

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	iii
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	iv
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	ix
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xiii
<b>INTISARI</b> .....	xiv
<b>ABSTRACT</b> .....	xv
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	3
1.3. Batasan Masalah.....	4
1.4. Tujuan Penelitian .....	4
1.5. Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1. Ambient Noise Gelombang Seismik .....	5
2.1.1 Karakteristik Spektral Mikroseismik .....	5
2.1.2 Karakteristik Spektral Mikrotremor .....	5
2.2. Kompleksitas Dalam Deret Waktu.....	6
2.3. Tinjauan Geologi Daerah Penelitian .....	7
2.4. Penelitian Terdahulu .....	13
2.5. Aplikasi Metode <i>Permutation Entropy</i> Pada Erupsi Rekahen Gjalp, 2 Oktober 1996, Erupsi Gunung Merapi 26 Oktober 2010, dan Erupsi Gunung Kelud 13 Februari 2014 .....	15
<b>BAB III. DASAR TEORI</b> .....	19
3.1. Gelombang Seismik .....	19
3.2. Seismisitas Gunung Api.....	19
3.3. Entropi.....	23
3.4. <i>Shanom Entropy</i> .....	23
3.5. <i>Permutation Entropy</i> .....	24
3.6. <i>Filtering</i> .....	28
3.7. Filter Digital .....	30
3.7.1 Filter IIR ( <i>Infinite Impuls Respon</i> ).....	30
3.7.2 Filter FIR ( <i>Finite Impuls Respon</i> ) .....	31
<b>BAB IV. METODE PENELITIAN</b> .....	33
4.1. Pengolahan Data.....	34

4.2. Interpretasi .....	37
<b>BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>39</b>
5.1 Hasil <i>Permutation Entropy</i> Gunung Slamet .....	39
5.2 Hasil <i>Permutation Entropy</i> Gunung Slamet Stasiun Jurangmangu (JRM) <i>Lowpass Filter</i> 4 Hz.....	45
5.3 Hasil <i>Permutation Entropy</i> Gunung Slamet Stasiun Jurangmangu (JRM) <i>Lowpass Filter</i> 2 Hz .....	50
5.4 Hasil <i>Permutation Entropy</i> Gunung Slamet Stasiun Jurangmangu (JRM) <i>Lowpass Filter</i> 1 Hz.....	55
5.5 Pengaruh <i>Filtering</i> Data Terhadap Hasil <i>Permutation Entropy</i> .....	60
5.6 Metode <i>Permutation Entropy</i> Pada Erupsi Gunung Slamet .....	61
<b>BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>62</b>
6.1 Kesimpulan .....	62
6.1 Saran.....	62
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>63</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>66</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Peta geologi Gunung Slamet (Djuri et al, 1996) .....	9
Gambar 2.2	Grafik jumlah harian gempa vulkanik Gunung Slamet dari tanggal 31-12-2013 sampai 12-05-2014 (Anonim, 2014) .....	12
Gambar 2.3	Suhu mata air panas sekitar G. Slamet (Anonim, 2014) .....	13
Gambar 2.4	Bentuk sinyal di stasiun BBG pada tanggal 26 Agustus 2014 (Lumbanraja dan Brotopuspito, 2015) .....	14
Gambar 2.5	Sebelah kiri: diagram menunjukkan variasi <i>permutation entropy</i> dari 3 stasiun HOTSPOT. (A) <i>Onset low-amplitude volcanic tremor</i> , (B) Peristiwa gempa Mw~5.6, (C) <i>onset swarm</i> , (D) onset erupsi sublasial, (E) waktu ketika erupsi merusak penutup ice. Sebelah kanan: diagram yang menunjukkan variasi temporal PE di tiga stasiun selama 29 September ketika gempa Bárðarbunga terjadi. Daerah yang diarsir abu-abu mencakup periode 160 menit sejak terjadinya gempa bumi hingga PE meningkat ke nilai maksimum (Glynn dan Konstantinou, 2016).. .....	16
Gambar 3.1	Sinyal Gempa VTA Gunung Merapi (Wassermann, 2011) .....	20
Gambar 3.2	Sinyal Gempa VTB Gunung Merapi (Wassermann, 2011).....	20
Gambar 3.3	Sinyal Gempa LF Gunung Merapi (Wassermann, 2011).....	21
Gambar 3.4	Sinyal Gempa MP Gunung Merapi (Wassermann, 2011).....	21
Gambar 3.5	Sinyal Gempa <i>Hybrid</i> Gunung Merapi (Wassermann, 2011) ....	22
Gambar 3.6	Sinyal Gempa Tremor Gunung Merapi (Wassermann, 2011)....	22
Gambar 3.7	Sinyal Gempa Tremor Gunung Merapi (Wassermann, 2011)....	22
Gambar 3.8	Ilustrasi Prinsip kontruksi dari pola urutan panjang $D$ dimana $D = 4$ , lingkaran penuh berwarna biru dan garis yang kontinyu menggambarkan urutan nilai dari $x_0 < x_2 < x_3 < x_1$ dengan pola permutasi $\pi = (0231)$ (Zanin <i>et al</i> , 2012) .....	25
Gambar 3.9	<i>Low-pass filter</i> (Palamides dan veloni, 2011) .....	28
Gambar 3.10	<i>High-pass filter</i> (Palamides dan veloni, 2011) .....	29
Gambar 3.11	<i>Band-pass filter</i> (Palamides dan veloni, 2011).....	29
Gambar 3.12	<i>Band-stop filter</i> (Palamides dan veloni, 2011).....	30
Gambar 3.13	IIR Filter (Tanudjaja, 2007) .....	31
Gambar 3.13	FIR Filter (Tanudjaja, 2007).....	32
Gambar 4.1	Lokasi stasiun seismik milik PVMBG Gunung Slamet .....	36
Gambar 4.2	Diagram alir <i>permutation entropy</i> .....	37
Gambar 4.3	Diagram alir penelitian metode <i>permutation entropy</i> .....	38
Gambar 5.1	Rekaman seismogram stasiun JRM 1 Mei 2014 .....	39
Gambar 5.2	Grafik <i>Permutation Entropy</i> Gunung Slamet dengan <i>embedding parameter</i> (a) $m = 3$ dan $l = 4$ , (b) $m = 3$ dan $l = 5$ , dan (c) $m = 3$ dan $l = 6$ . Garis vertikal hitam menunjukkan waktu	

	erupsi pada 1 Mei 2014 atau hari ke-121 dalam Julian Day .....	42
Gambar 5.3	Grafik <i>Permutation Entropy</i> Gunung Slamet dengan <i>embedding parameter</i> (a) $m = 4$ dan $l = 4$ , (b) $m = 4$ dan $l = 5$ , dan (c) $m = 4$ dan $l = 6$ . Garis vertikal hitam menunjukkan waktu erupsi pada 1 Mei 2014 atau hari ke-121 dalam Julian Day .....	43
Gambar 5.4	Grafik <i>permutation entropy</i> Gunung Slamet dengan <i>embedding parameter</i> (a) $m = 5$ dan $l = 4$ , (b) $m = 5$ dan $l = 5$ , dan (c) $m = 5$ dan $l = 6$ . Garis vertikal hitam menunjukkan waktu erupsi pada 1 Mei 2014 atau hari ke-121 dalam Julian Day .....	44
Gambar 5.5	Rekaman seismogram stasiun JRM <i>lowpass filter</i> 4 Hz 1 Mei 2014 .....	45
Gambar 5.6	Grafik <i>permutation entropy</i> Gunung Slamet <i>lowpass filter</i> 4 Hz dengan <i>embedding parameter</i> (a) $m = 3$ dan $l = 4$ , (b) $m = 3$ dan $l = 5$ , dan (c) $m = 3$ dan $l = 6$ . Garis vertikal hitam menunjukkan waktu erupsi pada 1 Mei 2014 atau hari ke-121 dalam Julian Day .....	47
Gambar 5.7	Grafik <i>permutation entropy</i> Gunung Slamet <i>lowpass filter</i> 4 Hz dengan <i>embedding parameter</i> (a) $m = 4$ dan $l = 4$ , (b) $m = 4$ dan $l = 5$ , dan (c) $m = 4$ dan $l = 6$ . Garis vertikal hitam menunjukkan waktu erupsi pada 1 Mei 2014 atau hari ke-121 dalam Julian Day .....	48
Gambar 5.8	Grafik <i>permutation entropy</i> Gunung Slamet <i>lowpass filter</i> 4 Hz dengan <i>embedding parameter</i> (a) $m = 5$ dan $l = 4$ , (b) $m = 5$ dan $l = 5$ , dan (c) $m = 5$ dan $l = 6$ . Garis vertikal hitam menunjukkan waktu erupsi pada 1 Mei 2014 atau hari ke-121 dalam Julian Day .....	49
Gambar 5.9	Rekaman seismogram stasiun JRM <i>lowpass filter</i> 2 Hz 1 Mei 2014 .....	50
Gambar 5.10	Grafik <i>permutation entropy</i> Gunung Slamet <i>lowpass filter</i> 2 Hz dengan <i>embedding parameter</i> (a) $m = 3$ dan $l = 4$ , (b) $m = 3$ dan $l = 5$ , dan (c) $m = 3$ dan $l = 6$ . Garis vertikal hitam menunjukkan waktu erupsi pada 1 Mei 2014 atau hari ke-121 dalam Julian Day .....	52
Gambar 5.11	Grafik <i>permutation entropy</i> Gunung Slamet <i>lowpass filter</i> 2 Hz dengan <i>embedding parameter</i> (a) $m = 4$ dan $l = 4$ , (b) $m = 4$ dan $l = 5$ , dan (c) $m = 4$ dan $l = 6$ . Garis vertikal hitam menunjukkan waktu erupsi pada 1 Mei 2014 atau hari ke-121 dalam Julian Day .....	53
Gambar 5.12	Grafik <i>permutation entropy</i> Gunung Slamet <i>lowpass filter</i> 2 Hz dengan <i>embedding parameter</i> (a) $m = 5$ dan $l = 4$ , (b) $m = 5$ dan $l = 5$ , dan (c) $m = 5$ dan $l = 6$ . Garis vertikal hitam menunjukkan waktu erupsi pada 1 Mei 2014 atau hari ke-121 dalam Julian Day .....	54
Gambar 5.5	Rekaman seismogram stasiun JRM <i>lowpass filter</i> 1 Hz 1 Mei 2014 .....	55

- Gambar 5.11 Grafik *permutation entropy* Gunung Slamet *lowpass filter* 1 Hz dengan *embedding parameter* (a)  $m = 3$  dan  $l = 4$ , (b)  $m = 3$  dan  $l = 5$ , dan (c)  $m = 3$  dan  $l = 6$ . Garis vertikal hitam menunjukkan waktu erupsi pada 1 Mei 2014 atau hari ke-121 dalam Julian Day ..... 57
- Gambar 5.12 Grafik *permutation entropy* Gunung Slamet *lowpass filter* 1 Hz dengan *embedding parameter* (a)  $m = 4$  dan  $l = 4$ , (b)  $m = 4$  dan  $l = 5$ , dan (c)  $m = 4$  dan  $l = 6$ . Garis vertikal hitam menunjukkan waktu erupsi pada 1 Mei 2014 atau hari ke-121 dalam Julian Day ..... 58
- Gambar 5.13 Grafik *permutation entropy* Gunung Slamet *lowpass filter* 1 Hz dengan *embedding parameter* (a)  $m = 5$  dan  $l = 4$ , (b)  $m = 5$  dan  $l = 5$ , dan (c)  $m = 5$  dan  $l = 6$ . Garis vertikal hitam menunjukkan waktu erupsi pada 1 Mei 2014 atau hari ke-121 dalam Julian Day ..... 59

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kegiatan Gunung Slamet sejak dua abad yang lalu (Anonim, 2014) .....	10
Tabel 3.1	Kumpulan data simbol deret waktu $X(t)$ (El-Darymli et al, 2015) .....	27
Tabel 3.2	Total variasi simbol pada data $X(t)$ (El-Darymli <i>et al</i> , 2015) .....	27
Tabel 4.1	Posisi dan jenis seismometer aktivitas seismik Gunung Slamet .....	34

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Kode pemrograman <i>permutation entropy</i> .....	66
Lampiran 2	Kode <i>looping permutation entropy</i> .....	68
Lampiran 3	Kode <i>looping lowpass filter</i> .....	70
Lampiran 4	Kode pemotongan data .....	71