Pemodelan Direct Runoff sebagai Indikator Degradasi Jasa Ekosistem Pengaturan Aliran Air di Daerah
Aliran Sungai Dengkeng Tahun 2014-2044
Satrio Budiman, Prof. Dr. Slamet Suprayogi, M.S.; Dr.Sc. Andung Bayu Sekaranom, S.Si., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL ..... **i**
HALAMAN PENGESAHAN ..... **ii**
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI ..... **iii**
INTISARI ..... **iv**
ABSTRACT ..... **v**
KATA PENGANTAR ..... **vi**
DAFTAR ISI ..... **ix**
DAFTAR TABEL ..... **xii**
DAFTAR GAMBAR ..... **xiv**
DAFTAR LAMPIRAN ..... **xv**
BAB 1 PENDAHULUAN **1**
1.1. Latar Belakang 1
1.2. Perumusan Masalah 4
1.3. Tujuan Penelitian 5
1.4. Manfaat Penelitian 5
1.5. Tinjauan Pustaka 6
1.5.1. Limpasan Permukaan 6
1.5.2. Jasa Ekosistem Pengaturan Aliran Air 6
1.5.3. Keterkaitan Skenario Perubahan Iklim dengan Sumberdaya Air 8
1.5.4. Koreksi Bias Model Iklim 10
1.5.5. Penutup Lahan 11
1.5.6. Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs 13
1.5.7. Respons Hidrologis DAS terhadap Perubahan Iklim dan Perubahan Penutup Lahan 15
1.6. Penelitian Sebelumnya 16
1.7. Kerangka Pemikiran 21
1.8. Batasan Operasional 22
BAB 2 METODE PENELITIAN **24**
2.1. Pemilihan Lokasi Penelitian 24
2.2. Alat dan Bahan Penelitian 25

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Pemodelan Direct Runoff sebagai Indikator Degradasi Jasa Ekosistem Pengaturan Aliran Air di Daerah
Aliran Sungai Dengkeng Tahun 2014-2044**
Satrio Budiman, Prof. Dr. Slamet Suprayogi, M.S.; Dr.Sc. Andung Bayu Sekaranom, S.Si., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

2.3. Metode Pengumpulan Data Penelitian 25
2.4. Metode Pengolahan Data Penelitian 26
2.4.1. Pengisian Data Hujan yang Hilang 26
2.4.2. Ekstraksi Model Iklim EC-Earth3-CC dan MPI-ESM1 27
2.4.3. Koreksi Bias Model Iklim 29
2.4.4. Proyeksi Penutup Lahan 30
2.4.5. Determinasi Hasil Air 33
2.4.6. Kalibrasi dan Validasi SWYM InVEST 38
2.4.7. Degradasi Jasa Ekosistem Pengaturan Aliran Air 39
2.4.8. Respons Hidrologis terhadap Perubahan Iklim dan Perubahan Penutup Lahan 40
2.5. Analisis Data Penelitian 47
2.6. Batasan Penelitian 48
2.7. Tahapan Penelitian 48
BAB 3 DESKRIPSI WILAYAH 50
3.1. Letak Geografis 50
3.2. Karakteristik Topografi 50
3.3. Karakteristik Iklim 51
3.4. Kondisi Hidrologi 53
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN 54
4.1. Seasonal Water Yield Model InVEST untuk Mengestimasikan *Direct Runoff* di DAS Dengkeng 54
4.1.1. Parameter Klimatologi dan Biofisik 54
4.1.2. Kalibrasi dan Validasi 57
4.1.3. Uji Performa Model 60
4.2. Perubahan Iklim dan Perubahan Penutup Lahan di DAS Dengkeng 61
4.2.1. Koreksi Bias Model Iklim 62
4.2.2. Proyeksi Curah Hujan dan Suhu Udara 65
4.2.3. Simulasi Cellular Automata–Artificial Neural Network 71
4.2.4. Iterasi Proyeksi Penutup Lahan 77

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Pemodelan Direct Runoff sebagai Indikator Degradasi Jasa Ekosistem Pengaturan Aliran Air di Daerah
Aliran Sungai Dengkeng Tahun 2014-2044**
Satrio Budiman, Prof. Dr. Slamet Suprayogi, M.S.; Dr.Sc. Andung Bayu Sekaranom, S.Si., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.3. *Direct Runoff* sebagai Indikator Degradasi Jasa Ekosistem Pengaturan Aliran Air 80
4.3.1. Potensi *Direct Runoff* 81
4.3.2. Degradasi Jasa Ekosistem Pengaturan Aliran Air 86
4.4. Respons Hidrologis DAS Dengkeng terhadap Perubahan Iklim dan Perubahan Penutup Lahan 91
4.4.1. Analisis Sensitivitas *Direct Runoff* 91
4.4.2. Kepentingan Relatif dan Efek Gabungan Perubahan Iklim dan Penutup Lahan 96
4.4.3. Uji Asumsi Klasik dan Kelayakan Model Regresi Data Panel 98
4.4.4. Dimensi Spasial-Temporal Curah Hujan, *Curve Number*, dan Degradasi Jasa Ekosistem Pengaturan Aliran Air 101
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN 104
5.1. Kesimpulan 104
5.2. Saran 105
DAFTAR PUSTAKA 106
LAMPIRAN 123

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Pemodelan Direct Runoff sebagai Indikator Degradasi Jasa Ekosistem Pengaturan Aliran Air di Daerah
Aliran Sungai Dengkeng Tahun 2014-2044**
Satrio Budiman, Prof. Dr. Slamet Suprayogi, M.S.; Dr.Sc. Andung Bayu Sekaranom, S.Si., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Penelitian terkait topik penelitian 18
Tabel 2.1. Alat penelitian 25
Tabel 2.2. Sumber data penelitian 26
Tabel 2.3. Kelengkapan data hujan 27
Tabel 2.4. Spesifikasi data model iklim EC-Earth3-CC 28
Tabel 2.5. Fitur untuk ekstraksi data NetCDF 28
Tabel 2.6. Uji akurasi penutup lahan 31
Tabel 2.7. Tahapan model CA-ANN pada MOLUSCE 33
Tabel 2.8. Klasifikasi CN berdasarkan HSG 36
Tabel 2.9. Parameter SWYM pada InVEST 38
Tabel 2.10. Tingkat uji performa 39
Tabel 2.11. Pendekatan respons hidrologis terhadap perubahan iklim dan perubahan penutup lahan 41
Tabel 2.12. Simulasi sensitivitas menggunakan OAT 41
Tabel 2.13. Simulasi kepentingan relatif dan efek gabungan dengan RII dan CEI 42
Tabel 2.14. Klasifikasi RII dan CEI 43
Tabel 2.15. Hipotesis dalam uji pemilihan model 46
Tabel 3.1. Kabupaten yang termasuk ke dalam DAS Dengkeng 50
Tabel 3.2. Klasifikasi kemiringan lereng di DAS Dengkeng 51
Tabel 4.1. Nilai optimasi parameter yang digunakan untuk kalibrasi 58
Tabel 4.2. Contoh iterasi pada proses kalibrasi manual 58
Tabel 4.3. Uji performa SWYM InVEST 61
Tabel 4.4. Uji Wilcoxon pada GCM sebelum dan sesudah koreksi bias 64
Tabel 4.5. Rata-rata curah hujan tahunan (mm) untuk periode historis dan proyeksi 67
Tabel 4.6. Uji akurasi klasifikasi penutup lahan dari MapBiomas Indonesia tahun 2024 71
Tabel 4.7. Korelasi faktor pendorong dalam simulasi CA-ANN 74

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Pemodelan Direct Runoff sebagai Indikator Degradasi Jasa Ekosistem Pengaturan Aliran Air di Daerah
Aliran Sungai Dengkeng Tahun 2014-2044**
Satrio Budiman, Prof. Dr. Slamet Suprayogi, M.S.; Dr.Sc. Andung Bayu Sekaranom, S.Si., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 4.8. Uji akurasi CA-ANN 76
Tabel 4.9. Luas penutup lahan (km^2) di DAS Dengkeng tahun 2004–2044 77
Tabel 4.10. Tebal DRO (mm) berdasarkan penutup lahan di DAS Dengkeng tahun 2014–2044 81
Tabel 4.11. Curah hujan rata-rata tahunan (mm/tahun) yang diterima menurut penutup lahan di DAS Dengkeng tahun 2014–2044 84
Tabel 4.12. Perubahan parameter input untuk analisis sensitivitas 91
Tabel 4.13. Respons DRO terhadap perubahan variabel input 92
Tabel 4.14. *Sensitivity index* 92
Tabel 4.15. Hasil simulasi skenario DRO untuk RII dan CEI 97
Tabel 4.16. Uji Chow 99
Tabel 4.17. Uji Hausman 99
Tabel 4.18. Model terpilih berdasarkan regresi data panel 99
Tabel 4.19. *Variance inflation factor* 100
Tabel 4.20. Uji heteroskedastisitas menggunakan uji Glejser 100
Tabel 4.21. Uji kelayakan FEM pada regresi data panel 101

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Pemodelan Direct Runoff sebagai Indikator Degradasi Jasa Ekosistem Pengaturan Aliran Air di Daerah
Aliran Sungai Dengkeng Tahun 2014-2044**
Satrio Budiman, Prof. Dr. Slamet Suprayogi, M.S.; Dr.Sc. Andung Bayu Sekaranom, S.Si., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Konsep jasa ekosistem pengaturan aliran air 7
Gambar 1.2. Skenario perubahan iklim CMIP6 9
Gambar 1.3. Moore's *neighborhood* 12
Gambar 1.4. Proses pembentukan hasil air pada SWYM InVEST 14
Gambar 1.5. Kerangka pemikiran 21
Gambar 2.1. Lokasi penelitian 24
Gambar 2.2. Lokasi DAS Dengkeng pada *grid* model iklim EC-Earth3-CC 29
Gambar 2.3. Jendela CDBC 30
Gambar 2.4. Peta distribusi titik sampel untuk validasi penutup lahan tahun 2024 32
Gambar 2.5. Jendela SWYM pada InVEST 34
Gambar 2.6. Mekanisme SWYM pada InVEST 37
Gambar 2.7. Sampel untuk regresi data panel 45
Gambar 2.8. Diagram alir penelitian 49
Gambar 3.3. Klasifikasi kemiringan lereng di DAS Dengkeng 51
Gambar 3.1. Stasiun hujan di DAS Dengkeng 52
Gambar 3.2. Waduk Rowo Jombor 53
Gambar 4.1. Contoh parameter input SWYM InVEST: curah hujan, CN II), dan HSG 55
Gambar 4.2. Hidrograf dan hyetograf pada periode kalibrasi dan validasi 60
Gambar 4.3. *Boxplot* curah hujan bulanan observasi dan GCM tahun 2005 –2014 62
Gambar 4.4. *Boxplot* rata-rata suhu udara bulanan Stasiun Klimatologi Kaliurang dan GCM 63
Gambar 4.5. Uji Kolmogorov-Smirnov pada GCM sebelum dan sesudah koreksi bias 65
Gambar 4.6. Rata-rata curah hujan tahunan periode 2005–2044 66
Gambar 4.7. Rata-rata curah hujan tahunan periode historis dan proyeksi 68
Gambar 4.8. Rata-rata suhu udara tahunan periode 2005–2044 69
Gambar 4.9. Faktor pendorong perubahan penutup lahan untuk simulasi CA-ANN 73
Gambar 4.10. Kurva pembelajaran CA-ANN 75
Gambar 4.11. Kurva *multiple-resolution budget* 76
Gambar 4.12. Perubahan penutup lahan di DAS Dengkeng tahun 2004–2044 78
Gambar 4.13. Peta penutup lahan di DAS Dengkeng pada periode historis dan proyeksi 79
Gambar 4.14. Peta potensi DRO di DAS Dengkeng tahun 2014–2044 84
Gambar 4.15. Kontribusi degradasi jasa ekosistem pengaturan aliran air menurut penutup lahan di DAS Dengkeng 86
Gambar 4.16. Peta degradasi jasa ekosistem pengaturan aliran air di DAS Dengkeng tahun 2014–2044 90

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Pemodelan Direct Runoff sebagai Indikator Degradasi Jasa Ekosistem Pengaturan Aliran Air di Daerah
Aliran Sungai Dengkeng Tahun 2014-2044**
Satrio Budiman, Prof. Dr. Slamet Suprayogi, M.S.; Dr.Sc. Andung Bayu Sekaranom, S.Si., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Curah hujan dan evapotranspirasi rata-rata bulanan (dalam mm) di DAS Dengkeng periode 2005–2014 124
Lampiran 2. Curah hujan dan evapotranspirasi rata-rata bulanan (dalam mm) di DAS Dengkeng periode 2015–2024 125
Lampiran 3. Proyeksi curah dan evapotranspirasi hujan rata-rata bulanan (dalam mm) di DAS Dengkeng periode 2025–2034 126
Lampiran 4. Proyeksi curah hujan dan evapotranspirasi rata-rata bulanan (dalam mm) di DAS Dengkeng periode 2035–2044 127
Lampiran 5. Klasifikasi iklim menurut Schmidt-Ferguson di DAS Dengkeng berdasarkan curah hujan bulanan periode 2005–2024 128
Lampiran 6. Kalibrasi dan validasi *direct runoff* pada SWYM InVEST 129
Lampiran 7. Data panel tahun 2014, 2024, 2034, dan 2044 130
Lampiran 8. *Output common effect model* (CEM) 131
Lampiran 9. *Output fixed effect model* (FEM) 132
Lampiran 10. *Output random effect model* (REM) 133
Lampiran 11. Uji Chow dan Hausman 134
Lampiran 12. Uji heteroskedastisitas 135
Lampiran 13. Titik validasi untuk uji akurasi penutup lahan di DAS Dengkeng 136