

Karakteristik Ambient Noise Pada Sinyal Tremor Harmonik Dan Sinyal Letusan Gunung Semeru Tahun 2009

Cholisina Anik Perwita¹⁾, Arin Siska Indarwatin²⁾, Sukir Maryanto³⁾

*^{1),2),3)}Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Brawijaya
Jl. Veteran no.01 Malang
Email : cholisina@gmail.com*

Abstrak. *Data geofisika yang mempunyai tingkat kepercayaan yang tinggi adalah data seismik yang terekam pada seismometer yang dipasang di stasiun seismik sekitar gunung api. Sinyal noise yang muncul pada data seismik dapat berasal dari noise buatan ataupun ambient noise. Noise yang berada pada data seismik seringkali dihilangkan karena dianggap mengganggu proses pengolahan data. Namun ternyata karakteristik keacakan (randomness characteristic) dari sinyal noise dapat dimanfaatkan untuk menentukan pengenalan gelombang seismic yang tercatat pada seismogram. Permutation Entropi atau PE adalah salah satu metode yang paling cepat dan stabil untuk mengukur kompleksitas dinamis dari suatu deret waktu. PE bernilai satu maksimum saat sistem dinamik berada pada kondisi yang benar-benar kompleks (chaotic) dan bernilai minimal saat sistem berada pada keadaan yang dapat diprediksi. Berdasarkan penelitian yang dilakukan dengan menggunakan data seismik Gunungapi Semeru di tahun 2009, nilai PE pada sinyal seismik mempunyai karakteristik mencapai nilai minimal saat terjadinya gempa letusan dan menurun lagi pada saat didapati kejadian tremor harmonic dalam sekuen sinyal.*

Kata kunci: *Gempa Letusan, Tremor Harmonik, Gunung Semeru, Permutasi Entropi*

1. Pendahuluan

Gunung api merupakan objek geologi yang paling dinamis dan memberikan dampak yang sangat luar biasa akibat aktivitas yang ada di dalamnya. Letusan gunungberapi merupakan episode yang sangat singkat jika dibandingkan dengan masa tenang yang dapat mencapai puluhan tahun. Sebelum mulai erupsi, terjadi mekanisme yang sangat lambat yang dapat dipandang sebagai salah satu kegiatan untuk mengumpulkan tekanan dalam tubuh gunungapi seperti naiknya magma ke reservoir sehingga mengakibatkan perubahan sifat kimia maupun sifat fisika dalam reservoir. Perubahan ini akan membuat terganggunya tekanan dan saat tekanan dalam reservoir melebihi tekanan yang dapat ditahan oleh elastisitas batuan maka dimulailah fase erupsi.

Fase erupsi yang cukup singkat ini seringkali perlu diprediksi dengan memanfaatkan kombinasi data visual dan data geofisika yang didapat selama kurun waktu tertentu. Data geofisika yang mempunyai tingkat kepercayaan yang tinggi adalah data seismik yang terekam pada seismometer yang dipasang di stasiun seismik sekitar gunung api. Data seismik adalah data deret waktu yang merupakan kombinasi informasi antara mekanisme sumber, bidang penjalaran dan noise. Sinyal noise yang muncul pada data seismik dapat berasal dari noise buatan ataupun ambient noise. Noise yang berada pada data seismik seringkali dihilangkan karena dianggap mengganggu proses pengolahan data. Namun ternyata karakteristik keacakan (randomness characteristic) dari sinyal noise dapat dilakukan pengolahan lebih lanjut untuk membantu memprediksi fase erupsi gunung api.

Permutation Entropi atau PE adalah salah satu metode yang paling cepat dan stabil untuk mengukur kompleksitas dinamis dari suatu deret waktu. PE bernilai satu maksimum saat sistem dinamik berada pada kondisi yang benar-benar kompleks (chaotic) dan bernilai minimal saat sistem berada pada keadaan yang dapat diprediksi [1]. Metode ini dapat diaplikasikan untuk mengukur kompleksitas dari suatu ambient noise yang muncul pada sinyal seismik utamanya untuk keperluan monitoring.

PE menggabungkan konsep antara entropy dan penyajian symbol dinamik untuk mengungkapkan deret waktu dengan menggunakan pemisahan/partisi yang sesuai. Dengan cara ini, memungkinkan untuk membentuk deret symbol dengan mengumpulkan symbol tertentu dalam urutan temporal. Menghitung PE untuk deret waktu scalar dari bentuk $x(i)$, (dimana $i=1,2,3,\dots$) dimulai dengan

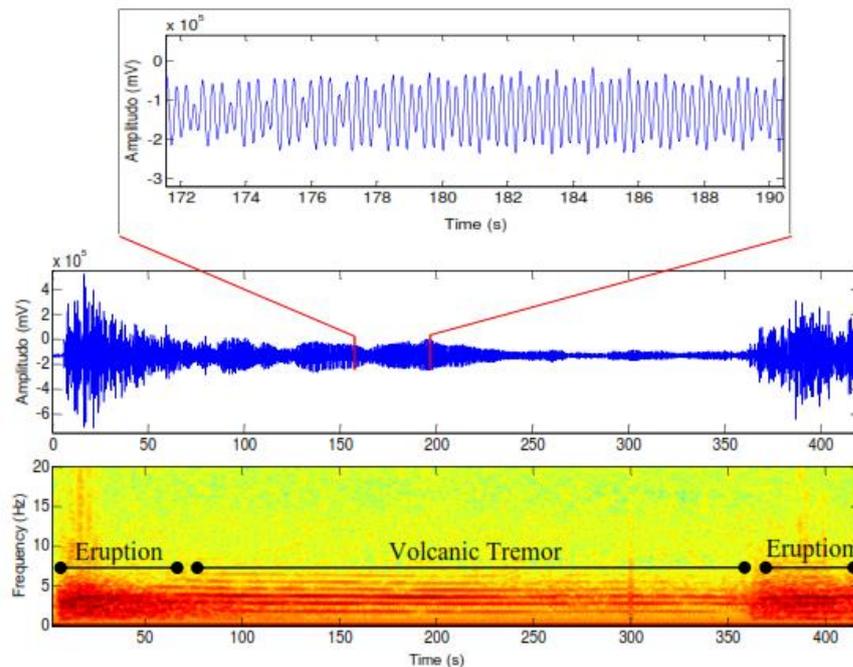
merepresentasikan deret waktu ke dalam m-dimensional Euclidian space sebagai $X_i = [x(i), x(i+L), \dots, x(i+(m-L))]$, dimana m adalah embedding dimensi dan L adalah delay time. Untuk setiap nilai dari i, nilai m adalah nilai real dari X_i yang berasosiasi dengan 1:m. Deret ini kemudian diurutkan dengan urutan yang membesar $x(i+j_1-1)L \leq x(i+j_2-1)L \leq x(i+j_m-1)L$. Tiap nilai dari X_i berasosiasi dengan urutan permutasi ke 1, 2, ... m dan deret waktu ditransformasikan dalam bentuk bilangan bulat. Dengan cara ini masing-masing akan mendapatkan nilai permutasi yang dianggap sebagai suatu symbol dan deret waktu akan ditransformasikan ke symbol yang berhubungan dengan m-dimensional space. Jika probabilitas dari distribusi untuk tiap symbol sama dengan P_1, P_2, \dots, P_k dengan $k \leq m!$ dimana factorial dari m merepresentasikan jumlah maksimum dari symbol yang ada, maka PE untuk deret waktu didefinisikan sebagai entropy Shannon untuk k symbol yang berbeda, yang diungkapkan dalam persamaan 1.

$$H_p(m) = -\sum P_j \ln(P_j) \dots\dots\dots(1)$$

[2] menemukan bahwa erupsi gunungapi Gja'lp di Islandia yang terjadi pada tanggal 29 September 1996 didahului dengan penurunan level kerandoman ambient noise. Level kerandoman noise meningkat lagi 160 menit setelah erupsi terjadi. Metode yang sama juga diaplikasikan pada gunungapi Merapi pada letusan tahun 2010. Permutation entropy yang merupakan ukuran keacakan data time series menunjukkan bahwa tidak adanya penurunan nilai PE, yang berarti sinyal masih dalam keadaan kaotik penuh (range nilai PE 0,9 sampai dengan 1) sebelum erupsi [3]. Hasil dari dua penelitian terdahulu membuka peluang untuk melakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan data gunungapi yang lain. Dalam paper ini kami mencoba menyajikan mengenai karakteristik sinyal tremor harmonik dan sinyal letusan.

2. Pembahasan

Data yang digunakan merupakan data sekunder yang berupa data seismik kegempaan yang terekam di G. Semeru selama tahun 2009 yang ditransmisikan dari PPGA Sawur. Pengukuran data primer dilakukan oleh stasiun pencatat yang terdapat di beberapa titik di sekitar G. Semeru (Stasiun Puncak (PCK), Stasiun Kepolo (KPL), Stasiun Tretes (TRS), Stasiun Besuk Bang (BES) dan Stasiun Sawur) yang dipantau oleh PPGA Sawur. Dari beberapa jenis sinyal yang terekam pada stasiun seismometer tersebut, kami memfokuskan untuk melakukan pemilihan data letusan dan data tremor harmonik. Tremor yang terjadi di gunung Semeru, merupakan tremor dengan jenis harmonik. Tremor harmonik mempunyai pola sinyal yang mendekati sinusoidal sempurna (Gambar 1). Salah satu karakteristik yang paling terlihat adalah adanya puncak-puncak frekwensi yang berulang yang jika dilihat dari spektrum frekwensi akan terlihat garis frekwensi yang berulang [4].

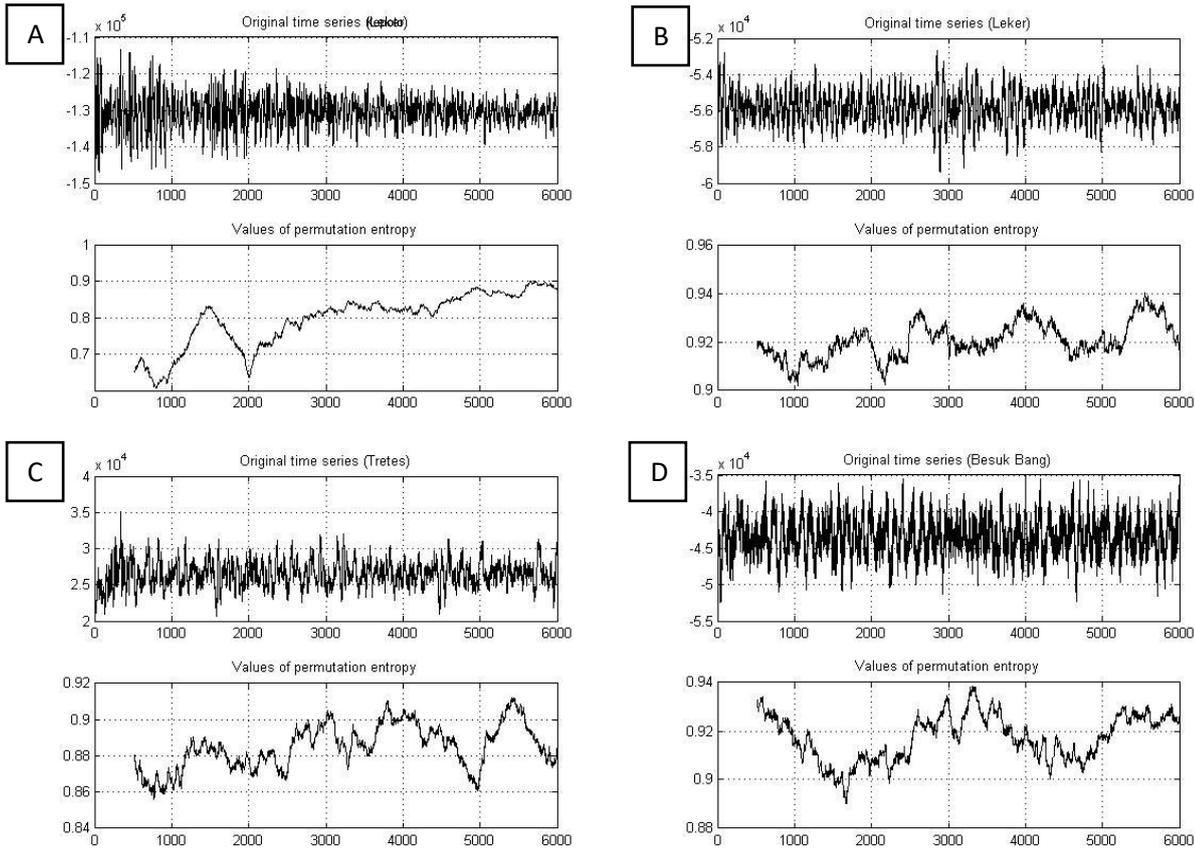


Gambar 1 Tremor vulkanik yang mengikuti 2 episode erupsi yang terjadi pada tanggal 23 Desember jam 188.11 (GMT). Sinyal di awal dan akhir merupakan event erupsi yang memiliki spektrum yang lebar sedangkan event tremor vulkanik.

2.1 Analisa Permutation Entropi

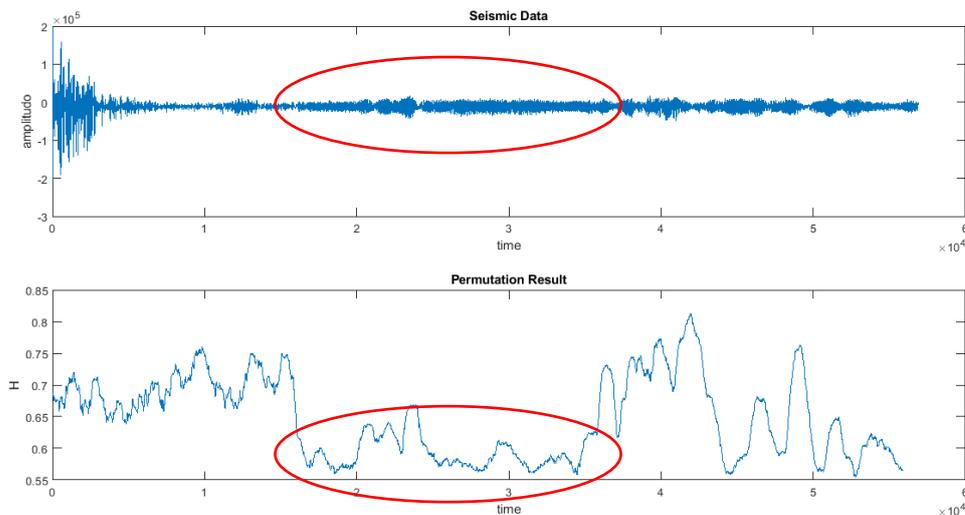
Penentuan PE yang merupakan parameter keacakan suatu signal tidak diharapkan dapat mendeteksi adanya perubahan pola sehingga dapat menuntun pengamat gunung api untuk menentukan status aktivitas maupun “meramalkan” terjadinya erupsi berikutnya. Penentuan PE ini hanya membutuhkan relative lebih sederhana karena hanya membutuhkan data deret waktu dari satu komponen saja bahkan hanya dari stasiun.

Dalam penelitian ini, terdapat 5 stasiun perekam yang memiliki variasi jarak dan kedalaman dari pusat erupsi. Untuk melihat pengaruh dari posisi stasiun terhadap sebaran keacakan sinyal dapat dilihat pada Gambar 2, dimana stasiun yang paling dekat dengan pusat erupsi berturut-turut adalah PCK, KPL, LEK, TRS, BES. Dalam aktivitas tahun 2009 ini rekaman sari stasiun PCK mengalami kendala transmisi dan alat, sehingga tidak dimasukkan sebagai salah satu stasiun yang digunakan sebagai sumber data. Nilai PE di stasiun KPL cenderung rendah dibanding dengan stasiun yang lain, sedangkan pada stasiun BES nilai PE mendekati 1 yang mana nilai ini berarti sinyal beresifat chaotic. Hal ini dimungkinkan karena efek sumber yang semakin jauh sehingga pengaruh noise lebih banyak. Kemungkinan yang lain adalah adanya heterogenitas lapisan yang lebih beragam di stasiun BES dibandingkan dengan stasiun PCK. Amplitudo yang berbeda pada gambar ini menunjukkan peluruhan energi sebanding dengan jarak stasiun dengan sumber. Semakin jauh sumber dengan receiver penerima, maka energi akan gelombang akan mempuh jarak yang lebih jauh, dan arena gelombang menjalar ke segala arah yang didekati dengan model setengah bola, maka area yang dilingkupi dengan energi yang sama akan semakin luas.

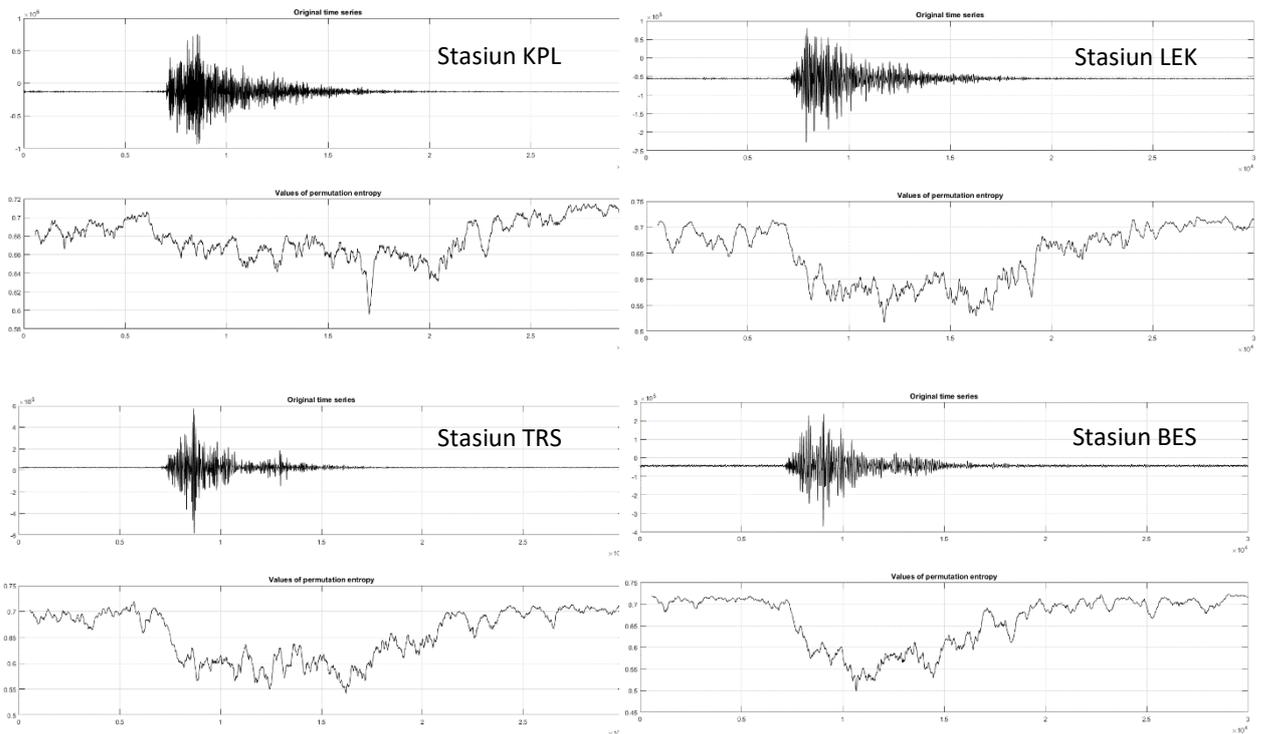


Gambar 2 Nilai permutasi entropi pada aktivitas harian di stasiun 4 stasiun seismogram.

Keacaan sinyal yang dapat diketahui dari nilai permutasi entropi ini digunakan untuk melihat karakteristik dari sinyal tremor harmonik. Nilai PE dari tremor harmonik ini, seperti yang terlihat dari sinyalnya, mempunyai bentuk yang regular maka dugaan mempunyai nilai PE akan menurun, yang menunjukkan sinyal bersifat harmonik. Gambar 3 menunjukkan adanya penurunan nilai PE yang sesuai dengan dimulai episode tremor harmonik. Dengan melihat karakteristik PE ini, dapat ditentukan kapan tremor mulai berlangsung dan kapan aktivitas tremor tercampur dengan sinyal letusan.



Gambar 3 Nilai PE yang menurun di tengah sekuen sinyal menunjukkan bahwa pada periode tersebut sinyal berubah menjadi harmonik yang mana jika dikorelasikan dengan sinyal aslinya sinyal tersebut termasuk sinyal tremor harmonik.



Gambar 5.9 Nilai PE pada sinyal letusan di Bulan Oktober

Selain melakukan karakterisasi nilai PE pada tremor harmonik, juga dilakukan perhitungan nilai PE pada gempa letusan. Gempa letusan dikarakteristikan amplitude yang membesar dengan cukup cepat dan meluruh dengan pola eksponensial. Jika gempa letusan ini cukup besar, maka akan terlihat overscale pada jendela pembacaan sinyal. Data yang digunakan pada penelitian ini, yaitu data seismik tahun 2009 mempunyai jumlah letusan perhari sekitar 90-100 letusan. Dalam hal ini, kami mencoba melihat apakah ada pola keacakan sinyal saat terjadinya letusan. Gambar 5.9 menunjukkan bahwa pada nilai PE akan menurun tepat saat terjadinya sinyal letusan. Hal ini mengindikasikan bahwa noise dari sumber alami yang muncul dan berinterferensi dengan sinyal, akan terlemahkan saat terjadi erupsi sehingga memunculkan nilai PE yang cenderung menuju nilai minimum. Saat sinyal erupsi sudah berakhir, nilai PE kembali sama seperti sebelum terjadi erupsi.

3. Kesimpulan

Dengan memanfaatkan permutasi entropi untuk melihat keacakan sinyal pada gelombang yang diterima oleh stasiun seismometer di sekitar gunung semeru, beberapa hal mengenai karakteristik sinyal letusan dan tremor harmonic yang dapat disimpulkan diantaranya adalah :

1. Nilai PE pada stasiun PCK lebih kecil disbanding dengan stasiun BES, hal ini dimungkinkan karena stasiun BES posisinya relatif lebih jauh terhadap sumber dan heterogenitas medium yang ada..
2. Nilai PE dapat digunakan untuk mendeteksi keberadaan sinyal harmonik tremor yang mana memiliki nilai yang lebih rendah jika dibandingkan dengan sekuen sinyal yang lain
3. Terjadinya sinyal letusan akan membuat nilai PE menurun tepat pada saat sinyal letusan dimulai. Hal ini bisa dimanfaatkan untuk melakukan klasifikasi otomatis untuk mengenali bentuk-bentuk sinyal yang terekam.

Daftar Pustaka

- [1]. Bandt, C. & Pompe, B., 2002. Permutation entropy — a natural complexity measure for time series. *Physical Review Letters*, 17(88).
- [2]. Glyn, S. & Konstantinou, K., 2016. Reduction of randomness in seismic noise as a short-term precursor to a volcanic eruption. *Nature Science*, 1(2).
- [3]. Sudibyo, M. R. et al., 2017. Calculation of Randomness from Seismic Noise Prior to the Great Merapi Volcano Eruption. Malang, JOINT CONVENTION MALANG 2017, HAGI – IAGI – IAFMI- IATMI (JCM 2017).
- [4]. Konstantinou, et al., 2013. Maximal Lyapunov exponent variations of volcanic tremor recorded during explosive and effusive activity at Mt Semeru volcano, Indonesia. *Nonlin. Processes Geophys.*, 20, 1137–1145