* Kedungbuntung.
- Grafik debit dan curah hujan selama enam bulan Gua Pindul dan *Sinking Stream* Kedungbuntung.
- Grafik perhitungan nilai konstanta resesi pada setiap kejadian banjir terpilih di Gua Pindul dan *Sinking Stream* Kedungbuntung.
- Grafik perbandingan debit aliran dasar selama enam bulan di Gua Pindul dan *Sinking Stream* Kedungbuntung.

2. Analisis Statistik Inferensial

Statistik inferensial yang digunakan berupa regresi dan korelasi. Regresi digunakan untuk mencari rumus hubungan antara debit aliran dengan TMA di Gua Pindul dan *Sinking Stream* Kedungbuntung. Korelasi digunakan untuk mengetahui

keamatan hubungan antar debit aliran dengan curah hujan di Gua Pindul dan *Sinking Stream* Kedungbuntung.

3. Analisis Keruangan

Analisis keruangan digunakan untuk membandingkan karakteristik pelepasan komponen aliran (tercermin melalui konstanta resesi) dan simpanan aliran dasar (tercermin melalui prosentase aliran dasar) dari Gua Pindul dan *Sinking Stream* Kedungbuntung.

4. Analisis Temporal

Analisis temporal digunakan untuk membandingkan karakteristik prosentase aliran dasar pada setiap kejadian banjir dan periode hujan (awal hujan pada bulan Januari-Februari, akhir hujan pada bulan Maret-April, dan awal kemarau pada Mei-Juni).

b. Analisis Data untuk Karakterisasi Banjir

1. Analisis Deskriptif

Analisis deskriptif yang digunakan berupa grafik dan tabel. Rincian mengenai penggunaan grafik dan tabel pada analisis ini adalah sebagai berikut:

- Tabel

- Tabel komponen hujan efektif di Gua Pindul dan *Sinking Stream* Kedungbuntung.
- Tabel perbandingan komponen hujan efektif antara Gua Pindul dengan *Sinking Stream* Kedungbuntung.

- Grafik:

- Grafik hidrograf banjir dan *hyetograph* pada kejadian banjir terpilih di Gua Pindul dan *Sinking Stream* Kedungbuntung.
- Grafik korelasi debit puncak dengan hujan efektif, hujan puncak, tebal hujan, dan durasi hujan di Gua Pindul dan *Sinking Stream* Kedungbuntung.

2. Analisis Statistik Inferensial

Statistik inferensial yang digunakan adalah korelasi. Metode ini digunakan untuk mencari keeratan hubungan antara debit puncak dengan tebal hujan, durasi hujan, hujan efektif, dan durasi hujan.

3. Analisis Keruangan

Analisis keruangan digunakan untuk membandingkan karakteristik komponen hujan efektif dari Gua Pindul dan *Sinking Stream* Kedungbuntung.

4. Analisis Temporal

Analisis temporal digunakan untuk membandingkan karakteristik komponen hujan efektif pada periode hujan berbeda (awal hujan pada bulan Januari-Februari dan akhir hujan pada bulan Maret-April) di Gua Pindul dan *Sinking Stream* Kedungbuntung.

c. Analisis Data untuk Karakterisasi Respons Debit Terhadap Hujan

1. Analisis Deskriptif

Analisis deskriptif yang digunakan berupa grafik dan tabel. Rincian mengenai penggunaan grafik dan tabel pada analisis ini adalah sebagai berikut:

- Tabel perbandingan nilai *time series analysis* antara Gua Pindul dan *Sinking Stream* Kedungbuntung
- Grafik perbandingan *auto-correlation*, *spectral analysis*, *auto-correlation*, *cross-amplitude*, *phase function*, *gain function* antara Gua Pindul dengan *Sinking Stream* Kedungbuntung.

2. Analisis Keruangan

Analisis keruangan digunakan untuk membandingkan karakteristik respons debit aliran terhadap curah hujan (tercermin melalui hasil *time series analysis*) dari Gua Pindul dan *Sinking Stream* Kedungbuntung.

2.4. Tahapan Penelitian

Penelitian ini berlangsung selama 7 bulan. Pengambilan data lapangan berlangsung selama 6 bulan, yaitu pada 1 Januari 2017 hingga 30 Juni 2017. Pengolahan data, analisis data, dan pembuatan laporan penelitian berlangsung selama satu bulan, yaitu Juli 2017. Tahapan penelitian dapat dilihat secara sistematis pada Gambar 2.16. Uraian tahapan penelitian ini adalah sebagai berikut:

2.4.1. Tahap Pra-Lapangan

- a. Studi literatur dilakukan untuk memahami teori mengenai kajian penelitian.
- b. Survei lapangan dilakukan untuk lebih mengenali lokasi penelitian.

2.4.2. Tahap Lapangan

- a. Pemasangan alat *logger* muka air di Gua Pindul dan *Sinking Stream* Kedungbuntung, *logger* muka air kalibrasi, dan *logger* hujan
- b. Pengukuran debit aliran setiap dua minggu sekali dan ketika terjadi banjir.

2.4.3. Tahap Paska Lapangan

- a. Pembuatan *rating curve* untuk mendapatkan data debit secara kontinu
- b. Perhitungan konstanta resesi dari hidrograf banjir terpilih.
- c. Pemisahan aliran dasar untuk mendapatkan data PAD.
- d. Perhitungan *time series analysis*.
- e. Perhitungan hujan efektif.
- f. Penyusunan laporan penelitian.

Gambar 2.16. Diagram alir penelitian

BAB III

DESKRIPSI WILAYAH

3.1. Letak, Batas, dan Luas Daerah Penelitian

Sistem Drainase Karst Pindul secara administratif berada di Kecamatan Karangmojo, Kabupaten Gunungkidul. Gambar 3.1 menunjukkan lokasi relatif dan absolut dari Sistem Pindul dan Kecamatan Karangmojo. Lokasi absolut Kecamatan Karangmojo berada pada zona 49M dengan koordinat 9117000 – 9129000 mT dan 457500 – 468000 mU. Secara relatif, Kecamatan Karangmojo dibatasi oleh:

- Sebelah Utara dibatasi oleh Kecamatan Nglipar, Ngawen, dan Semin;
- Sebelah Barat dibatasi oleh Kecamatan Wonosari;
- Sebelah Timur dibatasi oleh Kecamatan Ponjong;
- Sebelah Selatan dibatasi oleh Kecamatan Semanu.

Kecamatan Karangmojo memiliki luas 80,12 km² atau 5,39% dari luas Kabupaten Gunungkidul (BPS, 2016). Terdapat sembilan desa yang menjadi bagian wilayah administrasi kecamatan ini. Tabel 3.1 menunjukkan nama desa dan luasannya.

Desa Bejiharjo memiliki luas terbesar di kecamatan ini. Sementara itu, Bejiharjo, Bendungan, dan Ngawis merupakan tiga desa terluas di dalam Sistem Drainase Karst Gua Pindul. Sistem Drainase Karst Pindul (15,44 km²) dikategorikan menjadi zona *diffuse* (luas 13,69 km²) dan zona *conduit* (luas 1,75 km²) (Agniy, 2016). Zona *conduit* memiliki ciri adanya sistem perguaan yang seluruhnya berada di Desa Bejiharjo (Gambar 3.1).

3.2. Kondisi Iklim

3.2.1. Curah Hujan

Data hujan didapatkan dari Balai Besar Wilayah Sungai Serayu-Opak-Progo (BBWS SOP). Stasiun hujan tersebut berada di Kecamatan Karangmojo dengan zona 49M serta koordinat 465066 mT dan 9121913 mU. Tabel 3.2 menunjukkan data hujan selama 10 tahun (2006-2015).

Gambar 3.2 menunjukkan bahwa wilayah kajian memiliki musim penghujan pada bulan Oktober-April dan musim kemarau pada Mei-September.

Hal tersebut dipengaruhi oleh adanya angin *monsoon* di Indonesia. Sementara itu, rerata hujan tahunan di wilayah kajian adalah 1752 mm, dengan anomali hujan terkecil terjadi pada tahun 2007 dan terbesar pada tahun 2013.

Gambar 3.1. Peta administrasi wilayah kajian

Tabel 3.1. Luas desa di Kecamatan Karangmojo
(BPS, 2016 dan pengolahan data tahun 2017)

No.	Desa	Luas (km ²)	% Luas desa terhadap kecamatan	Luas terhadap DTA (km ²)	% Luas terhadap DTA
1	Bendungan	6,51	3,68	3,55	22,95
2	Bejiharjo	22,01	27,47	4,52	29,22
3	Wiladeg	6,95	8,67	1,47	9,50
4	Kelor	3,68	4,59	1,29	8,34
5	Ngipak	5,31	6,63	0	0
6	Karangmojo	11,15	13,92	1,34	8,66
7	Gedangrejo	6,91	8,63	0	0
8	Ngawis	8,35	10,42	3,30	21,33
9	Jatiayu	12,81	15,99	0	0
Jumlah		80,12	100	15,47	100

Gambar 3.2. Rerata hujan bulanan Stasiun Karangmojo (BBWS, 2006-2015)

3.2.2. Suhu dan Kelembapan Udara

Suhu dan kelembapan udara di wilayah kajian dipengaruhi oleh letaknya yang berada di khatulistiwa. Matahari berada di atas khatulistiwa pada rentang bulan Maret-April-Mei dan September-Oktober-November (Garrison, 2011). Tabel 3.3 menunjukkan rerata suhu udara bulanan wilayah kajian selama enam bulan pengukuran lapangan (Januari-Juni). Suhu udara pada bulan Januari-Februari-Maret memiliki nilai sekitar 26°C, sedangkan pada bulan April-Mei-Juni memiliki nilai sekitar 27°C. Kelembapan udara relatif dihitung dengan membandingkan muatan uap air di udara dengan jumlah maksimum uap air yang dapat dimuat udara pada suhu tertentu. Menurut Strahler (2011), suhu udara yang lebih tinggi mampu memuat uap air lebih besar.

Tabel.3.2. Data hujan selama 10 tahun: (a) Rerata setiap bulan, (b) Hujan tahunan (BBWS, 2006-2015)

(a)			(b)		
No	Bulan	Rerata Hujan (mm)	No	Tahun	Hujan (mm)
1	Januari	259	1	2006	1703
2	Februari	299	2	2007	926
3	Maret	260	3	2008	1788
4	April	172	4	2009	1558
5	Mei	100	5	2010	2107
6	Juni	56	6	2011	1744
7	Juli	23	7	2012	1937
8	Agustus	5	8	2013	2204
9	September	27	9	2014	1701
10	Oktober	44	10	2015	1851
11	November	173	Rerata		1752
12	Desember	296	Max		2204
			Min		926

Tabel 3.3 menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu udara maka kelembapan udara semakin rendah. Hal ini diakibatkan oleh semakin besarnya kapasitas maksimum udara untuk memuat uap air. Kelembapan udara di wilayah kajian memiliki julat 77,8-86,6% dengan rerata 86,1%. Suhu dan kelembapan udara di Sistem Drainase Karst Pindul dapat dilihat pada Gambar 3.3.

Gambar 3.3. Suhu dan kelembapan udara wilayah kajian

Tabel 3.3. Suhu dan kelembapan udara wilayah kajian
(pengukuran lapangan, 2017)

Bulan	Suhu (°C)	Kelembaban (%)
Januari	26,2	86,6
Februari	26,5	84,7
Maret	26,5	85,1
April	27,2	82,6
Mei	27,3	81,9
Juni	27,0	77,8
Rerata	26,8	83,1
Max	27,3	86,6
Min	26,2	77,8

3.3. Kondisi Geologi

3.3.1. Fisiografi

Pegunungan Selatan Jawa Timur bagian barat merupakan salah satu zona dalam fisiografi Pulau Jawa menurut Bemmelen (1949). Zona tersebut selanjutnya dibagi lagi menjadi tiga subzona (Gambar 3.4). Subzona paling selatan adalah Karst Gunungsewu dengan material penyusun utama batugamping dari Formasi Wonosari dengan arah barat-timur. Basin Wonosari merupakan subzona tengah dengan material utama batugamping dari Formasi Wonosari dan napal pasiran dari Formasi Kepek. Subzona bagian utara adalah rangkaian Pegunungan Baturagung, Masif Panggung, dan Punggungan Plopoh dengan material utama batuan gunungapi tua. Gambar 3.4. menunjukkan bahwa Sistem Drainase Karst Pindul terletak di Basin Wonosari.

3.3.2. Stratigrafi

Material penyusun Zona Pegunungan Selatan dapat dikelompokkan menjadi batuan vulkanik dan karbonat (Suyoto, 1994 dalam Kusumayudha, 2005). Grup batuan vulkanik terdiri dari Formasi Kebobutak, Semilir, dan Nglanggran. Grup karbonat terdiri dari Formasi Sambipitu, Oyo, Wonosari, dan Kepek. Rahaningmas (2013) melakukan penelitian mengenai stratigrafi lokal wilayah Gua Pindul dan sekitarnya. Gambar 3.5 menunjukkan wilayah penelitian ini terdiri dari empat litofasies. Gambar 3.6 menunjukkan hubungan stratigrafinya. Penjelasan dengan urutan dari umur tertua ke yang muda adalah sebagai berikut:

Gambar 3.4. Fisiografi Zona Pegunungan Selatan Jawa Timur Bagian Barat (Bemmelen, 1949)

1. Tuff

Satuan Tuff merupakan yang paling tua di lokasi penelitian dengan perkiraan berumur Miosen Bawah. Satuan ini secara regional sebanding dengan Formasi Semilir. Batas satuan tuff dengan satuan di atasnya ditandai dengan perubahan endapan lingkungan laut dalam dengan tidak selaras.

Gambar 3.5. Peta Geologi wilayah Gua Pindul dan sekitarnya
(Rahaningmas, 2013)

Regional	Kala	Zonasi Blow	Satuan	Tebal (m)	strukturSedimen	LITOLOGI	Deskripsi	Lingkungan Pengendapan
Formasi Oyo	MIOSEN AKHIR	N7-N15	packstone	300			Endapan alluvial	Darat
							<i>Pacstone</i> : kalsit dan lumpur Napal lempung karbonatan	Neritik Tepi
Formasi Wonosari	MIOSEN AKHIR	N7-N15	grainstone	180			<i>Grainstone</i> kalsit, plagioklas	Neritik Luar-Tengah
							<i>Boundstone</i> kalsit	
Formasi Semilir	MIOSEN AWAL	N5-N6	tuff	250			Tuff	Neritik Luar
							Batu Pasir Tuff	

Gambar 3.6. Kolom stratigrafi wilayah Gua Pindul dan sekitarnya (Rahaningmas, 2013)

2. Boundstone

Satuan *boundstone* merupakan batugamping terumbu yang diendapkan kala Miosen Bawah-Miosen Tengah. Satuan ini ditandai dengan perubahan endapan lingkungan laut dalam. Hubungan dengan satuan tuff dibawahnya adalah tidak selaras, sedangkan dengan satuan diatasnya adalah saling memasuki/menjari.

3. *Grainstone*

Satuan *grainstone* merupakan batugamping karbonat dengan ukuran butir pasir kasar-halus yang diendapkan pada kala Miosen Tengah. Satuan ini diendapkan pada lingkungan laut neritik. Hubungan dengan satuan *boundstone* (di bawahnya) dan satuan *packstone* (di atasnya) adalah saling memasuki/menjari.

4. *Packstone*

Satuan *packstone* merupakan batugamping terumbu yang disisipi napal. Satuan ini merupakan yang paling muda, yaitu diendapkan kala Miosen Atas. Satuan ini diendapkan di lingkungan neritik tepi. Satuan *packstone* sebanding dengan Formasi Oyo.

3.3.3. Struktur Geologi

Struktur geologi yang ada di wilayah penelitian terdiri dari kekar, lipatan, dan sesar (Rahaningmas, 2013). Struktur kekar terdiri dari kekar tarik dan kekar gerus. Kekar gerus terbentuk akibat adanya gaya kompresi/tekan. Kekar ini terbentuk menyudut terhadap datangnya arah gaya utama dan terdiri dari sepasang arah. Kekar tarik terbentuk akibat bekerjanya gaya tarik. Kekar ini bersifat terbuka dan tidak berpasangan. Kedua kekar dijumpai pada litofasies *grainstone*.

Gambar 3.5 menunjukkan letak struktur lipatan dan sesar. Sesar Oyo merupakan sesar geser utama dengan arah relatif Utara-Selatan. Sesar Pindul merupakan sesar naik yang bersifat lokal dengan arah relatif Barat-Timur. Lipatan yang ada di wilayah penelitian dipengaruhi oleh geologi regional Pegunungan Selatan. Struktur tersebut adalah Antiklin Grogol yang memiliki arah relatif Barat Laut-Tenggara dengan kemiringan berlawanan.

3.4. Kondisi Geomorfologi

Hasil observasi lapangan dan analisis data morfologi, material penyusun, serta proses geomorfologi menunjukkan Sistem Drainase Karst Pindul memiliki dua satuan bentuklahan (Gambar 3.7). Penjelasan kedua satuan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Karst Berkembang

Bentuklahan karst berkembang dicirikan dengan adanya gua-gua yang saling berhubung. Menurut Haryono (2014), Gua Asri, Gua Greng, Gua Emas, Gua Candi, Gua Suruh, dan Gua Sioyot saling terhubung dari Timur ke Barat untuk selanjutnya bermuara di Gua Pindul (Gambar 3.9). Litologi penyusun satuan ini adalah *boundstone* yang tergolong batu gamping terumbu. Secara hidrogeologi, wilayah ini disebut zona *conduit* oleh Agniy (2016). Gua-gua yang saling terhubung di atas membentuk sungai bawah tanah yang memiliki karakteristik seperti sungai permukaan.

2. Karst Tidak Berkembang

Karst tidak berkembang dicirikan dengan material bawah permukaan yang homogen, munculnya mataair *diffuse*, dan adanya sungai permukaan *perennial*. Material yang homogen tersebut dibuktikan dengan dapat dilakukannya *pumping test* dan pembuatan peta *flownet* oleh Agniy (2016). Mataair *diffuse* terdapat di Mataair Kali Banteng dan Beji yang tidak keruh meskipun terjadi hujan. Sungai permukaan yang tidak pernah kering menunjukkan adanya aliran *baseflow* yang mensuplainya ketika musim kemarau.

3.5. Kondisi Tanah

Data peta tanah dari Balai Pengkajian Teknologi Pertanian (BPTP) DIY Tahun 2015 menunjukkan bahwa wilayah kajian memiliki empat jenis tanah (Gambar 3.8). Karakteristik setiap jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 3.4. Seluruh tanah yang ada memiliki ketebalan yang tipis (< 50 cm). Hal ini disebabkan oleh bahan induk yang berupa batuan gamping (terumbu dan karbonat) sehingga proses solusional lebih dominan daripada pelapukan. Tanah dengan material batugamping terumbu memiliki permeabilitas lebih baik daripada tanah bermaterial batugamping karbonat. Hal ini disebabkan oleh batugamping karbonat mengandung pengotor lempung dan pasir (litofasies *grainstone*). Karakteristik tanah ini memengaruhi imbuhan air ke zona *epikarst* Sistem Drainase Karst Pindul.

Gambar 3.7. Peta Bentuklahan wilayah Gua Pindul dan sekitarnya
(Observasi Lapangan dan Analisis Data, 2017)

3.6. Kondisi Penggunaan Lahan

Tabel 3.5 menunjukkan bahwa tegalan, pemukiman, dan sawah irigasi merupakan aktifitas manusia yang dominan di Sistem Karst Pindul. Tegalan memiliki luas terbesar mengingat karakteristik wilayah karst yang memiliki tanah tipis. Sawah irigasi berada di zona *conduit* (Gambar 3.9) yang berhubungan dengan adanya sumber air dari sungai bawah tanah untuk dijadikan irigasi. Keberadaan sistem perguaan di zona *conduit* dimanfaatkan masyarakat sebagai obyek wisata. Gua Pindul di *outlet* sistem karst dan Gua Tanding di *sinking stream* Kedungbuntung merupakan ikon wisata di wilayah ini. Sementara itu, zona *diffuse* memiliki mata air yang tidak pernah kering sepanjang tahun. Mataair ini dimanfaatkan oleh masyarakat untuk kegiatan sehari-hari, seperti mandi, mencuci, dan memandikan ternak.

Tabel 3.4. Karakteristik jenis tanah di Sistem Pindul (BPTP DIY, 2015)

Jenis Tanah	Bahan Induk	Tekstur	Kedalaman (cm)	Permeabilitas	Konsistensi	Luas (km ²)
<i>Typic Eutropepts</i>	Batugamping terumbu	Lempung	< 50	Sedang	Teguh	2
<i>Lithic Haplustols</i>	Batugamping Terumbu	Lempung	< 50	Sedang	Teguh	3
<i>Typic Hapluderts</i>	Kompleks endapan liat dan batugamping karbonat	Lempung	< 50	Lambat	Teguh	4
<i>Lithic Ustrophepts</i>	Batugamping karbonat	Lempung	< 50	Agak Lambat	Teguh	6

Tabel 3.5. Luas penggunaan lahan di Sistem Pindul
(Peta Podes, 2008; Citra Geo Eye 2015, Survei Lapangan 2017)

No	Penggunaan Lahan	Luas (km ²)	%
1	Kebun	0,02	0,15
2	Pemukiman	4,87	31,57
3	Rumput	0,02	0,13
4	Sawah irigasi	1,13	7,35
5	Tegalan	9,37	60,68
6	Tubuh Air	0,02	0,12

Gambar 3.8. Peta Tanah wilayah Pindul dan sekitarnya (BPTP, 2015)

PETA PENGGUNAAN LAHAN SISTEM DRAINASE KARST PINDUL

Gambar 3.9. Peta Penggunaan Lahan Sistem Drainase Karst Pindul
(Peta Podes, 2008; Citra Geo Eye 2015, Survei Lapangan 2017)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Karakteristik Pelepasan Komponen Aliran dan Prosentase Aliran Dasar

4.1.1. *Sinking Stream* Kedungbuntung

Sinking Stream Kedungbuntung merupakan sungai permukaan yang tertelan mulut gua (Gambar 4.1.a). Sungai ini tidak pernah kering sepanjang tahun sehingga disebut sebagai sungai *perennial*. Gambar 3.9 menunjukkan bahwa Mataair Kali Banteng, Beji, Mudal, dan Jebul menjadi suplai utama aliran air saat musim kemarau. Ketika terjadi hujan, sungai ini mendapat imbuhan limpasan permukaan dari lahan sekitarnya. Oleh karena itu, *Sinking Stream* Kedungbuntung memiliki debit yang lebih besar dan berwarna keruh ketika musim penghujan. Ketika musim kemarau, sungai ini memiliki debit yang lebih rendah dan berwarna jernih (Gambar 4.1).

Gambar 4.1. *Sinking Stream* Kedungbuntung: (a) Kondisi saat musim kemarau, (b) Kondisi saat musim penghujan

a. *Rating Curve Sinking Stream* Kedungbuntung

Pengukuran debit di *Sinking Stream* Kedungbuntung dilakukan sebanyak 29 kali. Tabel 4.1 menunjukkan bahwa pengukuran sempat dilakukan ketika banjir terjadi, yaitu pada tanggal 5 Januari 2017 dengan debit puncak 5.320 liter/detik dan tanggal 3 Februari 2017 dengan debit puncak 6.100 liter/detik. Pengukuran debit

terendah tercatat ketika hujan tidak sering terjadi lagi, yaitu pada tanggal 17 Mei 2017 dengan debit 1.860 liter/detik.

Tabel 4.1. Hasil pengukuran debit aliran *Sinking Stream* Kedungbuntung

No	Tanggal	Waktu	TMA (meter)	Q (lt/detik)	No	Tanggal	Waktu	TMA (meter)	Q (lt/detik)
1	5/1/2017	18:00	1,78	5.320	16	3/2/2017	7:00	1,49	3.866
2	5/1/2017	18:30	1,73	4.780	17	3/2/2017	7:30	1,43	3.711
3	5/1/2017	19:00	1,52	3.440	18	3/2/2017	8:00	1,36	3.150
4	5/1/2017	19:30	1,40	3.647	19	3/2/2017	8:30	1,32	3.445
5	5/1/2017	20:00	1,34	2.980	20	3/2/2017	9:00	1,28	3.620
6	5/1/2017	20:30	1,30	3.400	21	3/2/2017	9:30	1,24	3.500
7	5/1/2017	21:00	1,25	3.600	22	3/2/2017	10:00	1,21	3.181
8	5/1/2017	21:30	1,19	2.880	23	4/2/2017	11:30	0,89	2.440
9	5/1/2017	22:00	1,16	2.910	24	7/2/2017	13:15	0,76	2.130
10	5/1/2017	22:30	1,13	2.770	25	12/2/2017	14:00	0,81	2.160
11	3/2/2017	4:30	2,21	6.100	26	26/2/2017	12:30	0,75	1.980
12	3/2/2017	5:00	2,12	5.100	27	23/3/2017	13:45	0,80	2.260
13	3/2/2017	5:30	1,98	4.960	28	20/4/2017	14:45	0,74	2.010
14	3/2/2017	6:00	1,78	4.589	29	17/5/2017	15:30	0,69	1.860
15	3/2/2017	6:30	1,60	4.139					

Pengukuran debit aliran digunakan untuk membuat *rating curve* (Gambar 4.2). Debit aliran dan tinggi muka air (TMA) dari hasil pengukuran lapangan di *Sinking Stream* Kedungbuntung memiliki hubungan yang erat. Hal ini ditunjukkan dengan R^2 yang bernilai 0,95. Hubungan tersebut memiliki persamaan sebagai berikut:

$$Debit = 2,6453TMA^{0,95} \dots\dots\dots(33)$$

Rumus diatas digunakan untuk menghitung debit aliran secara kontinu, yaitu menggunakan data TMA yang tercatat setiap 15 menit sekali pada alat *logger* muka air. Gambar 4.3 menunjukkan variasi debit aliran di *Sinking Stream* Kedungbuntung selama enam bulan.

b. Konstanta Resesi *Sinking Stream* Kedungbuntung

Sinking Stream Kedungbuntung memiliki sebelas kejadian banjir terpilih yang dapat dihitung konstanta resesinya. Pemilihan ini dilakukan pada hidrograf yang memiliki waktu resesi cukup panjang sehingga dapat dihitung konstanta resesi aliran *conduit* (K_c), aliran *fissure* (K_i), dan aliran *diffuse* (K_b). Gambar 4.4.a dan b menunjukkan keadaan resesi dari sebelas kejadian banjir yang telah dipisahkan menjadi *overlandflow* (aliran *conduit*), *interflow* (aliran *fissure*), dan *baseflow*

(aliran *diffuse*). Gambar tersebut menunjukkan bentuk yang bervariasi. Hal ini disebabkan oleh bervariasinya pelepasan masing-masing komponen oleh sistem drainase karst. Menurut Schulz (1976), pelepasan suatu komponen yang cepat akan memiliki nilai konstanta resesi yang lebih kecil dan memiliki bentuk grafik yang curam.

Gambar 4.2. Rating curve *Sinking Stream* Kedungbuntung

Gambar 4.3. Hidrograf aliran *Sinking Stream* Kedungbuntung selama kurun waktu 1 Januari-30 Juni 2017

Variasi nilai konstanta resesi dari sebelas kejadian banjir terpilih dapat dilihat pada Tabel 4.2. Ketiga komponen aliran (*conduit*, *fissure*, dan *diffuse*) memiliki konstanta yang bervariasi. Nilai K_b memiliki julat 0,966-0,998 dengan rerata 0,990. Nilai K_i memiliki julat 0,558-0,890 dengan rerata 0,760. Nilai K_b dan

K_i yang kecil terjadi ketika banjir mempunyai debit puncak (Q_p) yang besar, yaitu pada 1 Maret 2017 ($Q_p = 11.215$ liter/detik; $K_b = 0,966$; $K_i = 0,558$) dan pada 5 Maret 2017 ($Q_p = 6.644$ liter/detik; $K_b = 0,982$; $K_i = 0,655$).

Tabel 4.2. Konstanta resesi, T_p , T_b , dan Q_p dari hidrograf banjir terpilih *Sinking Stream* Kedungbuntung

No	Tanggal	Q_p (lt/detik)	K_r <i>Diffuse</i> (K_b)	K_r <i>Fissure</i> (K_i)	K_r <i>Conduit</i> (K_c)	T_p (jam)	T_b (jam)
1	5/1/2017	4.626	0,993	0,710	0,327	2,5	13
2	14/1/2017	3.341	0,995	0,759	0,389	2,25	11
3	1/2/2017	4.934	0,990	0,728	0,262	6	18
4	3/2/2017	5.617	0,992	0,706	0,439	1,75	15
5	14/2/2017	3.289	0,993	0,820	0,246	2,5	19
6	1/3/2017	11.215	0,966	0,558	0,342	1,5	10
7	5/3/2017	6.644	0,982	0,655	0,292	1,25	11
8	16/3/2017	4.899	0,990	0,820	0,302	1,5	12
9	25/3/2017	3.532	0,998	0,825	0,431	5	16
10	31/3/2017	5.796	0,989	0,890	0,274	1,75	16
11	26/4/2017	5.614	0,993	0,888	0,275	2,25	11
Rata-Rata			0,99	0,76	0,33	2,6	13,8
Max			0,998	0,89	0,439	6	19
Min			0,966	0,558	0,246	1,25	10

Nilai K_c memiliki julat 0,325-0,439 dengan rerata 0,325. Nilai K_c yang kurang dari 0,5 menunjukkan pelepasan komponen aliran permukaan yang cepat (Schulz, 1976; Adji, 2009; Oktama, 2014; Bahtiar 2014). *Sinking Stream* Kedungbuntung merupakan sungai permukaan sehingga *overlandflow* (aliran *conduit*) akan dengan cepat dilepaskan. *Overlandflow* dari daerah tangkapan air akan mengimbuhi saluran sungai yang kemudian akan langsung dilepaskan.

Parameter hidrograf yang berhubungan dengan kejadian resesi adalah T_p dan T_b . T_p memiliki julat antara 1,25-6 jam dengan rerata 2,6 jam. T_b memiliki julat antara 10-19 jam dengan rerata 13,8 jam. Pembahasan mendetail mengenai keadaan resesi ini akan dibahas pada Subbab 4.1.3.

c. Prosentase Aliran Dasar *Sinking Stream* Kedungbuntung

Prosentase aliran dasar didapatkan dengan memisahkan aliran *conduit* dan *fissure* dengan *diffuse*. *Sinking Stream* Kedungbuntung memiliki rasio aliran dasar yang dominan. Gambar 4.5 menunjukkan aliran *diffuse* memiliki luas area yang lebih besar dibandingkan aliran *conduit* dan *fissure*. Dominasi ini juga dibuktikan

dengan kecilnya fluktuasi nilai PAD ketika musim penghujan dan kemarau (Tabel 4.3). PAD bulanan ini memiliki julat 95,34-99,39% pada kedua musim. Dominasi aliran dasar pada Kedungbuntung menunjukkan bahwa daerah tangkapan air memiliki dominasi retakan *diffuse* yang mampu menyimpan air dan melepaskannya perlahan-lahan.

Gambar 4.4.a. Kejadian resesi banjir-banjir terpilih *Sinking Stream* Kedungbuntung

Gambar 4.4.b. Kejadian resesi banjir-banjir terpilih *Sinking Stream* Kedungbuntung

Prosentase aliran dasar pada musim penghujan yang lebih kecil dibandingkan musim kemarau disebabkan oleh adanya kejadian banjir yang didominasi oleh aliran *conduit* (Tabel 4.3). Tabel 4.4 menunjukkan PAD pada kejadian banjir. PAD setiap kejadian banjir Kedungbuntung memiliki julat 24,26–72,23% dengan rerata 47,21%. PAD terkecil terjadi ketika banjir dengan debit puncak (Q_p) besar (aliran *conduit* besar) terjadi, yaitu pada tanggal 1 Maret 2017 dengan Q_p 11.215 lt/detik dan PAD 24,26%.

Gambar 4.5. Fluktuasi aliran dasar *Sinking Stream* Kedungbuntung selama kurun waktu 1 Januari 2017-30 Juni 2017

Tabel 4.3. Fluktuasi PAD bulanan *Sinking Stream* Kedungbuntung

No	Bulan	PAD (%)	Musim
1	Januari	96,88	awal hujan
2	Februari	96,60	awal hujan
3	Maret	95,34	akhir hujan
4	April	97,61	akhir hujan
5	Mei	99,45	awal kemarau
6	Juni	99,39	awal kemarau

Tabel 4.4. PAD setiap kejadian banjir di *Sinking Stream* Kedungbuntung

No	Tanggal	Qp (lt/detik)	Qb (lt/detik)	PAD (%)
1	5/1/2017	4.626	2.227	48,15
2	14/1/2017	3.341	2.028	60,69
3	1/2/2017	4.934	2.511	50,89
4	3/2/2017	5.617	2.746	48,9
5	14/2/2017	3.289	2.375	72,23
6	1/3/2017	11.215	2.721	24,26
7	5/3/2017	6.644	2.241	33,73
8	16/3/2017	4.899	2.011	41,05
9	25/3/2017	3.532	2.252	63,76
10	31/3/2017	5.796	2.062	35,57
11	26/4/2017	5.614	2.250	40,07
Rata-Rata				47,21
Max				72,23
Min				24,26

Dominasi aliran *conduit* pada setiap kejadian banjir disebabkan oleh karakteristik *Sinking Stream* Kedungbuntung yang berupa sungai permukaan. Hal tersebut menyebabkan *overlandflow* (aliran *conduit*) dan *interflow* (aliran *fissure*) langsung mengimbuhi saluran sungai. Selain itu, DTA Kedungbuntung yang didominasi retakan *diffuse* tetap memiliki retakan *conduit*. Atkinson (1985)

menyatakan bahwa sifat aliran pada sistem karst tidak pernah mendominasi secara tunggal (Gambar 1.7). Gambar 4.7 menunjukkan adanya retakan *conduit* yang mengimbuh Mataair Mudal di DTA Kedungbuntung. Retakan *conduit* menyebabkan mataair menjadi keruh ketika hujan.

Gambar 4.6. Mataair Mudal: (a) Kondisi setelah hujan, (b) Kondisi tidak ada hujan

4.1.2. Gua Pindul

Gua Pindul merupakan *outlet* dari daerah tangkapan air (DTA) Sistem Karst Pindul (Agniy, 2016). Air pada Gua Pindul tidak pernah kering sepanjang musim dan berwarna keruh ketika terjadi hujan (Gambar 4.7). Ketika musim kemarau, gua ini mendapat suplai air dari sistem perguaan yang saling terhubung (Gua Asri, Gua Greng, Gua Emas, Gua Candi, Gua Suruh, dan Gua Sioyot) dan *Sinking Stream* Kedungbuntung (Haryono, 2014; Agniy, 2016). Adanya sistem perguaan dan *sinking stream* tersebut menjadikan dominannya aliran *conduit* ketika terjadi hujan. Hal ini menyebabkan keruhnya air di Gua Pindul.

Gambar 4.7. Gua Pindul: (a) Kondisi musim kemarau, (b) Kondisi musim penghujan

a. *Rating Curve* Gua Pindul

Pengukuran debit aliran di Gua Pindul dilakukan sebanyak 29 kali. Tabel 4.5 menunjukkan pengukuran debit sempat dilakukan ketika banjir terjadi, yaitu

pengukuran pada tanggal 5 Januari dengan debit puncak 9.970 liter/detik dan pengukuran pada tanggal 3 Februari 2017 dengan debit puncak 13.050 liter/detik. Debit aliran terendah terjadi pada pengukuran tanggal 17 Mei 2017 dengan nilai 3.523 liter/detik.

Tabel 4.5. Hasil pengukuran debit aliran Gua Pindul

No	Tanggal	Waktu	TMA (meter)	Q (lt/detik)	No	Tanggal	Waktu	TMA (meter)	Q (lt/detik)
1	5/1/2017	18:00	5,63	9.970	16	3/2/2017	7:00	5,35	8.250
2	5/1/2017	18:30	5,63	9.730	17	3/2/2017	7:30	5,25	8.006
3	5/1/2017	19:00	5,48	8.700	18	3/2/2017	8:00	5,15	5.400
4	5/1/2017	19:30	5,35	8.625	19	3/2/2017	8:30	5,08	5.350
5	5/1/2017	20:00	5,22	7.874	20	3/2/2017	9:00	5,02	6.695
6	5/1/2017	20:30	5,12	6.770	21	3/2/2017	9:30	4,97	6.403
7	5/1/2017	21:00	5,04	6.400	22	3/2/2017	10:00	4,92	6.156
8	5/1/2017	21:30	4,95	6.334	23	4/2/2017	12:30	4,53	3.898
9	5/1/2017	22:00	4,90	5.450	24	7/2/2017	13:00	4,47	3.609
10	5/1/2017	22:30	4,85	5.750	25	12/2/2017	13:24	4,49	3.653
11	3/2/2017	4:30	5,97	13.050	26	26/2/2017	12:15	4,47	3.609
12	3/2/2017	5:00	5,92	11.050	27	23/3/2017	13:30	4,48	3.653
13	3/2/2017	5:30	5,83	11.334	28	20/4/2017	16:00	4,45	3.674
14	3/2/2017	6:00	5,67	10.412	29	17/5/2017	14:30	4,47	3.523
15	3/2/2017	6:30	5,50	9.438					

Rating curve Gua Pindul didapatkan dari pengukuran debit aliran yang telah dijelaskan di atas (Gambar 4.8). Hubungan debit dengan TMA memiliki keeratan yang signifikan, yaitu ditunjukkan dengan nilai R^2 sebesar 0,96. Hubungan tersebut memiliki persamaan sebagai berikut:

$$Debit = 6,0077TMA^{4,3} \dots \dots \dots (34)$$

Debit aliran yang kontinu selama enam bulan (1 Januari 2017-30 Juni 2017) diperoleh melalui persamaan diatas. Gambar 4.9 menunjukkan beberapa kali banjir terjadi pada bulan Januari-April. Nilai debit terbesar didapatkan pada banjir tanggal 1 Maret 2017 dengan nilai 30.681 liter/detik.

b. Konstanta Resesi Gua Pindul

Gua Pindul memiliki sebelas kejadian banjir yang dapat dihitung nilai konstanta resesinya. Gambar 4.10.a dan b menunjukkan variasi resesi dari sebelas kejadian banjir terpilih. Nilai konstanta resesi yang kecil memiliki bentuk grafik yang curam (Schulz, 1976). Gua Pindul memiliki variasi yang tinggi dalam melepaskan setiap komponen alirannya (Tabel 4.6). Nilai K_b Gua Pindul memiliki

julat 0,960-0,994 dengan rerata 0,980. Nilai K_i memiliki julat 0,596-0,848 dengan rerata 0,710. Nilai K_c memiliki julat 0,155-0,544 dengan rerata 0,3. Nilai T_p dan T_b Gua Pindul juga memiliki variasi yang besar. Nilai T_p memiliki julat 1,5-6 jam dengan rerata 2,7 jam. Nilai T_b memiliki julat 10-20 jam dengan rerata 13,4 jam

Tabel 4.6. Konstanta Resesi, T_p , T_b , dan Q_p Hidrograf Banjir Terpilih

Gambar 4.8. Rating curve Gua Pindul

Gambar 4.9. Hidrograf aliran Gua Pindul selama kurun waktu 1 Januari 2017-30 Juni 2017

Nilai K_b dan K_i memiliki nilai yang kecil ketika banjir besar terjadi. Banjir besar pada tanggal 1 Maret 2017 memiliki debit puncak (Q_p) bernilai 30.681 liter/detik serta nilai K_b dan K_i sebesar 0,961 dan 0,627. Banjir besar kedua terjadi pada tanggal 5 Maret 2017 yang memiliki Q_p dengan nilai 15.666 liter/detik serta K_b dan K_i dengan nilai 0,981 dan 0,596.

Tabel 4.6. Konstanta resesi, T_p , T_b , dan Q_p dari hidrograf banjir terpilih di Gua Pindul

No	Tanggal	Q_p (lt/detik)	K_r <i>Diffuse</i> (K_b)	K_r <i>Fissure</i> (K_i)	K_r <i>Conduit</i> (K_c)	T_p (jam)	T_b (jam)
1	5/1/2017	10.320	0,994	0,681	0,289	2,5	15
2	14/1/2017	5.874	0,994	0,848	0,370	2,25	18
3	1/2/2017	11.132	0,992	0,743	0,288	6	14
4	3/2/2017	5.617	0,991	0,673	0,155	1,75	20
5	14/2/2017	6.019	0,993	0,730	0,544	2,75	12
6	1/3/2017	30.681	0,961	0,627	0,190	1,5	11
7	5/3/2017	15.666	0,981	0,596	0,159	1,5	11
8	16/3/2017	10.886	0,990	0,650	0,303	1,75	12
9	25/3/2017	5.395	0,980	0,786	0,353	5,25	10
10	31/3/2017	13.213	0,960	0,773	0,301	1,75	11
11	26/4/2017	12.647	0,992	0,652	0,381	2,25	13
Rata-Rata			0,98	0,71	0,30	2,7	13,4
Max			0,994	0,848	0,544	6	20
Min			0,96	0,596	0,155	1,5	10

c. Prosentase Aliran Dasar Gua Pindul

Secara umum, Gua Pindul memiliki dominasi aliran dasar (Gambar 4.11). Sementara itu, aliran *conduit* dan *fissure* mendominasi pada banjir-banjir besar yang ditunjukkan dengan nilai debit puncak yang tinggi. Banjir besar di Gua Pindul disebabkan karena adanya imbuhan dari sistem perguaan dan *sinking stream*. *Sinking stream* merupakan sungai permukaan yang tertelan oleh gua sehingga tetap memiliki karakteristik respons cepat terhadap hujan. Sementara itu, sungai bawah tanah di sistem perguaan pada dasarnya memiliki karakteristik yang identik dengan sungai permukaan.

Adanya beberapa kali kejadian banjir menyebabkan prosentase aliran dasar (PAD) ketika musim penghujan lebih kecil dibandingkan ketika musim kemarau (Tabel 4.7). Meskipun demikian, fluktuasi PAD pada kedua musim tergolong kecil. PAD bulanan Gua Pindul memiliki julat 95,18-99,85% pada kedua musim.

Hal diatas menunjukkan bahwa sistem perguaan dan *sinking stream* yang mensuplai air Gua Pindul masih dapat menyimpan air dan melepaskannya perlahan-lahan. Adanya aliran air di sistem perguaan dan *Sinking Stream* Kedungbuntung

ketika musim kemarau membuktikan hal tersebut. Ketika musim kemarau, Gua Greng memiliki debit sebesar 360 lt/dt, Gua Sioyot memiliki debit sebesar 390 lt/dt, Gua Suruh memiliki debit sebesar 130 lt/dt, dan *Sinking Stream* Kedungbuntung memiliki debit sebesar 1580 lt/dt (Agni, 2016).

Gambar 4.10.a. Kejadian resesi banjir-banjir terpilih Gua Pindul

Dominasi aliran *conduit* di Gua Pindul ditunjukkan oleh PAD setiap kejadian banjir (Tabel 4.8). Aliran *conduit* menyebabkan PAD setiap kejadian

banjir lebih kecil dibandingkan PAD musim kemarau. PAD setiap kejadian banjir memiliki julat 17,97–68,85% dengan rerata 42,9%. PAD terkecil disebabkan oleh adanya aliran *conduit* yang sangat dominan (Q_p yang besar), yaitu ditunjukkan oleh kejadian banjir pada tanggal 1 Maret 2017 dengan Q_p 30.681 liter/detik dan PAD 17,97%.

Gambar 4.10.b. Kejadian resesi banjir-banjir terpilih Gua Pindul

Tabel 4.7. Fluktuasi PAD bulanan Gua Pindul

No	Bulan	PAD (%)	Musim
1	Januari	97,85	awal hujan
2	Februari	97,34	awal hujan
3	Maret	95,18	akhir hujan
4	April	98,90	akhir hujan
5	Mei	99,85	awal kemarau
6	Juni	99,82	awal kemarau

Gambar 4.11. Fluktuasi aliran dasar Gua Pindul selama kurun waktu 1 Januari 2017-30 Juni 2017

Tabel 4.8. PAD setiap kejadian banjir Gua Pindul

No	Tanggal	Qp (lt/detik)	Qb (lt/detik)	PAD (%)
1	5/1/2017	10.320	4.271	41,39
2	14/1/2017	5.874	3.764	64,07
3	1/2/2017	11.132	5.041	45,29
4	3/2/2017	12.867	4.894	38,04
5	14/2/2017	6.019	4.144	68,85
6	1/3/2017	30.681	5.512	17,97
7	5/3/2017	15.666	4.371	27,9
8	16/3/2017	10.886	4.069	37,38
9	25/3/2017	7.006	4.375	62,45
10	31/3/2017	13.213	4.232	32,03
11	26/4/2017	12.647	4.615	36,49
Rata-Rata				42,90
Max				68,85
Min				17,97

4.1.3. Variasi Spasial dan Temporal Karakteristik Aliran Sistem Drainase

Karst Pindul

Karakteristik aliran Sistem Drainase Karst Pindul dijelaskan oleh nilai konstanta resesi dan prosentase aliran dasar. Konstanta resesi mencerminkan

pelepasan komponen aliran secara spasial antara Gua Pindul dengan Kedungbuntung. Prosentase aliran dasar mencerminkan simpanan aliran dasar secara spasial dan temporal.

a. Variasi Spasial Pelepasan Komponen Aliran

Nilai konstanta resesi dan parameter banjir di kedua lokasi ditunjukkan pada Tabel 4.9. Gua Pindul dan Kedungbuntung memiliki julat konstanta resesi (K_b , K_i , dan K_c) besar. Hal ini menunjukkan bahwa Sistem Drainase Karst Pindul memiliki retakan *diffuse*, *fissure*, dan *conduit* dengan ukuran bervariasi.

Tabel 4.9. Ringkasan nilai konstanta resesi di Gua Pindul dan Kedungbuntung

Konstanta resesi	Gua Pindul	Kedungbuntung
K_b	0,960-0,994 (rerata= 0,980)	0,966-0,998 (rerata= 0,990)
K_i	0,596-0,848 (rerata= 0,705)	0,558-0,890 (rerata= 0,760)
K_c	0,155-0,544 (rerata= 0,303)	0,246-0,439 (rerata= 0,325)

Variasi spasial nilai K_b , K_i , dan K_c dianalisis menggunakan *independent samples t-test*. Metode ini merupakan salah satu uji hipotesis yang digunakan untuk mengetahui ada atau tidaknya perbedaan rata-rata antara dua sampel yang berbeda/independen (IBM, 2016). Dua sampel dikatakan memiliki perbedaan rata-rata apabila nilai signifikansi lebih besar dari 0,05 (nilai taraf nyata yang digunakan pada penelitian ini). Dua sampel yang dimaksud pada penelitian ini adalah konstanta resesi Gua Pindul dan Kedungbuntung.

Hasil uji *independent samples t-test* dapat dilihat pada Tabel 4.10. Nilai signifikansi K_b , K_i , dan K_c pada kedua sampel memiliki nilai yang lebih besar dari taraf nyata. Hal ini menunjukkan bahwa Gua Pindul dan Kedungbuntung tidak memiliki perbedaan pelepasan komponen aliran. Tidak adanya perbedaan pelepasan komponen aliran tersebut disebabkan oleh karakteristik kedua lokasi.

Sinking stream Kedungbuntung dan Gua Pindul memiliki pelepasan aliran *conduit* yang cepat ($K_c < 0,325$), namun masih baik dalam menyimpan airtanah ($K_b > 0,98$). Pelepasan aliran *conduit* yang cepat disebabkan oleh karakteristik Kedungbuntung yang berupa sungai permukaan sehingga limpasan permukaan langsung mengimbuh saluran sungai lalu dilepaskan dengan cepat. Sementara itu, Gua Pindul diimbuh oleh sungai bawah tanah dari sistem perguaan dan *Sinking*

Stream Kedungbuntung (Haryono, 2011 dan Agniy 2016). Sungai bawah tanah memiliki karakteristik yang sama dengan sungai permukaan. Pelepasan aliran *diffuse* yang masih tergolong baik disebabkan karena kedua lokasi diimbuh oleh akuifer dengan dominasi retakan *diffuse* seluas 13,7 km² (88% dari DTA).

Tabel 4.10. Uji *independent samples t-test* konstanta resesi Gua Pindul dengan Kedungbuntung

Konstanta resesi	Taraf nyata	Signifikansi
K _b	0,05	0,31
K _i		0.17
K _c		0,58

b. Variasi Spasial dan Temporal Prosentase Aliran Dasar

Rasio antara aliran dasar dengan debit aliran dapat ditampilkan dalam bentuk rasio setiap bulan dan setiap kejadian banjir. Rasio setiap bulan menunjukkan perbandingan antara total aliran dasar dengan total debit aliran per bulannya. Rasio setiap kejadian banjir menunjukkan perbandingan antara nilai aliran dasar dengan debit puncak pada setiap kejadian banjir terpilih.

Gua Pindul memiliki PAD bulanan yang lebih tinggi dibandingkan Kedungbuntung (Gambar 4.12). Besarnya PAD bulanan Gua Pindul dikarenakan Gua Pindul merupakan *outlet* dari sistem drainase karst. Hal ini menjadikannya memiliki daerah tangkapan air yang lebih luas dibandingkan Kedungbuntung. Selain itu, Gua Pindul mendapatkan imbuhan dari *Sinking Stream* Kedungbuntung dan sistem perguaan. Kedua imbuhan tersebut mampu menyimpan air yang dibuktikan dengan tetap adanya debit aliran pada musim kemarau. Meskipun demikian, kedua lokasi penelitian masih baik dalam menyimpan airtanah karena memiliki PAD bulanan yang lebih dari 95%. Hasil ini mendukung nilai konstanta aliran *diffuse* (K_b) yang memiliki nilai >0,98.

Tabel 4.11 dan Gambar 4.13 menunjukkan PAD Gua Pindul dan Kedungbuntung pada setiap kejadian banjir. Nilai PAD pada kejadian banjir dipengaruhi oleh besarnya banjir yang terjadi. PAD dengan nilai kecil dihasilkan oleh banjir besar (nilai Q_p tinggi) tanggal 1 Maret dan 5 Maret 2017. PAD dengan nilai besar (PAD lebih besar dari 60%) dihasilkan oleh banjir kecil (nilai Q_p rendah) pada tanggal 14 Januari, 14 Februari, dan 25 Maret 2017.

Tanggal	PAD (%)		Taraf nyata	Signifikansi
	Gua Pindul	Kedungbuntung		
5/1/2017	41,39	48,15		
14/1/2017	64,07	60,69		
1/2/2017	45,29	50,89		
3/2/2017	38,04	48,90		
14/2/2017	68,85	72,23		
1/3/2017	17,97	24,26	0,05	0,513
5/3/2017	27,9	33,73		
16/3/2017	37,38	41,05		
25/3/2017	62,45	63,76		
31/3/2017	32,03	35,57		
26/4/2017	36,49	40,07		
rerata	42,90	47,21		
max	68,85	72,23		
min	17,97	24,26		

Qp (debit puncak), Qb (aliran dasar), PAD (Prosentase Aliran Dasar)

Gambar 4.12. Prosentase aliran dasar bulanan Gua Pindul dan *Sinking Stream* Kedungbuntung

PAD pada kejadian banjir antara Gua Pindul dengan Kedungbuntung tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Nilai signifikansi antara kedua sampel menunjukkan nilai yang lebih besar dari taraf nyata (Tabel 4.11). Selain itu, Gambar 4.13 juga menunjukkan bentuk grafik yang identik. Hasil ini mendukung perhitungan konstanta resesi yang menyatakan bahwa Gua Pindul dan Kedungbuntung memiliki karakteristik pelepasan komponen aliran yang sama.

Keduanya cepat melepaskan aliran *conduit*, namun masih baik dalam menyimpan airtanah.

Gambar 4.13. PAD setiap kejadian banjir Gua Pindul dan Kedungbuntung

4.2. Karakteristik Banjir

4.2.1. *Sinking Stream* Kedungbuntung

Kedungbuntung mengalami 17 kejadian banjir selama bulan Januari hingga Juni tahun 2017. Secara sederhana, karakteristik dari setiap kejadian banjir dapat dilihat dari bentuk hidrograf banjirnya (Gambar 4.14.a dan b). Bentuk hidrograf tersebut dipengaruhi oleh karakteristik hujan dan daerah tangkapan air (Linsley, dkk, 1975). Kedungbuntung memiliki bentuk hidrograf dengan *rising limb* yang curam dan resesi yang perlahan-lahan. Hal ini dibuktikan dengan T_p yang cepat dan T_b yang lambat (Tabel 4.12). Nilai rerata T_p (2 jam 36 menit) memiliki selisih yang kecil dengan rerata durasi hujan (2 jam 24 menit) sedangkan T_b memiliki rerata 14 jam.

Karakteristik hujan yang dibahas pada penelitian ini adalah tebal hujan, durasi hujan, hujan puncak, dan hujan efektif (Tabel 4.12). Kedungbuntung memiliki julat tebal hujan 4,4–46,8 mm dengan rerata 22,8 mm. Durasi hujan memiliki julat 30 menit–6 jam dengan rerata 2 jam 24 menit. Hujan puncak memiliki julat 1,4–17,6 mm dengan rerata 8,3 mm.

Gambar 4.14.a. Hidrograf banjir dan hyetograf awal musim hujan di *Sinking Stream* Kedungbuntung

Perhitungan hujan efektif memiliki asumsi bahwa hujan jatuh merata pada area penelitian (Chow, dkk, 1988; Davie 2008). Faktanya adalah tidak semua kejadian hujan jatuh merata di Sistem Drainase Karst Pindul. Perhitungan hujan efektif di penelitian ini hanya dapat dilakukan pada 9 kejadian banjir dari 17 kejadian di Kedungbuntung (Tabel 4.12).

Gambar 4.14.b Hidrograf banjir dan hyetograf akhir musim hujan di *Sinking Stream* Kedungbuntung

Hujan efektif dihitung menggunakan konsep limpasan permukaan *infiltration excess overland flow* yang digagas oleh Horton (1933). Konsep ini menjelaskan bahwa limpasan permukaan terjadi akibat intensitas hujan lebih tinggi dibandingkan kecepatan infiltrasi. DTA Kedungbuntung memiliki pori-pori batuan dan tanah yang telah jenuh oleh air ketika akhir musim hujan. Hal ini menyebabkan kecepatan infiltrasi menjadi lebih lambat dibandingkan pada awal musim hujan. Oleh karena itu, hujan dengan intensitas yang sama akan menyebabkan respons berbeda ketika terjadi pada awal musim hujan dan akhir musim hujan.

Kedungbuntung memiliki prosentase hujan yang menjadi limpasan permukaan (hujan efektif) lebih tinggi pada akhir musim hujan dibandingkan awal musim hujan (Tabel 4.12). Hujan efektif pada awal musim hujan memiliki nilai dengan dominasi kurang dari 10%. Hujan efektif tertinggi pada musim tersebut

terjadi pada tanggal 3 Februari 2017 dengan nilai 11,5%. Nilai yang melebihi 10% terjadi akibat adanya hujan setebal 42,2 mm pada tanggal 1 Februari 2017. Hujan yang lebat ini menyebabkan sistem drainase menjadi jenuh sehingga hujan efektif menjadi tinggi ketika terjadi hujan dengan ketebalan 29,6 mm pada tanggal 3 Februari 2017.

Tabel 4.12. Komponen hidrograf banjir dan karakteristik hujan di *Sinking Stream* Kedungbuntung

Musim	Waktu awal hujan	Q _p (lt/detik)	T _p (jam)	T _b (jam)	Tebal hujan (mm)	Durasi hujan (jam)	Puncak hujan (mm)	φ	Hujan efektif (mm)	Hujan efektif (%)
Awal Musim Hujan	5/1/2017 15:30	4.626	2,50	13	32,6	2,25	10,2	7,3	2,9	8,9
	8/1/2017 15:15	2.934	2,25	15	14,4	0,50	7,2	6,4	0,8	5,5
	14/1/2017 21:30	3.341	2,25	11	21,4	2,25	8,0	6,6	1,8	8,5
	18/1/2017* 21:30	3.631	2,25	25	12,6	2,00	3,6	-	-	-
	20/1/2017* 11:00	3.112	3,00	13	9,8	1,75	4,6	-	-	-
	1/2/2017* 17:30	4.934	6,00	18	42,2	5,75	8,8	-	-	-
	3/2/2017 2:45	5.617	1,75	15	29,6	4,75	6,8	4,6	3,4	11,5
	12/2/2017* 16:45	3.326	2,25	11	6,8	2,75	1,4	-	-	-
	14/2/2017* 20:15	3.289	2,50	19	10,4	3,00	2,4	-	-	-
	28/2/2017 20:30	3.254	2,75	10	19,4	1,25	8,4	7,9	0,9	4,8
Akhir Musim Hujan	1/3/2017 14:15	11.215	1,50	10	30,0	1,50	11,6	7,6	6,8	22,5
	5/3/2017 14:00	6.644	1,25	11	21,6	0,75	14,2	10,4	3,8	17,6
	6/3/2017* 11:15	2.977	3,50	14	4,4	1,00	1,8	-	-	-
	16/3/2017 17:15	4.899	1,50	12	23,2	1,00	8,2	5,8	3,0	12,8
	25/3/2017* 21:45	3.532	5,00	16	31,4	6,00	12,0	-	-	-
	31/3/2017* 15:00	5.796	1,75	16	46,8	1,25	17,6	-	-	-
	26/4/2017 17:45	5.614	2,25	11	30,3	2,50	13,8	10,3	3,5	11,5
Rerata	-	4.632	2,6	14	22,8	2,4	8,3	7,4	3,0	11,5
Max	-	11.215	6,0	25	46,8	6,00	17,6	10,4	6,8	22,5
Min	-	2.934	1,25	10	4,4	0,50	1,4	4,6	0,8	4,8

ϕ initial abstraction (hujan yang mengalami infiltrasi, penggenangan, atau evapotranspirasi [mm/15 menit]), * kejadian banjir yang tidak dapat dihitung hujan efektifnya

Hujan efektif pada akhir musim hujan memiliki nilai lebih dari 10% dengan nilai tertinggi 22,5% dan nilai terendah 11,5%. Prosentase hujan efektif

yang tinggi ini disebabkan oleh kecepatan infiltrasi yang menurun akibat pori-pori tanah dan batuan telah jenuh oleh hujan yang terjadi pada awal musim hujan. Tabel 4.12 menunjukkan bahwa hujan setebal 32,6 mm pada tanggal 5 Januari 2017 (awal musim hujan) menghasilkan hujan efektif sebesar 8,9%. Sementara itu, hujan setebal 30,3 mm pada tanggal 26 April 2017 (akhir musim hujan) mampu menghasilkan 11,5% hujan efektif.

Pengaruh karakteristik hujan (tebal hujan, durasi hujan, puncak hujan, dan hujan efektif) terhadap respons sistem drainase karst yang berupa debit puncak (Q_p) ditunjukkan pada Gambar 4.15 dan Tabel 4.13. Korelasi parsial (masing-masing karakteristik hujan) terhadap debit puncak menunjukkan bahwa hujan efektif mempunyai pengaruh yang paling signifikan dengan nilai R^2 sebesar 0,97. Sementara itu, tebal dan puncak hujan memiliki pengaruh yang tidak signifikan dengan nilai R^2 0,3 sedangkan durasi hujan memiliki pengaruh paling tidak signifikan dengan nilai R^2 0,002 (Gambar 4.15).

Gambar 4.15. Korelasi parsial karakteristik hujan dengan debit puncak di *Sinking Stream* Kedungbuntung

Tebal hujan, puncak hujan, dan durasi hujan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap Q_p apabila dilakukan uji korelasi secara simultan (bersama-sama). Nilai R^2 uji korelasi simultan adalah sebesar 0,9. Uji regresi linier

menunjukkan bahwa tebal hujan dan puncak hujan memiliki hubungan yang berbanding lurus dengan Q_p . Hal ini berarti bahwa setiap bertambahnya nilai tebal hujan atau puncak hujan maka Q_p juga akan bertambah. Durasi hujan memiliki hubungan yang berbanding terbalik dengan Q_p . Bertambahnya durasi hujan akan menyebabkan mengecilnya Q_p . Hal ini dikarenakan intensitas hujan akan menjadi kecil ketika hujan dengan ketebalan yang sama terjadi pada durasi hujan yang lebih panjang.

Tabel 4.13. Korelasi dan regresi simultan karakteristik hujan dengan debit puncak di *Sinking Stream* Kedungbuntung

Karakteristik hujan	<i>P-value</i>	Taraf nyata	R^2
Tebal	0,31	0,05	0,9
Puncak	0,74		
Durasi	0,56		
Persamaan regresi	$Q_p = 217 \text{ tebal} + 120 \text{ puncak} - 598 \text{ durasi}$		

4.2.2. Gua Pindul

Gua Pindul juga mengalami 17 kejadian banjir selama 6 bulan waktu penelitian. Karakteristik hujan yang berupa tebal, puncak, dan durasi hujan memiliki nilai yang sama dengan Kedungbuntung. Hal ini disebabkan oleh letaknya yang berdekatan (700 meter). Perhitungan hujan efektif juga hanya dapat dilakukan pada 9 kejadian banjir. Gambar 4.16.a dan b menunjukkan bahwa hidrograf banjir memiliki *rising limb* yang cepat dan pelepasan komponen aliran yang perlahan-lahan. Hal ini dibuktikan dengan cepatnya durasi waktu menuju puncak (T_p) dan lamanya waktu menuju aliran dasar (T_b) (Tabel 4.14). T_p Gua Pindul memiliki julat 1,5–6 jam dengan rerata 2 jam 42 menit. Nilai T_p (2,7 jam) memiliki selisih yang kecil dengan durasi hujan (2,4 jam). T_b Gua Pindul memiliki julat 10 jam–20 jam dengan rerata 14 jam.

Gua Pindul memiliki prosentase hujan efektif yang lebih besar pada akhir musim hujan dibandingkan awal musim hujan (Tabel 4.14). Hujan efektif pada awal musim hujan memiliki dominasi kurang dari 20%. Hujan efektif pada tanggal 3 Februari 2017 memiliki nilai 29,1% (lebih dari 20%). Hal ini disebabkan oleh adanya hujan setebal 42,2 mm pada tanggal 1 Februari 2017 sehingga kondisi sistem drainase menjadi jenuh air. Hujan efektif pada akhir musim hujan memiliki nilai lebih dari 20% dengan nilai tertinggi 60,7% dan terendah 23,9%.

Gambar 4.16.a. Hidrograf banjir dan hyetograf awal musim hujan di Gua Pindul

Pengaruh karakteristik hujan terhadap debit puncak (Q_p) dapat dilihat pada Gambar 4.17 dan Tabel 4.15. Korelasi secara parsial menunjukkan bahwa hujan efektif memiliki pengaruh yang paling signifikan dengan nilai R^2 0,96 (Gambar

4.17). Tebal hujan dan puncak hujan memiliki pengaruh yang tidak signifikan terhadap debit puncak (memiliki R^2 0,3). Durasi hujan memiliki pengaruh yang paling tidak signifikan dengan nilai R^2 0,001.

Gambar 4.16.b. Hidrograf banjir dan hyetograf akhir musim hujan di Gua Pindul

Uji korelasi dan regresi secara simultan menunjukkan bahwa tebal hujan, puncak hujan, dan durasi hujan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap Q_p . Uji korelasi memiliki nilai R^2 0,83 (Tabel 4.15). Sementara itu, tebal hujan dan puncak hujan memiliki hubungan yang berbanding lurus dengan Q_p yang ditunjukkan oleh koefisien regresi +639 dan +88. Sementara itu, durasi hujan memiliki hubungan yang berbanding terbalik dengan Q_p yang ditunjukkan oleh koefisien bernilai -2152 pada uji regresi.

Tabel 4.14. Komponen hidrograf banjir dan karakteristik hujan di Gua Pindul

Musim	Waktu Awal Hujan	Q _p (lt/detik)	T _p (jam)	T _b (jam)	Tebal Hujan (mm)	Durasi Hujan (jam)	Puncak Hujan (mm)	φ	Hujan Efetif (mm)	Hujan Efektif (%)
Awal Hujan	5/1/2017 15:30	10.320	2,5	15	32,6	2,25	10,2	5,9	6	18,4
	8/1/2017 15:15	5.221	2,25	15	14,4	0,5	7,2	6	1,2	8,1
	14/1/2017 21:30	5.874	2,25	18	21,4	2,25	8	5,7	3,6	16,7
	18/1/2017* 21:30	6.941	2,25	18	12,6	2	3,6	-	-	-
	20/1/2017* 11:00	5.421	3	16	9,8	1,75	4,6	-	-	-
	1/2/2017* 17:30	11.132	6	14	42,2	5,75	8,8	-	-	-
	3/2/2017 2:45	12.867	1,75	20	29,6	4,75	6,8	2,8	8,6	29,1
	12/2/2017* 16:45	6.045	2,5	16	6,8	2,75	1,4	-	-	-
	14/2/2017* 20:15	6.019	2,75	12	10,4	3	2,4	-	-	-
	28/2/2017 20:30	5.927	3	10	19,4	1,25	8,4	6,6	1,8	9,2
	1/3/2017 14:15	30.681	1,5	11	30	1,5	11,6	2,4	18,2	60,7
	5/3/2017 14:00	15.666	1,5	11	21,6	0,75	14,2	6,2	8	37,2
	6/3/2017* 11:15	5.193	3,25	10	4,4	1	1,8	-	-	-
	16/3/2017 17:15	10.886	1,75	12	23,2	1	8,2	5	5,6	23,9
	25/3/2017* 21:45	7.006	5,25	10	31,4	6	12	-	-	-
	31/3/2017* 15:00	13.213	1,75	11	46,8	1,25	17,6	-	-	-
	26/4/2017 17:45	12.647	2,25	13	30,3	2,5	13,8	6,6	7,5	24,8
Rerata	-	10.062	2,7	14	22,8	2,4	8,3	5,2	6,7	25,4
Max	-	30.681	6	20	46,8	6	17,6	6,6	18,2	60,7
Min	-	5.193	1,5	10	4,4	0,5	1,4	2,4	1,2	8,1

$\phi_{initial}$ abstraction (hujan yang mengalami infiltrasi, penggenangan, atau evapotranspirasi [mm/15 menit]), * kejadian banjir yang tidak dapat dihitung hujan efektifnya

Tabel 4.15. Korelasi dan regresi simultan karakteristik hujan dengan debit puncak di Gua Pindul

Karakteristik hujan	P-value	Taraf nyata	R ²
Tebal	0,35	0,05	0,83
Puncak	0,94		
Durasi	0,52		
Persamaan regresi	Q _p = 639 tebal + 88 puncak - 2152 durasi

Gambar 4.17. Korelasi parsial karakteristik hujan dengan debit puncak di Gua Pindul

4.2.3. Variasi Spasial dan Temporal Karakteristik Banjir Sistem Drainase Karst Pindul

Variasi karakteristik banjir dianalisis berdasarkan karakteristik hidrograf banjir (Q_p , T_p , dan T_b) dan karakteristik hujan (tebal, puncak, durasi, dan hujan efektif). Parameter T_p dan T_b antara Gua Pindul dengan Kedungbuntung memiliki perilaku yang sama. Hal ini ditunjukkan dengan nilai signifikansi yang lebih besar dari taraf nyata (Tabel 4.16). Nilai T_p dan T_b menunjukkan bahwa kedua lokasi memiliki respons banjir yang cepat ($T_p < 2,7$ jam), namun masih baik dalam menyimpan airtanah ($T_b > 10$ jam). Respons banjir yang cepat disebabkan oleh karakteristik Kedungbuntung yang berupa sungai permukaan dan Gua Pindul yang diimbuh oleh sungai bawah tanah dan Kedungbuntung. Sementara itu, adanya akuifer dengan dominasi retakan *diffuse* menyebabkan kedua lokasi tergolong masih baik dalam menyimpan airtanah.

Gua Pindul dan Kedungbuntung memiliki karakteristik Q_p yang berbeda. Tabel 4.16 menunjukkan bahwa nilai signifikansi Q_p lebih kecil dari taraf nyata. Gua Pindul memiliki Q_p yang lebih besar dibandingkan Kedungbuntung (Tabel 4.16). Hal ini disebabkan oleh posisi Gua Pindul yang merupakan *outlet* sistem

drainase karst. Posisi Gua Pindul tersebut menyebabkannya memiliki daerah tangkapan yang lebih luas dibanding Kedungbuntung. Kedua kondisi diatas juga mengakibatkan prosentase hujan efektif Gua Pindul lebih besar dibandingkan Kedungbuntung (Tabel 4.17).

Tabel 4.16. Nilai Q_p , T_p , T_b , dan signifikansi di Gua Pindul dan Kedungbuntung

Ket.	Q_p (lt/dt)		T_p (jam)		T_b (jam)		Tarf nyata	Signifikansi		
	GP	KG	GP	KG	GP	KG		Q_p	T_p	T_b
min	5.221	2.934	1,5	1,25	14	14				
max	30.681	11.215	6	6	20	25	0,05	0,02	0,86	0,7
rerata	10.062	4.632	2,7	2,6	10	10				

Q_p debit puncak, T_p waktu menuju puncak banjir, T_b waktu menuju aliran dasar, Pe hujan efektif, GP Gua Pindul, KG Kedungbuntung

Secara temporal, kedua lokasi memiliki prosentase hujan efektif yang lebih besar pada akhir musim hujan dibandingkan awal musim hujan (Tabel 4.17). Gua Pindul memiliki rerata hujan efektif 16,3% pada awal musim hujan dan 36,6% pada akhir musim hujan. Sementara itu, Kedungbuntung memiliki hujan efektif 16,1% dan 7,84%. Kondisi tersebut disebabkan oleh jenuhnya sistem drainase karst pada akhir musim hujan sehingga hujan dengan intensitas yang sama akan menghasilkan limpasan permukaan lebih tinggi pada akhir musim hujan.

Tabel 4.17 Nilai P_e di Gua Pindul dan Kedungbuntung

Ket.	P_e (%)		P_e awal hujan (%)		P_e akhir hujan (%)	
	GP	KG	GP	KG	GP	KG
min	8,1	4,8	8,1	4,8	23,9	11,5
max	60,7	22,5	29,1	11,5	60,7	22,5
rerata	25,4	11,5	16,3	7,8	36,6	16,1

Pe hujan efektif, GP Gua Pindul, KG Kedungbuntung

Pengaruh karakteristik hujan terhadap debit puncak dianalisis menggunakan korelasi parsial dan simultan. Korelasi parsial menunjukkan bahwa hujan efektif merupakan karakteristik hujan yang memiliki pengaruh paling signifikan terhadap debit puncak di kedua lokasi penelitian. Hal ini ditunjukkan dengan R^2 yang bernilai 0,96 di Gua Pindul dan 0,97 di Kedungbuntung (Tabel 4.18).

Pada uji korelasi parsial, tebal hujan, puncak hujan, dan durasi hujan memiliki pengaruh yang tidak signifikan terhadap debit puncak. Hal tersebut

ditunjukkan oleh nilai R^2 yang rendah dan p -value yang lebih besar dari taraf nyata (Tabel 4.18 dan 4.19). Menurut Juanda dan Junaidi (2012), variabel dengan nilai p -value yang lebih besar dari taraf nyata dinyatakan sebagai variabel yang secara parsial tidak berpengaruh signifikan. Rendahnya pengaruh ini dikarenakan ketiga karakteristik hujan dihitung sebelum adanya pengaruh dari sistem drainase karst. Sementara itu, hujan efektif dihitung setelah adanya pengaruh dari sistem drainase karst, yaitu abstraksi (infiltrasi, intersepsi, dan komponen simpanan) (Chow, dkk, 1988).

Tabel 4.18. Nilai R^2 uji korelasi parsial antara debit puncak dengan karakteristik hujan di Gua Pindul dan Kedungbuntung

	Hujan efektif	Tebal hujan	Puncak hujan	Durasi hujan
Gua Pindul	0,96	0,3	0,3	0,001
Kedungbuntung	0,97	0,3	0,3	0,002

Tabel 4.19. Uji korelasi simultan dan regresi linier antara debit puncak dengan tebal, puncak, dan durasi hujan di Gua Pindul dan Kedungbuntung

Karakteristik hujan	Taraf nyata	Gua Pindul		Kedungbuntung	
		p -value	R^2	p -value	R^2
Tebal	0,05	0,35	0,83	0,31	0,9
Puncak		0,94		0,74	
Durasi		0,52		0,56	
Persamaan regresi linier		Qp= 639 tebal + 88 puncak - 2152 durasi		Qp= 217 tebal + 120 puncak - 598 durasi	

Ketiga karakteristik hujan (tebal, puncak, dan durasi hujan) memiliki pengaruh yang signifikan terhadap debit puncak apabila dilakukan uji korelasi secara simultan. Tabel 4.19 menunjukkan bahwa Gua Pindul memiliki R^2 0,83 sedangkan Kedungbuntung 0,9. Nilai R^2 Gua Pindul yang lebih rendah disebabkan karena adanya dominasi retakan *conduit* yang mengimbuhnya (imbuhan melalui sistem perguaan). Adanya dominasi retakan *conduit* memungkinkan debit aliran setelah terjadinya hujan tidak mengalir melalui *outlet* sistem karst (Smart, 1988). Sementara itu, uji regresi linier menunjukkan bahwa tebal dan puncak hujan memiliki hubungan yang berbanding lurus dengan debit puncak sedangkan durasi hujan memiliki hubungan yang berbanding terbalik. Hal tersebut ditunjukkan oleh koefisien yang bernilai positif pada tebal dan puncak hujan sedangkan durasi hujan memiliki koefisien yang bernilai negatif.

4.3. Karakteristik Respons Sistem Drainase Karst Terhadap Curah Hujan

Respons sistem drainase karst terhadap hujan dihitung menggunakan *time series analysis* yang telah diklasifikasikan oleh Zang, dkk (2013). Penelitian ini memodifikasi klasifikasi tersebut. Modifikasi ini menghasilkan klasifikasi respons sistem drainase karst terhadap aliran *conduit*, *fissure*, dan *diffuse*.

4.3.1. Respons Aliran Conduit

Respons aliran *conduit* dihitung berdasarkan waktu tunda aliran *conduit* (T_{lag}) dan durasi maksimum pelepasan aliran *conduit*. T_{lag} didapatkan melalui perhitungan *cross-correlation*, *phase functions*, dan *cross-amplitude*. T_{lag} identik dengan T_p yang telah dibahas pada sub bab karakteristik banjir. Durasi maksimum pelepasan aliran *conduit* didapatkan melalui perhitungan *gain functions*. Perhitungan T_{lag} menggunakan konsep *rising limb* sedangkan durasi maksimum pelepasan aliran *conduit* menggunakan konsep resesi pada hidrograf banjir.

T_{lag} aliran *conduit* ditunjukkan oleh nilai *cross-correlation* (C_{xy}) tertinggi, Gambar 4.18 menunjukkan bahwa kedua lokasi penelitian memiliki C_{xy} tertinggi pada T_{lag} 105 menit (0,406 di Gua Pindul dan 0,366 di Kedungbuntung). Hal ini menunjukkan bahwa kedua lokasi memiliki waktu tunda aliran *conduit* (T_{lag}) 105 menit (1 jam 45 menit). T_{lag} yang bernilai positif (105 menit) juga menunjukkan bahwa debit aliran memiliki hubungan yang berbanding lurus dengan curah hujan.

Gambar 4.18. Grafik *cross-correlation* Gua Pindul dan Kedungbuntung

Phase functions menunjukkan perbedaan frekuensi antara *input* (hujan) dengan *output* (debit aliran). Perbedaan ini disebabkan adanya pemfilteran hujan oleh sistem drainase karst (Panagopoulus dan Lambarakis, 2006). Gambar 4.19 menunjukkan adanya aliran *conduit* pada frekuensi $0,9 \times 10^{-4}$ hingga $62,4 \times 10^{-4}$ yang menyebabkan bentuk grafik menjadi naik-turun secara kontinu. Rerata waktu tunda aliran *conduit* dihitung pada julat frekuensi tersebut menggunakan persamaan 30. Gua Pindul memiliki T_{lag} 1 jam 45 menit, sedangkan Kedungbuntung memiliki T_{lag} 1 jam 36 menit.

Gambar 4.19. Grafik *phase functions* Gua Pindul dan Kedungbuntung

Cross-amplitude (S_{xy}) menunjukkan karakteristik pemfilteran *input signal* (hujan) oleh sistem karst sebelum keluar sebagai *output signal* (debit aliran). Menurut Zang, dkk (2013), nilai tersebut merupakan T_{lag} maksimum aliran *conduit*. T_{lag} maksimum ini didapatkan ketika S_{xy} mendekati nol pada grafik. Karst yang belum berkembang akan memfilter *signal* pada frekuensi tinggi (waktu cepat) sehingga memiliki S_{xy} mendekati nol pada frekuensi rendah (waktu lama). Gua Pindul dan Kedungbuntung memiliki S_{xy} mendekati nol pada frekuensi 94×10^{-4} (Gambar 4.20 dan 4.21). Oleh karena itu, keduanya memiliki T_{lag} maksimum <1 jam 46 menit.

Gain functions (G_{xy}) menunjukkan durasi maksimum pelepasan aliran *conduit* ketika nilai G_{xy} pada grafik memiliki nilai <0,4. Angka ini merupakan nilai

yang ditetapkan oleh Padilla dan Pulido-Bosch (1995). Gambar 4.22 menunjukkan Gua Pindul memiliki G_{xy} dengan nilai $<0,4$ pada frekuensi $>550 \times 10^{-4}$ (durasi= $[1/550] \times 10^4 = 18$ menit). Sementara itu, Kedungbuntung memiliki G_{xy} dengan nilai $<0,4$ pada frekuensi $>330 \times 10^{-4}$ (durasi= $[1/330] \times 10^4 = 30$ menit) (Gambar 4.23). Hal ini menunjukkan bahwa Gua Pindul memiliki durasi pelepasan aliran *conduit* yang lebih cepat (<18 menit) dibandingkan Kedungbuntung (<30 menit).

Gambar 4.20. Grafik *cross-amplitude* Gua Pindul

Gambar 4.21. Grafik *cross-amplitude* Kedungbuntung

Gambar 4.22. Grafik *gain functions* Gua Pindul

Gambar 4.23. Grafik *gain functions* Kedungbuntung

4.3.2. Respons Aliran *Fissure*

Respons sistem drainase karst terhadap aliran *fissure* dihitung berdasarkan rerata durasi pelepasan aliran *fissure* dan julat durasi pelepasan aliran *fissure*. Rerata durasi pelepasan aliran *fissure* dihitung dengan *initially sharp decline* pada grafik *auto-correlation* dan *cross-correlation* yang menggunakan konsep resesi pada grafik hidrograf banjir. *Initially sharp decline* pada kedua grafik merupakan saat dimana aliran *fissure* mulai dilepaskan. Gua Pindul dan Kedungbuntung memiliki *initially sharp decline* yang sama pada grafik *cross-correlation* dan *auto-*

correlation, yaitu sekitar 4 jam (Gambar 4.18 dan 4.24). Hal ini menunjukkan bahwa Gua Pindul dan Kedungbuntung memiliki rerata durasi pelepasan aliran *fissure* 4 jam.

Sementara itu, julat durasi pelepasan aliran *fissure* diperoleh melalui perhitungan *gain functions*. *Gain functions* (G_{xy}) menunjukkan julat durasi pelepasan aliran *fissure* ketika grafik menunjukkan nilai $G_{xy} > 0,4$ dan $G_{xy} < 1$ atau dapat dituliskan $0,4 < G_{xy} < 1$. Angka ini merupakan nilai yang ditetapkan oleh Padilla dan Pulido-Bosch (1995). Gambar 4.22 menunjukkan Gua Pindul memiliki grafik dengan nilai $0,4 < G_{xy} < 1$ pada frekuensi 50×10^{-4} (durasi = $[1/50] \times 10^4 = 200$ menit) hingga 550×10^{-4} (durasi = $[1/550] \times 10^4 = 18$ menit) yang berarti memiliki julat durasi pelepasan aliran *fissure* 18 menit hingga 3,5 jam. Sementara itu, Kedungbuntung memiliki grafik dengan nilai $0,4 < G_{xy} < 1$ pada frekuensi 13×10^{-4} (durasi = $[1/25] \times 10^4 = 400$ menit) hingga 330×10^{-4} (durasi = $[1/330] \times 10^4 = 30$ menit) yang berarti memiliki julat durasi 30 menit hingga 6,5 jam (Gambar 4.23).

Gambar 4.24. Grafik *auto-correlation* Gua Pindul dan Kedungbuntung

4.3.3. Respons Aliran *Diffuse*

Respons sistem drainase karst terhadap aliran *diffuse* dihitung berdasarkan durasi pelepasan aliran *diffuse* dan durasi minimum pelepasan alirannya. Durasi pelepasan aliran *diffuse* didapatkan melalui perhitungan *auto-correlation* dan *spectral density functions*. Kedua perhitungan tersebut menggunakan konsep resesi

pada grafik hidrograf banjir. Durasi minimum pelepasan aliran *diffuse* didapatkan dengan perhitungan *gain functions*.

Auto-correlation ($C(k)$) menunjukkan rerata durasi pelepasan aliran *diffuse* dari seluruh kejadian banjir yang terjadi. Rerata durasi tersebut diperoleh ketika nilai $C(k)$ mencapai *predetermined value* pada grafik *auto-correlation*. Menurut Zang, dkk (2013), *predetermine value* dapat dihitung dengan persamaan 18. Hasil perhitungan *predetermine value* pada penelitian ini adalah 0,02.

Gua Pindul memiliki $C(k)$ yang mencapai nilai 0,02 pada waktu 40 jam (Gambar 4.22). Sementara itu, nilai $C(k)$ Kedungbuntung belum mencapai 0,02 pada waktu maksimal yang ditunjukkan grafik. Hal ini menunjukkan bahwa Gua Pindul memiliki rerata pelepasan aliran *diffuse* yang lebih cepat (40 jam) dibandingkan Kedungbuntung (>50 jam).

Gambar 4.25. Grafik *spectral density* Gua Pindul dan Kedungbuntung

Spectral density ($S(f)$) juga menunjukkan rerata durasi pelepasan aliran *diffuse* dari seluruh kejadian banjir yang terjadi (durasi penyimpanan *input signal* oleh sistem drainase karst) (Larocque, 1998). Rerata durasi tersebut diperoleh ketika nilai $S(f)$ pada grafik *spectral density* mencapai nilai *time regulation* (T_{reg}). T_{reg} merupakan setengah nilai dari $S(f)$ pada frekuensi nol (Zang, dkk, 2013). Perhitungan menggunakan persamaan 21 menunjukkan bahwa grafik $S(f)$ Gua Pindul mencapai T_{reg} pada frekuensi 4×10^{-4} sedangkan Kedungbuntung pada

frekuensi 1×10^{-4} (Gambar 4.25). Hal tersebut menunjukkan bahwa Gua Pindul memiliki rerata pelepasan aliran *diffuse* dengan durasi 41 jam 40 menit yang lebih cepat dibandingkan Kedungbuntung yang memiliki durasi 166 jam 40 menit.

Gain functions (G_{xy}) menunjukkan durasi minimum pelepasan aliran *diffuse* ketika nilai $G_{xy} > 1$ pada grafik. Angka tersebut merupakan nilai yang ditetapkan oleh Padilla dan Pulido-Bosch (1995). Gua Pindul memiliki grafik *gain functions* dengan nilai $G_{xy} > 1$ pada frekuensi 50×10^{-4} (durasi = $[1/50] \times 10^4 = 3,5$ jam) sedangkan Kedungbuntung pada frekuensi 13×10^{-4} (durasi = $[1/25] \times 10^4 = 6,5$ jam) (Gambar 4.22 dan 4.23). Hal tersebut memiliki arti bahwa Gua Pindul memiliki durasi minimum pelepasan aliran *diffuse* dengan waktu $> 3,5$ jam yang lebih cepat dibandingkan Kedungbuntung yang memiliki durasi $> 6,5$ jam.

4.3.4. Variasi Spasial Respons Sistem Drainase Karst Terhadap Curah Hujan

Perhitungan *time series analysis* menunjukkan bahwa Gua Pindul dan Kedungbuntung memiliki respons terhadap aliran *conduit* dan *fissure* yang sama. Sementara itu, pelepasan aliran *diffuse* Gua Pindul lebih cepat dibandingkan Kedungbuntung. Meskipun demikian keduanya masih tergolong baik dalam melepaskan aliran *diffuse*. Respons terhadap aliran *conduit* ditunjukkan dengan T_{lag} maksimum dan durasi maksimum pelepasan aliran *conduit*. Respons terhadap aliran *fissure* ditunjukkan oleh julat durasi pelepasan aliran *fissure*. Respons terhadap aliran *diffuse* ditunjukkan oleh rerata durasi pelepasan aliran *diffuse* dan rerata durasi minimumnya.

T_{lag} maksimum Gua Pindul dan Kedungbuntung memiliki waktu < 1 jam 46 menit. Nilai T_{lag} tersebut (< 1 jam 46 menit) memiliki perbedaan dengan nilai T_p yang dihitung menggunakan hidrograf banjir (< 2 jam 42 menit) (Tabel 4.20). Perbedaan ini disebabkan karena perhitungan T_p dilakukan dengan mengamati grafik hidrograf banjir sedangkan T_{lag} dihitung menggunakan metode statistik (*time series analysis*). Meskipun demikian, T_{lag} dan T_p menunjukkan respons banjir yang cepat karena memiliki nilai yang berselisih kecil dengan rerata durasi hujan (2 jam 24 menit).

Rerata durasi maksimum pelepasan aliran *conduit* di Gua Pindul memiliki waktu < 18 menit yang juga lebih cepat dibandingkan Kedungbuntung yang

memiliki durasi maksimum <30 menit. Lebih cepatnya pelepasan aliran *conduit* Gua Pindul tersebut disebabkan karena adanya imbuhan dari *sinking stream* Kedungbuntung dan sistem perguaan. Sementara itu, Kedungbuntung diimbuh oleh akuifer dengan dominasi retakan *diffuse*. Meskipun demikian, perbedaan pelepasan aliran *conduit* tidak begitu besar yaitu hanya 12 menit. Hal ini juga didukung oleh hasil perhitungan konstanta resesi aliran *conduit* (K_c) (Tabel 4.20). Perhitungan K_c Gua Pindul ($K_c = 0,303$) memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan Kedungbuntung ($K_c = 0,325$), namun hasil uji *t-test* menunjukkan perbedaan ini tidak signifikan (Tabel 4.10).

Perhitungan *initially sharp decline* pada *auto-correlation* dan *cross-corellation* menunjukkan kedua lokasi memiliki rerata durasi pelepasan aliran *fissure* yang sama (sekitar 4 jam). Analisis berdasarkan *frequency base (gain functions)* menunjukkan nilai durasi yang berbeda pada kedua lokasi (18 menit – 3,5 jam pada Gua Pindul dan 30 menit – 6,5 jam pada Kedungbuntung). Meskipun demikian, perbedaan tersebut tidak signifikan. Hal ini didukung oleh perhitungan konstanta resesi aliran *fissure* (K_i) (Tabel 4.20). Nilai K_i Gua Pindul ($K_i = 0,705$) lebih kecil dibandingkan Kedungbuntung ($K_i = 0,760$), namun uji *t-test* menunjukkan perbedaan tersebut tidak signifikan (Tabel 4.10).

Gua Pindul memiliki rerata pelepasan aliran *diffuse* (41 jam 40 menit) yang lebih cepat dibanding Kedungbuntung (166 jam 40 menit). Hal ini disebabkan karena Gua Pindul mendapat imbuhan dari *Sinking Stream* Kedungbuntung dan sistem perguaan sedangkan Kedungbuntung diimbuh oleh akuifer dengan dominasi retakan *diffuse*. Meskipun demikian, durasi keduanya tergolong masih baik dalam melepaskan aliran *diffuse*. Hal ini didukung oleh konstanta resesi aliran *diffuse* (K_b) yang menunjukkan kedua memiliki nilai >0,98 dan tidak memiliki perbedaan signifikan (Tabel 4.10 dan 4.20)

Kedua lokasi memiliki durasi minimum pelepasan aliran *diffuse* yang tergolong cepat (>3,5 jam pada Gua Pindul dan >6,5 jam pada Kedungbuntung). Hal ini disebabkan oleh karakteristik kedua lokasi. *Sinking Stream* Kedungbuntung merupakan sungai permukaan sedangkan Gua Pindul merupakan *outlet system* drainase karst yang diimbuh oleh jaringan sungai bawah tanah.

Tabel 4.20. Hasil perhitungan *time series analysis*, T_{lag} , T_b , dan konstanta resesi di Gua Pindul dan Kedungbuntung

Respons	Keterangan	Metode	Indikator	<i>Time series analysis</i>		$*T_p$		$*T_b$		Konstanta resesi	
				GP (jam)	KG (jam)	GP (jam)	KG (jam)	GP (jam)	KG (jam)	GP	KG
<i>Conduit</i>	Rerata T_{lag}	<i>Cross-correlation</i>	<i>Time of graphic peak</i>	1,75	1,75	2,7	2,6	-	-	0,303	0,325
		<i>Phase functions</i>	$T_{lag} = \frac{\theta_{xy}(f)}{2\pi f}$	1,75	1,6						
	T_{lag} maksimum Durasi maksimum pelepasan aliran	<i>Cross-amplitude</i>	$[S_{xy}(f)]$ tends to be zero	<1,77	<1,77						
		<i>Gain functions</i>	$G_{xy} < 0,4$	<0,3	<0,5						
<i>Fissure</i>	Rerata durasi pelepasan aliran	<i>Auto-correlation</i>	<i>Initially sharp decline</i>	4,17	4,17	-	-	-	-	0,705	0,76
		<i>Cross-correlation</i>	<i>Initially sharp decline</i>	4	4						
	Julat durasi pelepasan aliran	<i>Gain functions</i>	$0,4 < G_{xy} < 1$	0,3–3,5	0,5–6,5						
<i>Diffuse</i>	Rerata durasi pelepasan aliran	<i>Auto-correlation</i>	$C(k) = 0,02$	40	>50	-	-	14	14	0,98	0,99
		<i>Spectral density functions</i>	$T_{reg} = S(f = 0)/_2$	41,7	166,7						
	Durasi minimum pelepasan aliran	<i>Gain functions</i>	$G_{xy} > 1$	>3,5	>6,5						

GP Gua Pindul, KG Kedungbuntung, $*T_{lag}$ time lag yang dihitung dengan hidrograf banjir, $*T_b$ time to baseflow yang dihitung menggunakan hidrograf banjir

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Sistem Drainase Karst Pindul memiliki sifat aliran yang bersifat campuran (*mixed*). Sistem karst ini memiliki pelepasan komponen aliran *conduit* yang cepat ($K_c < 0,5$), namun masih mampu menyimpan airtanah dengan baik yang ditunjukkan oleh nilai $K_b > 0,98$ dan PAD bulanan $> 95\%$. Secara spasial, Gua Pindul memiliki pelepasan komponen aliran yang tidak berbeda signifikan dengan *Sinking Stream* Kedungbuntung. Uji *t-test* terhadap variabel konstanta resesi dan PAD setiap kejadian banjir menunjukkan kedua lokasi memiliki rerata yang identik. Nilai K_c , K_i , dan K_b Gua Pindul (0,303; 0,705; dan 0,98) tidak jauh berbeda dengan Kedungbuntung (0,325; 0,760; dan 0,99). Selain itu, PAD setiap kejadian banjir di Gua Pindul (42,9%) juga memiliki selisih yang kecil dengan Kedungbuntung (47,21%).
2. Sistem Drainase Karst Pindul memiliki perilaku banjir yang cepat, namun masih baik dalam menyimpan airtanah. Hal ini ditunjukkan dengan T_p (2,7 jam) yang hampir sama dengan durasi hujan (2,4 jam) dan T_b yang panjang (14 jam). Secara temporal, prosentase hujan yang menjadi *overlandflow* memiliki nilai yang lebih besar pada akhir musim penghujan. Hal ini menunjukkan jenuhnya sistem drainase karst oleh hujan pada awal musim penghujan. Analisis secara parsial menunjukkan bahwa hujan efektif (P_e) merupakan karakteristik hujan yang paling berpengaruh terhadap debit puncak (Q_p). Sementara itu, tebal, puncak, dan durasi hujan memiliki pengaruh yang kuat apabila dianalisis secara simultan. Secara spasial, uji *t-test* menunjukkan kedua lokasi memiliki perilaku T_p dan T_b yang identik. Sementara itu, Q_p dan P_e Gua Pindul lebih besar dibandingkan Kedungbuntung karena posisinya sebagai *outlet* sistem karst.
3. Perhitungan *time series analysis* menunjukkan bahwa Gua Pindul dan Kedungbuntung memiliki respons terhadap aliran *conduit* dan *fissure* yang sama. Durasi maksimum pelepasan aliran *conduit* di Gua Pindul (< 18 menit) tidak jauh berbeda dengan Kedungbuntung (< 30 menit). Julat durasi pelepasan aliran

fissure Gua Pindul (18 menit – 3,5 jam) juga tidak jauh berbeda dengan Kedungbuntung (30 menit – 6,5 jam). Sementara itu, pelepasan aliran *diffuse* Gua Pindul (>3,5 jam) lebih cepat dibandingkan Kedungbuntung (>6,5 jam). Meskipun demikian keduanya masih tergolong baik dalam melepaskan aliran *diffuse* (rerata 41 jam 40 menit pada Gua Pindul dan 166 jam 40 menit pada Kedungbuntung).

5.2. Saran

1. Imbuhan sistem perguaan di Sistem Drainase Karst Pindul perlu dilakukan monitoring secara kontinu. Hal ini dapat dilakukan dengan memasang *logger* muka air pada Gua Suruh atau Gua Sioyot. Monitoring ini akan melengkapi karakterisasi sistem drainase karst yang pada penelitian ini telah dilakukan di *Sinking Stream* Kedungbuntung dan Gua Pindul.
2. Karaktersisasi sistem drainase karst perlu membandingkan dua lokasi yang memiliki perbedaan daerah tangkapan air (DTA). Penelitian ini membandingkan Gua Pindul dan *Sinking Stream* Kedungbuntung yang masih berada dalam satu DTA. Penelitian dengan perbedaan DTA akan memberikan hasil yang lebih bervariasi secara spasial.
3. Penelitian mengenai pemodelan hubungan airtanah dengan sungai permukaan di Sistem Drainase Karst Pindul perlu dilakukan. Penelitian tersebut dapat memprediksi kejadian banjir secara akurat dan mendetail seperti yang telah dilakukan oleh Marechal, dkk (2008, 2009) dan Fleury, dkk (2013) di Sistem Karst Nimes, Prancis.

DAFTAR PUSTAKA

- Adji, T.N., Sudarmadji., Woro, S. Hendrayana, H., Hariadi, B. 2006. The Distribution of Flood Hydrograph Recession Constant of Bribin River for Gunung Sewu Karst Aquifer Characterization. *Dipublikasi ulang dari Gunung Sewu-Indonesian Cave and Karst Journal* vol.2, no.2.
- Adji, T.N. 2009. Variasi Spasial-Temporal Hidrogeokimia dan Sifat Aliran Untuk Karakterisasi Sistem Karst Dinamis di Sungai Bawah Tanah Bribin, Kabupaten Gunungkidul, DIY. *Desertasi*. Fakultas Geografi UGM.
- Adji, T.N. dan Bahtiar, I.Y. 2016. Rainfall–Discharge Relationship and Karst Flow Components Analysis for Karst Aquifer Characterization in Petoyan Spring, Java, Indonesia. *Environmental Earth Sciences*, v.75: p.735.
- Adji, T.N. dan Cahyadi, A. 2016. Pentingnya Monitoring Parameter-Parameter Hidrograf Dalam Pengelolaan Airtanah di Kawasan Karst. *National Workshop: Best Parctice of Sustainable Water Resources Management Based on Ecohydrology Approach*, 12-14 Oktober 2016, Yogyakarta.
- Agniy, R.F. 2016. Kajian Hidrogeologi Karst Sistem Gua Pindul, Kecamatan Karangmojo, Kabupaten Gunungkidul. *Skripsi*. Fakultas Geografi UGM.
- Atkinson, T.C. 1977. Diffuse Flow and Conduit Flow in Limestone Terrain in The Mendip Hills, Somerset (Great Britain). *Journal of Hydrology* 35: p.95-110.
- Atkinson, T.C. 1985. Present and Future Directions in Karst Hydrogeology. *Ann. Soc. Geoi. Belgique* 108: 293-296.
- Bahtiar, Y.I. 2014. Kajian Respons Debit Mataair Ngeleng Terhadap Curah Hujan untuk Karakterisasi Akuifer Karst. *Skripsi*. Fakultas Geografi UGM.
- Badan Pusat Statistik (BPS). 2016. *Gunungkidul Dalam Angka*. Gunungkidul: BPS.
- Bambang, J dan Junaidi. 2012. *Ekonometrika Deret Waktu: Teori dan Aplikasi*. Bogor: IPB Pres.
- Bemmelen, R.W. Van. 1949. *The Geology of Indonesia Vol. 1 A*. Government Printing Office: The Hauge.
- Bogli, A. 1980. *Karst Hydrology and Physical Speleology*. Berlin: Springer Berlin Heidelberg.
- Chow, V.T. 1959. *Open-Channel Hydraulics*. United States of America: McGraw-Hill.
- Chow, V.T., Maidment, D.R., Mays, L.W. 1988. *Applied Hydrology*. United States of America: McGraw-Hill.
- Davie, T. 2008. *Fundamentals of Hydrology 2th edition*. New York: Routledge.

- Ford, D. dan William, P. 1989. *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. Netherlands: Springer.
- Fleury, P., Maréchal, J.C., dan Ladouche, B. 2013. Karst flash-flood forecasting in the city of Nîmes (southern France). *Engineering Geology*, v.164: p.26–35.
- Garrison, T. 2011. *Essentials of Oceanography 6th edition*. USA: Brooks/Cole Cengage Learning.
- Gillieson, D. 1996. *Caves: Processes, Development, and Management*. Oxford: Blackwell Publishers.
- Goldscheider, N. dan Drew, D. 2007. *Method in Karst Hydrogeology*. London: Taylor & Francis Group.
- Gregor, M. 2010. *BFI+ 3.0 User's Manual*. Slovakia: Hydrooffice.
- Haryono, E. dan Adji, T.N. 2004. *Pengantar Geomorfologi dan Hidrologi Karst*. Yogyakarta: Kelompok Studi Karst Fakultas Geografi UGM.
- Haryono, E. dan Day, M. 2004. Landform Differentiation Within the Gunung Kidul Kegel Karst, Java, Indonesia. *Journal of Cave and Karst Studies*, v.66, no.2: p.62-69.
- Haryono, E. 2014. Speleogenesis Gua Pindul dan Sekitarnya. *Laporan Penelitian Hibah Fakultas*. Fakultas Geografi UGM.
- Horton, R.E. 1933. The Role of Infiltration in The Hydrological Cycle. *Transactions of the American Geophysical Union*, v.14: p.446-460.
- IBM. 2016. *IBM SPSS Statistics Base 24*. Tokyo:
- Jemcov, I. dan Petric, M. 2009. Measured Precipitation Vs. Effective Infiltration and Their Influence on The Assessment of Karst Systems Based on Results of The Time Series Analysis. *Journal of Hydrology* v.379: p.304-314.
- Karimi, H., Raeisi, E., Zare, M. 2003. Hydrodynamic Behavior of The Gilan Karst Spring, West of Zagros, Iran. *BCRA Cave and Karst Science*, vol 30 no.1: p.15-22.
- Kovacs, A. dan Sauter, M. 2007. *Modelling Karst Hydrodynamics*, In: *Goldscheider, N. dan Drew, D., Methods in Karst Hyddrogeology*, p.201-220. London: Taylor & Francis Group.
- Kusumayudha, S.B. 2005. *Hidrogeologi Karst dan Geometri Fraktal Daerah Gunungsewu*. Yogyakarta: Adicita Karya Nusa.
- Larocque, M., Mangin, A., Razack, M., Banton, O. 1998. Contribution of Correlation and Spectral Analyses to The Regional Study of a Large Karst Aquifer (Charente, France). *Journal of Hydrology*, v.205: p.217-231.
- Lyne, V. dan Hollick, M. 1979. Stochastic Time-Variable Rainfall-Runoff Modelling. *I.E., Aust., Natl., Conf., Publ.*, 79/10, pp.89-93.

- Linsley, JR., Kohler, M.A., Paulhus, J.L.H. 1975. *Applied Hydrology*. New Delhi: Tata McGraw-Hill.
- Mangin, A. 1984. Pour une meilleure connaissance des systémes hydrologiques a' partir des analyses corre'latoire et spectrale (For a Better Understanding of Hydrological Systems from Correlation and Spectral Analysis). *Journal of Hydrology*, v.67: p.25-43.
- Maréchal, J.C., Ladouche, B. dan Dörfliger, N. 2008 Karst flash flooding in a Mediterranean karst, the example of Fontaine de Nîmes. *Engineering Geology*, v.99: p.138–146.
- Maréchal, J.C., Ladouche, B. dan Dörfliger, N. 2009. Hydrogeological analysis of groundwater contribution to the 6–8 September 2005 flash flood in Nîmes. *La Houille Blanche*, v.2: p.88–93.
- Misqi, M. 2010. Analisis Konstanta Resesi Sungai Bawah Tanah Untuk Karakterisasi Pelepasan Komponen Akuifer Karst (Studi Kasus: Mataair Beton, Sungai Bawah Tanah Seropan, dan Sungai Bawah Tanah Bribin, Kab. Gunungkidul, Provinsi DIY. *Skripsi*. Fakultas Geografi UGM.
- Musadad. 2014. Partisipasi Masyarakat Dusun Gelaran II dalam Pengembangan Wisata di Goa Pindul, Kabupaten Gunungkidul, Yogyakarta. *Tesis*. Fakultas Geografi UGM.
- Nathan, R.J. dan McMahon, T.A. 1990. Evaluation of Automated Techniques for Baseflow and Recession Analysis. *Water Resources Research*, v.26, no.7: p.1465-1473.
- Oktama, R. 2014. Karakterisasi Akuifer Karst Mataair Ngeleng Dengan Pendekatan Variasi Temporal Sifat Aliran dan Hidrogeokimia. *Skripsi*. Fakultas Geografi UGM.
- Padilla, A. dan Pulido-Bosch, A. 1995. Study of Hydrographs of Karstic Aquifers by means of Correlation and Cross-Spectral Analysis. *Journal of Hydrology* v.168: p.73-89.
- Panagopoulos, G. dan Lambrakis, N. 2006. The Contribution of Time Series Analysis to The Study of The Hydrodynamic Characteristics of The Karst Systems: Application on Two Typical Karst Aquifers of Greece (Trifilia, Almyros Crete). *Journal of Hydrology* v.329 no.3-4: p.368-376.
- Raeisi, R. dan Karami, G. 1997. Hydrochemographs of Berghan Karst Spring as Indicators of Aquifer Characteristics. *Journal of Cave and Karst Studies* v.59, no.3: p.112-118.
- Rahaningmas, F.R. 2013. Geologi dan Hubungan Antara Fasies Karbonat dan Jenis Porositas Terhadap Pembentukan Gua Pindul Desa Bejiharjo dan Sekitarnya, Kecamatan Karangmojo, Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Skripsi*. Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, AKPRIND Yogyakarta.

- Rahnemaei, M., Zare, M., Nematollahi, A.R., Sedghi, H. 2005. Application of Spectral Analysis of Daily Water Level and Spring Discharge Hydrographs Data for Comparing Physical Characteristics of Karstic Aquifers. *Journal of Hydrology* v.311: p.106–116.
- Schulz, E.F. 1976. *Problems in Applied Hydrology*. Colorado: Water Resources Publication.
- Seyhan, E. 1977. *Fundamentals of Hydrology*. Netherland: Utrecht.
- Smart, P.L. dan Hobbes, S.L. 1986. Characteristics of Carbonate Aquifers: A conceptual basis. In *Proceedings, Environmental Problem in Karst Terrains and Their Solution*. Bowling Green, KY: National Well Water Association, p.1-4.
- Smart, C.C. 1988. Artificial Tracer Techniques for The Determination of Structure of Conduit Aquifer. *Groundwater Journal*, vol. 26, no. 4.
- Soewarno. 1991. *Hidrologi – Pengukuran dan Pengolahan Data Aliran Sungai – Hidrometri*. Bandung: Penerbit Nova.
- Strahler, A. 2011. *Introducing Physical Geography 5th edition*. USA: John Wiley and Sons.
- Sweeting, M.M. 1972. *Karst Landforms*. London: Macmillan.
- Todd, D.K. 1980. *Groundwater Hidrology*. New York: John Willey and Sons.
- White, W.B. 1969. Conceptual Models for Carbonate Aquifers. *Ground Water*, v.7, no.3.
- White, W.B. 1988. *Geomorphology and Hydrology of Karst Terrains*. New York: Oxford University Press.
- White, W.B. 2002. Conceptual Models For Karstic Aquifers. *Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers* v.1: p.2.
- Williams, P.W. 1983. The Role of the Subcutaneous Zone in Karst Hydrology. *Journal of Hydrology* v.61: p.45-67.
- Zhang, Z., Chen, Xi., Chen X., Shi, P. 2013. Quantifying Time Lag of Epikarst Spring Hydrograph Response to Rainfall Using Correlation and Spectral Analysis. *Hydrogeology Journal* v.21: p.1619-1631.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan konstanta resesi Gua Pindul

Puncak Banjir: 5 Januari 2017 18:15

Waktu	Q (Lt/dt)	Alpha Baseflow	Kr Baseflow	Q Baseflow	Q Interflow + Streamflow	Alpha Interflow	Kr Interflow	Q Interflow	Q Streamflow	Alpha Streamflow	Kr Streamflow
5/1/2017 18:15	10.320			4.452	5.867			4764	1103		
5/1/2017 19:15	8.469	0,198	0,821	4.427	4.042	0,373	0,689	3242	800	0,322	0,725
5/1/2017 20:15	6.931	0,200	0,818	4.403	2.529	0,469	0,626	2207	321	0,911	0,402
5/1/2017 21:15	5.973	0,149	0,862	4.378	1.595	0,461	0,631	1502	93	1,241	0,289
5/1/2017 22:15	5.376	0,105	0,900	4.353	1.022	0,445	0,641	1022	0		
5/1/2017 23:15	5.025	0,068	0,935	4.329	696	0,385	0,681	696	0		
6/1/2017 0:15	4.795	0,047	0,954	4.305	490	0,350	0,705	490	0		
6/1/2017 1:15	4.620	0,037	0,963	4.280	339	0,369	0,692	339	0		
6/1/2017 2:15	4.478	0,031	0,969	4.256	222	0,426	0,653	222	0		
6/1/2017 3:15	4.388	0,020	0,980	4.232	156	0,354	0,702	156	0		
6/1/2017 4:15	4.315	0,017	0,983	4.209	107	0,376	0,686	107	0		
6/1/2017 5:15	4.275	0,009	0,991	4.185	90	0,165	0,848	90	0		
6/1/2017 6:15	4.208	0,016	0,984	4.161	47	0,659	0,517	47	0		
6/1/2017 7:15	4.154	0,013	0,987	4.138	15	1,106	0,331	15	0		
6/1/2017 8:15	4.115	0,009	0,991	4.115	0			0	0		
6/1/2017 9:15	4.092	0,006	0,994	4.092	-			0	0		
6/1/2017 10:15	4.057	0,008	0,992	4.057	-			0	0		
6/1/2017 11:15	4.042	0,004	0,996	4.042	-			0	0		
6/1/2017 12:15	4.027	0,004	0,996	4.027	-			0	0		

Lampiran 1. Perhitungan konstanta resesi Gua Pindul

Puncak Banjir: 15 Januari 2017 00:00

Date	Q (Lt)	Alpha Baseflow	Kr Baseflow	Q Baseflow	Q Interflow + Streamflow	Alpha Interflow	Kr Interflow	Q Interflow	Q Streamflow	Alpha Streamflow	Kr Streamflow
1/15/2017 0:00	5874			4506	1368			432	936		
1/15/2017 1:00	5503	0,065	0,937	4481	1022	0,291	0,747	366	656	0,356	0,701
1/15/2017 2:00	5238	0,049	0,952	4455	782	0,267	0,765	311	472	0,330	0,719
1/15/2017 3:00	4996	0,047	0,954	4430	566	0,324	0,723	263	302	0,445	0,641
1/15/2017 4:00	4819	0,036	0,965	4405	414	0,312	0,732	223	190	0,462	0,630
1/15/2017 5:00	4707	0,024	0,977	4381	326	0,238	0,789	190	137	0,331	0,719
1/15/2017 6:00	4567	0,030	0,970	4356	211	0,434	0,648	161	51	0,994	0,370
1/15/2017 7:00	4468	0,022	0,978	4332	136	0,438	0,645	136	0		
1/15/2017 8:00	4423	0,010	0,990	4307	116	0,165	0,848	116	0		
1/15/2017 9:00	4354	0,016	0,984	4283	71	0,489	0,613	71	0		
1/15/2017 10:00	4330	0,006	0,994	4259	71	0,001	0,999	71	0		
1/15/2017 11:00	4310	0,005	0,995	4235	75	-0,054	1,055	75	0		
1/15/2017 12:00	4278	0,007	0,993	4211	67	0,114	0,892	67	0		
1/15/2017 13:00	4246	0,007	0,993	4187	59	0,128	0,879	59	0		
1/15/2017 14:00	4183	0,015	0,985	4164	19			19	0		
1/15/2017 15:00	4179	0,001	0,999	4141	39			39	0		
1/15/2017 16:00	4152	0,007	0,993	4117	35			35	0		
1/15/2017 17:00	4094	0,014	0,986	4094	0			0	0		
1/15/2017 18:00	4071	0,006	0,994	4071	0			0	0		
1/15/2017 19:00	4037	0,008	0,992	4037	0			0	0		
1/15/2017 20:00	4025	0,003	0,997	4025	0			0	0		

Lampiran 1. Perhitungan konstanta resesi Gua Pindul

Puncak Banjir: 1 Februari 2017 23:45

Date	Q (Lt)	Alpha Baseflow	Kr Baseflow	Q Baseflow	Q Interflow + Streamflow	Alpha Interflow	Kr Interflow	Q Interflow	Q Streamflow	Alpha Streamflow	Kr Streamflow
2/1/2017 23:45	11132			4894	6238			3098	3140		
2/2/2017 0:45	9465	0,162	0,850	4853	4612	0,302	0,739	2300	2311	0,306	0,736
2/2/2017 1:45	7699	0,207	0,813	4813	2886	0,469	0,626	1708	1178	0,674	0,510
2/2/2017 2:45	6698	0,139	0,870	4773	1925	0,405	0,667	1268	657	0,584	0,558
2/2/2017 3:45	6050	0,102	0,903	4734	1317	0,380	0,684	942	375	0,560	0,571
2/2/2017 4:45	5587	0,080	0,923	4694	893	0,388	0,678	699	194	0,660	0,517
2/2/2017 5:45	5230	0,066	0,936	4655	575	0,440	0,644	519	56	1,245	0,288
2/2/2017 6:45	5002	0,045	0,956	4617	385	0,400	0,670	385	0		
2/2/2017 7:45	4865	0,028	0,973	4579	286	0,298	0,743	286	0		
2/2/2017 8:45	4700	0,034	0,966	4541	160	0,584	0,558	160	0		
2/2/2017 9:45	4598	0,022	0,978	4503	95	0,514	0,598	95	0		
2/2/2017 10:45	4523	0,016	0,984	4466	58	0,505	0,603	58	0		
2/2/2017 11:45	4465	0,013	0,987	4429	37	0,448	0,639	37	0		
2/2/2017 12:45	4392	0,017	0,984	4392	0			0	0		
2/2/2017 13:45	4356	0,008	0,992	4356	0			0	0		
2/2/2017 14:45	4311	0,010	0,990	4311	0			0	0		
2/2/2017 15:45	4252	0,014	0,986	4252	0			0	0		
2/2/2017 16:45	4204	0,011	0,989	4204	0			0	0		

Lampiran 1. Perhitungan konstanta resesi Gua Pindul

Puncak Banjir: 3 Februari 2017 04:30

Date	Q (Lt)	Alpha Baseflow	Kr Baseflow	Q Baseflow	Q Interflow + Streamflow	Alpha Interflow	Kr Interflow	Q Interflow	Q Streamflow	Alpha Streamflow	Kr Streamflow
2/3/2017 4:30	12.867			4.956	7911			7.165	746		
2/3/2017 5:30	11.595	0,104	0,901	4.910	6685	0,168	0,845	4.929	1755	-0,855	2,352
2/3/2017 6:30	9.020	0,251	0,778	4.865	4155	0,475	0,622	3.391	764	0,832	0,435
2/3/2017 7:30	7.385	0,200	0,819	4.820	2566	0,482	0,617	2.333	232	1,190	0,304
2/3/2017 8:30	6.417	0,141	0,869	4.775	1641	0,447	0,640	1.605	36	1,862	0,155
2/3/2017 9:30	5.836	0,095	0,909	4.731	1104	0,396	0,673	1.104	0	11,775	0,000
2/3/2017 10:30	5.447	0,069	0,933	4.687	760	0,374	0,688	760	0		
2/3/2017 11:30	5.138	0,058	0,943	4.644	494	0,430	0,650	494	0		
2/3/2017 12:30	4.927	0,042	0,959	4.601	326	0,418	0,659	326	0		
2/3/2017 13:30	4.756	0,035	0,965	4.558	198	0,499	0,607	198	0		
2/3/2017 14:30	4.632	0,026	0,974	4.516	116	0,534	0,586	116	0		
2/3/2017 15:30	4.536	0,021	0,979	4.475	61	0,639	0,528	61	0		
2/3/2017 16:30	4.449	0,019	0,981	4.433	16	1,351	0,259	16	0		
2/3/2017 17:30	4.392	0,013	0,987	4.392	0			(0)	0		
2/3/2017 18:30	4.360	0,007	0,993	4.352	8			8	0		
2/3/2017 19:30	4.311	0,011	0,989	4.311	0			0	0		
2/3/2017 20:30	4.271	0,009	0,991	4.271	0			-	0		
2/3/2017 21:30	4.224	0,011	0,989	4.224	0			-	0		
2/3/2017 22:30	4.177	0,011	0,989	4.177	0			-			
2/3/2017 23:30	4.154	0,006	0,994	4.154	0			-			
2/4/2017 0:30	4.115	0,009	0,991	4.115	0			-			
2/4/2017 1:30	4.080	0,008	0,992	4.080	0			-			
2/4/2017 2:30	4.069	0,003	0,997	4.069	0			-			

Lampiran 1. Perhitungan konstanta resesi Gua Pindul

Puncak Banjir: 15 Februari 2017 00:15

Date	Q (Lt)	Alpha Baseflow	Kr Baseflow	Q Baseflow	Q Interflow + Streamflow	Alpha Interflow	Kr Interflow	Q Interflow	Q Streamflow	Alpha Streamflow	Kr Streamflow
2/15/2017 0:15	6.019			4497	1.522			543	979		
2/15/2017 1:15	5.607	0,071	0,931	4468	1.139	0,290	0,748	396	743	0,276	0,759
2/15/2017 2:15	5.175	0,080	0,923	4439	736	0,436	0,646	289	447	0,508	0,602
2/15/2017 3:15	4.900	0,055	0,947	4410	490	0,407	0,666	211	279	0,470	0,625
2/15/2017 4:15	4.765	0,028	0,972	4381	384	0,245	0,783	154	230	0,195	0,823
2/15/2017 5:15	4.620	0,031	0,970	4352	267	0,362	0,696	112	155	0,395	0,674
2/15/2017 6:15	4.490	0,028	0,972	4324	166	0,475	0,622	82	84	0,609	0,544
2/15/2017 7:15	4.356	0,030	0,970	4296	60	1,023	0,360	60	0		
2/15/2017 8:15	4.311	0,010	0,990	4268	44	0,315	0,730	44	0		
2/15/2017 9:15	4.248	0,015	0,985	4240	8	1,723	0,178	8	0		
2/15/2017 10:15	4.228	0,005	0,995	4212	16			16	0		
2/15/2017 11:15	4.185	0,010	0,990	4185	0			0	0		
2/15/2017 12:15	4.157	0,007	0,993	4157	-			-	0		
2/15/2017 13:15	4.123	0,008	0,992	4123	-			-	0		
2/15/2017 14:15	4.057	0,016	0,984	4057	-			-	0		
2/15/2017 15:15	4.031	0,007	0,993	4031	-			-	0		

Lampiran 1. Perhitungan konstanta resesi Gua Pindul

Puncak Banjir: 1 Maret 2017 16:15

Date	Q (Lt)	Alpha Baseflow	Kr Baseflow	Q Baseflow	Q Interflow + Streamflow	Alpha Interflow	Kr Interflow	Q Interflow	Q Streamflow	Alpha Streamflow	Kr Streamflow
3/1/2017 16:15	30.681			7.692	22.989			10.829	12.160		
3/1/2017 17:15	23.633	0,261	0,770	7.389	16.244	0,347	0,707	6.787	9.457	0,251	0,778
3/1/2017 18:15	15.612	0,415	0,661	7.097	8.515	0,646	0,524	4.254	4.261	0,797	0,451
3/1/2017 19:15	10.902	0,359	0,698	6.817	4.085	0,735	0,480	2.666	1.419	1,100	0,333
3/1/2017 20:15	8.490	0,250	0,779	6.548	1.941	0,744	0,475	1.671	270	1,658	0,190
3/1/2017 21:15	7.337	0,146	0,864	6.290	1.047	0,617	0,540	1.047	0		
3/1/2017 22:15	6.698	0,091	0,913	6.042	657	0,467	0,627	657	-		
3/1/2017 23:15	6.250	0,069	0,933	5.803	447	0,384	0,681	447	-		
3/2/2017 0:15	5.785	0,077	0,926	5.574	211	0,750	0,472	211	-		
3/2/2017 1:15	5.433	0,063	0,939	5.354	79	0,986	0,373	79	-		
3/2/2017 2:15	5.143	0,055	0,947	5.143	0	13,245	0,000	0	-		
3/2/2017 3:15	4.940	0,040	0,961	4.940	-			-	-		
3/2/2017 4:15	4.830	0,023	0,978	4.830	-			-	-		
3/2/2017 5:15	4.687	0,030	0,971	4.687	-			-	-		
3/2/2017 6:15	4.544	0,031	0,969	4.544	-			-	-		
3/2/2017 7:15	4.425	0,027	0,974	4.425	-			-	-		
3/2/2017 8:15	4.352	0,017	0,984	4.352	-			-	-		
3/2/2017 9:15	4.283	0,016	0,984	4.283	-			-	-		

Lampiran 1. Perhitungan konstanta resesi Gua Pindul

Puncak Banjir: 5 Maret 2017 15:45

Date	Q (Lt)	Alpha Baseflow	Kr Baseflow	Q Baseflow	Q Interflow + Streamflow	Alpha Interflow	Kr Interflow	Q Interflow	Q Streamflow	Alpha Streamflow	Kr Streamflow
3/5/2017 15:45	15.666			5.339	10.327			7.932	2.395		
3/5/2017 16:45	11.923	0,273	0,761	5.237	6.687	0,435	0,647	4.729	1.957	0,202	0,817
3/5/2017 17:45	8.396	0,351	0,704	5.136	3.260	0,718	0,488	2.820	440	1,492	0,225
3/5/2017 18:45	6.788	0,213	0,809	5.037	1.751	0,621	0,537	1.681	70	1,836	0,159
3/5/2017 19:45	5.942	0,133	0,875	4.940	1.002	0,558	0,572	1.002	0		
3/5/2017 20:45	5.442	0,088	0,916	4.845	598	0,517	0,596	598	-		
3/5/2017 21:45	5.074	0,070	0,932	4.752	323	0,615	0,540	323	-		
3/5/2017 22:45	4.856	0,044	0,957	4.660	196	0,499	0,607	196	-		
3/5/2017 23:45	4.730	0,026	0,974	4.570	160	0,204	0,816	160	-		
3/6/2017 0:45	4.557	0,037	0,963	4.482	74	0,767	0,465	74	-		
3/6/2017 1:45	4.396	0,036	0,965	4.396	0			0	-		
3/6/2017 2:45	4.311	0,019	0,981	4.311	-			-	-		
3/6/2017 3:45	4.240	0,017	0,983	4.240	-			-	-		
3/6/2017 4:45	4.177	0,015	0,985	4.177	-			-	-		
3/6/2017 5:45	4.138	0,009	0,991	4.138	-			-	-		
3/6/2017 6:45	4.061	0,019	0,981	4.061	-			-	-		
3/6/2017 7:45	4.053	0,002	0,998	4.053	-			-	-		
3/6/2017 8:45	4.034	0,005	0,995	4.034	-			-	-		

Lampiran 1. Perhitungan konstanta resesi Gua Pindul

Puncak Banjir: 16 Maret 2017 19:15

Date	Q (Lt)	Alpha Baseflow	Kr Baseflow	Q Baseflow	Q Interflow + Streamflow	Alpha Interflow	Kr Interflow	Q Interflow	Q Streamflow	Alpha Streamflow	Kr Streamflow
3/16/2017 19:15	10.886			4.755	6.131			5.111	1.020		
3/16/2017 20:15	8.999	0,190	0,827	4.706	4.292	0,357	0,700	3.322	971	0,050	0,951
3/16/2017 21:15	7.111	0,235	0,790	4.658	2.453	0,560	0,571	2.159	294	1,195	0,303
3/16/2017 22:15	6.014	0,168	0,846	4.611	1.403	0,558	0,572	1.403	0		
3/16/2017 23:15	5.476	0,094	0,911	4.564	912	0,431	0,650	912	-		
3/17/2017 0:15	5.097	0,072	0,931	4.517	580	0,453	0,636	580	-		
3/17/2017 1:15	4.830	0,054	0,948	4.471	359	0,481	0,618	359	-		
3/17/2017 2:15	4.649	0,038	0,963	4.426	224	0,473	0,623	224	-		
3/17/2017 3:15	4.519	0,028	0,972	4.380	139	0,477	0,620	139	-		
3/17/2017 4:15	4.412	0,024	0,976	4.336	77	0,595	0,552	77	-		
3/17/2017 5:15	4.311	0,023	0,977	4.292	20	1,349	0,260	20	-		
3/17/2017 6:15	4.248	0,015	0,985	4.248	0			0	-		
3/17/2017 7:15	4.204	0,010	0,990	4.204	-			-	-		
3/17/2017 8:15	4.142	0,015	0,985	4.142	-			-	-		
3/17/2017 9:15	4.096	0,011	0,989	4.096	-			-	-		
3/17/2017 10:15	4.034	0,015	0,985	4.034	-			-	-		

Lampiran 1. Perhitungan konstanta resesi Gua Pindul

Puncak Banjir: 26 Maret 2017 05:00

Date	Q (Lt)	Alpha Baseflow	Kr Baseflow	Q Baseflow	Q Interflow + Streamflow	Alpha Interflow	Kr Interflow	Q Interflow	Q Streamflow	Alpha Streamflow	Kr Streamflow
3/26/2017 5:00	7.006			5.313	1.693			693	1.000		
3/26/2017 6:00	6.250	0,114	0,892	5.206	1.044	0,484	0,617	518	525	0,644	0,525
3/26/2017 7:00	5.681	0,096	0,909	5.102	579	0,589	0,555	388	191	1,010	0,364
3/26/2017 8:00	5.404	0,050	0,951	4.999	405	0,357	0,700	290	115	0,507	0,602
3/26/2017 9:00	5.115	0,055	0,947	4.898	217	0,624	0,536	217	0		
3/26/2017 10:00	4.962	0,030	0,970	4.800	163	0,290	0,748	163	-		
3/26/2017 11:00	4.799	0,033	0,967	4.703	96	0,522	0,593	96	-		
3/26/2017 12:00	4.830	-0,006	1,006	4.608	222	-0,832	2,298	222	-		
3/26/2017 13:00	4.548	0,060	0,942	4.515	33	1,910	0,148	33	-		
3/26/2017 14:00	4.425	0,028	0,973	4.425	0			0	-		
3/26/2017 15:00	4.335	0,020	0,980	4.335	-			-	-		
3/26/2017 16:00	4.283	0,012	0,988	4.283	-			-	-		
3/26/2017 17:00	4.212	0,017	0,983	4.212	-			-	-		
3/26/2017 18:00	4.150	0,015	0,985	4.150	-			-	-		

Lampiran 1. Perhitungan konstanta resesi Gua Pindul

Puncak Banjir: 31 Maret 2017 17:00

Date	Q (Lt)	Alpha Baseflow	Kr Baseflow	Q Baseflow	Q Interflow + Streamflow	Alpha Interflow	Kr Interflow	Q Interflow	Q Streamflow	Alpha Streamflow	Kr Streamflow
3/31/2017 17:00	13.213			7.220	5.993			2.150	3.843		
3/31/2017 18:00	11.017	0,182	0,834	6.931	4.086	0,383	0,682	1.661	2.425	0,461	0,631
3/31/2017 19:00	8.666	0,240	0,787	6.653	2.013	0,708	0,493	1.284	729	1,201	0,301
3/31/2017 20:00	7.422	0,155	0,856	6.386	1.036	0,664	0,515	992	44	2,815	0,060
3/31/2017 21:00	6.897	0,073	0,929	6.130	767	0,301	0,740	767	0		
3/31/2017 22:00	6.477	0,063	0,939	5.884	593	0,258	0,773	593	-		
3/31/2017 23:00	6.035	0,071	0,932	5.648	387	0,426	0,653	387	-		
4/1/2017 0:00	5.592	0,076	0,927	5.421	171	0,818	0,441	171	-		
4/1/2017 1:00	5.305	0,053	0,949	5.204	101	0,525	0,591	101	-		
4/1/2017 2:00	5.097	0,040	0,961	4.995	102			102	-		
4/1/2017 3:00	4.795	0,061	0,941	4.795	0			0	-		
4/1/2017 4:00	4.603	0,041	0,960	4.603	-			-	-		
4/1/2017 5:00	4.490	0,025	0,976	4.490	-			-	-		
4/1/2017 6:00	4.396	0,021	0,979	4.396	-			-	-		
4/1/2017 7:00	4.279	0,027	0,973	4.279	-			-	-		
4/1/2017 8:00	4.260	0,005	0,995	4.260	-			-	-		
4/1/2017 9:00	4.189	0,017	0,983	4.189	-			-	-		
4/1/2017 10:00	4.123	0,016	0,984	4.123	-			-	-		

Lampiran 1. Perhitungan konstanta resesi Gua Pindul

Puncak Banjir: 26 April 2017 21:00

Date	Q (Lt)	Alpha Baseflow	Kr Baseflow	Q Baseflow	Q Interflow + Streamflow	Alpha Interflow	Kr Interflow	Q Interflow	Q Streamflow	Alpha Streamflow	Kr Streamflow
4/26/2017 21:00	12.647			4.784	7.863			7.018	845		
4/26/2017 22:00	10.453	0,190	0,827	4.744	5.709	0,320	0,726	4.575	1.135	-0,295	1,343
4/26/2017 23:00	8.113	0,253	0,776	4.704	3.408	0,516	0,597	2.982	426	0,978	0,376
4/27/2017 0:00	6.771	0,181	0,835	4.665	2.106	0,481	0,618	1.944	162	0,966	0,381
4/27/2017 1:00	5.907	0,137	0,872	4.626	1.280	0,498	0,608	1.267	13	2,514	0,081
4/27/2017 2:00	5.414	0,087	0,917	4.588	826	0,438	0,645	826	0		
4/27/2017 3:00	5.088	0,062	0,940	4.550	538	0,428	0,652	538	-		
4/27/2017 4:00	4.852	0,048	0,954	4.512	340	0,460	0,631	340	-		
4/27/2017 5:00	4.687	0,034	0,966	4.474	213	0,467	0,627	213	-		
4/27/2017 6:00	4.569	0,026	0,975	4.437	132	0,479	0,619	132	-		
4/27/2017 7:00	4.470	0,022	0,978	4.400	69			69	-		
4/27/2017 8:00	4.400	0,016	0,984	4.364	36			36	-		
4/27/2017 9:00	4.327	0,017	0,983	4.327	0			0			
4/27/2017 10:00	4.291	0,008	0,992	4.291	-			-			
4/27/2017 11:00	4.264	0,007	0,994	4.264	-			-			
4/27/2017 12:00	4.232	0,007	0,993	4.232	-			-			
4/27/2017 13:00	4.173	0,014	0,986	4.173	-			-			
4/27/2017 14:00	4.119	0,013	0,987	4.119	-			-			
4/27/2017 15:00	4.099	0,005	0,995	4.099	-			-			

Lampiran 2. Perhitungan konstanta resesi *Sinking Stream* Kedungbuntung

Puncak Banjir 5 Januari 2017 18:15

Date	Q (Lt)	Alpha Baseflow	Kr Baseflow	Q Baseflow	Q Interflow + Streamflow	Alpha Interflow	Kr Interflow	Q Interflow	Q Streamflow	Alpha Streamflow	Kr Streamflow
1/5/2017 18:15	4.626			2.771	1.855			1.276	579		
1/5/2017 19:15	3.772	0,204	0,816	2.752	1.020	0,598	0,550	906	115	1,618	0,198
1/5/2017 20:15	3.440	0,092	0,912	2.733	707	0,366	0,693	643	65	0,576	0,562
1/5/2017 21:15	3.191	0,075	0,928	2.714	477	0,393	0,675	456	21	1,118	0,327
1/5/2017 22:15	3.019	0,056	0,946	2.695	324	0,388	0,678	324	0		
1/5/2017 23:15	2.906	0,038	0,963	2.677	230	0,343	0,710	230	-		
1/6/2017 0:15	2.841	0,023	0,978	2.658	183	0,227	0,797	183	-		
1/6/2017 1:15	2.761	0,029	0,972	2.640	121	0,412	0,662	121	-		
1/6/2017 2:15	2.696	0,024	0,976	2.621	74	0,491	0,612	74	-		
1/6/2017 3:15	2.655	0,015	0,985	2.603	52	0,354	0,702	52	-		
1/6/2017 4:15	2.620	0,013	0,987	2.585	35	0,401	0,670	35	-		
1/6/2017 5:15	2.615	0,002	0,998	2.567	48			48	-		
1/6/2017 6:15	2.550	0,025	0,975	2.550	0			0	-		
1/6/2017 7:15	2.532	0,007	0,993	2.532	-			-	-		
1/6/2017 8:15	2.519	0,005	0,995	2.519	-			-	-		
1/6/2017 9:15	2.476	0,017	0,983	2.476	-			-	-		
1/6/2017 10:15	2.466	0,004	0,996	2.466	-			-	-		
1/6/2017 11:15	2.469	-0,001	1,001	2.469	-			-	-		
1/6/2017 12:15	2.464	0,002	0,998	2.464	-			-	-		

Lampiran 2. Perhitungan konstanta resesi *Sinking Stream* Kedungbuntung

Puncak Banjir 15 Januari 2017 00:00

Date	Q (Lt)	Alpha Baseflow	Kr Baseflow	Q Baseflow	Q Interflow + Streamflow	Alpha Interflow	Kr Interflow	Q Interflow	Q Streamflow	Alpha Streamflow	Kr Streamflow
1/15/2017 0:00	3.341			2.616	725			654	71		
1/15/2017 1:00	3.154	0,058	0,944	2.603	551	0,274	0,760	496	55	0,262	0,769
1/15/2017 2:00	3.014	0,045	0,956	2.590	424	0,261	0,770	377	47	0,143	0,867
1/15/2017 3:00	2.881	0,045	0,956	2.577	305	0,331	0,718	286	18	0,944	0,389
1/15/2017 4:00	2.781	0,035	0,965	2.564	217	0,337	0,714	217	0		
1/15/2017 5:00	2.716	0,024	0,977	2.551	165	0,275	0,759	165	-		
1/15/2017 6:00	2.633	0,031	0,969	2.538	95	0,552	0,576	95	-		
1/15/2017 7:00	2.572	0,023	0,977	2.525	48	0,694	0,500	48	-		
1/15/2017 8:00	2.545	0,011	0,989	2.512	33	0,377	0,686	33	-		
1/15/2017 9:00	2.502	0,017	0,983	2.499	2			2	-		
1/15/2017 10:00	2.486	0,006	0,994	2.486	0			0	-		
1/15/2017 11:00	2.474	0,005	0,995	2.474	-			-	-		
1/15/2017 12:00	2.454	0,008	0,992	2.454	-			-	-		
1/15/2017 13:00	2.433	0,008	0,992	2.433	-			-	-		
1/15/2017 14:00	2.393	0,017	0,983	2.393	-			-	-		
1/15/2017 15:00	2.390	0,001	0,999	2.390	-			-	-		
1/15/2017 16:00	2.373	0,007	0,993	2.373	-			-	-		

Lampiran 2. Perhitungan konstanta resesi *Sinking Stream* Kedungbuntung

Puncak Banjir 1 Februari 2017 23:45

Date	Q (Lt)	Alpha Baseflow	Kr Baseflow	Q Baseflow	Q Interflow + Streamflow	Alpha Interflow	Kr Interflow	Q Interflow	Q Streamflow	Alpha Streamflow	Kr Streamflow
2/1/2017 23:45	4.934			3.051	1.883			923	959		
2/2/2017 0:45	4.278	0,143	0,867	3.021	1.256	0,404	0,667	673	584	0	0,609
2/2/2017 1:45	3.753	0,131	0,877	2.992	761	0,502	0,606	490	271	1	0,464
2/2/2017 2:45	3.532	0,061	0,941	2.963	570	0,289	0,749	357	213	0	0,785
2/2/2017 3:45	3.333	0,058	0,944	2.934	400	0,354	0,702	260	140	0	0,657
2/2/2017 4:45	3.169	0,051	0,951	2.905	264	0,415	0,660	189	75	1	0,534
2/2/2017 5:45	3.034	0,043	0,957	2.877	158	0,516	0,597	138	20	1	0,262
2/2/2017 6:45	2.949	0,028	0,972	2.849	101	0,449	0,638	101	0		
2/2/2017 7:45	2.894	0,019	0,981	2.821	73	0,317	0,728	73	-		
2/2/2017 8:45	2.831	0,022	0,978	2.793	38	0,654	0,520	38	-		
2/2/2017 9:45	2.801	0,011	0,989	2.766	35	0,078	0,925	35	-		
2/2/2017 10:45	2.771	0,011	0,989	2.739	32	0,093	0,911	32	-		
2/2/2017 11:45	2.733	0,014	0,986	2.712	21	0,417	0,659	21	-		
2/2/2017 12:45	2.708	0,009	0,991	2.686	23	-0,061	1,063	23	-		
2/2/2017 13:45	2.688	0,007	0,993	2.659	29	-0,240	1,271	29	-		
2/2/2017 14:45	2.655	0,012	0,988	2.633	22	0,269	0,764	22	-		
2/2/2017 15:45	2.620	0,013	0,987	2.608	12	0,573	0,564	12	-		
2/2/2017 16:45	2.582	0,015	0,986	2.582	0			0	-		
2/2/2017 17:45	2.557	0,010	0,990	2.557	-			-	-		
2/2/2017 18:45	2.542	0,006	0,994	2.542	-			-	-		
2/2/2017 19:45	2.522	0,008	0,992	2.522	-			-	-		

Lampiran 2. Perhitungan konstanta resesi *Sinking Stream* Kedungbuntung

Puncak Banjir 3 Februari 2017 04:30

Date	Q (Lt)	Alpha Baseflow	Kr Baseflow	Q Baseflow	Q Interflow + Streamflow	Alpha Interflow	Kr Interflow	Q Interflow	Q Streamflow	Alpha Streamflow	Kr Streamflow
2/3/2017 4:30	5.617			3.014	2.603			1.484	1.119		
2/3/2017 5:30	5.060	0,104	0,901	2.988	2.072	0,228	0,796	1.048	1.024	0,088	0,916
2/3/2017 6:30	4.135	0,202	0,817	2.963	1.172	0,570	0,566	740	432	0,863	0,422
2/3/2017 7:30	3.706	0,110	0,896	2.938	768	0,423	0,655	522	245	0,566	0,568
2/3/2017 8:30	3.438	0,075	0,928	2.913	525	0,380	0,684	369	156	0,452	0,636
2/3/2017 9:30	3.249	0,057	0,945	2.888	361	0,376	0,687	260	100	0,444	0,641
2/3/2017 10:30	3.104	0,046	0,955	2.864	240	0,406	0,667	184	56	0,573	0,564
2/3/2017 11:30	2.994	0,036	0,965	2.840	155	0,441	0,643	130	25	0,823	0,439
2/3/2017 12:30	2.919	0,025	0,975	2.816	103	0,401	0,670	92	12	0,735	0,479
2/3/2017 13:30	2.856	0,022	0,979	2.792	65	0,470	0,625	65	0		
2/3/2017 14:30	2.814	0,015	0,985	2.768	46	0,348	0,706	46	-		
2/3/2017 15:30	2.771	0,015	0,985	2.745	26	0,547	0,578	26	-		
2/3/2017 16:30	2.731	0,015	0,985	2.721	9	1,028	0,358	9	-		
2/3/2017 17:30	2.716	0,006	0,994	2.698	17	-0,611	1,842	17	-		
2/3/2017 18:30	2.676	0,015	0,985	2.676	0			0	-		
2/3/2017 19:30	2.653	0,009	0,992	2.653	-			-	-		
2/3/2017 20:30	2.618	0,013	0,987	2.618	-			-	-		
2/3/2017 21:30	2.613	0,002	0,998	2.613	-			-	-		
2/3/2017 22:30	2.570	0,017	0,984	2.570	-			-	-		

Lampiran 2. Perhitungan konstanta resesi *Sinking Stream* Kedungbuntung

Puncak Banjir 15 Februari 2017 00:00

Date	Q (Lt)	Alpha Baseflow	Kr Baseflow	Q Baseflow	Q Interflow + Streamflow	Alpha Interflow	Kr Interflow	Q Interflow	Q Streamflow	Alpha Streamflow	Kr Streamflow
2/15/2017 0:00	3.289			2.728	561			406	154		
2/15/2017 1:00	3.147	0,044	0,957	2.708	439	0,245	0,783	333	106	0,378	0,685
2/15/2017 2:00	2.987	0,052	0,949	2.688	299	0,384	0,681	273	26	1,404	0,246
2/15/2017 3:00	2.891	0,032	0,968	2.668	224	0,290	0,749	224	-		
2/15/2017 4:00	2.831	0,021	0,979	2.648	183	0,199	0,820	183	-		
2/15/2017 5:00	2.769	0,022	0,978	2.628	140	0,268	0,765	140	-		
2/15/2017 6:00	2.691	0,029	0,972	2.609	82	0,538	0,584	82	-		
2/15/2017 7:00	2.628	0,024	0,977	2.589	38	0,757	0,469	38	-		
2/15/2017 8:00	2.608	0,008	0,992	2.570	38	0,024	0,976	38	-		
2/15/2017 9:00	2.567	0,016	0,985	2.551	16	0,834	0,434	16	-		
2/15/2017 10:00	2.560	0,003	0,997	2.532	28	-0,529	1,698	28	-		
2/15/2017 11:00	2.539	0,008	0,992	2.513	26	0,051	0,951	26	-		
2/15/2017 12:00	2.524	0,006	0,994	2.494	30	-0,126	1,134	30	-		
2/15/2017 13:00	2.486	0,015	0,985	2.476	11	1,043	0,352	11			
2/15/2017 14:00	2.461	0,010	0,990	2.458	4	1,058	0,347	4			
2/15/2017 15:00	2.449	0,005	0,995	2.439	9	-0,932	2,539	9			
2/15/2017 16:00	2.438	0,004	0,996	2.421	17	-0,623	1,864	17			
2/15/2017 17:00	2.418	0,008	0,992	2.403	15	0,139	0,870	15			
2/15/2017 18:00	2.385	0,014	0,986	2.385	0			0			
2/15/2017 19:00	2.368	0,007	0,993	2.368	-			-			
2/15/2017 20:00	2.345	0,010	0,990	2.345	-			-			
2/15/2017 21:00	2.317	0,012	0,988	2.317	-			-			

Lampiran 2. Perhitungan konstanta resesi *Sinking Stream* Kedungbuntung

Puncak Banjir 1 Maret 2017 06:15

Date	Q (Lt)	Alpha Baseflow	Kr Baseflow	Q Baseflow	Q Interflow + Streamflow	Alpha Interflow	Kr Interflow	Q Interflow	Q Streamflow	Alpha Streamflow	Kr Streamflow
3/1/2017 16:15	11.215			4.142	7.073			2.439	4.634		
3/1/2017 17:15	8.848	0,237	0,789	4.002	4.845	0,378	0,685	1.362	3.483	0,285	0,752
3/1/2017 18:15	6.409	0,322	0,724	3.867	2.542	0,645	0,525	761	1.781	0,671	0,511
3/1/2017 19:15	4.770	0,295	0,744	3.737	1.033	0,900	0,407	425	609	1,074	0,342
3/1/2017 20:15	3.908	0,199	0,819	3.611	297	1,245	0,288	237	60	2,311	0,099
3/1/2017 21:15	3.621	0,076	0,927	3.489	132	0,809	0,445	132	0	13,967	0,000
3/1/2017 22:15	3.445	0,050	0,951	3.371	74	0,583	0,558	74			
3/1/2017 23:15	3.301	0,043	0,958	3.258	43	0,533	0,587	43			
3/2/2017 0:15	3.161	0,043	0,958	3.148	14	1,152	0,316	14			
3/2/2017 1:15	3.042	0,039	0,962	3.042	0			0			
3/2/2017 2:15	2.939	0,034	0,966	2.939	-			-			
3/2/2017 3:15	2.841	0,034	0,967	2.841	-			-			
3/2/2017 4:15	2.819	0,008	0,992	2.819	-			-			
3/2/2017 5:15	2.774	0,016	0,984	2.774	-			-			
3/2/2017 6:15	2.721	0,019	0,981	2.721	-			-			
3/2/2017 7:15	2.663	0,021	0,979	2.663	-			-			
3/2/2017 8:15	2.618	0,017	0,983	2.618	-			-			

Lampiran 2. Perhitungan konstanta resesi *Sinking Stream* Kedungbuntung

Puncak Banjir 5 Maret 2017 15:30

Date	Q (Lt)	Alpha Baseflow	Kr Baseflow	Q Baseflow	Q Interflow + Streamflow	Alpha Interflow	Kr Interflow	Q Interflow	Q Streamflow	Alpha Streamflow	Kr Streamflow
3/5/2017 15:30	6.644			3.202	3.443			1.715	1.728		
3/5/2017 16:30	5.641	0,164	0,849	3.145	2.496	0,321	0,725	1.122	1.374	0,229	0,795
3/5/2017 17:30	4.157	0,305	0,737	3.088	1.069	0,848	0,428	735	334	1,414	0,243
3/5/2017 18:30	3.612	0,141	0,869	3.033	578	0,614	0,541	481	98	1,231	0,292
3/5/2017 19:30	3.294	0,092	0,912	2.979	315	0,608	0,544	315	0		
3/5/2017 20:30	3.132	0,050	0,951	2.926	206	0,424	0,655	206	-		
3/5/2017 21:30	2.974	0,052	0,950	2.873	101	0,714	0,490	101	-		
3/5/2017 22:30	2.851	0,042	0,959	2.822	30	1,227	0,293	30	-		
3/5/2017 23:30	2.849	0,001	0,999	2.771	78	-0,964	2,623	78	-		
3/6/2017 0:30	2.758	0,032	0,968	2.722	37	0,746	0,474	37	-		
3/6/2017 1:30	2.673	0,031	0,969	2.673	0			0	-		
3/6/2017 2:30	2.625	0,018	0,982	2.625	-			-	-		
3/6/2017 3:30	2.575	0,019	0,981	2.575	-			-	-		
3/6/2017 4:30	2.542	0,013	0,987	2.542	-			-	-		
3/6/2017 5:30	2.499	0,017	0,983	2.499	-			-	-		
3/6/2017 6:30	2.476	0,009	0,991	2.476	-			-	-		
3/6/2017 7:30	2.474	0,001	0,999	2.474	-			-	-		

Lampiran 2. Perhitungan konstanta resesi *Sinking Stream* Kedungbuntung

Puncak Banjir 16 Maret 2017 19:00

Date	Q (Lt)	Alpha Baseflow	Kr Baseflow	Q Baseflow	Q Interflow + Streamflow	Alpha Interflow	Kr Interflow	Q Interflow	Q Streamflow	Alpha Streamflow	Kr Streamflow
3/16/2017 19:00	4.899			2.872	2.028			311	1.716		
3/16/2017 20:00	4.332	0,123	0,884	2.844	1.488	0,309	0,734	255	1.233	0,331	0,718
3/16/2017 21:00	3.554	0,198	0,821	2.816	739	0,700	0,496	210	529	0,846	0,429
3/16/2017 22:00	3.281	0,080	0,923	2.788	493	0,405	0,667	172	321	0,500	0,607
3/16/2017 23:00	3.087	0,061	0,941	2.761	326	0,414	0,661	141	185	0,553	0,575
3/17/2017 0:00	2.947	0,046	0,955	2.734	213	0,426	0,653	116	97	0,644	0,525
3/17/2017 1:00	2.831	0,040	0,961	2.707	124	0,538	0,584	95	29	1,198	0,302
3/17/2017 2:00	2.758	0,026	0,974	2.681	78	0,467	0,627	78	0		
3/17/2017 3:00	2.718	0,015	0,985	2.654	64	0,198	0,820	64	-		
3/17/2017 4:00	2.663	0,021	0,980	2.628	34	0,616	0,540	34	-		
3/17/2017 5:00	2.610	0,020	0,980	2.603	7			7	-		
3/17/2017 6:00	2.577	0,013	0,987	2.577	0			0	-		
3/17/2017 7:00	2.552	0,010	0,990	2.552	-			-	-		
3/17/2017 8:00	2.519	0,013	0,987	2.519	-			-	-		
3/17/2017 9:00	2.474	0,018	0,982	2.474	-			-	-		
3/17/2017 10:00	2.459	0,006	0,994	2.459	-			-	-		
3/17/2017 11:00	2.448	0,004	0,996	2.448	-			-	-		

Lampiran 2. Perhitungan konstanta resesi *Sinking Stream* Kedungbuntung

Puncak Banjir 26 Maret 2017 04:45

Date	Q (Lt)	Alpha Baseflow	Kr Baseflow	Q Baseflow	Q Interflow + Streamflow	Alpha Interflow	Kr Interflow	Q Interflow	Q Streamflow	Alpha Streamflow	Kr Streamflow
3/26/2017 4:45	3.532			2.483	1.049			956	93		
3/26/2017 5:45	3.351	0,053	0,949	2.478	873	0,184	0,832	789	85	0,093	0,911
3/26/2017 6:45	3.159	0,059	0,943	2.472	687	0,240	0,786	650	36	0,843	0,431
3/26/2017 7:45	3.047	0,036	0,964	2.467	580	0,170	0,844	536	43	-0,174	1,190
3/26/2017 8:45	2.904	0,048	0,953	2.462	442	0,271	0,763	442	0	13,536	0,000
3/26/2017 9:45	2.821	0,029	0,972	2.457	364	0,193	0,825	364	-		
3/26/2017 10:45	2.789	0,012	0,988	2.452	337	0,078	0,925	337	-		
3/26/2017 11:45	2.748	0,015	0,986	2.446	302	0,110	0,896	302	-		
3/26/2017 12:45	2.698	0,018	0,982	2.441	257	0,162	0,851	257	-		
3/26/2017 13:45	2.628	0,026	0,974	2.436	192	0,294	0,746	192	-		
3/26/2017 14:45	2.572	0,021	0,979	2.431	141	0,305	0,737	141	-		
3/26/2017 15:45	2.547	0,010	0,990	2.426	121	0,154	0,858	121	-		
3/26/2017 16:45	2.504	0,017	0,983	2.421	83	0,374	0,688	83	-		
3/26/2017 17:45	2.446	0,023	0,977	2.416	30	1,011	0,364	30	-		
3/26/2017 18:45	2.421	0,010	0,990	2.411	10	1,098	0,333	10	-		
3/26/2017 19:45	2.406	0,006	0,994	2.406	0			0	-		
3/26/2017 20:45	2.401	0,002	0,998	2.401	-			-	-		
3/26/2017 21:45	2.401	0,000	1,000	2.401	-			-	-		

Lampiran 2. Perhitungan konstanta resesi *Sinking Stream* Kedungbuntung

Puncak Banjir 31 Maret 2017 17:00

Date	Q (Lt)	Alpha Baseflow	Kr Baseflow	Q Baseflow	Q Interflow + Streamflow	Alpha Interflow	Kr Interflow	Q Interflow	Q Streamflow	Alpha Streamflow	Kr Streamflow
3/31/2017 17:00	5.796			2.982	2.814			735	2.079		
3/31/2017 18:00	4.809	0,187	0,830	2.950	1.860	0,414	0,661	654	1.206	0,545	0,580
3/31/2017 19:00	3.829	0,228	0,796	2.917	912	0,712	0,490	582	331	1,294	0,274
3/31/2017 20:00	3.428	0,111	0,895	2.885	543	0,519	0,595	517	26	2,561	0,077
3/31/2017 21:00	3.314	0,034	0,967	2.853	460	0,165	0,848	460	0		
3/31/2017 22:00	3.231	0,025	0,975	2.822	409	0,117	0,890	409	-		
3/31/2017 23:00	3.142	0,028	0,972	2.791	351	0,155	0,856	351	-		
4/1/2017 0:00	3.024	0,038	0,963	2.760	264	0,284	0,753	264	-		
4/1/2017 1:00	2.942	0,028	0,973	2.730	212	0,221	0,802	212	-		
4/1/2017 2:00	2.851	0,031	0,969	2.700	151	0,335	0,715	151	-		
4/1/2017 3:00	2.748	0,037	0,964	2.670	78	0,662	0,516	78	-		
4/1/2017 4:00	2.703	0,017	0,984	2.641	62	0,228	0,796	62	-		
4/1/2017 5:00	2.643	0,023	0,978	2.612	31	0,703	0,495	31	-		
4/1/2017 6:00	2.605	0,014	0,986	2.583	22	0,349	0,705	22	-		
4/1/2017 7:00	2.560	0,018	0,983	2.555	5			5	-		
4/1/2017 8:00	2.527	0,013	0,987	2.527	0			0	-		
4/1/2017 9:00	2.499	0,011	0,989	2.499	-			-	-		
4/1/2017 10:00	2.461	0,015	0,985	2.461	-			-	-		

Lampiran 2. Perhitungan konstanta resesi *Sinking Stream* Kedungbuntung

Puncak Banjir 26 April 2017 21:00

Date	Q (Lt)	Alpha Baseflow	Kr Baseflow	Q Baseflow	Q Interflow + Streamflow	Alpha Interflow	Kr Interflow	Q Interflow	Q Streamflow	Alpha Streamflow	Kr Streamflow
4/26/2017 21:00	5.614			2.873	2.741			1.806	935		
4/26/2017 22:00	4.775	0,162	0,850	2.854	1.921	0,356	0,701	1.217	703	0,285	0,752
4/26/2017 23:00	3.733	0,246	0,782	2.836	897	0,761	0,467	820	77	2,216	0,109
4/27/2017 0:00	3.406	0,092	0,912	2.817	588	0,422	0,656	553	35	0,774	0,461
4/27/2017 1:00	3.174	0,070	0,932	2.799	375	0,450	0,638	373	3	2,640	0,071
4/27/2017 2:00	3.032	0,046	0,955	2.780	251	0,401	0,669	251	0		
4/27/2017 3:00	2.932	0,034	0,967	2.762	169	0,394	0,674	169	-		
4/27/2017 4:00	2.834	0,034	0,967	2.744	90	0,636	0,529	90	-		
4/27/2017 5:00	2.781	0,019	0,981	2.726	55	0,490	0,612	55	-		
4/27/2017 6:00	2.733	0,017	0,983	2.708	25	0,786	0,456	25	-		
4/27/2017 7:00	2.691	0,016	0,984	2.691	0			0	-		
4/27/2017 8:00	2.673	0,007	0,993	2.673	-			-	-		
4/27/2017 9:00	2.638	0,013	0,987	2.638	-			-	-		
4/27/2017 10:00	2.597	0,015	0,985	2.597	-			-	-		
4/27/2017 11:00	2.595	0,001	0,999	2.595	-			-	-		
4/27/2017 12:00	2.572	0,009	0,991	2.572	-			-	-		
4/27/2017 13:00	2.545	0,011	0,989	2.545	-			-	-		

Lampiran 3. Perhitungan hujan efektif Gua Pindul

Waktu awal hujan 5 Januari 2017 15:30

Waktu	Q (m ³ /s)	P	Baseflow (m ³ /s)	DRO (m ³ /s)	Total DRO (m ³ /s)	Volume DRO (m ³)	Luas DTA (m ²)	Tebal DRO (mm)	φ (mm/ 15 menit)	Hujan efektif (mm)	Total Hujan Efetif
5/1/2017 14:45	3,71	0	3,71	0,000	103	92664	15440000	6,00	5,93		6,00
5/1/2017 15:00	3,71	0	3,71	0,000							
5/1/2017 15:15	3,72	0	3,72	0,000							
5/1/2017 15:30	3,71	2,8	3,71	0,000							
5/1/2017 15:45	3,77	10,2	3,71	0,062						4,27	
5/1/2017 16:00	3,88	6,6	3,72	0,158						0,67	
5/1/2017 16:15	4,03	7	3,73	0,309						1,07	
5/1/2017 16:30	4,40	3,6	3,73	0,673							
5/1/2017 16:45	5,12	1	3,74	1,378							
5/1/2017 17:00	6,10	0,2	3,74	2,354							
5/1/2017 17:15	7,69	0,6	3,75	3,943							
5/1/2017 17:30	8,19	0,4	3,76	4,436							
5/1/2017 17:45	8,21	0,2	3,76	4,449							
5/1/2017 18:00	9,97	0	3,77	6,205							
5/1/2017 18:15	10,32	0	3,77	6,546							
5/1/2017 18:30	10,00	0	3,78	6,215							
5/1/2017 18:45	9,45	0	3,79	5,664							
5/1/2017 19:00	8,89	0,2	3,79	5,102							
5/1/2017 19:15	8,47	0	3,80	4,671							
5/1/2017 19:30	8,06	0	3,80	4,257							
5/1/2017 19:45	7,62	0	3,81	3,814							
5/1/2017 20:00	7,25	0	3,82	3,431							
5/1/2017 20:15	6,93	0	3,82	3,109							
5/1/2017 20:30	6,64	0	3,83	2,814							

Waktu	Q (m3/s)	P	Baseflow (m3/s)	DRO (m3/s)	Total DRO (m3/s)	Volume DRO (m3)	Luas DTA (m2)	Tebal DRO (mm)	φ (mm/ 15 menit)	Hujan efektif (mm)	Total Hujan Efetif
5/1/2017 20:45	6,44	0	3,83	2,609							
5/1/2017 21:00	6,20	0	3,84	2,362							
5/1/2017 21:15	5,97	0	3,85	2,126							
5/1/2017 21:30	5,78	0	3,85	1,922							
5/1/2017 21:45	5,65	0	3,86	1,787							
5/1/2017 22:00	5,50	0	3,87	1,640							
5/1/2017 22:15	5,38	0	3,87	1,505							
5/1/2017 22:30	5,28	0	3,88	1,404							
5/1/2017 22:45	5,19	0	3,88	1,305							
5/1/2017 23:00	5,10	0	3,89	1,212							
5/1/2017 23:15	5,02	0	3,90	1,129							
5/1/2017 23:30	4,95	0	3,90	1,047							
5/1/2017 23:45	4,89	0	3,91	0,983							
6/1/2017 0:00	4,84	0	3,91	0,925							
6/1/2017 0:15	4,79	0	3,92	0,875							
6/1/2017 0:30	4,73	0	3,93	0,808							
6/1/2017 0:45	4,70	0	3,93	0,768							
6/1/2017 1:00	4,65	0	3,94	0,711							
6/1/2017 1:15	4,62	0	3,94	0,675							
6/1/2017 1:30	4,58	0	3,95	0,627							
6/1/2017 1:45	4,54	0	3,96	0,583							
6/1/2017 2:00	4,52	0	3,96	0,561							
6/1/2017 2:15	4,48	0	3,97	0,509							
6/1/2017 2:30	4,47	0	3,97	0,491							
6/1/2017 2:45	4,44	0	3,98	0,456							
6/1/2017 3:00	4,40	0	3,99	0,417							

Waktu	Q (m3/s)	P	Baseflow (m3/s)	DRO (m3/s)	Total DRO (m3/s)	Volume DRO (m3)	Luas DTA (m2)	Tebal DRO (mm)	φ (mm/ 15 menit)	Hujan efektif (mm)	Total Hujan Efetif
6/1/2017 3:15	4,39	0	3,99	0,395							
6/1/2017 3:30	4,37	0	4,00	0,369							
6/1/2017 3:45	4,35	0	4,01	0,342							
6/1/2017 4:00	4,34	0	4,01	0,324							
6/1/2017 4:15	4,32	0	4,02	0,298							
6/1/2017 4:30	4,30	0	4,02	0,272							
6/1/2017 4:45	4,29	0	4,03	0,258							
6/1/2017 5:00	4,27	0	4,04	0,236							
6/1/2017 5:15	4,28	0	4,04	0,234							
6/1/2017 5:30	4,26	0	4,05	0,216							
6/1/2017 5:45	4,24	0	4,05	0,190							
6/1/2017 6:00	4,22	0	4,06	0,164							
6/1/2017 6:15	4,21	0	4,07	0,142							
6/1/2017 6:30	4,19	0	4,07	0,120							
6/1/2017 6:45	4,18	0	4,08	0,106							
6/1/2017 7:00	4,18	0	4,08	0,093							
6/1/2017 7:15	4,15	0	4,09	0,063							
6/1/2017 7:30	4,15	0	4,10	0,049							
6/1/2017 7:45	4,14	0	4,10	0,039							
6/1/2017 8:00	4,13	0	4,11	0,022							

Lampiran 3. Perhitungan Hujan Efektif Gua Pindul

Waktu awal hujan 8 Januari 2017 15:15

Waktu	Q (m3/s)	P	Baseflow (m3/s)	DRO (m3/s)	Total DRO (m3/s)	Volume DRO (m3)	Luas DTA (m2)	Tebal DRO (mm)	ϕ (mm/15 menit)	Hujan efektif (mm)	Total Hujan Efetif
8/1/2017 14:30	3,703	0	3,703	0,000	20	18122	15440000	1,17	6,03		1,17
8/1/2017 14:45	3,700	0	3,700	0,000							
8/1/2017 15:00	3,703	0	3,703	0,000							
8/1/2017 15:15	3,717	4	3,717	0,000							
8/1/2017 15:30	3,826	7,2	3,728	0,098						1,17	
8/1/2017 15:45	3,974	3,2	3,738	0,235							
8/1/2017 16:00	4,004	0	3,749	0,255							
8/1/2017 16:15	4,123	0	3,759	0,363							
8/1/2017 16:30	4,548	0	3,770	0,778							
8/1/2017 16:45	4,739	0	3,780	0,958							
8/1/2017 17:00	4,765	0	3,791	0,974							
8/1/2017 17:15	4,752	0	3,801	0,950							
8/1/2017 17:30	4,918	0	3,812	1,106							
8/1/2017 17:45	5,221	0	3,823	1,399							
8/1/2017 18:00	5,147	0	3,833	1,314							
8/1/2017 18:15	5,029	0	3,844	1,186							
8/1/2017 18:30	4,891	0	3,854	1,037							
8/1/2017 18:45	4,847	0	3,865	0,983							
8/1/2017 19:00	4,778	0	3,875	0,903							
8/1/2017 19:15	4,726	0	3,886	0,840							
8/1/2017 19:30	4,653	0	3,896	0,757							
8/1/2017 19:45	4,598	0	3,907	0,692							
8/1/2017 20:00	4,548	0	3,917	0,631							
8/1/2017 20:15	4,494	0	3,928	0,567							

Waktu	Q (m3/s)	P	Baseflow (m3/s)	DRO (m3/s)	Total DRO (m3/s)	Volume DRO (m3)	Luas DTA (m2)	Tebal DRO (mm)	ϕ (mm/15 menit)	Hujan efektif (mm)	Total Hujan Efetif
8/1/2017 20:30	4,449	0	3,938	0,511							
8/1/2017 20:45	4,420	0	3,949	0,472							
8/1/2017 21:00	4,400	0	3,959	0,441							
8/1/2017 21:15	4,384	0	3,970	0,414							
8/1/2017 21:30	4,372	0	3,980	0,392							
8/1/2017 21:45	4,343	0	3,991	0,353							
8/1/2017 22:00	4,315	0	4,001	0,314							
8/1/2017 22:15	4,295	0	4,012	0,284							
8/1/2017 22:30	4,264	0	4,022	0,241							
8/1/2017 22:45	4,236	0	4,033	0,203							
8/1/2017 23:00	4,216	0	4,043	0,173							
8/1/2017 23:15	4,181	0	4,054	0,127							
8/1/2017 23:30	4,157	0	4,064	0,093							
8/1/2017 23:45	4,130	0	4,075	0,056							
9/1/2017 0:00	4,119	0	4,085	0,034							

Lampiran 3. Perhitungan Hujan Efektif Gua Pindul

Waktu awal hujan 14 Januari 2017 21:30

Waktu	Q (m3/s)	P	Baseflow (m3/s)	DRO (m3/s)	Total DRO (m3/s)	Volume DRO (m3)	Luas DTA (m2)	Tebal DRO (mm)	ϕ (mm/15 menit)	Hujan efektif (mm)	Total Hujan Efetif
14/1/2017 21:30	3,513	0,8	3,513	0,000	61	55.340	15.440.000	3,58	5,71		3,58
14/1/2017 21:45	3,638	8	3,520	0,118						2,29	
14/1/2017 22:00	3,795	7	3,527	0,268						1,29	
14/1/2017 22:15	3,909	1,8	3,534	0,375							
14/1/2017 22:30	4,310	0,8	3,541	0,769							
14/1/2017 22:45	4,703	0,8	3,547	1,155							
14/1/2017 23:00	4,759	0,4	3,554	1,204							
14/1/2017 23:15	4,720	0,4	3,561	1,159							
14/1/2017 23:30	4,885	1	3,568	1,317							
14/1/2017 23:45	5,704	0,4	3,575	2,129							
15/1/2017 0:00	5,874	0,2	3,581	2,293							
15/1/2017 0:15	5,753	0,2	3,588	2,165							
15/1/2017 0:30	5,615	0,2	3,595	2,020							
15/1/2017 0:45	5,576	0,2	3,602	1,974							
15/1/2017 1:00	5,503	0	3,609	1,894							
15/1/2017 1:15	5,445	0	3,615	1,830							
15/1/2017 1:30	5,383	0	3,622	1,761							
15/1/2017 1:45	5,336	0	3,629	1,707							
15/1/2017 2:00	5,238	0	3,636	1,602							
15/1/2017 2:15	5,164	0	3,643	1,521							
15/1/2017 2:30	5,123	0,2	3,649	1,473							
15/1/2017 2:45	5,059	0	3,656	1,403							
15/1/2017 3:00	4,996	0	3,663	1,333							

Waktu	Q (m3/s)	P	Baseflow (m3/s)	DRO (m3/s)	Total DRO (m3/s)	Volume DRO (m3)	Luas DTA (m2)	Tebal DRO (mm)	ϕ (mm/ 15 menit)	Hujan efektif (mm)	Total Hujan Efetif
15/1/2017 3:15	4,920	0	3,670	1,251							
15/1/2017 3:30	4,907	0,2	3,677	1,230							
15/1/2017 3:45	4,872	0	3,683	1,188							
15/1/2017 4:00	4,819	0,2	3,690	1,129							
15/1/2017 4:15	4,785	0	3,697	1,088							
15/1/2017 4:30	4,750	0	3,704	1,046							
15/1/2017 4:45	4,694	0	3,711	0,984							
15/1/2017 5:00	4,707	0	3,717	0,990							
15/1/2017 5:15	4,643	0	3,724	0,919							
15/1/2017 5:30	4,631	0	3,731	0,899							
15/1/2017 5:45	4,588	0	3,738	0,851							
15/1/2017 6:00	4,567	0	3,745	0,823							
15/1/2017 6:15	4,542	0	3,751	0,791							
15/1/2017 6:30	4,538	0	3,758	0,780							
15/1/2017 6:45	4,493	0	3,765	0,728							
15/1/2017 7:00	4,468	0	3,772	0,696							
15/1/2017 7:15	4,468	0	3,779	0,689							
15/1/2017 7:30	4,456	0	3,785	0,670							
15/1/2017 7:45	4,419	0	3,792	0,627							
15/1/2017 8:00	4,423	0	3,799	0,624							
15/1/2017 8:15	4,423	0	3,806	0,617							
15/1/2017 8:30	4,403	0	3,813	0,590							
15/1/2017 8:45	4,358	0	3,819	0,539							
15/1/2017 9:00	4,354	0	3,826	0,528							
15/1/2017 9:15	4,362	0	3,833	0,529							
15/1/2017 9:30	4,358	0	3,840	0,518							

Waktu	Q (m3/s)	P	Baseflow (m3/s)	DRO (m3/s)	Total DRO (m3/s)	Volume DRO (m3)	Luas DTA (m2)	Tebal DRO (mm)	ϕ (mm/15 menit)	Hujan efektif (mm)	Total Hujan Efetif
15/1/2017 9:45	4,350	0	3,847	0,503							
15/1/2017 10:00	4,330	0	3,853	0,476							
15/1/2017 10:15	4,342	0	3,860	0,482							
15/1/2017 10:30	4,318	0	3,867	0,451							
15/1/2017 10:45	4,326	0	3,874	0,452							
15/1/2017 11:00	4,310	0	3,881	0,429							
15/1/2017 11:15	4,298	0	3,887	0,410							
15/1/2017 11:30	4,278	0	3,894	0,384							
15/1/2017 11:45	4,286	0	3,901	0,385							
15/1/2017 12:00	4,278	0	3,908	0,370							
15/1/2017 12:15	4,282	0	3,915	0,367							
15/1/2017 12:30	4,270	0	3,921	0,348							
15/1/2017 12:45	4,266	0	3,928	0,338							
15/1/2017 13:00	4,246	0	3,935	0,311							
15/1/2017 13:15	4,254	0	3,942	0,312							
15/1/2017 13:30	4,230	0	3,949	0,282							
15/1/2017 13:45	4,234	0	3,955	0,279							
15/1/2017 14:00	4,183	0	3,962	0,221							
15/1/2017 14:15	4,199	0	3,969	0,230							
15/1/2017 14:30	4,199	0	3,976	0,223							
15/1/2017 14:45	4,191	0	3,983	0,208							
15/1/2017 15:00	4,179	0	3,989	0,190							
15/1/2017 15:15	4,168	0	3,996	0,171							
15/1/2017 15:30	4,168	0	4,003	0,165							
15/1/2017 15:45	4,144	0	4,010	0,134							
15/1/2017 16:00	4,152	0	4,017	0,135							

Waktu	Q (m3/s)	P	Baseflow (m3/s)	DRO (m3/s)	Total DRO (m3/s)	Volume DRO (m3)	Luas DTA (m2)	Tebal DRO (mm)	ϕ (mm/15 menit)	Hujan efektif (mm)	Total Hujan Efetif
15/1/2017 16:15	4,144	0	4,023	0,121							
15/1/2017 16:30	4,109	0	4,030	0,079							
15/1/2017 16:45	4,102	0	4,037	0,065							
15/1/2017 17:00	4,094	0	4,044	0,050							
15/1/2017 17:15	4,109	0	4,051	0,059							
15/1/2017 17:30	4,094	0,2	4,057	0,037							
15/1/2017 17:45	4,090	0	4,064	0,026							

Lampiran 3. Perhitungan Hujan Efektif Gua Pindul

Waktu awal hujan 3 Februari 2017 02:45

Waktu	Q (m3/s)	P	Baseflow (m3/s)	DRO (m3/s)	Total DRO (m3/s)	Volume DRO (m3)	Luas DTA (m2)	Tebal DRO (mm)	φ (mm/ 15 menit)	Hujan efektif (mm)	Total Hujan Efetif
3/2/2017 0:00	4,012	0	4,012	0,000	148	133155	15440000	8,62	2,79		8,62
3/2/2017 0:15	4,012	0,2	4,012	0,000							
3/2/2017 0:30	4,004	0	4,004	0,000							
3/2/2017 0:45	4,004	2,2	4,004	0,000							
3/2/2017 1:00	4,004	1,4	4,004	0,000							
3/2/2017 1:15	4,004	0	4,004	0,000							
3/2/2017 1:30	4,004	0,8	4,004	0,000							
3/2/2017 1:45	4,015	1,6	4,015	0,000							
3/2/2017 2:00	4,004	0	4,004	0,000							
3/2/2017 2:15	4,012	0,2	4,012	0,000							
3/2/2017 2:30	4,015	0	4,015	0,000							
3/2/2017 2:45	4,050	6,8	4,017	0,033						4,01	
3/2/2017 3:00	4,220	5,2	4,018	0,202						2,41	
3/2/2017 3:15	4,343	5	4,019	0,325						2,21	
3/2/2017 3:30	4,747	1,8	4,020	0,727							
3/2/2017 3:45	7,265	1,2	4,021	3,244							
3/2/2017 4:00	10,524	1	4,022	6,502							
3/2/2017 4:15	12,348	0,8	4,023	8,325							
3/2/2017 4:30	12,867	0,4	4,024	8,843							
3/2/2017 4:45	12,738	0,4	4,026	8,713							
3/2/2017 5:00	12,429	0,2	4,027	8,402							
3/2/2017 5:15	12,020	0,4	4,028	7,992							
3/2/2017 5:30	11,595	0,2	4,029	7,566							
3/2/2017 5:45	10,943	0	4,030	6,913							

Waktu	Q (m3/s)	P	Baseflow (m3/s)	DRO (m3/s)	Total DRO (m3/s)	Volume DRO (m3)	Luas DTA (m2)	Tebal DRO (mm)	ϕ (mm/15 menit)	Hujan efektif (mm)	Total Hujan Efetif
3/2/2017 6:00	10,281	0	4,031	6,249							
3/2/2017 6:15	9,597	0	4,032	5,565							
3/2/2017 6:30	9,020	0	4,034	4,986							
3/2/2017 6:45	8,503	0	4,035	4,468							
3/2/2017 7:00	8,016	0	4,036	3,980							
3/2/2017 7:15	7,649	0	4,037	3,612							
3/2/2017 7:30	7,385	0	4,038	3,347							
3/2/2017 7:45	7,076	0	4,039	3,037							
3/2/2017 8:00	6,805	0	4,040	2,765							
3/2/2017 8:15	6,598	0	4,041	2,556							
3/2/2017 8:30	6,417	0	4,043	2,374							
3/2/2017 8:45	6,245	0	4,044	2,201							
3/2/2017 9:00	6,097	0	4,045	2,052							
3/2/2017 9:15	5,973	0	4,046	1,927							
3/2/2017 9:30	5,836	0	4,047	1,788							
3/2/2017 9:45	5,735	0	4,048	1,687							
3/2/2017 10:00	5,622	0	4,049	1,572							
3/2/2017 10:15	5,539	0	4,050	1,488							
3/2/2017 10:30	5,447	0	4,052	1,396							
3/2/2017 10:45	5,376	0	4,053	1,323							
3/2/2017 11:00	5,300	0	4,054	1,246							
3/2/2017 11:15	5,221	0	4,055	1,166							
3/2/2017 11:30	5,138	0	4,056	1,082							
3/2/2017 11:45	5,088	0	4,057	1,031							
3/2/2017 12:00	5,029	0,2	4,058	0,971							
3/2/2017 12:15	4,975	0	4,060	0,916							

Waktu	Q (m3/s)	P	Baseflow (m3/s)	DRO (m3/s)	Total DRO (m3/s)	Volume DRO (m3)	Luas DTA (m2)	Tebal DRO (mm)	φ (mm/ 15 menit)	Hujan efektif (mm)	Total Hujan Efetif
3/2/2017 12:30	4,927	0	4,061	0,866							
3/2/2017 12:45	4,882	0	4,062	0,821							
3/2/2017 13:00	4,843	0	4,063	0,780							
3/2/2017 13:15	4,799	0	4,064	0,735							
3/2/2017 13:30	4,756	0	4,065	0,691							
3/2/2017 13:45	4,722	0	4,066	0,655							
3/2/2017 14:00	4,687	0	4,067	0,620							
3/2/2017 14:15	4,675	0	4,069	0,606							
3/2/2017 14:30	4,632	0	4,070	0,563							
3/2/2017 14:45	4,615	0	4,071	0,545							
3/2/2017 15:00	4,577	0	4,072	0,506							
3/2/2017 15:15	4,548	0	4,073	0,475							
3/2/2017 15:30	4,536	0	4,074	0,462							
3/2/2017 15:45	4,507	0	4,075	0,431							
3/2/2017 16:00	4,490	0	4,076	0,414							
3/2/2017 16:15	4,465	0	4,078	0,388							
3/2/2017 16:30	4,449	0	4,079	0,370							
3/2/2017 16:45	4,433	0	4,080	0,353							
3/2/2017 17:00	4,412	0	4,081	0,331							
3/2/2017 17:15	4,400	0,2	4,082	0,318							
3/2/2017 17:30	4,392	0	4,083	0,309							
3/2/2017 17:45	4,388	1,2	4,084	0,304							
3/2/2017 18:00	4,384	0	4,085	0,298							
3/2/2017 18:15	4,376	0	4,087	0,289							
3/2/2017 18:30	4,360	0	4,088	0,272							
3/2/2017 18:45	4,347	0	4,089	0,259							

Waktu	Q (m3/s)	P	Baseflow (m3/s)	DRO (m3/s)	Total DRO (m3/s)	Volume DRO (m3)	Luas DTA (m2)	Tebal DRO (mm)	ϕ (mm/15 menit)	Hujan efektif (mm)	Total Hujan Efetif
3/2/2017 19:00	4,343	0	4,090	0,253							
3/2/2017 19:15	4,335	0	4,091	0,244							
3/2/2017 19:30	4,311	0	4,092	0,219							
3/2/2017 19:45	4,299	0	4,093	0,206							
3/2/2017 20:00	4,291	0	4,095	0,197							
3/2/2017 20:15	4,291	0	4,096	0,196							
3/2/2017 20:30	4,271	0	4,097	0,175							
3/2/2017 20:45	4,268	0	4,098	0,170							
3/2/2017 21:00	4,240	0	4,099	0,141							
3/2/2017 21:15	4,232	0	4,100	0,132							
3/2/2017 21:30	4,224	0	4,101	0,123							
3/2/2017 21:45	4,208	0	4,102	0,106							
3/2/2017 22:00	4,204	0	4,104	0,101							
3/2/2017 22:15	4,204	0	4,105	0,100							
3/2/2017 22:30	4,177	0	4,106	0,071							
3/2/2017 22:45	4,169	0,2	4,107	0,062							
3/2/2017 23:00	4,169	0	4,108	0,061							
3/2/2017 23:15	4,157	0	4,109	0,048							
3/2/2017 23:30	4,154	0	4,110	0,043							
3/2/2017 23:45	4,138	0	4,111	0,027							
4/2/2017 0:00	4,134	0	4,113	0,022							
4/2/2017 0:15	4,134	0	4,114	0,020							

Lampiran 3. Perhitungan Hujan Efektif Gua Pindul

Waktu awal hujan 28 Februari 2017 20:30

Waktu	Q (m3/s)	P	Baseflow (m3/s)	DRO (m3/s)	Total DRO (m3/s)	Volume DRO (m3)	Luas DTA (m2)	Tebal DRO (mm)	φ (mm/ 15 menit)	Hujan efektif (mm)	Total Hujan Efetif
28/2/2017 19:45	3,929	0	3,929	0,000	30,30	27.268	15.440.000	1,77	6,63		1,77
28/2/2017 20:00	3,929	0	3,929	0,000							
28/2/2017 20:15	3,929	0	3,929	0,000							
28/2/2017 20:30	3,929	2	3,938	0,000							
28/2/2017 20:45	3,936	8,4	3,946	0,000						1,77	
28/2/2017 21:00	3,959	5,8	3,954	0,004							
28/2/2017 21:15	3,997	2,4	3,963	0,034							
28/2/2017 21:30	4,019	0,4	3,971	0,048							
28/2/2017 21:45	4,073	0,4	3,980	0,093							
28/2/2017 22:00	4,380	0	3,988	0,391							
28/2/2017 22:15	4,636	0	3,997	0,639							
28/2/2017 22:30	4,713	0	4,005	0,708							
28/2/2017 22:45	4,743	0	4,014	0,729							
28/2/2017 23:00	4,922	0	4,022	0,900							
28/2/2017 23:15	5,404	0	4,031	1,373							
28/2/2017 23:30	5,912	0	4,039	1,872							
28/2/2017 23:45	5,927	0	4,048	1,879							
1/3/2017 0:00	5,841	0	4,056	1,784							
1/3/2017 0:15	5,740	0	4,065	1,675							
1/3/2017 0:30	5,646	0	4,073	1,573							
1/3/2017 0:45	5,558	0	4,082	1,476							
1/3/2017 1:00	5,438	0	4,090	1,347							
1/3/2017 1:15	5,362	0	4,099	1,263							
1/3/2017 1:30	5,286	0	4,107	1,179							

Waktu	Q (m3/s)	P	Baseflow (m3/s)	DRO (m3/s)	Total DRO (m3/s)	Volume DRO (m3)	Luas DTA (m2)	Tebal DRO (mm)	ϕ (mm/15 menit)	Hujan efektif (mm)	Total Hujan Efetif
1/3/2017 1:45	5,203	0	4,116	1,087							
1/3/2017 2:00	5,134	0	4,124	1,009							
1/3/2017 2:15	5,056	0	4,133	0,924							
1/3/2017 2:30	4,998	0	4,141	0,857							
1/3/2017 2:45	4,949	0	4,150	0,799							
1/3/2017 3:00	4,896	0	4,158	0,737							
1/3/2017 3:15	4,852	0	4,167	0,685							
1/3/2017 3:30	4,830	0	4,175	0,655							
1/3/2017 3:45	4,808	0	4,184	0,624							
1/3/2017 4:00	4,765	0	4,192	0,573							
1/3/2017 4:15	4,730	0	4,201	0,530							
1/3/2017 4:30	4,692	0	4,209	0,483							
1/3/2017 4:45	4,645	0	4,218	0,427							
1/3/2017 5:00	4,598	0	4,226	0,372							
1/3/2017 5:15	4,557	0	4,235	0,322							
1/3/2017 5:30	4,519	0	4,243	0,276							
1/3/2017 5:45	4,494	0	4,251	0,243							
1/3/2017 6:00	4,461	0	4,260	0,201							
1/3/2017 6:15	4,429	0	4,268	0,160							
1/3/2017 6:30	4,400	0	4,277	0,123							
1/3/2017 6:45	4,372	0	4,285	0,086							
1/3/2017 7:00	4,372	0	4,294	0,078							
1/3/2017 7:15	4,356	0	4,302	0,053							
1/3/2017 7:30	4,335	0	4,311	0,025							

Lampiran 3. Perhitungan Hujan Efektif Gua Pindul

Waktu awal hujan 1 Maret 2017 14:15

Waktu	Q (m3/s)	P (mm)	Baseflow (m3/s)	DRO (m3/s)	Total DRO (m3/s)	Volume DRO (m3)	Luas DTA (m2)	Tebal DRO (mm)	ϕ (mm/ 15 menit)	Hujan efektif (mm)	Total Hujan Efetif
3/1/2017 13:30	4,088	0	4,088	0,00	313	281368	15440000	18,22	2,44		18,22
3/1/2017 13:45	4,080	0	4,080	0,00							
3/1/2017 14:00	4,069	0	4,069	0,00							
3/1/2017 14:15	4,046	0,4	4,046	0,00							
3/1/2017 14:30	4,042	3,4	4,042	0,00						0,96	
3/1/2017 14:45	4,119	11,6	4,060	0,06						9,16	
3/1/2017 15:00	4,437	10,4	4,077	0,36						7,96	
3/1/2017 15:15	5,161	2,6	4,095	1,07						0,16	
3/1/2017 15:30	10,620	1,4	4,112	6,51							
3/1/2017 15:45	20,807	0,2	4,130	16,68							
3/1/2017 16:00	27,466	0	4,148	23,32							
3/1/2017 16:15	30,681	0	4,165	26,52							
3/1/2017 16:30	29,597	0	4,183	25,41							
3/1/2017 16:45	27,649	0	4,200	23,45							
3/1/2017 17:00	25,643	0	4,218	21,43							
3/1/2017 17:15	23,633	0	4,236	19,40							
3/1/2017 17:30	21,691	0	4,253	17,44							
3/1/2017 17:45	19,732	0	4,271	15,46							
3/1/2017 18:00	17,498	0	4,288	13,21							
3/1/2017 18:15	15,612	0	4,306	11,31							
3/1/2017 18:30	14,094	0	4,324	9,77							
3/1/2017 18:45	12,812	0	4,341	8,47							
3/1/2017 19:00	11,819	0	4,359	7,46							
3/1/2017 19:15	10,902	0	4,377	6,53							

Waktu	Q (m3/s)	P (mm)	Baseflow (m3/s)	DRO (m3/s)	Total DRO (m3/s)	Volume DRO (m3)	Luas DTA (m2)	Tebal DRO (mm)	ϕ (mm/ 15 menit)	Hujan efektif (mm)	Total Hujan Efetif
3/1/2017 19:30	10,156	0	4,394	5,76							
3/1/2017 19:45	9,502	0	4,412	5,09							
3/1/2017 20:00	8,957	0	4,429	4,53							
3/1/2017 20:15	8,490	0	4,447	4,04							
3/1/2017 20:30	8,106	0,8	4,465	3,64							
3/1/2017 20:45	7,818	0,4	4,482	3,34							
3/1/2017 21:00	7,544	1,2	4,500	3,04							
3/1/2017 21:15	7,337	1,2	4,517	2,82							
3/1/2017 21:30	7,076	0,6	4,535	2,54							
3/1/2017 21:45	6,885	0,4	4,553	2,33							
3/1/2017 22:00	6,771	0,2	4,570	2,20							
3/1/2017 22:15	6,698	0	4,588	2,11							
3/1/2017 22:30	6,598	0	4,605	1,99							
3/1/2017 22:45	6,488	0,2	4,623	1,86							
3/1/2017 23:00	6,379	0	4,641	1,74							
3/1/2017 23:15	6,250	0	4,658	1,59							
3/1/2017 23:30	6,139	0	4,676	1,46							
3/1/2017 23:45	6,014	0	4,693	1,32							
3/2/2017 0:00	5,896	0	4,711	1,19							
3/2/2017 0:15	5,785	0	4,729	1,06							
3/2/2017 0:30	5,686	0	4,746	0,94							
3/2/2017 0:45	5,607	0	4,764	0,84							
3/2/2017 1:00	5,495	0	4,781	0,71							
3/2/2017 1:15	5,433	0	4,799	0,63							
3/2/2017 1:30	5,352	0	4,817	0,54							
3/2/2017 1:45	5,277	0	4,834	0,44							

Waktu	Q (m3/s)	P (mm)	Baseflow (m3/s)	DRO (m3/s)	Total DRO (m3/s)	Volume DRO (m3)	Luas DTA (m2)	Tebal DRO (mm)	ϕ (mm/ 15 menit)	Hujan efektif (mm)	Total Hujan Efetif
3/2/2017 2:00	5,216	0	4,852	0,36							
3/2/2017 2:15	5,143	0	4,869	0,27							
3/2/2017 2:30	5,093	0	4,887	0,21							
3/2/2017 2:45	5,038	0	4,905	0,13							
3/2/2017 3:00	4,975	0	4,922	0,05							

Lampiran 3. Perhitungan Hujan Efektif Gua Pindul

Waktu awal hujan 5 Maret 2017 14:00

Waktu	Q (m3/s)	P (mm)	Baseflow (m3/s)	DRO (m3/s)	Total DRO (m3/s)	Volume DRO (m3)	Luas DTA (m2)	Tebal DRO (mm)	ϕ (mm/15 menit)	Hujan efektif (mm)	Total Hujan Efektif
5/3/2017 13:15	3,746	0	3,746	0,00	138	124.054	15.440.000	8,03	6,17		8,03
5/3/2017 13:30	3,753	0	3,753	0,00							
5/3/2017 13:45	3,753	0	3,753	0,00							
5/3/2017 14:00	3,779	2	3,779	0,00							
5/3/2017 14:15	3,866	14,2	3,789	0,08						8,03	
5/3/2017 14:30	4,177	5,2	3,799	0,38							
5/3/2017 14:45	4,603	0,2	3,810	0,79							
5/3/2017 15:00	6,250	0	3,820	2,43							
5/3/2017 15:15	12,537	0	3,831	8,71							
5/3/2017 15:30	15,378	0	3,841	11,54							
5/3/2017 15:45	15,666	0	3,852	11,81							
5/3/2017 16:00	14,989	0	3,862	11,13							
5/3/2017 16:15	13,986	0	3,873	10,11							
5/3/2017 16:30	13,081	0	3,883	9,20							
5/3/2017 16:45	11,923	0	3,893	8,03							
5/3/2017 17:00	10,756	0	3,904	6,85							
5/3/2017 17:15	9,769	0	3,914	5,85							
5/3/2017 17:30	9,041	0	3,925	5,12							
5/3/2017 17:45	8,396	0	3,935	4,46							
5/3/2017 18:00	7,894	0	3,946	3,95							
5/3/2017 18:15	7,458	0	3,956	3,50							
5/3/2017 18:30	7,111	0	3,967	3,14							
5/3/2017 18:45	6,788	0	3,977	2,81							

Waktu	Q (m3/s)	P (mm)	Baseflow (m3/s)	DRO (m3/s)	Total DRO (m3/s)	Volume DRO (m3)	Luas DTA (m2)	Tebal DRO (mm)	φ (mm/ 15 menit)	Hujan efektif (mm)	Total Hujan Efetif
5/3/2017 19:00	6,542	0	3,987	2,55							
5/3/2017 19:15	6,314	0	3,998	2,32							
5/3/2017 19:30	6,108	0	4,008	2,10							
5/3/2017 19:45	5,942	0	4,019	1,92							
5/3/2017 20:00	5,795	0	4,029	1,77							
5/3/2017 20:15	5,661	0	4,040	1,62							
5/3/2017 20:30	5,548	0	4,050	1,50							
5/3/2017 20:45	5,442	0	4,061	1,38							
5/3/2017 21:00	5,338	0	4,071	1,27							
5/3/2017 21:15	5,240	0	4,082	1,16							
5/3/2017 21:30	5,152	0	4,092	1,06							
5/3/2017 21:45	5,074	0	4,102	0,97							
5/3/2017 22:00	5,020	0	4,113	0,91							
5/3/2017 22:15	4,958	0	4,123	0,83							
5/3/2017 22:30	4,891	0	4,134	0,76							
5/3/2017 22:45	4,856	0	4,144	0,71							
5/3/2017 23:00	4,834	0	4,155	0,68							
5/3/2017 23:15	4,799	0	4,165	0,63							
5/3/2017 23:30	4,765	0	4,176	0,59							
5/3/2017 23:45	4,730	0	4,186	0,54							
6/3/2017 0:00	4,692	0	4,196	0,50							
6/3/2017 0:15	4,649	0	4,207	0,44							
6/3/2017 0:30	4,598	0	4,217	0,38							
6/3/2017 0:45	4,557	0	4,228	0,33							
6/3/2017 1:00	4,519	0	4,238	0,28							
6/3/2017 1:15	4,486	0	4,249	0,24							

Waktu	Q (m3/s)	P (mm)	Baseflow (m3/s)	DRO (m3/s)	Total DRO (m3/s)	Volume DRO (m3)	Luas DTA (m2)	Tebal DRO (mm)	ϕ (mm/15 menit)	Hujan efektif (mm)	Total Hujan Efetif
6/3/2017 1:30	4,449	0	4,259	0,19							
6/3/2017 1:45	4,396	0	4,270	0,13							
6/3/2017 2:00	4,376	0	4,280	0,10							
6/3/2017 2:15	4,356	0	4,290	0,07							
6/3/2017 2:30	4,327	0	4,301	0,03							

Lampiran 3. Perhitungan Hujan Efektif Gua Pindul

Waktu awal hujan 16 Maret 2017 16:00

Waktu	Q (m ³ /s)	P (mm)	Baseflow (m ³ /s)	DRO (m ³ /s)	Total DRO (m ³ /s)	Volume DRO (m ³)	Luas DTA (m ²)	Tebal DRO (mm)	φ (mm/15 menit)	Hujan efektif (mm)	Total Hujan Efetif
16/3/2017 16:00	3,654	0	3,654	0,000	95	85.674	15.440.000	5,55	4,95		5,55
16/3/2017 16:15	3,661	0	3,661	0,000							
16/3/2017 16:30	3,668	0	3,668	0,000							
16/3/2017 16:45	3,689	0	3,689	0,000							
16/3/2017 17:00	3,696	0	3,696	0,000							
16/3/2017 17:15	3,714	6,4	3,714	0,000						1,45	
16/3/2017 17:30	3,768	8,2	3,723	0,045						3,25	
16/3/2017 17:45	3,885	5,8	3,731	0,153						0,85	
16/3/2017 18:00	4,004	2,6	3,740	0,264							
16/3/2017 18:15	4,649	0,2	3,749	0,900							
16/3/2017 18:30	5,471	0	3,758	1,713							
16/3/2017 18:45	8,680	0	3,766	4,913							
16/3/2017 19:00	10,732	0	3,775	6,957							
16/3/2017 19:15	10,886	0	3,784	7,102							
16/3/2017 19:30	10,461	0	3,793	6,668							
16/3/2017 19:45	10,026	0	3,801	6,224							
16/3/2017 20:00	9,502	0,2	3,810	5,691							
16/3/2017 20:15	8,999	0	3,819	5,180							
16/3/2017 20:30	8,456	0	3,828	4,628							
16/3/2017 20:45	7,926	0	3,837	4,089							
16/3/2017 21:00	7,489	0	3,845	3,644							

Waktu	Q (m3/s)	P (mm)	Baseflow (m3/s)	DRO (m3/s)	Total DRO (m3/s)	Volume DRO (m3)	Luas DTA (m2)	Tebal DRO (mm)	φ (mm/ 15 menit)	Hujan efektif (mm)	Total Hujan Efetif
16/3/2017 21:15	7,111	0,2	3,854	3,257							
16/3/2017 21:30	6,766	0	3,863	2,903							
16/3/2017 21:45	6,498	0,2	3,872	2,627							
16/3/2017 22:00	6,239	0	3,880	2,359							
16/3/2017 22:15	6,014	0,2	3,889	2,125							
16/3/2017 22:30	5,861	0	3,898	1,963							
16/3/2017 22:45	5,725	0	3,907	1,819							
16/3/2017 23:00	5,592	0	3,915	1,677							
16/3/2017 23:15	5,476	2	3,924	1,552							
16/3/2017 23:30	5,362	0	3,933	1,429							
16/3/2017 23:45	5,258	0,2	3,942	1,317							
17/3/2017 0:00	5,180	0	3,950	1,229							
17/3/2017 0:15	5,097	0	3,959	1,138							
17/3/2017 0:30	5,034	0	3,968	1,066							
17/3/2017 0:45	4,958	0	3,977	0,981							
17/3/2017 1:00	4,900	0	3,985	0,915							
17/3/2017 1:15	4,830	0	3,994	0,836							
17/3/2017 1:30	4,786	0	4,003	0,783							
17/3/2017 1:45	4,747	0	4,012	0,736							
17/3/2017 2:00	4,696	0	4,020	0,675							
17/3/2017 2:15	4,649	0	4,029	0,620							
17/3/2017 2:30	4,615	0	4,038	0,577							
17/3/2017 2:45	4,582	0	4,047	0,535							
17/3/2017 3:00	4,552	0	4,055	0,497							
17/3/2017 3:15	4,519	0,2	4,064	0,455							
17/3/2017 3:30	4,486	0	4,073	0,413							

Waktu	Q (m3/s)	P (mm)	Baseflow (m3/s)	DRO (m3/s)	Total DRO (m3/s)	Volume DRO (m3)	Luas DTA (m2)	Tebal DRO (mm)	ϕ (mm/15 menit)	Hujan efektif (mm)	Total Hujan Efetif
17/3/2017 3:45	4,465	0	4,082	0,384							
17/3/2017 4:00	4,433	0	4,091	0,342							
17/3/2017 4:15	4,412	0	4,099	0,313							
17/3/2017 4:30	4,384	0	4,108	0,276							
17/3/2017 4:45	4,368	0	4,117	0,251							
17/3/2017 5:00	4,347	0	4,126	0,222							
17/3/2017 5:15	4,311	0	4,134	0,177							
17/3/2017 5:30	4,291	0	4,143	0,148							
17/3/2017 5:45	4,291	0	4,152	0,140							
17/3/2017 6:00	4,275	0	4,161	0,115							
17/3/2017 6:15	4,248	0	4,169	0,078							
17/3/2017 6:30	4,236	0	4,178	0,058							
17/3/2017 6:45	4,216	0	4,187	0,029							
17/3/2017 7:00	4,200	0	4,196	0,005							

Lampiran 3. Perhitungan Hujan Efektif Gua Pindul

Waktu awal hujan 26 April 2017 17:45

Waktu	Q (m3/s)	P (mm)	Baseflow (m3/s)	DRO (m3/s)	Total DRO (m3/s)	Volume DRO (m3)	Luas DTA (m2)	Tebal DRO (mm)	φ (mm/ 15 menit)	Hujan efektif (mm)	Total Hujan Efetif
26/4/2017 17:30	3,808	0	3,808	0,000	129	116.118	15.440.000	7,52	6,59		7,52
26/4/2017 17:45	3,808	0,6	3,808	0,000							
26/4/2017 18:00	3,804	0	3,804	0,000							
26/4/2017 18:15	3,811	3,6	3,811	0,000							
26/4/2017 18:30	3,808	1,5	3,808	0,000							
26/4/2017 18:45	3,833	13,8	3,815	0,018						7,21	
26/4/2017 19:00	3,981	6,9	3,823	0,158						0,31	
26/4/2017 19:15	4,189	1,5	3,831	0,358							
26/4/2017 19:30	4,307	1,2	3,839	0,469							
26/4/2017 19:45	4,692	0,6	3,847	0,845							
26/4/2017 20:00	5,983	0,3	3,854	2,129							
26/4/2017 20:15	10,485	0,3	3,862	6,622							
26/4/2017 20:30	12,028	0	3,870	8,158							
26/4/2017 20:45	12,510	0	3,878	8,632							
26/4/2017 21:00	12,647	0	3,886	8,761							
26/4/2017 21:15	12,384	0	3,893	8,490							
26/4/2017 21:30	11,836	0	3,901	7,935							
26/4/2017 21:45	11,132	0	3,909	7,223							
26/4/2017 22:00	10,453	0	3,917	6,536							
26/4/2017 22:15	9,769	0	3,925	5,844							
26/4/2017 22:30	9,183	0	3,932	5,251							
26/4/2017 22:45	8,645	0	3,940	4,705							
26/4/2017 23:00	8,113	0	3,948	4,165							
26/4/2017 23:15	7,711	0	3,956	3,755							

26/4/2017 23:30	7,355	0	3,964	3,392							
26/4/2017 23:45	7,047	0	3,971	3,076							
27/4/2017 0:00	6,771	0	3,979	2,792							
27/4/2017 0:15	6,509	0	3,987	2,522							
27/4/2017 0:30	6,250	0	3,995	2,255							
27/4/2017 0:45	6,056	0	4,003	2,053							
27/4/2017 1:00	5,907	0	4,010	1,896							
27/4/2017 1:15	5,750	0	4,018	1,732							
27/4/2017 1:30	5,636	0	4,026	1,610							
27/4/2017 1:45	5,519	0	4,034	1,485							
27/4/2017 2:00	5,414	0	4,042	1,372							
27/4/2017 2:15	5,319	0	4,049	1,270							
27/4/2017 2:30	5,240	0	4,057	1,182							
27/4/2017 2:45	5,147	0	4,065	1,082							
27/4/2017 3:00	5,088	0	4,073	1,015							
27/4/2017 3:15	5,025	0	4,081	0,944							
27/4/2017 3:30	4,962	0	4,088	0,874							
27/4/2017 3:45	4,904	0	4,096	0,808							
27/4/2017 4:00	4,852	0	4,104	0,748							
27/4/2017 4:15	4,804	0	4,112	0,692							
27/4/2017 4:30	4,760	0	4,120	0,641							
27/4/2017 4:45	4,717	0	4,128	0,590							
27/4/2017 5:00	4,687	0	4,135	0,552							
27/4/2017 5:15	4,645	0	4,143	0,502							
27/4/2017 5:30	4,624	0	4,151	0,473							
27/4/2017 5:45	4,590	0,3	4,159	0,431							
27/4/2017 6:00	4,569	0	4,167	0,403							
27/4/2017 6:15	4,523	0	4,174	0,349							
27/4/2017 6:30	4,498	0	4,182	0,316							

27/4/2017 6:45	4,486	0	4,190	0,296							
27/4/2017 7:00	4,470	0	4,198	0,272							
27/4/2017 7:15	4,441	0	4,206	0,235							
27/4/2017 7:30	4,433	0	4,213	0,219							
27/4/2017 7:45	4,408	0	4,221	0,187							
27/4/2017 8:00	4,400	0	4,229	0,171							
27/4/2017 8:15	4,396	0	4,237	0,159							
27/4/2017 8:30	4,372	0	4,245	0,127							
27/4/2017 8:45	4,343	0	4,252	0,091							
27/4/2017 9:00	4,327	0	4,260	0,067							
27/4/2017 9:15	4,315	0	4,268	0,047							
27/4/2017 9:30	4,299	0	4,276	0,024							
27/4/2017 9:45	4,295	0	4,284	0,012							

Lampiran 4. Perhitungan hujan efektif *Sinking Stream* Kedungbuntung

Waktu awal hujan 5 Januari 2017 15:30

Waktu	Q (m ³ /s)	P	Baseflow (m ³ /s)	DRO (m ³ /s)	Total DRO (m ³ /s)	Volume DRO (m ³)	Luas DTA (m ²)	Tebal DRO (mm)	φ (mm/ 15 menit)	Hujan efektif (mm)	Total Hujan Efetif
5/1/2017 14:45	2,045	0	2,045	0,000	43,913	39.521	13.690.000	2,89	7,31		2,89
5/1/2017 15:00	2,055	0	2,055	0,000							
5/1/2017 15:15	2,047	0	2,047	0,000							
5/1/2017 15:30	2,045	2,8	2,045	0,000							
5/1/2017 15:45	2,111	10,2	2,053	0,059						2,89	
5/1/2017 16:00	2,185	6,6	2,060	0,125							
5/1/2017 16:15	2,325	7	2,068	0,256							
5/1/2017 16:30	2,499	3,6	2,076	0,423							
5/1/2017 16:45	2,550	1	2,084	0,466							
5/1/2017 17:00	3,164	0,2	2,091	1,073							
5/1/2017 17:15	3,602	0,6	2,099	1,503							
5/1/2017 17:30	3,673	0,4	2,107	1,567							
5/1/2017 17:45	3,706	0,2	2,114	1,591							
5/1/2017 18:00	4,589	0	2,122	2,467							
5/1/2017 18:15	4,626	0	2,130	2,496							
5/1/2017 18:30	4,462	0	2,138	2,324							
5/1/2017 18:45	4,211	0	2,145	2,066							
5/1/2017 19:00	3,928	0,2	2,153	1,775							
5/1/2017 19:15	3,772	0	2,161	1,612							
5/1/2017 19:30	3,641	0	2,169	1,473							
5/1/2017 19:45	3,579	0	2,176	1,403							
5/1/2017 20:00	3,487	0	2,184	1,303							
5/1/2017 20:15	3,440	0	2,192	1,249							
5/1/2017 20:30	3,398	0	2,200	1,199							

Waktu	Q (m3/s)	P	Baseflow (m3/s)	DRO (m3/s)	Total DRO (m3/s)	Volume DRO (m3)	Luas DTA (m2)	Tebal DRO (mm)	ϕ (mm/ 15 menit)	Hujan efektif (mm)	Total Hujan Efetif
5/1/2017 20:45	3,316	0	2,207	1,109							
5/1/2017 21:00	3,264	0	2,215	1,049							
5/1/2017 21:15	3,191	0	2,223	0,969							
5/1/2017 21:30	3,132	0	2,230	0,901							
5/1/2017 21:45	3,107	0	2,238	0,868							
5/1/2017 22:00	3,047	0	2,246	0,801							
5/1/2017 22:15	3,019	0	2,254	0,766							
5/1/2017 22:30	2,964	0	2,261	0,703							
5/1/2017 22:45	2,962	0	2,269	0,693							
5/1/2017 23:00	2,919	0	2,277	0,642							
5/1/2017 23:15	2,906	0	2,285	0,622							
5/1/2017 23:30	2,876	0	2,292	0,584							
5/1/2017 23:45	2,841	0	2,300	0,541							
6/1/2017 0:00	2,824	0	2,308	0,516							
6/1/2017 0:15	2,841	0	2,315	0,526							
6/1/2017 0:30	2,811	0	2,323	0,488							
6/1/2017 0:45	2,799	0	2,331	0,468							
6/1/2017 1:00	2,763	0	2,339	0,425							
6/1/2017 1:15	2,761	0	2,346	0,415							
6/1/2017 1:30	2,743	0	2,354	0,389							
6/1/2017 1:45	2,726	0	2,362	0,364							
6/1/2017 2:00	2,696	0	2,370	0,326							
6/1/2017 2:15	2,696	0	2,377	0,318							
6/1/2017 2:30	2,698	0	2,385	0,313							
6/1/2017 2:45	2,686	0	2,393	0,293							
6/1/2017 3:00	2,660	0	2,400	0,260							
6/1/2017 3:15	2,655	0	2,408	0,247							

Waktu	Q (m3/s)	P	Baseflow (m3/s)	DRO (m3/s)	Total DRO (m3/s)	Volume DRO (m3)	Luas DTA (m2)	Tebal DRO (mm)	ϕ (mm/ 15 menit)	Hujan efektif (mm)	Total Hujan Efetif
6/1/2017 3:30	2,653	0	2,416	0,237							
6/1/2017 3:45	2,638	0	2,424	0,214							
6/1/2017 4:00	2,635	0	2,431	0,204							
6/1/2017 4:15	2,620	0	2,439	0,181							
6/1/2017 4:30	2,618	0	2,447	0,171							
6/1/2017 4:45	2,615	0	2,455	0,160							
6/1/2017 5:00	2,595	0	2,462	0,133							
6/1/2017 5:15	2,615	0	2,470	0,145							
6/1/2017 5:30	2,590	0	2,478	0,112							
6/1/2017 5:45	2,590	0	2,486	0,104							
6/1/2017 6:00	2,567	0	2,493	0,074							
6/1/2017 6:15	2,550	0	2,501	0,049							
6/1/2017 6:30	2,555	0	2,509	0,046							
6/1/2017 6:45	2,557	0	2,516	0,041							
6/1/2017 7:00	2,545	0	2,524	0,020							

Lampiran 4. Perhitungan Hujan Efektif *Sinking Stream* Kedungbuntung

Waktu awal hujan 8 Januari 2017 15:15

Waktu	Q (m ³ /s)	P (mm)	Baseflow (m ³ /s)	DRO (m ³ /s)	Total DRO (m ³ /s)	Volume DRO (m ³)	Luas DTA (m ²)	Tebal DRO (mm)	φ (mm/ 15 menit)	Hujan efektif (mm)	Total Hujan Efetif
1/8/2017 14:30	2,007	0	2,007	0,000	11,995	10.796	13.690.000	0,79	6,41		0,79
1/8/2017 14:45	2,007	0	2,007	0,000							
1/8/2017 15:00	2,017	0	2,017	0,000							
1/8/2017 15:15	2,035	4	2,035	0,000							
1/8/2017 15:30	2,170	7,2	2,049	0,121						0,79	
1/8/2017 15:45	2,294	3,2	2,063	0,232							
1/8/2017 16:00	2,312	0	2,076	0,235							
1/8/2017 16:15	2,499	0	2,090	0,409							
1/8/2017 16:30	2,527	0	2,104	0,423							
1/8/2017 16:45	2,570	0	2,118	0,452							
1/8/2017 17:00	2,592	0	2,132	0,460							
1/8/2017 17:15	2,628	0	2,146	0,482							
1/8/2017 17:30	2,836	0	2,160	0,676							
1/8/2017 17:45	2,934	0	2,174	0,760							
1/8/2017 18:00	2,881	0	2,188	0,694							
1/8/2017 18:15	2,856	0	2,202	0,655							
1/8/2017 18:30	2,816	0	2,216	0,601							
1/8/2017 18:45	2,801	0	2,230	0,572							
1/8/2017 19:00	2,796	0	2,243	0,553							
1/8/2017 19:15	2,769	0	2,257	0,511							
1/8/2017 19:30	2,761	0	2,271	0,490							
1/8/2017 19:45	2,741	0	2,285	0,456							
1/8/2017 20:00	2,701	0	2,299	0,401							
1/8/2017 20:15	2,678	0	2,313	0,365							

Waktu	Q (m3/s)	P (mm)	Baseflow (m3/s)	DRO (m3/s)	Total DRO (m3/s)	Volume DRO (m3)	Luas DTA (m2)	Tebal DRO (mm)	φ (mm/ 15 menit)	Hujan efektif (mm)	Total Hujan Efetif
1/8/2017 20:30	2,665	0	2,327	0,338							
1/8/2017 20:45	2,653	0	2,341	0,312							
1/8/2017 21:00	2,640	0	2,355	0,285							
1/8/2017 21:15	2,625	0	2,369	0,256							
1/8/2017 21:30	2,635	0	2,383	0,253							
1/8/2017 21:45	2,628	0	2,397	0,231							
1/8/2017 22:00	2,620	0	2,411	0,210							
1/8/2017 22:15	2,610	0	2,424	0,186							
1/8/2017 22:30	2,577	0	2,438	0,139							
1/8/2017 22:45	2,560	0	2,452	0,107							
1/8/2017 23:00	2,555	0	2,466	0,088							
1/8/2017 23:15	2,524	0	2,480	0,044							

Lampiran 4. Perhitungan Hujan Efektif *Sinking Stream* Kedungbuntung

Waktu awal hujan 14 Januari 2017 21:00

Waktu	Q (m ³ /s)	P (mm)	Baseflow (m ³ /s)	DRO (m ³ /s)	Total DRO (m ³ /s)	Volume DRO (m ³)	Luas DTA (m ²)	Tebal DRO (mm)	φ (mm/15 menit)	Hujan efektif (mm)	Total Hujan Efektif
1/14/2017 21:00	1,930	0,4	1,930	0,000	27,625	24862,0529	13690000	1,82	6,59		1,82
1/14/2017 21:15	1,933		1,933	0,000							
1/14/2017 21:30	1,927	0,8	1,927	0,000							
1/14/2017 21:45	2,019	8	1,938	0,082						1,41	
1/14/2017 22:00	2,132	7	1,948	0,184						0,41	
1/14/2017 22:15	2,210	1,8	1,958	0,253							
1/14/2017 22:30	2,474	0,8	1,968	0,506							
1/14/2017 22:45	2,713	0,8	1,978	0,735							
1/14/2017 23:00	2,746	0,4	1,988	0,758							
1/14/2017 23:15	2,723	0,4	1,998	0,725							
1/14/2017 23:30	2,819	1	2,008	0,810							
1/14/2017 23:45	3,256	0,4	2,018	1,238							
1/15/2017 0:00	3,341	0,2	2,029	1,312							
1/15/2017 0:15	3,281	0,2	2,039	1,242							
1/15/2017 0:30	3,211	0,2	2,049	1,163							
1/15/2017 0:45	3,191	0,2	2,059	1,132							
1/15/2017 1:00	3,154		2,069	1,085							
1/15/2017 1:15	3,124		2,079	1,045							
1/15/2017 1:30	3,092		2,089	1,002							
1/15/2017 1:45	3,067		2,099	0,967							
1/15/2017 2:00	3,014		2,110	0,905							
1/15/2017 2:15	2,974		2,120	0,854							

Waktu	Q (m3/s)	P (mm)	Baseflow (m3/s)	DRO (m3/s)	Total DRO (m3/s)	Volume DRO (m3)	Luas DTA (m2)	Tebal DRO (mm)	φ (mm/ 15 menit)	Hujan efektif (mm)	Total Hujan Efetif
1/15/2017 2:30	2,952	0,2	2,130	0,822							
1/15/2017 2:45	2,917		2,140	0,777							
1/15/2017 3:00	2,881		2,150	0,731							
1/15/2017 3:15	2,839		2,160	0,679							
1/15/2017 3:30	2,831	0,2	2,170	0,661							
1/15/2017 3:45	2,811		2,180	0,631							
1/15/2017 4:00	2,781	0,2	2,190	0,591							
1/15/2017 4:15	2,761		2,201	0,560							
1/15/2017 4:30	2,741		2,211	0,530							
1/15/2017 4:45	2,708		2,221	0,487							
1/15/2017 5:00	2,716		2,231	0,485							
1/15/2017 5:15	2,678		2,241	0,437							
1/15/2017 5:30	2,670		2,251	0,419							
1/15/2017 5:45	2,645		2,261	0,384							
1/15/2017 6:00	2,633		2,271	0,361							
1/15/2017 6:15	2,618		2,282	0,336							
1/15/2017 6:30	2,615		2,292	0,323							
1/15/2017 6:45	2,587		2,302	0,286							
1/15/2017 7:00	2,572		2,312	0,260							
1/15/2017 7:15	2,572		2,322	0,250							
1/15/2017 7:30	2,565		2,332	0,233							
1/15/2017 7:45	2,542		2,342	0,200							
1/15/2017 8:00	2,545		2,352	0,192							
1/15/2017 8:15	2,545		2,363	0,182							
1/15/2017 8:30	2,532		2,373	0,159							
1/15/2017 8:45	2,504		2,383	0,121							

Waktu	Q (m3/s)	P (mm)	Baseflow (m3/s)	DRO (m3/s)	Total DRO (m3/s)	Volume DRO (m3)	Luas DTA (m2)	Tebal DRO (mm)	ϕ (mm/15 menit)	Hujan efektif (mm)	Total Hujan Efetif
1/15/2017 9:00	2,502		2,393	0,109							
1/15/2017 9:15	2,507		2,403	0,104							
1/15/2017 9:30	2,504		2,413	0,091							
1/15/2017 9:45	2,499		2,423	0,076							
1/15/2017 10:00	2,486		2,433	0,053							
1/15/2017 10:15	2,494		2,443	0,051							
1/15/2017 10:30	2,479		2,454	0,025							
1/15/2017 10:45	2,484		2,464	0,020							

Lampiran 4. Perhitungan Hujan Efektif *Sinking Stream* Kedungbuntung

Waktu awal hujan 3 Februari 2017 02:15

Waktu	Q (m ³ /s)	P (mm)	Baseflow (m ³ /s)	DRO (m ³ /s)	Total DRO (m ³ /s)	Volume DRO (m ³)	Luas DTA (m ²)	Tebal DRO (mm)	φ (mm/ 15 menit)	Hujan efektif (mm)	Total Hujan Efetif
2/3/2017 2:15	2,469	0,2	2,469	0,000	51,641	46476,64507	13690000	3,39	4,54		3,39
2/3/2017 2:30	2,469		2,469	0,000							
2/3/2017 2:45	2,514	6,8	2,471	0,043						2,26	
2/3/2017 3:00	2,570	5,2	2,474	0,096						0,66	
2/3/2017 3:15	2,635	5	2,477	0,158						0,46	
2/3/2017 3:30	2,894	1,8	2,480	0,414							
2/3/2017 3:45	4,019	1,2	2,482	1,537							
2/3/2017 4:00	4,902	1	2,485	2,417							
2/3/2017 4:15	5,401	0,8	2,488	2,913							
2/3/2017 4:30	5,617	0,4	2,490	3,126							
2/3/2017 4:45	5,542	0,4	2,493	3,048							
2/3/2017 5:00	5,396	0,2	2,496	2,900							
2/3/2017 5:15	5,267	0,4	2,499	2,769							
2/3/2017 5:30	5,060	0,2	2,501	2,559							
2/3/2017 5:45	4,863		2,504	2,359							
2/3/2017 6:00	4,584		2,507	2,078							
2/3/2017 6:15	4,351		2,509	1,842							
2/3/2017 6:30	4,135		2,512	1,623							
2/3/2017 6:45	3,958		2,515	1,443							
2/3/2017 7:00	3,861		2,517	1,344							
2/3/2017 7:15	3,780		2,520	1,260							
2/3/2017 7:30	3,706		2,523	1,183							
2/3/2017 7:45	3,629		2,526	1,103							
2/3/2017 8:00	3,547		2,528	1,019							

Waktu	Q (m3/s)	P (mm)	Baseflow (m3/s)	DRO (m3/s)	Total DRO (m3/s)	Volume DRO (m3)	Luas DTA (m2)	Tebal DRO (mm)	ϕ (mm/ 15 menit)	Hujan efektif (mm)	Total Hujan Efetif
2/3/2017 8:15	3,485		2,531	0,954							
2/3/2017 8:30	3,438		2,534	0,904							
2/3/2017 8:45	3,371		2,536	0,834							
2/3/2017 9:00	3,348		2,539	0,809							
2/3/2017 9:15	3,304		2,542	0,762							
2/3/2017 9:30	3,249		2,545	0,704							
2/3/2017 9:45	3,219		2,547	0,672							
2/3/2017 10:00	3,171		2,550	0,621							
2/3/2017 10:15	3,152		2,553	0,599							
2/3/2017 10:30	3,104		2,555	0,549							
2/3/2017 10:45	3,079		2,558	0,521							
2/3/2017 11:00	3,057		2,561	0,496							
2/3/2017 11:15	3,014		2,564	0,451							
2/3/2017 11:30	2,994		2,566	0,428							
2/3/2017 11:45	2,962		2,569	0,393							
2/3/2017 12:00	2,987	0,2	2,572	0,415							
2/3/2017 12:15	2,944		2,574	0,370							
2/3/2017 12:30	2,919		2,577	0,342							
2/3/2017 12:45	2,896		2,580	0,317							
2/3/2017 13:00	2,874		2,582	0,291							
2/3/2017 13:15	2,861		2,585	0,276							
2/3/2017 13:30	2,856		2,588	0,268							
2/3/2017 13:45	2,851		2,591	0,261							
2/3/2017 14:00	2,844		2,593	0,251							
2/3/2017 14:15	2,824		2,596	0,228							
2/3/2017 14:30	2,814		2,599	0,215							

Waktu	Q (m ³ /s)	P (mm)	Baseflow (m ³ /s)	DRO (m ³ /s)	Total DRO (m ³ /s)	Volume DRO (m ³)	Luas DTA (m ²)	Tebal DRO (mm)	φ (mm/ 15 menit)	Hujan efektif (mm)	Total Hujan Efetif
2/3/2017 14:45	2,804		2,601	0,202							
2/3/2017 15:00	2,794		2,604	0,190							
2/3/2017 15:15	2,774		2,607	0,167							
2/3/2017 15:30	2,771		2,610	0,161							
2/3/2017 15:45	2,753		2,612	0,141							
2/3/2017 16:00	2,733		2,615	0,118							
2/3/2017 16:15	2,748		2,618	0,131							
2/3/2017 16:30	2,731		2,620	0,110							
2/3/2017 16:45	2,716		2,623	0,093							
2/3/2017 17:00	2,716		2,626	0,090							
2/3/2017 17:15	2,703	0,2	2,628	0,075							
3/2/17 17:30	2,716	0	2,631	0,085							
3/2/17 17:45	2,696	1,2	2,634	0,062							
3/2/17 18:00	2,688	0	2,637	0,051							
3/2/17 18:15	2,691	0	2,639	0,051							
3/2/17 18:30	2,676	0	2,642	0,033							
3/2/17 18:45	2,670	0	2,645	0,026							
3/2/17 19:00	2,673	0	2,647	0,026							
3/2/17 19:15	2,658	0	2,650	0,008							

Lampiran 4. Perhitungan Hujan Efektif *Sinking Stream* Kedungbuntung

Waktu awal hujan 28 Februari 2017 20:45

Waktu	Q (m3/s)	P (mm)	Baseflow (m3/s)	DRO (m3/s)	Total DRO (m3/s)	Volume DRO (m3)	Luas DTA (m2)	Tebal DRO (mm)	ϕ (mm/15 menit)	Hujan efektif (mm)	Total Hujan Efektif
2/28/2017 19:45	2,309		2,309	0,000	14,161	12.745	13.690.000	0,93	7,47		0,93
2/28/2017 20:00	2,312		2,312	0,000							
2/28/2017 20:15	2,309		2,309	0,000							
2/28/2017 20:30	2,304	2	2,304	0,000							
2/28/2017 20:45	2,319	8,4	2,311	0,008						0,93	
2/28/2017 21:00	2,347	5,8	2,319	0,029							
2/28/2017 21:15	2,370	2,4	2,326	0,044							
2/28/2017 21:30	2,398	0,4	2,333	0,065							
2/28/2017 21:45	2,416	0,4	2,340	0,076							
2/28/2017 22:00	2,489		2,347	0,142							
2/28/2017 22:15	2,550		2,355	0,195							
2/28/2017 22:30	2,572		2,362	0,211							
2/28/2017 22:45	2,608		2,369	0,239							
2/28/2017 23:00	2,791		2,376	0,415							
2/28/2017 23:15	3,119		2,383	0,736							
2/28/2017 23:30	3,254		2,390	0,863							
2/28/2017 23:45	3,211		2,398	0,814							
3/1/2017 0:00	3,194		2,405	0,789							
3/1/2017 0:15	3,154		2,412	0,742							
3/1/2017 0:30	3,129		2,419	0,710							
3/1/2017 0:45	3,102		2,426	0,675							
3/1/2017 1:00	3,064		2,433	0,631							
3/1/2017 1:15	3,044		2,441	0,603							
3/1/2017 1:30	2,989		2,448	0,541							

Waktu	Q (m3/s)	P (mm)	Baseflow (m3/s)	DRO (m3/s)	Total DRO (m3/s)	Volume DRO (m3)	Luas DTA (m2)	Tebal DRO (mm)	φ (mm/ 15 menit)	Hujan efektif (mm)	Total Hujan Efetif
3/1/2017 1:45	2,974		2,455	0,519							
3/1/2017 2:00	2,922		2,462	0,459							
3/1/2017 2:15	2,909		2,469	0,440							
3/1/2017 2:30	2,889		2,477	0,412							
3/1/2017 2:45	2,876		2,484	0,393							
3/1/2017 3:00	2,856		2,491	0,365							
3/1/2017 3:15	2,854		2,498	0,356							
3/1/2017 3:30	2,824		2,505	0,318							
3/1/2017 3:45	2,836		2,512	0,324							
3/1/2017 4:00	2,811		2,520	0,292							
3/1/2017 4:15	2,804		2,527	0,277							
3/1/2017 4:30	2,799		2,534	0,265							
3/1/2017 4:45	2,758		2,541	0,217							
3/1/2017 5:00	2,748		2,548	0,200							
3/1/2017 5:15	2,738		2,556	0,183							
3/1/2017 5:30	2,718		2,563	0,156							
3/1/2017 5:45	2,701		2,570	0,131							
3/1/2017 6:00	2,676		2,577	0,098							
3/1/2017 6:15	2,668		2,584	0,084							
3/1/2017 6:30	2,643		2,591	0,051							
3/1/2017 6:45	2,638		2,599	0,039							
3/1/2017 7:00	2,645		2,606	0,040							
3/1/2017 7:15	2,628		2,613	0,015							

Lampiran 4. Perhitungan Hujan Efektif *Sinking Stream* Kedungbuntung

Waktu awal hujan 1 Maret 2017 14:15

Waktu	Q (m ³ /s)	P (mm)	Baseflow (m ³ /s)	DRO (m ³ /s)	Total DRO (m ³ /s)	Volume DRO (m ³)	Luas DTA (m ²)	Tebal DRO (mm)	φ (mm/ 15 menit)	Hujan efektif (mm)	Total Hujan Efetif
3/1/2017 14:15	2,446	0,4	2,446	0,000	102,688	92419,08083	13690000	6,75	7,62		6,75
3/1/2017 14:30	2,459	3,4	2,459	0,000							
3/1/2017 14:45	2,481	11,6	2,469	0,013						3,98	
3/1/2017 15:00	2,650	10,4	2,479	0,171						2,78	
3/1/2017 15:15	2,874	2,6	2,489	0,385							
3/1/2017 15:30	5,306	1,4	2,500	2,807							
3/1/2017 15:45	8,622	0,2	2,510	6,113							
3/1/2017 16:00	10,514		2,520	7,994							
3/1/2017 16:15	11,215		2,530	8,685							
3/1/2017 16:30	10,899		2,540	8,358							
3/1/2017 16:45	10,237		2,551	7,686							
3/1/2017 17:00	9,502		2,561	6,941							
3/1/2017 17:15	8,848		2,571	6,277							
3/1/2017 17:30	8,181		2,581	5,600							
3/1/2017 17:45	7,535		2,592	4,944							
3/1/2017 18:00	6,928		2,602	4,326							
3/1/2017 18:15	6,409		2,612	3,797							
3/1/2017 18:30	5,929		2,622	3,307							
3/1/2017 18:45	5,500		2,632	2,868							
3/1/2017 19:00	5,073		2,643	2,430							
3/1/2017 19:15	4,770		2,653	2,117							
3/1/2017 19:30	4,498		2,663	1,835							
3/1/2017 19:45	4,251		2,673	1,577							
3/1/2017 20:00	4,059		2,684	1,375							

Waktu	Q (m3/s)	P (mm)	Baseflow (m3/s)	DRO (m3/s)	Total DRO (m3/s)	Volume DRO (m3)	Luas DTA (m2)	Tebal DRO (mm)	ϕ (mm/ 15 menit)	Hujan efektif (mm)	Total Hujan Efetif
3/1/2017 20:15	3,908		2,694	1,215							
3/1/2017 20:30	3,822	0,8	2,704	1,118							
3/1/2017 20:45	3,772	0,4	2,714	1,058							
3/1/2017 21:00	3,676	1,2	2,724	0,952							
3/1/2017 21:15	3,621	1,2	2,735	0,887							
3/1/2017 21:30	3,557	0,6	2,745	0,812							
3/1/2017 21:45	3,492	0,4	2,755	0,737							
3/1/2017 22:00	3,470	0,2	2,765	0,705							
3/1/2017 22:15	3,445		2,776	0,670							
3/1/2017 22:30	3,410		2,786	0,625							
3/1/2017 22:45	3,403	0,2	2,796	0,607							
3/1/2017 23:00	3,366		2,806	0,560							
3/1/2017 23:15	3,301		2,816	0,485							
3/1/2017 23:30	3,301		2,827	0,474							
3/1/2017 23:45	3,266		2,837	0,429							
3/2/2017 0:00	3,206		2,847	0,359							
3/2/2017 0:15	3,161		2,857	0,304							
3/2/2017 0:30	3,142		2,868	0,274							
3/2/2017 0:45	3,132		2,878	0,254							
3/2/2017 1:00	3,077		2,888	0,189							
3/2/2017 1:15	3,042		2,898	0,143							
3/2/2017 1:30	3,027		2,908	0,118							
3/2/2017 1:45	2,987		2,919	0,068							
3/2/2017 2:00	2,969		2,929	0,040							

Lampiran 4. Perhitungan Hujan Efektif *Sinking Stream* Kedungbuntung

Waktu awal hujan 3 Maret 2017 14:00

Waktu	Q (m ³ /s)	P (mm)	Baseflow (m ³ /s)	DRO (m ³ /s)	Total DRO (m ³ /s)	Volume DRO (m ³)	Luas DTA (m ²)	Tebal DRO (mm)	φ (mm/15 menit)	Hujan efektif (mm)	Total Hujan Efektif
3/5/2017 14:00	2,106	2	2,106	0,000	57,843	52.058	13.690.000	3,80	10,40		3,80
3/5/2017 14:15	2,274	14,2	2,116	0,157						3,80	
3/5/2017 14:30	2,509	5,2	2,127	0,382							
3/5/2017 14:45	2,794	0,2	2,137	0,656							
3/5/2017 15:00	4,135		2,148	1,987							
3/5/2017 15:15	5,748		2,158	3,590							
3/5/2017 15:30	6,644		2,168	4,476							
3/5/2017 15:45	6,630		2,179	4,451							
3/5/2017 16:00	6,344		2,189	4,155							
3/5/2017 16:15	6,011		2,200	3,812							
3/5/2017 16:30	5,641		2,210	3,431							
3/5/2017 16:45	5,221		2,220	3,001							
3/5/2017 17:00	4,836		2,231	2,605							
3/5/2017 17:15	4,454		2,241	2,213							
3/5/2017 17:30	4,157		2,251	1,906							
3/5/2017 17:45	3,933		2,262	1,671							
3/5/2017 18:00	3,824		2,272	1,552							
3/5/2017 18:15	3,708		2,283	1,426							
3/5/2017 18:30	3,612		2,293	1,319							
3/5/2017 18:45	3,527		2,303	1,224							
3/5/2017 19:00	3,435		2,314	1,122							
3/5/2017 19:15	3,376		2,324	1,052							
3/5/2017 19:30	3,294		2,334	0,959							
3/5/2017 19:45	3,264		2,345	0,919							

Waktu	Q (m3/s)	P (mm)	Baseflow (m3/s)	DRO (m3/s)	Total DRO (m3/s)	Volume DRO (m3)	Luas DTA (m2)	Tebal DRO (mm)	φ (mm/ 15 menit)	Hujan efektif (mm)	Total Hujan Efetif
3/5/2017 20:00	3,211		2,355	0,856							
3/5/2017 20:15	3,166		2,366	0,801							
3/5/2017 20:30	3,132		2,376	0,756							
3/5/2017 20:45	3,072		2,386	0,685							
3/5/2017 21:00	3,029		2,397	0,632							
3/5/2017 21:15	3,009		2,407	0,602							
3/5/2017 21:30	2,974		2,418	0,557							
3/5/2017 21:45	2,929		2,428	0,501							
3/5/2017 22:00	2,906		2,438	0,468							
3/5/2017 22:15	2,871		2,449	0,423							
3/5/2017 22:30	2,851		2,459	0,392							
3/5/2017 22:45	2,844		2,469	0,374							
3/5/2017 23:00	2,834		2,480	0,354							
3/5/2017 23:15	2,844		2,490	0,354							
3/5/2017 23:30	2,849		2,501	0,348							
3/5/2017 23:45	2,801		2,511	0,290							
3/6/2017 0:00	2,786		2,521	0,265							
3/6/2017 0:15	2,786		2,532	0,254							
3/6/2017 0:30	2,758		2,542	0,216							
3/6/2017 0:45	2,736		2,552	0,183							
3/6/2017 1:00	2,716		2,563	0,153							
3/6/2017 1:15	2,693		2,573	0,120							
3/6/2017 1:30	2,673		2,584	0,089							
3/6/2017 1:45	2,650		2,594	0,056							
3/6/2017 2:00	2,638		2,604	0,033							
3/6/2017 2:15	2,628		2,615	0,013							

Lampiran 4. Perhitungan Hujan Efektif *Sinking Stream* Kedungbuntung

Waktu awal hujan 17 Maret 2017 17:15

Waktu	Q (m ³ /s)	P (mm)	Baseflow (m ³ /s)	DRO (m ³ /s)	Total DRO (m ³ /s)	Volume DRO (m ³)	Luas DTA (m ²)	Tebal DRO (mm)	φ (mm/ 15 menit)	Hujan efektif (mm)	Total Hujan Efetif
3/16/2017 16:45	1,907		1,907	0,000	45,034	40531,03884	13690000	2,96	5,82		2,96
3/16/2017 17:00	1,920		1,920	0,000							
3/16/2017 17:15	1,968	6,4	1,931	0,037						0,58	
3/16/2017 17:30	2,076	8,2	1,942	0,133						2,38	
3/16/2017 17:45	2,218	5,8	1,954	0,264							
3/16/2017 18:00	2,319	2,6	1,965	0,355							
3/16/2017 18:15	2,756	0,2	1,976	0,780							
3/16/2017 18:30	2,939		1,987	0,952							
3/16/2017 18:45	4,393		1,999	2,394							
3/16/2017 19:00	4,899		2,010	2,889							
3/16/2017 19:15	4,846		2,021	2,824							
3/16/2017 19:30	4,682		2,033	2,649							
3/16/2017 19:45	4,530		2,044	2,486							
3/16/2017 20:00	4,332	0,2	2,055	2,276							
3/16/2017 20:15	4,071		2,067	2,004							
3/16/2017 20:30	3,829		2,078	1,751							
3/16/2017 20:45	3,659		2,089	1,569							
3/16/2017 21:00	3,554		2,100	1,454							

3/16/2017 21:15	3,502	0,2	2,112	1,391							
3/16/2017 21:30	3,410		2,123	1,288							
3/16/2017 21:45	3,343	0,2	2,134	1,209							
3/16/2017 22:00	3,281		2,146	1,136							
Waktu	Q (m3/s)	P (mm)	Baseflow (m3/s)	DRO (m3/s)	Total DRO (m3/s)	Volume DRO (m3)	Luas DTA (m2)	Tebal DRO (mm)	φ (mm/ 15 menit)	Hujan efektif (mm)	Total Hujan Efetif
3/16/2017 22:15	3,236	0,2	2,157	1,079							
3/16/2017 22:30	3,166		2,168	0,998							
3/16/2017 22:45	3,114		2,179	0,935							
3/16/2017 23:00	3,087		2,191	0,896							
3/16/2017 23:15	3,052	2	2,202	0,850							
3/16/2017 23:30	3,007		2,213	0,793							
3/16/2017 23:45	2,977	0,2	2,225	0,752							
3/17/2017 0:00	2,947		2,236	0,711							
3/17/2017 0:15	2,894		2,247	0,647							
3/17/2017 0:30	2,874		2,258	0,615							
3/17/2017 0:45	2,851		2,270	0,582							
3/17/2017 1:00	2,831		2,281	0,550							
3/17/2017 1:15	2,809		2,292	0,516							
3/17/2017 1:30	2,801		2,304	0,498							
3/17/2017 1:45	2,763		2,315	0,449							
3/17/2017 2:00	2,758		2,326	0,432							
3/17/2017 2:15	2,748		2,338	0,411							
3/17/2017 2:30	2,751		2,349	0,402							
3/17/2017 2:45	2,726		2,360	0,366							
3/17/2017 3:00	2,718		2,371	0,347							
3/17/2017 3:15	2,708	0,2	2,383	0,326							
3/17/2017 3:30	2,688		2,394	0,294							

3/17/2017 3:45	2,683		2,405	0,278							
3/17/2017 4:00	2,663		2,417	0,246							
3/17/2017 4:15	2,655		2,428	0,228							
3/17/2017 4:30	2,633		2,439	0,194							
Waktu	Q (m3/s)	P (mm)	Baseflow (m3/s)	DRO (m3/s)	Total DRO (m3/s)	Volume DRO (m3)	Luas DTA (m2)	Tebal DRO (mm)	φ (mm/ 15 menit)	Hujan efektif (mm)	Total Hujan Efetif
3/17/2017 4:45	2,628		2,450	0,177							
3/17/2017 5:00	2,610		2,462	0,148							
3/17/2017 5:15	2,590		2,473	0,117							
3/17/2017 5:30	2,590		2,484	0,106							
3/17/2017 5:45	2,595		2,496	0,099							
3/17/2017 6:00	2,577		2,507	0,070							
3/17/2017 6:15	2,565		2,518	0,046							
3/17/2017 6:30	2,565		2,529	0,035							

Lampiran 4. Perhitungan Hujan Efektif *Sinking Stream* Kedungbuntung

Waktu awal hujan 26 April 2017 17:45

Waktu	Q (m3/s)	P (mm)	Baseflow (m3/s)	DRO (m3/s)	Total DRO (m3/s)	Volume DRO (m3)	Luas DTA (m2)	Tebal DRO (mm)	φ (mm/ 15 menit)	Hujan efektif (mm)	Total Hujan Efetif
4/26/2017 17:30	2,030	0	2,030	0,000	52,751	47.476	3.690.000	3,47	10,33		3,47
4/26/2017 17:45	2,032	0,6	2,032	0,000							
4/26/2017 18:00	2,027	0	2,027	0,000							
4/26/2017 18:15	2,035	3,6	2,035	0,000							

4/26/2017 18:30	2,045	1,5	2,045	0,000							
4/26/2017 18:45	2,070	13,8	2,057	0,014						3,47	
4/26/2017 19:00	2,271	6,9	2,068	0,203							
4/26/2017 19:15	2,390	1,5	2,080	0,311							
4/26/2017 19:30	2,560	1,2	2,091	0,468							
4/26/2017 19:45	2,698	0,6	2,103	0,595							
4/26/2017 20:00	3,547	0,3	2,115	1,432							
4/26/2017 20:15	4,970	0,3	2,126	2,844							
4/26/2017 20:30	5,350	0	2,138	3,212							
4/26/2017 20:45	5,593	0	2,150	3,443							
4/26/2017 21:00	5,614	0	2,161	3,453							
4/26/2017 21:15	5,471	0	2,173	3,298							
4/26/2017 21:30	5,255	0	2,184	3,071							
4/26/2017 21:45	4,978	0	2,196	2,781							
4/26/2017 22:00	4,775	0	2,208	2,567							
4/26/2017 22:15	4,481	0	2,219	2,262							
4/26/2017 22:30	4,211	0	2,231	1,980							
4/26/2017 22:45	3,948	0	2,243	1,705							
4/26/2017 23:00	3,733	0	2,254	1,479							
4/26/2017 23:15	3,639	0	2,266	1,373							
Waktu	Q (m3/s)	P (mm)	Baseflow (m3/s)	DRO (m3/s)	Total DRO (m3/s)	Volume DRO (m3)	Luas DTA (m2)	Tebal DRO (mm)	φ (mm/ 15 menit)	Hujan efektif (mm)	Total Hujan Efetif
4/26/2017 23:30	3,545	0	2,278	1,267							
4/26/2017 23:45	3,490	0	2,289	1,201							
4/27/2017 0:00	3,406	0	2,301	1,105							
4/27/2017 0:15	3,338	0	2,312	1,026							
4/27/2017 0:30	3,286	0	2,324	0,962							
4/27/2017 0:45	3,244	0	2,336	0,908							

4/27/2017 1:00	3,174	0	2,347	0,827							
4/27/2017 1:15	3,166	0	2,359	0,808							
4/27/2017 1:30	3,092	0	2,371	0,721							
4/27/2017 1:45	3,069	0	2,382	0,687							
4/27/2017 2:00	3,032	0	2,394	0,638							
4/27/2017 2:15	3,007	0	2,405	0,601							
4/27/2017 2:30	2,979	0	2,417	0,562							
4/27/2017 2:45	2,964	0	2,429	0,535							
4/27/2017 3:00	2,932	0	2,440	0,491							
4/27/2017 3:15	2,904	0	2,452	0,452							
4/27/2017 3:30	2,884	0	2,464	0,420							
4/27/2017 3:45	2,861	0	2,475	0,386							
4/27/2017 4:00	2,834	0	2,487	0,347							
4/27/2017 4:15	2,819	0	2,499	0,320							
4/27/2017 4:30	2,811	0	2,510	0,301							
4/27/2017 4:45	2,799	0	2,522	0,277							
4/27/2017 5:00	2,781	0	2,533	0,248							
4/27/2017 5:15	2,753	0	2,545	0,208							
4/27/2017 5:30	2,758	0	2,557	0,202							
4/27/2017 5:45	2,733	0,3	2,568	0,165							
Waktu	Q (m3/s)	P (mm)	Baseflow (m3/s)	DRO (m3/s)	Total DRO (m3/s)	Volume DRO (m3)	Luas DTA (m2)	Tebal DRO (mm)	φ (mm/ 15 menit)	Hujan efektif (mm)	Total Hujan Efetif
4/27/2017 6:00	2,733	0	2,580	0,153							
4/27/2017 6:15	2,731	0	2,592	0,139							
4/27/2017 6:30	2,703	0	2,603	0,100							
4/27/2017 6:45	2,698	0	2,615	0,083							
4/27/2017 7:00	2,691	0	2,626	0,064							
4/27/2017 7:15	2,673	0	2,638	0,035							

4/27/2017 7:30	2,670	0	2,650	0,021							
----------------	-------	---	-------	-------	--	--	--	--	--	--	--