

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN MOTTO</b>	<b>v</b>
<b>PRAKATA</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR LAMBANG</b>	<b>xiv</b>
<b>INTISARI</b>	<b>xvi</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>xvii</b>
<b>I PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian	5
1.6 Tinjauan Pustaka	6
1.7 Metode Penelitian	7
1.8 Sistematika Penulisan	8
<b>II LANDASAN TEORI</b>	<b>10</b>
2.1 Aljabar Matriks	10
2.1.1 Ruang Vektor dan Matriks	10
2.1.2 Operasi dan Sifat-Sifat Matriks	14
2.1.3 Invers Matriks	26
2.1.4 <i>Rank</i> dan Invertibilitas	28
2.1.5 Nilai Eigen dan Vektor Eigen	37
2.1.6 Ruang Metrik dan Norma	40
2.1.7 Diferensial Vektor dan Matriks	44
2.2 Teori Ukuran dan Probabilitas	51
2.2.1 Ruang Ukur dan Ukuran Probabilitas	52
2.2.2 Variabel Acak sebagai Fungsi Terukur	56

2.2.3	Distribusi dan Ekspektasi . . . . .	58
2.2.4	Momen, Variansi, dan Kovariansi . . . . .	68
2.2.5	Probabilitas Bersyarat dan Independensi . . . . .	71
2.2.6	Hukum Probabilitas Total dan Teorema Bayes . . . . .	72
2.2.7	Hukum Ekspektasi Total dan Variansi Total . . . . .	74
2.3	Konvergensi dan Laju Pertumbuhan . . . . .	75
2.3.1	Barisan Variabel Acak . . . . .	76
2.3.2	Konvergensi Barisan Variabel Acak . . . . .	77
2.4	Teori Probabilitas Asimtotik . . . . .	81
2.4.1	Konsistensi Estimator . . . . .	82
2.4.2	Teorema Pemetaan Kontinu dan Teorema Slutsky . . . . .	82
2.4.3	Notasi Landau Deterministik . . . . .	84
2.4.4	Notasi Landau Stokastik . . . . .	86
2.4.5	Teorema Limit Pusat . . . . .	93
2.4.6	Metode Delta . . . . .	96
2.5	Analisis Regresi Linier . . . . .	98
2.5.1	Regresi Linier Biasa atau <i>Ordinary Least Squares</i> (OLS) . . . . .	98
2.5.2	Teori Asimtotik untuk OLS . . . . .	103
2.5.3	Regresi Terboboti . . . . .	106
2.6	Pemodelan Polinomial Lokal . . . . .	109
2.6.1	Asumsi Model Polinomial Lokal . . . . .	110
2.6.2	Estimasi Model Polinomial Lokal . . . . .	111
2.7	Analisis Regresi Spasial . . . . .	114
2.7.1	Regresi dengan Dependensi Spasial . . . . .	115
2.7.2	Regresi dengan Keragaman Spasial . . . . .	117
2.8	Jaringan Saraf Tiruan . . . . .	127
2.8.1	Model Dasar dan Notasi . . . . .	128
2.8.2	Fungsi Aktivasi . . . . .	128
2.8.3	Fungsi Kerugian dan Kriteria Pembelajaran . . . . .	132
2.8.4	Pembelajaran dengan Propagasi Mundur . . . . .	133
2.8.5	Optimisasi Parameter . . . . .	135
2.8.6	Jaringan Saraf Tiruan sebagai Aproksimasi Universal . . . . .	137
2.9	Jaringan Saraf Graf . . . . .	138
2.9.1	Dasar Graf dan Laplacian . . . . .	139
2.9.2	Kerangka Penyalpaian Pesan pada Jaringan Saraf . . . . .	140
2.9.3	Arsitektur Umum dalam GNN . . . . .	141

2.9.4	Sifat Simetri dan Invariansi Permutasi . . . . .	143
2.9.5	Daya Aproksimasi Jaringan Saraf Graf . . . . .	144
<b>III KERANGKA METODOLOGIS DAN ANALISIS ASIMTOTIK <i>GRAPH ATTENTION-BASED GEOGRAPHICALLY WEIGHTED REGRESSION</i> . . . . . 146</b>		
3.1	Keterbatasan Pembobotan Spasial Berbasis <i>Kernel</i> Konvensional . . . . .	146
3.1.1	Prinsip Pembobotan Spasial dalam GWR . . . . .	146
3.1.2	Bias Induktif pada <i>Kernel</i> Tetap . . . . .	147
3.2	Pembelajaran <i>Kernel</i> Spasial dengan Jaringan Saraf Graf . . . . .	149
3.2.1	Representasi Graf untuk Data Spasial . . . . .	149
3.2.2	Fungsi Skor Spasial dan Jaringan Saraf Graf . . . . .	151
3.2.3	Konstruksi <i>Kernel</i> Spasial Berbasis GNN . . . . .	152
3.3	Integrasi <i>Kernel</i> Terestimasi ke dalam Kerangka GWR . . . . .	157
3.3.1	Definisi Model <i>Graph Attention-based</i> GWR (GA-GWR) . . . . .	157
3.3.2	<i>Kernel</i> Terestimasi sebagai <i>Nuisance Parameter</i> . . . . .	158
3.3.3	Permasalahan Endogenitas dan Ketergantungan Data . . . . .	159
3.3.4	Skema <i>Cross-Fitting</i> untuk Inferensi Valid . . . . .	162
3.4	Analisis Asimtotik Koefisien Lokal pada GA-GWR . . . . .	167
3.4.1	Asumsi-Asumsi Regularitas . . . . .	168
3.4.2	Generalisasi Metrik Jarak untuk Anisotropi . . . . .	171
3.4.3	Analisis Bias Asimtotik Koefisien Lokal . . . . .	173
3.4.4	Analisis Bias Asimtotik Variansi Galat . . . . .	179
3.4.5	Konsistensi Koefisien Lokal . . . . .	182
3.4.6	Konsistensi Variansi Koefisien Lokal . . . . .	185
3.4.7	Estimator Variansi <i>White-Robust</i> . . . . .	190
3.4.8	Distribusi Asimtotik Koefisien Lokal . . . . .	194
3.4.9	Distribusi Asimtotik Uji Statistik . . . . .	199
3.5	Analisis Komputasional GA-GWR . . . . .	201
3.5.1	Graf Komputasional dan Diferensiabilitas . . . . .	202
3.5.2	Analisis <i>Vanishing</i> dan <i>Exploding Gradient</i> . . . . .	204
3.5.3	Regularisasi SVD dan Stabilisasi Numerik . . . . .	206
3.5.4	Algoritma Pelatihan dan Kompleksitas Komputasional . . . . .	210
3.6	Diagnostik Model dan Validasi Inferensi . . . . .	214
<b>IV STUDI KASUS . . . . . 224</b>		
4.1	Studi Simulasi . . . . .	224
4.1.1	Desain Eksperimen Simulasi . . . . .	225

4.1.2	Evaluasi Akurasi Estimasi Titik . . . . .	233
4.1.3	Analisis Diagnostik Residual . . . . .	238
4.1.4	Validasi Inferensi Statistik . . . . .	242
4.1.5	Analisis Bias Estimator <i>Cross-Fitted</i> . . . . .	243
4.1.6	Estimasi Variansi <i>Cross-Fitted</i> . . . . .	245
4.1.7	Pengujian Hipotesis untuk Estimator Koefisien Lokal . . . . .	246
4.2	Studi Kasus pada Data PDB per Kapita Global . . . . .	248
4.2.1	Deskripsi Data dan Variabel . . . . .	248
4.2.2	Konstruksi Metrik Jarak . . . . .	251
4.2.3	Pemodelan dan Perbandingan Kinerja Prediksi . . . . .	254
4.2.4	Uji Diagnostik Residual dan Validasi Model . . . . .	257
4.2.5	Pemetaan Koefisien Spasial . . . . .	260
4.2.6	Uji Variasi Spasial Koefisien . . . . .	266
4.2.7	Kesimpulan dan Implikasi Kebijakan . . . . .	268
<b>V</b>	<b>PENUTUP</b> . . . . .	<b>271</b>
5.1	Kesimpulan . . . . .	271
5.2	Saran . . . . .	273
	<b>DAFTAR PUSTAKA</b> . . . . .	<b>275</b>
<b>A</b>	<b>Model Regresi Lokal GA-GWR Per Negara</b> . . . . .	<b>280</b>
<b>B</b>	<b>Kode Implementasi Model GA-GWR</b> . . . . .	<b>288</b>