

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
INTISARI	iv
ABSTRACT	v
PRAKATA	vi
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	9
1.3. Tujuan Penelitian	17
1.4. Manfaat Penelitian	18
1.5. Keaslian Penelitian	18
BAB II TINJAUAN PUSTAKA dan KERANGKA PEMIKIRAN	
2.1. Tinjauan Pustaka	36
2.1.1. Ekosistem Daerah Aliran Sungai dan Karakteristik Sungai	36
2.1.1.1. Pengertian Daerah Aliran Sungai	36
2.1.1.2. Karakteristik Sungai	39
2.1.2. Pencemaran dan Sumber Pencemaran Air	41
2.1.3. Kualitas Air Sungai	45
2.1.4. Kerentanan	47
2.1.4.1. Konsep Kerentanan	47
2.1.4.2. Kuantifikasi Kerentanan	50
2.1.5. Indeks	52
2.1.5.1. Struktur Matematika Indeks	53
2.1.5.2. Sub Indeks	55
2.1.5.3. Agregasi (Penggabungan) Fungsi Sub Indeks	61
2.1.6. Jaringan Syaraf Tiruan (JST)	65
2.1.6.1. Pengertian Jaringan Syaraf Tiruan (JST)	65
2.1.6.2. Arsitektur Jaringan	68
2.1.6.3. Algoritma <i>Backpropagation</i>	72
2.1.6.4. Aplikasi Jaringan Syaraf Tiruan dalam berbagai Bidang	76
2.1.6.5. Jaringan Syaraf Tiruan dan Sumberdaya Air	78

	Halaman
2.2. Kerangka Pemikiran	80
2.3. Pertanyaan Penelitian	86
2.4. Batasan Operasional	86
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1. Pendekatan Penelitian	94
3.2. Jenis dan Sumber Data	95
3.3. Alat Penelitian	97
3.4. Cara Pengumpulan Data dan Pengukuran Variabel Penelitian	98
3.4.1. Kualitas Air Sungai	98
3.4.1.1. Pengumpulan Data Sekunder Kualitas Air Sungai	98
3.4.1.2. Pengumpulan Data Primer Kualitas Air Sungai	98
3.4.2. Pengumpulan Data Curah Hujan	101
3.4.3. Pengumpulan Data Penggunaan Lahan dan Tutupan Vegetasi	101
3.4.3.1. Data Penggunaan Lahan	101
3.4.3.2. Data Tutupan Vegetasi	102
3.4.4. Pengumpulan Data Kependudukan	105
3.4.5. Pengumpulan Data Hidrogeometrik Sungai	106
3.4.5.1. Pengukuran Debit Sungai	106
3.4.5.2. Pengukuran Kecepatan Aliran Sungai	107
3.4.5.3. Data Sedimen Dasar Sungai	109
3.5. Analisis Data	109
3.5.1. Identifikasi dan Pemilihan Indikator	109
3.5.2. Analisis Data Sekunder Kualitas Air Sungai	113
3.5.2.1. Seleksi Data	113
3.5.2.2. Standarisasi Data	114
3.5.2.3. Analisis Data <i>Outlier</i>	114
3.5.2.4. Analisis Faktor	116
3.5.3. Analisis Data Primer Kualitas Air Sungai	120
3.5.4. Analisis Data Hujan	121
3.5.5. Analisis Data Kependudukan	124
3.5.6. Analisis Data Hidrogeometrik Sungai	125
3.5.7. Analisis Data Penggunaan Lahan dan Tutupan Vegetasi	126
3.6. Formulasi Indeks Kerentanan Air Sungai terhadap Pencemaran	129
3.6.1. Pembobotan	132
3.6.2. Pembuatan Kurva Sub-Indeks	137
3.6.3. Agregasi Indeks	139
3.7. Prediksi Tingkat Kerentanan Air Permukaan terhadap Pencemaran dengan Pendekatan <i>Artificial Neural Network (ANN)</i> / Jaringan Syaraf Tiruan (JST)	140

	Halaman
3.7.1. Perancangan Jaringan Syaraf Tiruan (JST)	140
3.7.2. Ukuran Jaringan (<i>Network Size</i>)	141
3.7.3. Variabel Input dan Output	142
BAB IV DESKRIPSI WILAYAH	
4.1. Lokasi Daerah Penelitian	147
4.1.1. Letak Geografis	147
4.1.2. Cakupan Wilayah Administrasi	147
4.2. Iklim	150
4.2.1. Suhu Rata-rata Bulanan	151
4.2.2. Curah Hujan Rata-rata Bulanan	151
4.2.3. Curah Hujan Rata-rata DAS	153
4.2.4. Jumlah Bulan Basah	153
4.3. Kondisi Fisik Daerah Penelitian	155
4.3.1. Topografi dan Kemiringan Lereng	155
4.3.2. Formasi Batuan	156
4.3.3. Geomorfologi	159
4.3.4. Tanah	160
4.3.5. Hidrologi	161
4.4. Penggunaan Lahan	168
4.5. Tutupan Vegetasi	171
4.6. Kependudukan	172
4.7. Sumber Pencemar Potensial dari Subsektor Industri di Sekitar DAS Garang	176
BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	
5.1. Indikator Kerentanan Air Sungai terhadap Pencemaran	183
5.1.1. Pembenaran untuk Komponen Sumber Daya Air dan Indikator serta Ambang Batasnya	190
5.1.2. Pembenaran untuk Komponen Biogeofisik dan Indikator serta Ambang Batasnya	191
5.1.2.1. Curah Hujan	191
5.1.2.2. Hidrogeometri Sungai	192
5.1.2.3. Penggunaan Lahan dan Tutupan Vegetasi	193
5.1.3. Pembenaran untuk Komponen Sosial dan Indikator serta Ambang Batasnya	195
5.2. Analisis Hubungan Fungsional Indikator Kerentanan	195
5.3. Indeks Kerentanan Air Sungai terhadap Pencemaran	197
5.3.1. Indeks Kualitas Air	197
5.3.1.1. Penanganan Data Kualitas Air	197
5.3.1.2. Penentuan Indeks Kualitas Air	212
5.3.2. Indeks Curah Hujan	227
5.3.3. Indeks Penggunaan Lahan dan Tutupan Vegetasi	230
5.3.4. Indeks Kependudukan	234
5.3.5. Indeks Hidrogeometrik Sungai	236

	Halaman
5.3.6. Formulasi Indeks Komposit Kerentanan Air Sungai terhadap Pencemaran (IKASP)	240
5.4. Aplikasi Indeks Kerentanan Air Sungai terhadap Pencemaran di Sub DAS Garang Hilir Semarang	244
5.4.1. Keragaan Variabel-variabel IKASP di Tiap Segmen	248
5.4.2. Kualitas Air Sungai Garang bagian Hilir	258
5.5. Prediksi Kerentanan Air Permukaan terhadap Pencemaran	266
5.6. Kebaruan dan Dialog Teori	276
5.6.1. Kebaruan (<i>Novelty</i>)	276
5.6.2. Dialog Teori	279
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	
6.1. Kesimpulan	285
6.2. Saran	286
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1.1. Penelitian Sejenis yang Pernah Dilakukan	27
Tabel 2.1. Indikator, Asumsi Indikator dan Variabel yang Mempengaruhi Pencemaran Air Sungai	84
Tabel 3.1. Perhitungan Kedalaman Pengukuran dan Kecepatan Rata-rata	108
Tabel 3.2. Asumsi Hubungan Fungsional yang Digunakan dalam Kerangka Kerentanan	111
Tabel 3.3. Metode Analisis Parameter Kualitas Air	121
Tabel 3.4. Kategori Rerata Hujan Tahunan dan Jumlah Bulan Basah	123
Tabel 3.5. Kategori Kepadatan dan Laju Pertumbuhan Penduduk	125
Tabel 3.6. Kategori Morfometri Sungai	126
Tabel 3.7. Klasifikasi Hasil Transformasi NDVI	128
Tabel 3.8. Klasifikasi Jenis Penggunaan lahan dan Tutupan Vegetasi	129
Tabel 3.9. Spesifikasi Indikator yang Digunakan dalam Kerangka Kerentanan	127
Tabel 3.10. Kriteria Tingkat Kerentanan	133
Tabel 3.11. <i>Random Consistency (RC)</i>	135
Tabel 3.12. Kisaran Nilai IKASP	133
Tabel 3.13. Transformasi Variabel Input	144
Tabel 4.1. Luas Area tiap Kelurahan di Sub DAS Garang Hilir Semarang	149
Tabel 4.2. Curah Hujan Rata-rata Bulanan setiap Stasiun Hujan di Sekitar Wilayah Sub DAS Garang Hilir Tahun 2004 -2014	152
Tabel 4.3. Curah hujan Rata-rata Wilayah Sub DAS Garang Hilir	153
Tabel 4.4. Karakteristik Curah Hujan Setiap Stasiun Penakar Hujan di Sekitar Wilayah Sub DAS Garang Hilir Tahun 2004 -2014	155
Tabel 4.5. Macam Tanah dan Sebarannya Di Sub DAS Garang Hilir	161
Tabel 4.6. Morfometri Sub-DAS Garang Hilir	165
Tabel 4.7. Penggunaan Lahan di Sub DAS Garang Hilir	169
Tabel 4.8. Tingkat Kerapatan Vegetasi berdasarkan Nilai NDVI	172
Tabel 5.1. Indikator Kerentanan Air Sungai terhadap Pencemaran	187
Tabel 5.2. Konsistensi Pengukuran tiap Parameter Kualitas Air di Sungai Garang Tahun 1999-2014	200
Tabel 5.3. Persentase Jumlah Data Baik, <i>Missing Value</i> , <i>Censored Data</i> dan <i>Outlier</i>	202
Tabel 5.4. Parameter Awal Terpilih untuk Sungai Garang Hilir	204
Tabel 5.5. Rerata, Rentang minimum-maksimum dan Standar Deviasi Data Sekunder beberapa Parameter Kualitas Air di Sungai Garang	206
Tabel 5.6. Nilai <i>Measures of Sampling Adequacy (MSA)</i>	207
Tabel 5.7. <i>Total Variance Explained</i> dari Keduabelas Parameter	209
Tabel 5.8. <i>Rotated Component Matrix</i> Parameter Kualitas Air	210
Tabel 5.9. Pembobotan Indeks Kualitas Air	214
Tabel 5.10. Pembobotan Indeks Curah Hujan	228

Halaman

Tabel 5.11. Pembobotan Indeks Penggunaan Lahan dan Tutupan Vegetasi	231
Tabel 5.12. Pembobotan Indeks Kependudukan	235
Tabel 5.13. Pembobotan Indeks Hidrogeometrik Sungai	238
Tabel 5.14. Pembobotan Indeks Komposit Kerentanan	242
Tabel 5.15. Nilai Indeks Kerentanan per Indikator masing-masing Segmen	247
Tabel 5.16. Hasil Pengukuran Kondisi Hidrogeometri Sungai Garang	256
Tabel 5.17. Koordinat Lokasi Sampling	260

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Tahapan Proses Penentuan Indeks Kualitas Lingkungan	54
Gambar 2.2. Fungsi Sub Indeks Linier Monoton Naik	55
Gambar 2.3. Fungsi Sub Indeks Linier dengan Skala Menurun	56
Gambar 2.4. Bentuk Umum Fungsi Linier Tersektamentasi	57
Gambar 2.5. Contoh Fungsi Sub Indeks Non Linier, Parabola $I = X^2$ (a) dan Parabola dengan Titik Asal (b)	59
Gambar 2.6. Contoh Fungsi Eksponensial Sub Indeks	60
Gambar 2.7. Contoh Fungsi Non Linier Tersektamentasi untuk pH Kualitas Air	61
Gambar 2.8. Plot Persamaan (2.15) dengan Menggunakan Dua Sub Indeks	63
Gambar 2.9. Model Matematis Jaringan Syaraf Tiruan	65
Gambar 2.10. Jaringan Syaraf dengan Lapisan Tunggal	69
Gambar 2.11. Jaringan Syaraf dengan Banyak Lapisan	71
Gambar 2.12. Jaringan Syaraf dengan Lapisan Kompetitif	71
Gambar 2.13. Kerangka Pemikiran	85
Gambar 2.14. Konstruksi Data Training dan Test untuk Prediksi Kerentanan	93
Gambar 3.1. Ringkasan Metode Penyusunan Indeks Kerentanan Air Permukaan terhadap Pencemaran	131
Gambar 3.2. Diagram Alir Perancangan Sistem Perangkat Lunak untuk Prediksi Indeks Kerentanan	141
Gambar 3.3. Struktur Jaringan Model Prediksi Indeks Kerentanan terhadap Pencemaran	143
Gambar 3.4. Tahapan Penelitian	146
Gambar 4.1. Cakupan Wilayah Administrasi Sub-DAS Garang Hilir	148
Gambar 4.2. Peta Isohyet di Sub-DAS Garang Hilir	154
Gambar 4.3. Peta Formasi Batuan di Sub-DAS Garang Hilir	158
Gambar 4.4. Peta Geomorfologi Sub-DAS Garang Hilir	162
Gambar 4.5. Peta Macam Tanah Sub-DAS Garang Hilir	163
Gambar 4.6. Kondisi Sungai Garang: (a) Lokasi Kelurahan Tinjomoyo, (b) Lokasi Bendan Duwur, (c) Lokasi Bendung Simongan, (d) Lokasi Muara	166
Gambar 4.7. Peta Jaringan Sungai di Sub-DAS Garang Hilir	167
Gambar 4.8. Permukiman di Sepanjang Sungai Garang (a), Penggunaan Lahan Tambak di Muara Sungai Garang (b)	160
Gambar 4.9. Peta Penggunaan Lahan di Sub-DAS Garang Hilir	170
Gambar 4.10. Peta Analisis NDVI di Sub-DAS Garang Hilir	173
Gambar 4.11. Jumlah Penduduk di Wilayah Penelitian Tahun 2015	174
Gambar 5.1. Diagram Alir Identifikasi Komponen dan indikator Potensial	185
Gambar 5.2. Frekuensi Pengambilan Sampel per Tahun di Sungai Garang Tahun 1999-2014	199
Gambar 5.3. <i>Scree Plot</i> Nilai <i>Eigen</i>	209

	Halaman
Gambar 5.4. Grafik Sub-Indeks Indikator Temperatur	216
Gambar 5.5. Grafik Sub-Indeks Indikator Residu Terlarut	217
Gambar 5.6. Grafik Sub-Indeks Indikator BOD	219
Gambar 5.7. Grafik Sub-Indeks Indikator COD	220
Gambar 5.8. Grafik Sub-Indeks Indikator P	221
Gambar 5.9. Grafik Sub-Indeks Indikator N	223
Gambar 5.10. Grafik Sub-Indeks Indikator Cr	224
Gambar 5.11. Grafik Sub-Indeks Indikator Cu	225
Gambar 5.12. Grafik Sub-Indeks Indikator Pb	226
Gambar 5.13. Grafik Sub-Indeks Indikator Hujan Rerata Tahunan	229
Gambar 5.14. Grafik Sub-Indeks Indikator Jumlah Bulan Basah	230
Gambar 5.15. Grafik Sub-Indeks Indikator Penggunaan lahan	233
Gambar 5.16. Grafik Sub-Indeks Indikator Tutupan Vegetasi	233
Gambar 5.17. Grafik Sub-Indeks Indikator Kepadatan Penduduk	235
Gambar 5.18. Grafik Sub-Indeks Indikator Laju Pertumbuhan Penduduk	236
Gambar 5.19. Grafik Sub-Indeks Indikator Debit Sungai	238
Gambar 5.20. Grafik Sub-Indeks Indikator Material Dasar Sungai	239
Gambar 5.21. Grafik Sub-Indeks Indikator Lebar Sungai	239
Gambar 5.22. Grafik Sub-Indeks Indikator Kedalaman Sungai	240
Gambar 5.23. Peta Segmentasi Sungai Garang Hilir	246
Gambar 5.24. Radar Diagram Nilai Indeks Kerentanan	247
Gambar 5.25. Penggunaan Lahan di Segmen 1 Sub-DAS Garang Hilir	251
Gambar 5.26. Penggunaan Lahan di Segmen 2 Sub-DAS Garang Hilir	252
Gambar 5.27. Penggunaan Lahan di Segmen 3 Sub-DAS Garang Hilir	252
Gambar 5.28. Kerapatan Vegetasi berdasarkan Nilai NDVI di Segmen 1	254
Gambar 5.29. Kerapatan Vegetasi berdasarkan Nilai NDVI di Segmen 2	254
Gambar 5.30. Kerapatan Vegetasi berdasarkan Nilai NDVI di Segmen 3	255
Gambar 5.31. Peta Lokasi Pengambilan Sampel Kualitas Air	259
Gambar 5.32. Lokasi Pengukuran Debit dan Pengambilan Sampel Air di Tinjomoyo (a), Jembatan Besi (b), Tugu Suharo (c), Panjangan (d), Bendung Simongan (e) dan Jembatan Arteri (f)	260
Gambar 5.33. Parameter Kualitas Air di Sungai Garang Hilir (Temperatur, TDS, BOD, COD, Pospat dan NO ₃)	262
Gambar 5.34. Parameter Kualitas Air di Sungai Garang Hilir (Cu, Pb dan Cr)	263
Gambar 5.35. Pergerakan MSE Sampai Mencapai Jaringan Konvergen	270
Gambar 5.36. Arsitektur Jaringan Penentuan tingkat Kerentanan Air Sungai terhadap Pencemaran	271
Gambar 5.37. Pergerakan Grafik MSE (<i>Training</i>) Segmen 1	273
Gambar 5.38. Hasil Data Regresi	273
Gambar 5.39. Hasil Prediksi nilai Indeks Kerentanan	274

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1	
Data Curah Hujan Bulanan Tahun 2005 s.d. 2014 di Stasiun Penakar Hujan Sekitar Daerah Penelitian	L-1
Lampiran 2	
Data Kondisi Parameter Kualitas Air di Sungai Garang Hilir Dari Tahun 1999 hingga 2014	L-3
Lampiran 2.a	
Laporan Pengujian Kualitas Air Sungai Garang Sampel Bulan Mei 2015	L-5
Lampiran 2.b	
Laporan Pengujian Kualitas Air Sungai Garang Sampel Bulan Desember 2015	L-9
Lampiran 3.a	
Data Debit Rerata Sungai Garang di Stasiun Panjang Tahun 2000 s.d. 2011	L-13
Lampiran 3.b	
Data Debit Rerata Sungai Garang di Stasiun Kalipancur Tahun 2000 s.d. 2011	L-14
Lampiran 3.c	
Data Pengukuran Aliran Sungai Garang (Tinjomoyo)	L-15
Lampiran 3.d	
Data Pengukuran Aliran Sungai Garang (Jembatan Besi)	L-16
Lampiran 3.e	
Data Pengukuran Aliran Sungai Garang (Tugu Suharto)	L-17
Lampiran 3.f	
Data Hasil Pengujian Material Dasar	L-18
Lampiran 4	
Data Kepadatan dan Laju Pertumbuhan Penduduk Tahun Di Sub DAS Garang Hilir Tahun 2006 s.d. 2015	L-19
Lampiran 5	
Perubahan Penggunaan Lahan di Sub-DAS Garang Hilir Tahun 2002 s.d. 2015	L-23
Lampiran 6	
Perubahan Tutupan Vegetasi (Peta NDVI) di Sub-DAS Garang Hilir Tahun 2013 dan 2014	L-27
Lampiran 7	
Hasil Rekapitulasi Perhitungan Bobot Parameter Kerentanan	L-29
Lampiran 8	
Matrik Korelasi <i>Spearman</i>	L-38
Lampiran 9	
Rekapitulasi Input Data <i>Training Dan Testing JST</i>	L-39