

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR .....	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR .....	vi
DAFTAR TABEL .....	x
DAFTAR SINGKATAN .....	xi
INTISARI.....	xii
ABSTRACT.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	9
1.3 Keaslian Penelitian .....	9
1.4 Tujuan Penelitian.....	12
1.5 Manfaat Penelitian.....	13
BAB II STUDI PUSTAKA.....	14
2.1 Sejarah Ilmu Medan Magnet Bumi .....	14
2.2 Pemodelan Medan Magnet Bumi Global .....	16
2.3 Keterbatasan dan Kekurangan Model Global (IGRF).....	18
2.4 Pemodelan Medan Magnet Bumi Regional.....	20
2.5 Kekurangan dan Batasan Metode Pemodelan Medan Magnet Bumi Regional yang Ada .....	22
2.6 Metode Geostatistik.....	24
2.6.1 Nearest Neighbor .....	25
2.6.2 Invers Distance Weighting (IDW) .....	26
2.6.3 <i>Ordinary kriging</i> .....	26
2.6.4 <i>Collocated cokriging</i> .....	27

2.6.5	Kriging with External Drift.....	29
2.7	Variasi Sekular dan Kalkulator Medan Magnet Bumi Regional.....	30
2.8	Analisis Korelasi .....	31
2.9	Medan Magnetik Lithosfer .....	32
2.10	Hipotesis .....	32
2.11	Kerangka Teori.....	33
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>		<b>39</b>
3.1	Desain Penelitian .....	39
3.1.1	Eksistensi Populasi.....	39
3.1.2	Karakteristik Objek .....	40
3.2	Lokasi Penelitian .....	42
3.3	Data Penelitian .....	45
3.4	Alat Penelitian .....	45
3.5	Metode pada Tujuan Penelitian 1 .....	46
3.6	Metode pada Tujuan Penelitian 2 .....	51
3.7	Metode pada Tujuan Penelitian 3 .....	52
3.8	Metode pada Tujuan Penelitian 4 .....	52
3.9	Diagram Alir Penelitian.....	53
<b>BAB IV HASIL DAN DISKUSI .....</b>		<b>55</b>
4.1	Analisis Metode Geostatistik Medan Magnet Bumi Regional.....	55
4.1.1	Hasil .....	55
4.1.2	Diskusi .....	58
4.2	Geomagnetik Regional Indonesia Untuk Epoch 2020.0 .....	62
4.2.1	Pengukuran Lapangan.....	62
4.2.2	Hasil .....	64
4.2.3	Diskusi .....	69



4.3	Analisis Korelasi Medan Magnetik Kerak di wilayah Indonesia terhadap Gempabumi .....	70
4.3.1	Hasil .....	70
4.3.2	Diskusi .....	75
4.4	Kalkulator Medan Magnet Bumi Wilayah Indonesia Berbasis Web .....	77
4.4.1	Hasil .....	78
4.4.2	Diskusi .....	83
BAB V PENUTUP.....		86
5.1	Kesimpulan.....	86
5.2	Kebaruan dari disertasi .....	87
5.3	Rekomendasi .....	87
DAFTAR PUSTAKA .....		88
Lampiran .....		100
Data Epoch 2015 .....		100
Data Epoch 2020 .....		103

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.</b> Penggunaan data magnet bumi komponen deklinasi dalam input peta topografi, azimuth landasan pacu dan pertahanan negara.....	5
<b>Gambar 2.</b> Visualisasi korelasi kata dari judul, kata kunci dan abstrak dari 3136 paper terindeks scopus dengan kata kunci “geomagnetik and regional” yang dibuat dengan VOSviewer. Degradasi warna berdasarkan tahun terbit.....	8
<b>Gambar 3.</b> Kesenjangan terkait pemodelan medan magnet bumi regional. ....	9
<b>Gambar 4.</b> Ilustrasi arah kompas di berbagai garis lintang pada permukaan bumi. Arah utara ditunjukkan ke kanan. ....	15
<b>Gambar 5.</b> Nilai medan magnet bumi berdasarkan wilayah sumber pembangkitnya (Mandea and Purucker, 2005). ....	16
<b>Gambar 6.</b> Konfigurasi Data dari Variabel Pertama ( <i>Primary Data</i> ) yang ditandai symbol permata berwarna merah dan Variabel Kedua ( <i>Secondary Data</i> ) yang sangat rapat ditandai symbol kotak berwarna biru mint. ....	28
<b>Gambar 7</b> Kerangka Teori Penelitian terkait pengusulan metode geostatistik untuk memodelkan medan magnet bumi regional .....	37
<b>Gambar 8</b> Kerangka Teori Penelitian terkait identifikasi perubahan medan magnetik kerak akibat proses gempabumi. ....	38
<b>Gambar 9.</b> Peta wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia yang merupakan lokasi penelitian (sumber: Badan Informasi Geospasial) .....	43
<b>Gambar 10.</b> Peta lokasi <i>repeat stations</i> (titik ukur ulang) yang ditandai dengan segitiga biru di seluruh wilayah Indonesia.....	44
<b>Gambar 11.</b> Peralatan pengambilan data primer, dimana (a) Declination Inklination Magnetometer (DIM), dan (b) Proton Precission Magnetometer (PPM). ....	46
<b>Gambar 12.</b> Peta lokasi titik sampling dan lokasi data validasi. ....	50

<b>Gambar 13.</b> Diagram alir Penelitian .....	54
<b>Gambar 14.</b> Semivariogram data geomagnetik dari epoch 2010 untuk metode OK. Variograms eksperimental yang tumpang tindih berkerumun sebagai karakteristik dari pola data terdistribusi yang berkerumun, menghasilkan parameter variogram teoretis yang identik antara variogram stabil dan eksponensial. (a) variogram stabil dari komposisi deklinasi, (b) variogram eksponensial dari komponen deklinasi, (c) variogram stabil dari komponen inklinasi, (d) variogram eksponensial dari komponen inklinasi, (e) variogram stabil dari komponen total intensitas, dan (f) variogram eksponensial dari komponen total intensitas.....	56
<b>Gambar 15.</b> Boxplot root mean square error (RMSE) (n=56 data) antara estimasi data dan validasi dari metode CC, KED, OK dengan variogram stabil, OK dengan variogram eksponensial, SCHA, dan data metode polinomial untuk epoch 1985–2015 untuk masing-masing komponen geomagnetik. (a) Komponen Deklinasi (menit); (b) Komponen Kemiringan (menit); (c) Intensitas Total (nT); (d) penurunan nilai RMSE di bawah nilai normal karena penambahan 28% lebih banyak data sampel. ....	58
<b>Gambar 16.</b> Bagan geomagnet untuk epoch 2015.0 menggunakan metode <i>collocated cokriging</i> di Indonesia; (a) Komponen deklinasi dengan $\Delta=0,5^\circ$ , (b) Komponen inklinasi dengan $\Delta=5^\circ$ , dan (c) Komponen Intensitas Total dengan $\Delta=1000$ nT. ....	61
<b>Gambar 17.</b> Distribusi dari 49 lokasi <i>repeat station</i> , dan 21 stasiun monitoring magnet bumi.....	63
<b>Gambar 18.</b> Kegiatan pengukuran magnet bumi absolute di lokasi <i>repeat station</i> pada bandara di Yogyakarta.....	64
<b>Gambar 19.</b> Peta Geomagnetik regional untuk epoch 2020.0 di Indonesia menggunakan metode <i>collocated cokriging</i> , peta ini dihasilkan dari kombinasi data primer 49 <i>repeat stations</i> dan data sekunder dari data medan magnet inti	

IGRF dengan grid  $0.1^\circ$ ; (a) Komponen declinasi dengan  $\Delta=0.5^\circ$ , (b) Komponen inklinasi dengan  $\Delta=4^\circ$ , dan (c) Komponen intensitas Total dengan  $\Delta=500$  nT.... 66

**Gambar 20.** Peta anomaly Geomagnetik yang dihasilkan dari pengurangan antara model regional dengan model global IGRF-13, dimana data hasil model metode CC pada gambar 19 dikurangi medan magnet inti IGRF dengan grid  $0.1^\circ$ . Hasil ini menunjukkan bahwa metode CC tidak sepenuhnya menggunakan data sekunder sebagai poros pemodelan, akan tetapi data primer sangat dihargai sesuai dengan variogramnya; (a) Komponen declinasi dengan  $\Delta=3$  menit, (b) Komponen inklinasi dengan  $\Delta=5$  menit, dan (c) Komponen intensitas Total dengan  $\Delta=40$  nT. Anomali ini menunjukkan kesenjangan antara model geomagnetik regional dan model global untuk epoch 2020.0 di Indonesia. .... 67

**Gambar 21.** Peta variasi sekular Geomagnetik regional yang dihasilkan dari pengurangan antara epoch 2020 dengan data epoch 2015, peta ini dihasilkan dari kombinasi data variasi sekular 49 *repeat stations* sebagai data primer dan data sekunder dari data variasi sekular model IGRF dengan grid  $0.1^\circ$ ; (a) Komponen declinasi dengan  $\Delta=1$  menit, (b) Komponen inklinasi dengan  $\Delta=1$  menit, dan (c) Komponen intensitas Total dengan  $\Delta=5$  nT..... 68

**Gambar 22.** Peta medan geomagnetik kerak di wilayah Indonesia yang merupakan rata-rata dari epoch 2000-2020; (a) Scatterplot dan korelasi linier antara model geomagnetik kerak yang dihasilkan pada lokasi stasiun repeat dan model EMM, (b) Sebaran medan geomagnetik kerak komponen intensitas total (F) dengan  $\Delta=20$  nT. .... 72

**Gambar 23.** Peta medan geomagnetik kerak di wilayah Indonesia yang dioverlay dengan episenter gempabumi besar; (a) Sebaran episenter gempabumi dari tahun 2000-2020, (b) Boxplot antara nilai magnetik kerak dan magnitudo gempabumi, dimana episenter gempabumi berada pada daerah dengan nilai magnetik kerak antara -20 sampai 120 nT. .... 73

**Gambar 24.** Perubahan absolute medan magnetik kerak akibat kejadian gempabumi; (a) Perubahan medan magnetik kerak dari tahun 2000 – 2020, (b) Boxplot antara perubahan nilai kerak dan magnitudo gempabumi, (c) Scatterplot



dan korelasi linier antara perubahan geomagnetik kerak dan magnitude gempabumi..... 74

**Gambar 25.** Komponen vektor medan magnet bumi..... 79

**Gambar 26.** Tampilan kalkulator medan magnet bumi yang penulis bangun. Arah panah menunjukkan arah utara kutub magnet bumi dimana nilainya sebanding dengan komponen deklinasi..... 82

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1.</b> Ringkasan generasi IGRF.....	3
<b>Tabel 2.</b> Perkembangan Lokasi <i>Repeat station</i> .....	40
<b>Tabel 3</b> Perbandingan jumlah data sampel dan data validasi pada setiap periode epochnya .....	47