

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	II
<b>LEMBAR PERNYATAAN</b> .....	III
<b>ABSTRAK</b> .....	IV
<b>ABSTRACT</b> .....	V
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	VI
<b>DAFTAR ISI</b> .....	VIII
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	X
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	XV
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	XVI
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	8
1.3. Pertanyaan Penelitian .....	10
1.4. Tujuan Penelitian .....	10
1.5. Manfaat Penelitian .....	11
1.6. Keaslian Penelitian .....	11
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	25
2.1. Geomorfologi .....	25
2.1.1. Definisi .....	25
2.1.2. Geomorfologi dan Perubahan Lingkungan .....	27
2.2. Geomorfologi Fluvial: Prinsip Dasar dan Aplikasinya .....	27
2.2.1. Morfologi Sungai ( <i>River Morphology</i> ) .....	31
2.2.2. Proses Geomorfik pada Sungai .....	34
2.2.3. Perilaku Sungai ( <i>River Behaviour</i> ) .....	36
2.2.4. Penginderaan Jauh untuk Kajian Fluvial .....	42
2.3. Analisis Medan Digital ( <i>Digital Terrain Analysis</i> ) .....	43
2.3.1. Sumber, Struktur dan Kualitas Data .....	44
2.3.2. Turunan Data DEM ( <i>DEM Derivatives</i> ) .....	47
2.3.3. Analisis Medan Digital untuk Kajian Geomorfologi .....	51
2.4. Landasan Teori .....	51
2.5. Batasan Operasional .....	54
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	55
3.1. Bahan dan Alat Penelitian .....	55
3.1.1. Bahan Penelitian .....	55
3.1.2. Alat yang Digunakan .....	55
3.2. Cara Penelitian .....	56
3.2.1. Pemilihan Daerah Penelitian .....	56
3.2.2. Data yang Dikumpulkan dan Cara Pengumpulan Data .....	57
3.2.2.1. Tujuan 1 .....	59
3.2.2.2. Tujuan 2 .....	59
3.2.3. Cara Pengolahan dan Analisis Data .....	60
3.2.3.1. Metode Pengolahan dan Analisis Data untuk Mencapai Tujuan 1 .....	60
3.2.3.2. Metode Pengolahan dan Analisis Data untuk Mencapai Tujuan 2 .....	69
3.3. Tahapan Penelitian .....	76

<b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>77</b>
4.1. Deskripsi Kondisi Geografis Wilayah Penelitian.....	77
4.1.1. Geologi Gunungapi Merapi dan Kali Putih .....	77
4.1.2. Fasies Gunungapi di Kali Putih .....	84
4.1.3. Curah Hujan dan Iklim di Kali Putih .....	87
4.1.4. Dampak Letusan dan Lahar di Kali Putih pada Masa Lampau.....	91
4.1.5. Bangunan Pengendali Sedimen di Kali Putih .....	94
4.2. Dinamika Morfologi Sungai di Kali Putih Pasca Erupsi Merapi 2010 .....	97
4.2.1. Perubahan Morfologi Sungai di Kali Putih Pasca Erupsi Merapi 2010 .....	97
4.2.1.1. Perubahan Elevasi Sungai di Kali Putih Pasca Erupsi Merapi 2010 ...	100
4.2.1.2. Perubahan Lebar Sungai di Kali Putih Pasca Erupsi Merapi 2010.....	103
4.2.1.3. Perubahan Kemiringan Sungai di Kali Putih Pasca Erupsi Merapi 2010 .....	105
4.2.1.4. Perubahan Derajat Meander di Kali Putih Pasca Erupsi Merapi 2010 .....	107
4.2.1.5. Perubahan Indeks Teranyam di Kali Putih Pasca Erupsi Merapi 2010 .....	110
4.2.2. Estimasi Kecepatan Aliran dan Debit Lahar di Kali Putih.....	113
4.2.2.1. Penentuan dan Kalibrasi Nilai Kekasaran Manning.....	113
4.2.2.2. Aplikasi Nilai Kekasaran Manning untuk Perhitungan Kecepatan Aliran dan Debit Lahar .....	114
4.3. Dinamika Geomorfologi Fluvial di Kali Putih Pasca Erupsi Merapi 2010.....	119
4.3.1. Degradasi, Agradasi dan Imbangan Sedimen di Kali Putih .....	119
4.3.2. Perubahan Kondisi Geomorfologi Kali Putih Pasca Erupsi Merapi 2010 .....	129
4.3.3. Perubahan Kondisi Geomorfometri Kali Putih Pasca Erupsi Merapi 2010 .....	145
4.4. Pengelolaan DAS berbasis Analisis Karakteristik Geomorfologi Fluvial.....	153
4.4.1. Restorasi dan Rehabilitasi Kali Putih.....	153
4.4.2. Pengelolaan Sedimen di Kali Putih.....	159
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>163</b>
5.1. Kesimpulan .....	163
5.2. Saran .....	165
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>167</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>184</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1. Distribusi material piroklastik akibat erupsi Gunungapi Merapi 2010 dari citra satelit SPOT5 (ISIS-CNES) tanggal 15 November 2010 yang ditumpang susun dengan data Model Elevasi Digital (Peta RBI 1:25.000). Lingkaran merah menunjukkan jarak mendatar dari puncak.....	5
Gambar 1. 2. (a) Arah dan jangkauan letusan Gunungapi Merapi rentang tahun 1901-2010 (Thouret <i>et al.</i> , 2000), b) Persentase arah letusan Gunungapi Merapi rentang tahun 1920-2010. (Lavigne <i>et al.</i> , 2000). Ket: B : Barat; BD : Barat Daya; S : Selatan; TG : Tenggara .....	7
Gambar 1. 3. Jumlah dan persentase kejadian lahar pada sungai-sungai yang berhulu di Gunungapi Merapi pasca erupsi tahun 2010 (De Belizal, 2012).....	10
Gambar 2. 1. Keterkaitan bentuk dan proses geomorfologi sebagai inti kajian geomorfologi (Hugget, 2011).....	26
Gambar 2. 2. Sebuah tebing dan talus dilihat dari sisi pendekatan (a) bentuk, (b) proses, dan (c) respon-proses. (Hugget, 2011).....	27
Gambar 2. 3. Skema Sistem Fluvial (Charlton, 2008). .....	28
Gambar 2. 4. Hirarki lingkup kajian fluvial (a) unit daerah aliran sungai dan bentanglahan, (b) unit penggal sungai, unit geomorfik dan unit hidrolis (Fryirs and Brierley, 2013) .....	29
Gambar 2. 5. Ilustrasi klasifikasi alur sungai (Fryirs and Brierley, 2013).....	31
Gambar 2. 6. Variabilitas karakteristik morfologi sungai (Fryirs and Brierley, 2013).....	32
Gambar 2. 7. Variasi proses geomorfik yang terdapat pada suatu DAS (Fryirs and Brierley, 2013).....	35
Gambar 2. 8. Ilustrasi respon yang kompleks akibat perubahan pada sistem fluvial (Summerfield, 1991; Charlton, 2008) .....	37
Gambar 2. 9. Tipe-tipe keseimbangan dalam sungai (Fryirs and Brierley, 2013)	39
Gambar 2. 10. Respon sistem fluvial terhadap gangguan (Fryirs and Brierley, 2013).....	41
Gambar 2. 11. Lingkup kajian analisis medan digital (Hutchinson and Gallant, 2000).....	44
Gambar 2. 12. Metode pembuatan struktur data elevasi digital (a) vektor (b) raster (Li <i>et al.</i> , 2005; Hengl and Evans, 2009) .....	46
Gambar 2. 13. Teknik ekstraksi informasi karakteristik permukaan Bumi dari data Model Elevasi Digital (Pike <i>et al.</i> , 2009).....	48
Gambar 2. 14. Kerangka pemikiran .....	53
Gambar 3. 1. Lokasi penelitian .....	57
Gambar 3. 2. Ilustrasi perhitungan derajat meander .....	62

Gambar 3. 3. Ilustrasi perhitungan indeks teranyam.....	63
Gambar 3. 4 . Ilustrasi perhitungan perubahan parameter geometri alur dan lembah sungai .....	63
Gambar 3. 5 Ilustrasi perhitungan luas penampang sungai (Mc Kean <i>et al.</i> , 2009) .....	66
Gambar 3. 6 Ilustrasi pengukuran parameter geometri lembah sungai.....	67
Gambar 3. 7 Ilustrasi pemetaan geomorfologi alur sungai .....	69
Gambar 3. 8 Skema perhitungan perubahan morfologi dasar sungai dan imbalan sedimen.....	72
Gambar 3. 9 Alur kerja <i>Add-in Geomorphic Change Detection</i> untuk perhitungan dan segregasi imbalan sedimen .....	73
Gambar 3. 10 Ilustrasi pengambilan sampel sedimen permukaan dasar sungai ...	74
Gambar 3. 11 Skema perhitungan indeks kekasaran-elevasi dasar sungai menggunakan teknik Cavalli <i>et.al</i> (Cavalli <i>et al.</i> , 2008) .....	76
Gambar 3. 12. Diagram alir penelitian.....	77
Gambar 4. 1 Peta Geologi skala 1:50.000 yang dibuat oleh Wirakusumah <i>et al.</i> (1989) yang disederhanakan oleh Gertisser <i>et al.</i> (2012b) serta pembagian sejarah geologi Merapi oleh para peneliti.....	78
Gambar 4. 2 Kenampakan puncak Merapi serta fitur sisa guguran kaldera (Camus <i>et al.</i> , 2000).....	82
Gambar 4. 3 Penampang Stratigrafi di Kali Putih (Newhall <i>et al.</i> , 2000) .....	84
Gambar 4. 4 Fasies volkaniklastik yang membagi gunungapi menjadi 4 bagian; Sentral, Proksimal, Medial dan Distal (Bogie and Mackenzie, 1998; Bronto, 2006).....	85
Gambar 4. 5 Fasies Gunungapi Merapi dan Kali Putih (Ket: ALF=Aliran Lava Andesit, PF= Aliran Piroklastik, PS= Seruakan Piroklastik, T= Tepfra, jatuhan piroklastik, L = Lahar) .....	86
Gambar 4. 6 Pola curah hujan di (a) Stasiun Gunung Maron 1990-1999 dan (b) Babadan 1986-1998.....	88
Gambar 4. 7 Pola curah hujan di Stasiun Babadan 2010-2012 dan kejadian lahar di Kali Putih.....	89
Gambar 4. 8 Hujan pada kejadian lahar terpilih, (a) 5 Desember 2010 (b) 8 Desember 2010 (c) 9 Januari 2011 (d) 22 Januari 2011 (e) 4 Maret 2011 (f) 21 Maret 2011.....	90
Gambar 4. 9 Nilai Indeks Eksplosifitas (VEI) Gunungapi Merapi sejak abad 15 hingga abad 21 ( <i>Global Volcanism Program</i> , 2013; Voight <i>et al.</i> , 2000).....	91
Gambar 4. 10 Kejadian lahar di Gunungapi Merapi mulai tahun 1930 hingga 2011 (Lavigne <i>et al.</i> , 2000) .....	92
Gambar 4. 11 Distribusi Bangunan Pengendali Sedimen di Kali Putih.....	96
Gambar 4. 12 Jenis bangunan pengendali sedimen pasca letusan Merapi 2010 di Kali Putih (Foto: PU Merapi, 2011) .....	96

Gambar 4. 13 Data DEM dari (a) Alos tahun 2008 dan (b) LiDAR tahun 2012 yang digunakan untuk analisis perubahan morfologi sungai di Kali Putih.....	98
Gambar 4. 14 (a) Citra Quickbird tahun 2006 dan (b) Foto udara tahun 2012 yang digunakan untuk analisis perubahan morfologi sungai di Kali Putih .....	99
Gambar 4. 15 Distribusi penampang melintang untuk kajian perubahan morfologi sungai.....	100
Gambar 4. 16 (a) Distribusi perubahan elevasi antara tahun 2008 dan 2012 di Kali Putih (b) kondisi elevasi sungai tahun 2008 dan 2012 di Kali Putih (c) Perubahan elevasi antara tahun 2008 dan 2012 di Kali Putih (Lampiran 1).....	101
Gambar 4. 17 (a) Distribusi perubahan lebar sungai antara tahun 2008 dan 2012 di Kali Putih (b) kondisi lebar sungai tahun 2008 dan 2012 di Kali Putih (c) Perubahan lebar sungai antara tahun 2008 dan 2012 di Kali Putih (Lampiran 2).....	104
Gambar 4. 18 (a) Distribusi perubahan kemiringan sungai antara tahun 2008 dan 2012 di Kali Putih (b) kondisi kemiringan sungai tahun 2008 dan 2012 di Kali Putih (c) Perubahan kemiringan sungai antara tahun 2008 dan 2012 di Kali Putih (Lampiran 2).....	106
Gambar 4. 19 (a) Distribusi perubahan derajat meander antara tahun 2008 dan 2012 di Kali Putih (b) kondisi derajat meander tahun 2008 dan 2012 di Kali Putih (c) Perubahan derajat meander antara tahun 2008 dan 2012 di Kali Putih (Lampiran 3).....	108
Gambar 4. 20 Citra Quickbird 2008 sebelum input material volkaniklastik (kiri) dan foto udara 2012 yang menunjukkan kenampakan sungai teranyam ( <i>braided</i> ) setelah input material volkaniklastik (kanan) di Dusun Klumpukan.....	111
Gambar 4. 21 (a) Distribusi perubahan indeks teranyam antara tahun 2008 dan 2012 di Kali Putih (b) kondisi indeks teranyam tahun 2008 dan 2012 di Kali Putih (c) Perubahan indeks teranyam antara tahun 2008 dan 2012 di Kali Putih (Lampiran 3).....	112
Gambar 4. 22 Penampang melintang kondisi lembah sungai tahun 2008 dan 2012 di Kali Putih.....	115
Gambar 4. 23 (a) Distribusi estimasi debit lahar tahun 2010-2012 di Kali Putih (b) estimasi debit lahar tahun 2010-2012 di Kali Putih (c) estimasi nilai kekuatan sungai spesifik dan rerata batas tegangan geser tahun 2010-2012 di Kali Putih (Lampiran 4) .....	117
Gambar 4. 24 Peta <i>Thresholded DEM of Difference (DoD)</i> lengkap dengan distribusi perubahan elevasi berdasarkan area dan volume yang dibuat dengan menggunakan <i>add-in Geomorphic Change</i>	

	<i>Detection.</i> Warna biru pada grafik menunjukkan deposisi, sedangkan warna merah menunjukkan erosi (Lampiran 6).....	121
Gambar 4. 25	Segmen sungai yang digunakan untuk analisis imbalanced sedimen dengan metode morfologi.....	122
Gambar 4. 26	(a) Perbandingan erosi dan deposisi pada setiap segmen sungai di Kali Putih (b) dominasi proses pada setiap segmen dari hasil perhitungan imbalanced sedimen.....	123
Gambar 4. 27	Variasi nilai (a) volume (b) luas dan (c) kedalaman erosi dan deposisi pada masing masing segmen di Kali Putih. (Lampiran 7) .....	124
Gambar 4. 28	(a) Variasi ukuran material material volkaniklastik (b) Distribusi ukuran material volkaniklastik di Kali Putih pasca input material volkaniklastik (Lampiran 9) .....	126
Gambar 4. 29	(a) Distribusi gradasi ukuran butir (b) D50 ukuran butir material volkaniklastik di Kali Putih pasca input material volkaniklastik (Lampiran 10).....	128
Gambar 4. 30	Kondisi geomorfologi sebelum dan sesudah input material volkaniklastik .....	130
Gambar 4. 31	Peta perubahan kondisi geomorfologi sungai di Kali Putih pasca input material volkaniklastik .....	132
Gambar 4. 32	Distribusi perubahan elevasi pada setiap kelas perubahan geomorfologi di Kali Puith. Warna merah menunjukkan erosi, warna biru menunjukkan deposisi dan warna abu-abu menunjukkan total perubahan volumetrik (Lampiran 8).....	134
Gambar 4. 33	Skema pemisahan ukuran partikel pada proses aliran lahar (Vallance, 2005) .....	136
Gambar 4. 34	(a) Distribusi erosi dasar sungai dan tebing sungai pasca kejadian lahar 2010-2012 (b) kenampakan erosi tebing sungai dan dasar sungai di Desa Blongkeng ( <a href="https://oaseindisasters.files.wordpress.com">https://oaseindisasters.files.wordpress.com</a> , 2011) .....	138
Gambar 4. 35	Siklus kejadian erosi tebing sungai. Kejadian erosi tebing sungai biasanya merupakan gabungan dua proses yaitu fluvial dan gerak massa batuan. (Brierley and Fryirs, 2005).....	139
Gambar 4. 36	(a) Distribusi erosi dan deposisi pasca kejadian lahar 2010-2012 (b) kenampakan dasar sungai di PU-D2 (Mranggen) (Nugraha, 2015) .....	140
Gambar 4. 37	(a) Distribusi luapan lahar di Jumoyo akibat lahar tahun 2011 (b) kenampakan lapangan perubahan alur sungai akibat lahar ( <a href="http://lutvie.magelangdailyphoto.com">http://lutvie.magelangdailyphoto.com</a> , 2011) .....	141
Gambar 4. 38	(a) Kemungkinan kejadian defluvasi ke arah barat (Kali Blongkeng) pasca kejadian lahar 2010-2012 (b) kenampakan	

kondisi alur sungai dan arah luapan lahar di Sirahan (Nugraha,2016).....	143
Gambar 4. 39 (a) Kemungkinan kejadian defluvisasi ke arah tenggara (Kali Batang) pasca kejadian lahar 2010-2012 (b) kenampakan perubahan posisi alur sungai dan arah defluvisasi di PU-D2 (Mranggen) (Nugraha, 2015).....	144
Gambar 4. 40 Peta dan data perubahan kondisi kemiringan lereng di Kali Putih pasca input material volkaniklastik .....	146
Gambar 4. 41 Peta dan data perubahan kondisi arah hadap lereng di Kali Putih pasca input material volkaniklastik .....	147
Gambar 4. 42 Peta dan data perubahan kondisi <i>General Curvature</i> di Kali Putih pasca input material volkaniklastik .....	149
Gambar 4. 43 Peta dan data perubahan kondisi <i>Plan Curvature</i> di Kali Putih pasca input material volkaniklastik .....	150
Gambar 4. 44 Peta dan data perubahan kondisi <i>Profile Curvature</i> di Kali Putih pasca input material volkaniklastik .....	151
Gambar 4. 45 Peta dan data perubahan kondisi kekasaran permukaan di Kali Putih pasca input material volkaniklastik.....	152
Gambar 4. 46 Karakteristik diversitas sungai di Kali Putih sesuai Fryirs and Brierley (2013) .....	155
Gambar 4. 47 Rencana pembangunan bangunan pengendali sedimen di bagian distal Kali Putih (Anonim, 2011) .....	157
Gambar 4. 48 (a) Distribusi estimasi debit maksimum yang dapat ditampung sungai di Kali Putih (b) estimasi debit maksimum yang dapat ditampung sungai di Kali Putih (c) estimasi nilai kekuatan sungai spesifik dan rerata batas tegangan geser tahun untuk debit maksimum (Lampiran 2) .....	158
Gambar 4. 49 Penambangan pasir di Kali Putih pasca input material volkaniklastik (De Belizal, 2012).....	159
Gambar 4. 50 Kapasitas tampung sedimen pada setiap segmen sungai di Kali Putih (Lampiran 11) .....	161

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1. Kronologi letusan Gunungapi Merapi 2010 .....	3
Tabel 1. 2. Perbandingan penelitian sebelumnya dengan penelitian yang dilakukan .....	19
Tabel 2. 1. Perbandingan metode akuisisi data DEM .....	45
Tabel 2. 2. Karakteristik atribut utama dan atribut turunan yang dapat diekstraksi dari data DEM.....	49
Tabel 3. 1. Kebutuhan data untuk mencapai tujuan 1 .....	59
Tabel 3. 2. Kebutuhan data untuk mencapai tujuan 2 .....	59
Tabel 3. 3. Parameter yang digunakan dalam kajian perubahan morfologi alur dan lembah sungai .....	61
Tabel 3. 4 Parameter yang digunakan dalam estimasi debit lahar 2010-2012 dan debit maksimum .....	65
Tabel 3. 5. Matrik pengukuran perubahan geomorfologi alur sungai.....	70
Tabel 3. 6. Parameter yang digunakan dalam kajian perubahan karakteristik geomorfometri alur sungai .....	75
Tabel 4. 1 Pembagian perkembangan geologi Gunungapi Merapi menurut beberapa peneliti .....	80
Tabel 4. 2 Sejarah kejadian lahar di Kali Putih (1969-2012).....	93
Tabel 4. 3 Jenis bangunan pengendali sedimen yang ada di Gunungapi Merapi .....	95
Tabel 4. 4 Kalibrasi nilai Manning untuk estimasi kecepatan dan debit lahar di Merapi dan Ruapehu .....	113
Tabel 4. 5 Segregasi budget sedimen berdasarkan klasifikasi perubahan kondisi geomorfologi .....	131
Tabel 4. 6 Proses geomorfologi yang dominan terjadi di Kali Putih akibat input material volkaniklastik.....	135

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1.** Data penampang melintang dan perubahan elevasi dasar sungai akibat input material volkaniklastik di Kali Putih
- Lampiran 2.** Data perubahan lebar dan kemiringan sungai akibat input material volkaniklastik di Kali Putih
- Lampiran 3.** Data perubahan derajat meander dan indeks teranyam akibat input material volkaniklastik di Kali Putih
- Lampiran 4.** Estimasi debit lahar, kekuatan sungai dan rerata batas tegangan geser pada kejadian 2010-2012 di Kali Putih
- Lampiran 5.** Estimasi debit maksimum, kekuatan sungai dan rerata batas tegangan geser yang dapat ditampung per penampang sungai di Kali Putih
- Lampiran 6.** Total segregasi budget sedimen hasil perbandingan DEM di Kali Putih
- Lampiran 7.** Segregasi budget sedimen hasil perbandingan DEM pada setiap segmen di Kali Putih
- Lampiran 8.** Segregasi budget sedimen hasil perbandingan DEM pada setiap perubahan kondisi geomorfologi di Kali Putih
- Lampiran 9.** Data sedimen Kali Putih pasca Erupsi Merapi 2010
- Lampiran 10.** Perhitungan nilai D16, D35, D50, D84 dan D95 sedimen Kali Putih pasca Erupsi Merapi 2010
- Lampiran 11.** Kapasitas tampung sedimen pada setiap segmen di Kali Putih pasca Erupsi Merapi 2010