

DAFTAR ISI

PRAKATA	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
BAB 1	1
DASAR – DASAR INTRUSI AIR LAUT PADA AKUIFER	
PESISIR	1
1.1. Konsep Dasar Intrusi Air Laut	1
1.2. Kerentanan Akuifer Pesisir.....	6
1.3. Model Konseptual Intrusi Air Laut.....	10
1.4. Mengenali Intrusi Air Laut	14
1.5. Petunjuk & Ruang Lingkup Pembahasan.....	18
BAB 2	22
INTRUSI AIR LAUT:	
KONSEP, PROSES, DAN DAMPAK	
2.1. Fenomena Intrusi Air Laut di Dunia.....	22
2.2. Fenomena Intrusi Air Laut di Indonesia	30
2.3. Faktor Penyebab Intrusi Air Laut	35
2.3.1 Faktor hidrogeologi dan kondisi akuifer	36
2.3.2 <i>Overpumping</i> /ekstraksi air tanah.....	37
2.3.3 Perubahan iklim/kenaikan muka laut/penurunan tanah	38
2.4. Dampak Intrusi Air Laut.....	42
2.4.1 Dampak kualitas air & kesehatan	42
2.4.2 Dampak ekonomi, pertanian, infrastruktur.....	42
2.4.3 Dampak ekosistem	43
BAB 3	45
HIDROGEOLOGI AKUIFER PESISIR	
3.1. Tipe Akuifer Pesisir (Bebas/Tertekan/Berlapis)	45

3.2. Parameter Hidrogeologi Kunci (K, T, S, Recharge, Gradien)	49
3.2.1 Konduktivitas hidraulik (K)	50
3.2.2 <i>Transmissivity</i> (T).....	51
3.2.3 <i>Storativity</i> atau kapasitas penyimpanan (S)	51
3.2.4 <i>Recharge</i> atau imbuhan air tanah	52
3.2.5 Gradien hidraulik	52
3.2.6 Interaksi antar parameter hidrogeologi.....	53
3.2.7 Implikasi terhadap analisis kerentanan.....	53
3.3. Interaksi Air Tanah-Air Laut (<i>Interface & Zona Transisi</i>)	54
3.3.1 Antarmuka Air Tawar–Air Asin	55
3.3.2 Zona Transisi dan Proses Pencampuran	56
3.3.3 Perubahan Kimia Air pada Zona Pencampuran	57
3.3.4 Indikator Hidrogeokimia Zona Pencampuran	57
3.3.5 Implikasi terhadap Pemahaman Sistem Akuifer Pesisir	58
3.4. Kerangka Konseptual Sistem untuk Intrusi	59
3.4.1. Model Antarmuka Tajam (<i>Sharp-Interface Models</i>) ...	60
3.4.2 Model Aliran Bergantung Densitas dan Sistem Berlapis	61
3.4.3 Pendekatan Hidrogeokimia.....	61
3.4.4 Integrasi Hidrodinamika, Geokimia, dan Isotop	62
3.4.5 Peran Kerangka Konseptual dalam Interpretasi Sistem Akuifer	63
3.4.6 Keterbatasan dan Tantangan.....	63
3.5. Keterkaitan dengan Pendekatan Muka Air Tanah	64
3.5.1 Distribusi Muka Air Tanah dan Posisi Antarmuka.....	64
3.5.2 Fluktuasi Muka Air Tanah dan Dinamika Intrusi	66
3.5.3 Pendekatan Muka Air Tanah sebagai Indikator Dini ..	66
3.5.4 Indikator Hidrogeokimia yang Berkaitan dengan Muka Air Tanah	67

3.5.5 Pemantauan Muka Air Tanah dalam Studi Lapangan	68
3.5.6 Implikasi bagi Pengelolaan Air Tanah Pesisir	69
BAB 4	70
METODE DETEKSI, PEMANTAUAN, DAN INVESTIGASI	
INTRUSI	70
4.1 Sejarah/perkembangan penelitian intrusi	70
4.2 Model Analitis <i>Ghyben–Herzberg</i>	73
4.2.1 Prinsip model	74
4.2.2 Keterbatasan & kondisi penerapan	78
4.3 Pendekatan dalam penelitian intrusi air laut (peta metode)	81
4.3.1 Matriks pemilihan metode	86
4.3.2 Integrasi multi-metode (hidraulik + kimia + geofisika)	89
4.4 Pendekatan muka air tanah	92
4.5 Pendekatan geofisika	94
4.6 Pendekatan hidrokimia	98
BAB 5	101
KONSEP DASAR HIDROGEOKIMIA	101
5.1. Prinsip-prinsip hidrogeokimia	101
5.2. Proses geokimia utama dalam intrusi air laut.....	102
5.2.1 Pertukaran Ion	102
5.2.2 Pengendapan Karbonat	103
5.2.3 Reaksi Redoks	105
5.3. Kandungan Ion dan Keseimbangan Kimia	106
5.3.1 <i>Charge Balance Error</i> (CBE) sebagai Pemeriksaan Awal	
Kualitas Data Hidrogeokimia.....	109
BAB 6	116
ANALISIS HIDROKIMIA UNTUK INTRUSI AIR LAUT	116
6.1. Pendahuluan.....	116
6.2. Salinitas	116

6.2.1 Daya Hantar Listrik (DHL).....	117
6.2.2 Total Dissolved Solids (TDS).....	117
6.2.3 Temperatur	118
6.2.4 Ion Klorida	118
6.3 Rasio Ion.....	123
6.3. Seawater Fraction (f_{sea})	126
6.4. Groundwater Quality Index for seawater intrusion (GQI_{SWI})	130
6.4.1 Contoh Perhitungan GQI_{SWI}	132
6.4.2 Kelebihan dan Kesalahan Umum dalam Perhitungan GQI_{SWI}	136
BAB 7.....	138
VISUALISASI DATA KUALITAS AIR	138
7.1. Pendahuluan.....	138
7.2. Diagram Piper Tradisional (<i>Trilinear Piper</i>)	139
7.3. <i>Rectangular Piper Diagram</i> (Piper Persegi Panjang)	144
7.4. <i>Color-coded Piper Diagram</i>	146
7.5. <i>Contour-filled Piper</i> (PIED Piper/Kepadatan Data).....	148
7.6. Durov Diagram	150
7.7. Gibbs Diagram.....	153
7.8. Gaillardet Diagram	156
7.9. <i>Hydrogeochemical Facies Evolution-Diagram</i> (HFE-D)	159
7.10. Aplikasi WQChartPy untuk Visualisasi 12 Diagram Kualitas Air.....	163
7.10.1 Memilih dan Mengintegrasikan Diagram Kualitas Air	169
7.10.2 Pemeriksaan Data Sebelum Visualisasi	170
7.10.3 Dari Visualisasi Menuju Interpretasi	171
7.11. Rangkuman.....	172

BAB 8	173
ANALISIS GEOSTATISTIK DAN INTERPOLASI SPASIAL ...	173
8.1. Pendahuluan	173
8.2. Inverse Distance Weighted (IDW)	177
8.2.1 Prinsip Dasar dan Formulasi IDW	178
8.2.2 Pengaruh Power, Jumlah Tetangga, Search Radius, Kepadatan dan Distribusi Sampel	179
8.2.3 Aplikasi pada Hidrogeologi, Kualitas Air, dan pemetaan intrusi air laut	180
8.3. Radial Basis Function (RBF).....	181
8.3.1 Konsep Dasar Radial Basis Function	181
8.3.2 Jenis Fungsi Basis dan Pengaruhnya terhadap Permukaan	183
8.3.3 Aplikasi RBF pada Hidrogeologi dan Kualitas Air ...	184
8.3.4 Perbandingan RBF dengan IDW dan Kriging	185
8.3.5 Kelebihan, Keterbatasan, dan Relevansi untuk Intrusi Air Laut.....	185
8.4. Kriging.....	186
8.4.1 Konsep Dasar Kriging (Autokorelasi Spasial dan Semivariogram)	186
8.4.2 Jenis Kriging untuk Analisis Kualitas Air	188
8.4.3 Aplikasi Kriging untuk Intrusi Air Laut.....	189
8.4.4 Ketidakpastian, Validasi, dan Pemilihan Model	190
8.5. Spline.....	190
8.5.1 Prinsip Dasar Interpolasi Spline	191
8.5.2 Aplikasi Spline pada Data Hidrogeologi dan Kualitas Air	192
8.5.3 Relevansi Spline untuk Intrusi Air Laut.....	193
8.6. Validasi hasil interpolasi (<i>cross-validation</i>, RMSE/MAE)	194

8.6.1 Prinsip <i>Cross-Validation</i>	194
8.6.2 Ukuran Kesalahan Prediksi.....	195
8.6.3 Pemilihan Metode Interpolasi Terbaik.....	195
8.7. Langkah-Langkah Interpolasi Spasial dalam SIG	196
8.7.1 Langkah Interpolasi Spasial di ArcGIS Pro.....	197
8.7.2 Langkah Interpolasi Spasial di ArcGIS 10.8.....	203
BAB 9.....	211
MANAJEMEN INTRUSI AIR LAUT.....	211
9.1. Pendahuluan	211
9.2. Prinsip Dasar Manajemen Intrusi Air Laut	213
9.3. Metode Konvensional	215
9.3.1. Pengurangan laju pemompaan.....	216
9.3.2. Relokasi dan Redistribusi Sumur.....	217
9.3.3. Pengaturan Pola Pemompaan.....	219
9.4. Metode Penghalang Fisik	219
9.4.1. Penghalang Fisik Bawah Permukaan.....	220
9.4.2. Reklamasi Lahan sebagai Penghalang Permukaan ..	222
9.5. Metode Penghalang Hidraulik	224
9.5.1. Imbuhan buatan atau <i>Managed Aquifer Recharge</i>	224
9.5.2. Sumber dan mutu air untuk imbuhan.....	227
9.5.3. Penghalang hidraulik negatif	228
9.5.4. Sistem injeksi-ekstraksi terpadu.....	229
9.6. Pengelolaan Terpadu Air dan Lahan	230
9.6.1 Integrasi Pengelolaan Air dan Lahan pada Wilayah Pesisir	230
9.6.2 Tata Guna Lahan, Zona Imbuhan, dan Sumber Air Alternatif.....	231
9.6.3 Koordinasi Regulasi, Tata Ruang, dan Adaptasi Iklim	232
9.7. Pemilihan Strategi Berdasarkan Kondisi Akuifer ..	233

9.7.1 Kriteria Hidrogeologi, Ekonomi, Lingkungan, dan Kelembagaan.....	234
9.7.2 Analisis Multikriteria untuk Membandingkan Alternatif.....	235
9.7.3 Kesesuaian Strategi Berdasarkan Kondisi Akuifer	236
9.8. Monitoring dan Evaluasi Efektifitas	237
9.8.1 Indikator Monitoring Efektivitas.....	237
9.8.2 Desain Jaringan Sumur Monitoring.....	239
9.8.3 Integrasi Hidrokimia, Geofisika, dan Pemodelan.....	239
9.8.4 Resolusi Temporal Monitoring	240
9.8.5 Evaluasi Penghalang dengan ERT dan Metode Elektromagnetik	240
9.9. Kerangka Pengambilan Keputusan	241
9.9.1 Dari Diagnosis hingga Pemilihan Strategi	242
9.9.2 Manajemen Adaptif di Bawah Ketidakpastian	243
9.9.3 Analisis Skenario dan Optimasi	244
9.10. Ringkasan, Sintesis, dan Arah Pengelolaan Masa Depan.....	246
9.10.1 Pelajaran dari Keberhasilan dan Keterbatasan Pengelolaan	246
9.10.2 Tantangan dan Kesenjangan Riset Masa Depan	247
9.10.3 Arah Pengelolaan yang Berkelanjutan.....	248
DAFTAR PUSTAKA	250
GLOSARIUM.....	281
INDEKS.....	297
BIOGRAFI PENULIS.....	302