

DETEKSI ANOMALI PEMANTAUAN AKTIVITAS GUNUNG MERAPI MENGGUNAKAN KOMBINASI METODE JARINGAN SYARAF TIRUAN PROPAGASI BALIK DAN LOGIKA FUZZY

Paramitha Nerisafitra¹⁾, Arif Djunaidy²⁾

¹⁾²⁾ Jurusan Sistem Informasi Fakultas Teknologi Informasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Jalan Raya ITS, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur 60111
Email : paramitha13@mhs.if.its.ac.id¹⁾, adjunaidy@is.its.ac.id²⁾

Abstract

Monitoring volcanic activity is extremely important role to detect any changes in the activity of Mt. Merapi. The discovery of the anomaly data monitoring purposes to determine whether the activity changes that indicate an eruption or otherwise. In this research, the proposed combination of methods Backpropagation Neural Network (BPNN) to detect anomalies on seismic monitoring data Mt. Merapi and fuzzy logic to determine the conditions of activity of Mt. Merapi. The results showed that the combination of both methods are able to detect anomalies in data indicating changes in the activity of Mt. Merapi.

Abstrak

Pemantauan aktivitas gunung api memegang peranan penting untuk mengetahui adanya perubahan aktivitas pada Gunung Merapi (G. Merapi). Penemuan data anomali merupakan tujuan pemantauan untuk mengetahui apakah adanya perubahan aktivitas yang mengindikasikan terjadinya erupsi atau sebaliknya. Pada penelitian ini, diajukan kombinasi metode Jaringan Syaraf Tiruan Propagasi Balik (JST-PB) untuk mendeteksi adanya anomali pada data pemantauan seismik Gunung Merapi dan logika fuzzy untuk menentukan kondisi aktivitas G. Merapi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi kedua metode mampu mendeteksi adanya anomali data yang mengindikasikan perubahan aktivitas G. Merapi.

Kata kunci: G. Merapi, data pemantauan seismik, deteksi anomali, jaringan sayaraf tiruan propagasi balik, logika fuzzy

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang didominasi oleh gunung api, sebanyak 127 gunung berapi yang aktif dengan kurang lebih 5 juta penduduk yang tinggal disekitarnya. Salah satu yang terbesar dan aktif adalah Gunung Merapi (G. Merapi) yang terletak diantara kota Yogyakarta dan Magelang. Hal ini menjadi pusat perhatian karena menyangkut hajat hidup keselamatan warga yang tinggal di daerah Gunung Merapi. Di lerengnya masih terdapat pemukiman sampai ketinggian 1700 meter dan hanya berjarak empat kilometer dari puncak. Oleh sebab inilah G. Merapi menjadi pusat penelitian sebagai bentuk mitigasi bencana terhadap dampak negatif erupsi G. Merapi.

Pada dasarnya, dalam menentukan status gunung perlu melibatkan beberapa faktor sebagai bahan pertimbangan diantaranya seperti kondisi aktivitas gunung, persiapan psikologis korban, kesiapan jalur evakuasi, hingga situasi ekonomi juga politik. Diantara beberapa faktor tersebut, kondisi aktivitas gunung merupakan hal yang penting sehingga perlu dilakukan pemantauan aktivitas G. Merapi untuk

mengetahui adanya perubahan aktivitas kegunungapian. Tujuan dari pemantauan aktivitas gunung adalah untuk mengetahui apakah adanya data anomali mengindikasikan bahwa gunung akan mengalami erupsi atau sebaliknya[1]. Selama ini untuk menemukan adanya anomali pada data pemantauan seismik dilakukan dengan menghitung adanya perubahan data, percepatan perubahan, dan kontinuitas perubahan. Hal ini memerlukan waktu yang lama dan tidak menunjukkan pola anomali yang memudahkan pengguna dalam pengambilan keputusan terkait aktivitas G. Merapi.

Penelitian sebelumnya menguji beberapa metode yang diajukan untuk mendeteksi adanya anomali pada data seismik yang bersifat non-linier yaitu ARIMA (*Auto Regressive Integrated Moving Average*), GA (*Genetika Algoritma*), MLP (*Multilayer Perceptron*), SVM (*Support Vector Machine*), dan ANFIS[2]. Berdasarkan pengembangan beberapa metode tersebut dapat disimpulkan bahwa metode ARIMA kurang

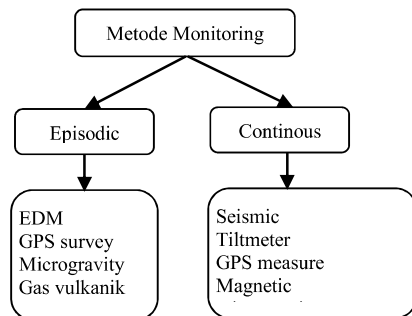
cocok untuk diaplikasikan pada data non-linier seperti data seismik, kemudian SVM memberikan hasil yang lebih baik namun hasil performa menurun ketika data yang digunakan dalam proses pelatihan dalam jumlah besar. Sedangkan metode algoritma GA dan MLP memiliki kemampuan yang sama akurat untuk mendeteksi adanya anomali namun GA memiliki kelemahan berupa banyaknya tahapan yang harus ditempuh dan MLP menghasilkan bobot yang kurang presisi saat digunakan pada proses pengujian. Berdasarkan pertimbangan kelemahan dan kelebihan beberapa metode tersebut, maka pada penelitian ini diajukan kombinasi metode JST-PB dan logika *fuzzy* yang memiliki akurasi terbaik untuk menentukan aktivitas seismik G. Merapi.

2. KERANGKA TEORI

Pada subbab ini, penulis mengulas beberapa teori yang digunakan pada penelitian ini.

a. Pemantauan aktivitas Gunung Merapi

Kegiatan pemantauan aktivitas G. Merapi sudah dilakukan sejak 1924. Alat pertama yang dipasang adalah seismograf mekanik Wiechert di lereng barat Gunung Merapi, kemudian tahun 1960 bekerjasama dengan Jepang dipasang seismograf Hosaka melengkapi seismograf yang sudah ada. Perkembangan terkini sistem pemantauan adalah menggunakan wahana satelit.. Selain alat yang sudah disebutkan diatas pemantauan disisi lain juga dilakukan, seperti data *spectometers* yang menunjukkan komposisi gas vulkanik, daya gravitasi, *remote sensing*, dll. Pada kasus G. Merapi, pemantauan dikategorikan menjadi 2 yaitu metode pemantauan kontinyu dan pemantauan periodik[3]. Gambar 1 menunjukkan skema pemantauan aktivitas Gunung Merapi.



Gambar 1. Bagan Metodologi Pemantauan Aktivitas Gunung Merapi

b. Deteksi Anomali

Deteksi anomali adalah salah satu teknik penggalian data untuk menemukan objek-objek yang dianggap tidak memenuhi kriteria dibandingkan sekumpulan objek yang lain. Kriteria tersebut dapat didefinisikan melalui nilai atribut yang dimiliki sebuah

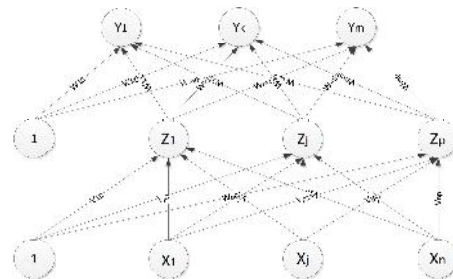
objek. Menurut Pang-Ning Tang, M. S. [4] pemilihan atribut-atribut untuk mendefinisikan sebuah objek anomali harus dilakukan secara spesifik agar mampu menentukan objek anomali dengan benar. Salah satu penerapan deteksi anomali adalah untuk mendeteksi adanya pencurian atau kecurangan dalam sebuah transaksi.

c. Jaringan Syaraf Tiruan Propagasi Balik (JST-PB)

Jaringan syaraf tiruan (JST) adalah sistem pemroses informasi yang memiliki karakteristik mirip dengan jaringan syaraf biologi. Setiap pola informasi *input* dan *output* yang diberikan kedalam lapisan jaringan syaraf tiruan diproses dalam neuron. Menurut Puspitaningrum [5], terdapat 3 jenis lapisan penyusun jaringan syaraf tiruan yaitu lapisan masukan (*input*), lapisan tersembunyi (*hidden*), dan lapisan keluaran (*output*). JST-PB dibentuk sebagai generalisasi model matematika dari jaringan syaraf biologi dengan asumsi bahwa pemrosesan informasi terjadi pada banyak elemen sederhana (neuron), sinyal dikirimkan diantara neuron-neuron melalui penghubung, penghubung antar neuron memiliki bobot yang akan memperkuat atau memperlemah sinyal, kemudian untuk menentukan *output*, setiap neuron menggunakan fungsi aktivasi yang dikenakan pada jumlahan *input* yang diterima. Besarnya *output* ini selanjutnya dibandingkan dengan suatu batasan ambang. JST biasanya ditentukan oleh 3 hal yaitu :

- Pola hubungan antar neuron
- Metode untuk menentukan bobot penghubung (merupakan metode *training, learning*, atau algoritma)
- Fungsi aktivasi

Metode JST-PB adalah sebuah metode sistematis untuk pelatihan multilayer jaringan saraf tiruan. JST-PB melatih jaringan untuk mendapatkan keseimbangan antara kemampuan jaringan untuk mengenali pola yang digunakan selama pelatihan serta kemampuan jaringan untuk memberikan respon yang benar terhadap pola masukan yang serupa dengan pola yang dipakai selama pelatihan.



Gambar 2. Ilustrasi arsitektur jaringan pada JST-PB

d. Logika Fuzzy

Teori himpunan *fuzzy* merupakan perluasan dari teori himpunan klasik. Pada teori himpunan klasik atau biasa disebut *crisp*, keberadaan suatu elemen pada suatu himpunan A hanya memiliki dua kemungkinan keanggotaan yaitu menjadi anggota A atau bukan anggota A. Suatu nilai yang menunjukkan seberapa besar tingkat keanggotaan suatu elemen (x) dalam suatu himpunan A sering dikenal dengan nama nilai keanggotaan atau derajat keanggotaan, biasanya dinotasikan dengan μ_A bernilai 1 untuk x menjadi anggota A dan μ_A bernilai 0 untuk x bukan anggota A. Selain himpunan fuzzy, hal yang penting dalam metode ini adalah fungsi keanggotaan (*membership fuction*). Fungsi keanggotaan atau *membership function* adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik *input* data ke dalam nilai keanggotaannya. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai keanggotaan adalah dengan melalui pendekatan fungsi. Ada beberapa fungsi yang bisa digunakan diantaranya :

- Representasi Linier
- Representasi Kurva Segitiga
- Representasi Kurva Trapesium
- Representasi Kurva Bentuk Bahu

sss3. METODOLOGI PENELITIAN

Pada bagian pembahasan penulis memberikan penjelasan mengenai rancangan penelitian yang akan dilakukan.

3.1 Data

Pada kasus ini, penulis memilih data pemantauan seismik G. Merapi untuk diproses ke dalam metode JST-PB dan logika *fuzzy*. Jenis pemantauan seismik ini digunakan dalam penelitian ini karena terbukti memiliki pengaruh terhadap perubahan data yang mengindikasikan terjadinya erupsi pada tahun 2006 dan 2010. Periode data yang digunakan adalah periode data yang pernah mengalami perubahan data yang mengindikasikan peningkatan aktivitas sesaat sebelum letusan G. Merapi 2010[6]. Penulis memilih periode data pemantauan seismik tahun 2004 hingga 2013. Data pemantauan seismik meliputi data gempa vulkanik dalam (VA), data gempa vulkanik dangkal (VB), data gempa *low frequency*, data gempa *multiphase* (MP), dan data guguran (RF).

Data pemantauan seismik merupakan data yang merekam jumlah kejadian gempa setiap hari. Pemantauan jumlah kejadian gempa dilakukan di setiap jenis data gempa. Pada penelitian ini, data dibagi menjadi dua yaitu data untuk pelatihan dan data pengujian berturut-turut 60% dan 40%. Data pemantauan seismik didapatkan melalui laporan resmi mingguan yang dirilis resmi melalui *website* resmi yang dimiliki oleh PVMBG Yogyakarta.

3.2 Metodologi

Pada penelitian ini, metode JST-PB berkontribusi untuk menghasilkan kondisi aktivitas setiap jenis gempa melalui pengenalan pola. Sedangkan logika *fuzzy* untuk mengagregasi kondisi aktivitas seluruh jenis gempa sehingga didapatkan kesimpulan yang utuh kondisi aktivitas seismik Gunung Merapi.

Metode JST-PB merupakan metode pertama yang digunakan pada penelitian ini untuk menentukan kondisi aktivitas setiap jenis gempa. Untuk dapat menghasilkan pola yang tepat, set data pelatihan dilatih menggunakan metode JST-PB untuk menghasilkan bobot terbaik yang memiliki nilai kesalahan paling kecil. Kemudian bobot tersebut digunakan pada set data pengujian untuk mengetahui akurasi dari kinerja metode JST-PB dalam menentukan kondisi setiap jenis gempa dalam pemantauan seismik G. Merapi.

Hasil keluaran dari metode JST-PB inilah yang akan diproses sebagai masukan bagi metode kedua yaitu logika *Fuzzy*. Sebelum memproses hasil metode JST-PB ke dalam logika *fuzzy*, terlebih dahulu dilakukan persiapan pada data untuk menentukan fungsi keanggotaan pada setiap jenis gempa pada metode pemantauan seismik. Dalam hal ini terdapat lima jenis gempa sehingga terdapat lima fungsi keanggotaan. Hasil metode JST-PB akan diproses pada fungsi keanggotaan ini untuk dihitung derajat keanggotaannya. Kemudian diproses menggunakan aturan yang sudah ditentukan dan terakhir proses *defuzzifikasi*. Hasil metode logika *fuzzy* inilah yang merupakan kondisi utuh aktivitas Gunung Merapi berdasarkan metode pemantauan seismik. Gambar 3 menjelaskan proses yang dilewati pada penelitian ini.

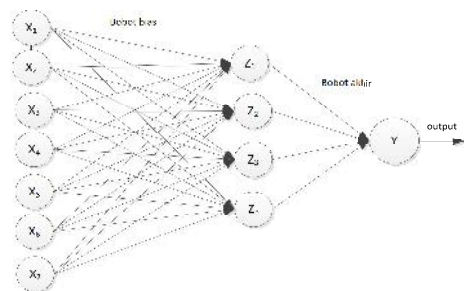


Gambar 3. Tahapan Proses Penentuan Aktivitas Gunung Merapi Berdasarkan Pemantauan Seismik

3.3 Deteksi Anomali Menggunakan Metode JST-PB

Pada implementasi metode JST-PB, terdapat dua tahapan yang harus dijalani yaitu proses pelatihan untuk mendapatkan bobot (w_{ij}) terbaik sebagai pengenalan pola. Proses pelatihan dimulai dengan membaca data *input*, bobot awal, parameter *training* (*learning rate*, maksimum *epoch*, target *error*), dan target

output. Kemudian dilanjutkan dengan proses *feedforward* dan propagasi balik. Sebanyak 366 data set dipersiapkan meliputi 59 set data aktivitas meningkat, 10 set data aktivitas menurun, dan 297 set data aktivitas normal aktif. Fungsi aktivasi berperan dalam proses iterasi pelatihan hingga didapatkan nilai *minimum error*. Gambar 4 merupakan gambaran arsitektur metode JST-PB yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 4 Arsitektur Jaringan Metode JST-PB Untuk Data Seismik G. Merapi

Berdasarkan gambar 4 dapat diketahui bahwa arsitektur jaringan untuk proses pelatihan dan pengujian setiap gempa sama yang membedakan adalah jumlah variasi dari lapisan *hidden layer*. Jaringan dibentuk dengan 7 masukan (x) yang berisi jumlah kejadian gempa harian, 1 hasil keluaran (y), kemudian dilakukan sejumlah uji coba dengan mengubah jumlah *hidden layer* (z) untuk mendapatkan bobot terbaik yang memiliki nilai *error* (MSE) paling kecil. Pada proses pelatihan setiap jenis gempa ditentukan target nilai *error* (MSE) sebesar 1×10^{-5} dan jumlah maksimum *epoch* adalah 5000 kali perulangan.

Setelah didapatkan bobot terbaik dari proses pelatihan, kemudian bobot inilah yang digunakan untuk proses pengujian kinerja metode JST-PB. Proses ini bertujuan untuk menguji akurasi dari proses pelatihan. Nilai bobot akhir pada proses pelatihan akan digunakan untuk menguji set data yang sudah dipersiapkan yaitu sebanyak 16 set data untuk kondisi normal aktif, 4 set data anomali aktivitas meningkat, dan 3 set data anomali aktivitas menurun. Pada proses pengujian kinerja akan dihasilkan tingkat akurasi sebagai tolok ukur keberhasilan dari perangkat lunak yang dibuat. Tingkat akurasi dari proses pengujian ini didapatkan dari persamaan (1).

$$\text{akurasi} = \frac{\text{keseluruhan jumlah data} - \text{jumlah data salah}}{\text{keseluruhan jumlah data}} \times 100\% \quad (1)$$

Pada proses pengujian data, jika nilai data berada diluar batas yang sudah ditentukan dengan rumusan (2).

$$\mu \pm 1.5 \times \sigma \quad (2)$$

dimana μ adalah nilai rata-rata dan σ merupakan standar deviasi, maka anomali data terdeteksi.

3.4 Penentuan Aktivitas Seismik dengan Logika Fuzzy

Logika fuzzy adalah cabang dari sistem kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) yang mengemulasi kemampuan manusia dalam berfikir ke dalam bentuk algoritma yang kemudian dijalankan oleh mesin. Pada penelitian ini, hasil metode *backpropagation* dari setiap jenis gempa pada pemantauan seismik akan ditransformasikan ke dalam himpunan fuzzy untuk dapat menyimpulkan kondisi akhir aktivitas seismik.

Pada penelitian ini proses dekomposisi variabel dilakukan pada setiap data jenis gempa pada pemantauan seismik yaitu gempa vulkanik dalam (VA), gempa vulkanik dangkal (VB), gempa *low frequency* (LF), gempa *multiphase* (MP), dan guguran (RF). Setiap variabel tersebut terbagi atas 5 himpunan fuzzy yang merepresentasikan aktivitas gunung yaitu meningkat, stabil, atau menurun. Fungsi keanggotaan setiap variabel akan disajikan dalam beberapa representasi jenis kurva segitiga dan kurva bahu berdasarkan observasi data.

Dari kelima jenis gempa tersebut perlu diagregasikan untuk didapatkan kesimpulan akhir tentang aktivitas G. Merapi berdasarkan pemantauan seismik. Penentuan agregasi seluruh jenis data pada pemantauan seismik didapatkan dari hasil wawancara dengan pihak PVMBG Yogyakarta. Terdapat sebelas aturan yang digunakan untuk mengagregasikan kelima jenis gempa tersebut. Langkah terakhir dari proses fuzzy adalah metode yang dipilih untuk proses *defuzzyfikasi*. Keputusan yang dihasilkan dari proses penalaran masih dalam bentuk fuzzy, yaitu berupa derajat keanggotaan keluaran. Hasil ini harus diubah kembali menjadi variabel numerik non fuzzy melalui proses *defuzzyfikasi*.

4. HASIL DAN DISKUSI

Dalam proses implementasi metode JST-PB, data pelatihan dan data pengujian dibagi menjadi 60% dan 40% beturut-turut. Pembagian data set untuk proses pelatihan dan pengujian berlaku untuk seluruh jenis gempa yang termasuk dalam metode pemantauan seismik. Hasil proses pelatihan untuk seluruh jenis gempa dalam (VA), gempa dangkal (VB), gempa *low frequency* (LF), gempa *multiphase* (MP), dan guguran (RF) menunjukkan keakuratan 100% dengan target *minimum error* yang ditentukan sebesar 1×10^{-5} . Kemudian proses pengujian juga dilakukan pada seluruh

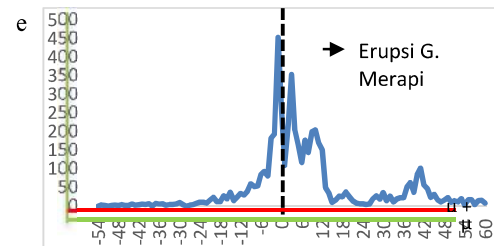
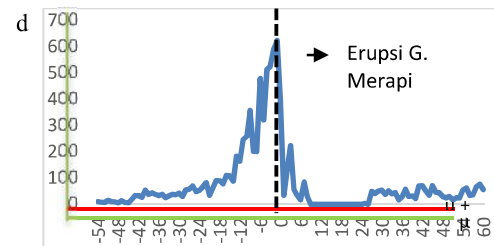
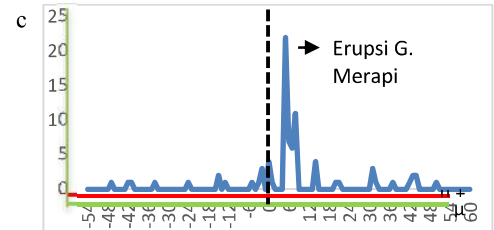
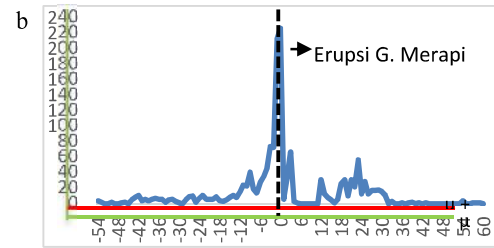
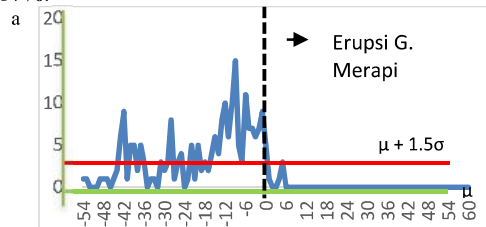
jenis gempa yaitu sebanyak 157 set data. Proses pengujian juga dilakukan pada seluruh jenis data pada pemantauan seismik. Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian dari metode *backpropagation*.

Tabel 1 Hasil Pengujian Metode JST Propagasi Balik pada Kelima Jenis Gempa

No	Jenis Gempa	Nilai Akurasi	Prosentase
1	Gempa Dangkal (VA)	146	94 %
2	Gempa Dangkal (VB)	137	87 %
3	Gempa Low Frequency (LF)	157	100 %
4	Gempa Multiphase (MP)	115	73 %
5	Guguran (RF)	119	76 %

Berdasarkan tabel 1 dapat diketahui bahwa hasil pengujian dari kinerja metode *backpropagation* terhadap seluruh jenis data pada metode pemantauan seismik yaitu sebesar 85 %.

Setelah proses pengujian metode JST-PB telah usai dijalankan, maka nilai yang dihasilkan akan menjadi masukan pada metode logika *fuzzy*. Hasil keluaran metode JST-PB berupa nilai linguistik keadaan setiap gempa yaitu normal aktif, meningkat, atau menurun. Nilai linguistik inilah yang menjadi masukan bagi logika *fuzzy*, kemudian ditransformasikan ke dalam himpunan *fuzzy*, dan diproses menggunakan aturan yang sudah ditentukan. Proses terakhir yaitu *defuzzyfikasi* untuk memberikan kesimpulan akhir dari kondisi aktivitas G.. Merapi berdasarkan pemantauan seismik. Hasil percobaan logika *fuzzy* dibandingkan dengan kondisi nyata pada saat sebelum terjadinya erupsi G. Merapi pada 26 Oktober 2010. Analisis perbandingan menggunakan periode data satu bulan sebelum G. Merapi mengalami erupsi dan 1 bulan setelah mengalami erupsi. Hasil menunjukkan kesamaan hasil antara kondisi nyata yang dirilis oleh PVMBG Yogyakarta dan metode logika *fuzzy* memiliki prosentase kesamaan sebesar 87%.



Gambar 5 Grafik Anomali Gempa Dalam (a), Gempa Dangkal (b), Gempa Low Frequency (c), Gempa Multiphase (d), dan Guguran (e) pada Erupsi 2010

Berdasarkan kelima grafik yang ditunjukkan oleh gambar 5 dapat dilihat bahwa metode *backpropagation* mampu mendeteksi perubahan aktivitas Gempa vulkanik dalam (VA) 54 hari sebelum erupsi 5(a), sedangkan Gempa vulkanik dangkal (VB) yang ditunjukkan oleh gambar 5(b) terlihat menunjukkan adanya anomali yang mengindikasikan perubahan aktivitas sejak 42 hari sebelum erupsi pada 26 Oktober 2010. Berbeda dengan gempa Low Frequency (LF) yang terlihat dari gambar 5(c) yang terdeteksi menunjukkan perubahan aktivitas meningkat baru 5 hari menjelang erupsi G. Merapi. Sedangkan pada gempa *multiphase*, data menunjukkan anomali yang mengindikasikan peningkatan terlihat sejak 32 hari sebelum erupsi hingga 48 hari setelah erupsi tertera pada gambar 5(d). Hal ini mengindikasikan bahwa pertumbuhan kubah lava terus terjadi setelah erupsi. Kemudian

gambar 5(e) merupakan hasil deteksi anomali yang mengindikasikan peningkatan pada guguran terjadi 21 hari menjelang erupsi dan terus terjadi hingga 7 hari setelah erupsi. Kemudian mengalami penurunan pada seminggu berikutnya.

Selain menganalisis kinerja JST-PB dalam mendeteksi anomali yang mengindikasikan peningkatan pada setiap jenis gempa, analisis juga dilakukan untuk mengetahui akurasi kinerja logika fuzzy dalam menentukan aktivitas seismik G. Merapi. Hasil Logika Fuzzy bahwa perubahan kondisi aktivitas seismik yang mengindikasikan peningkatan mulai terlihat pada 35 hari sebelum erupsi terjadi. Terjadi kesamaan hasil logika fuzzy dan PVMBG dalam menentukan kondisi peningkatan aktivitas sesaat sebelum erupsi terjadi. Namun terdapat perbedaan kesimpulan aktivitas saat setelah erupsi, dimana hasil metode fuzzy menyimpulkan kondisi telah menurun 14 hari setelah erupsi pertama pada 26 Oktober 2010 sedangkan PVMBG tetap merilis aktivitas menurun pada 28 hari yaitu pada tanggal 3 Desember 2010, setelah erupsi pertama atau berbeda 7 hari dengan hasil logika fuzzy.

5. KESIMPULAN

Pada dasarnya pemantauan terhadap aktivitas G. Merapi merupakan salah satu bentuk mitigasi bencana dari dampak negatif erupsi. Pemantauan bertujuan untuk mengetahui adanya anomali pada data yang mengindikasikan perubahan aktivitas pada gunung. Dalam penelitian ini diusulkan kombinasi metode JST-PB dan logika fuzzy untuk mempermudah dalam mengetahui kondisi aktivitas setiap gempa dan aktivitas pemantauan seismik G. Merapi secara utuh. Kedua metode tersebut dipilih berdasarkan rujukan beberapa penelitian sebelumnya yang menunjukkan kelebihan dalam mendeteksi anomali data sebelum terjadinya gempa bumi. Hal ini dilakukan karena terdapat kesamaan jenis data seismik yang dijadikan indikator akan terjadinya gempa bumi yaitu LST (*Land Surface Temperature*) dan TEC (*Total Electron Content*) pada saat akan terjadinya gempa di Verzeghan, Iran yang bersifat bersifat non-linier. Hasil implementasi kedua metode untuk mendeteksi anomali sebelum terjadinya gempa menunjukkan hasil prosentase sebesar 51.23% untuk deteksi anomali pada data LST dan 85.26% untuk anomali pada data TEC pada 2 hari sebelum gempa bumi dan 5 hari setelah gempa bumi melanda.

Sedangkan pada penelitian ini, metode JST-PB dipekerjakan untuk mengetahui kondisi aktivitas setiap gempa dalam metode

pemantauan seismik yaitu gempa vulkanik dalam (VA), gempa vulkanik dangkal (VB), gempa low frequency (LF), gempa multiphase (MP), dan guguran (RF). Hasil menunjukkan metode JST-PB memiliki akurasi kinerja rata-rata seluruh jenis gempa sebesar 85% dan mampu mendeteksi adanya anomali 28 hari sebelum terjadinya erupsi. Hal ini memiliki selisih hari yang cukup banyak dibandingkan dengan implementasi kedua metode dalam mendeteksi anomali sebelum terjadinya gempa bumi yang melanda Iran. Kemudian logika fuzzy berfungsi untuk mengagregasikan seluruh jenis gempa dalam metode pemantauan seismik untuk didapatkan kesimpulan akhir aktivitas G. Merapi berdasarkan aktivitas seismik memiliki akurasi kinerja 87%. Dimana dengan akurasi yang disebutkan kombinasi kedua metode tersebut mampu untuk mendeteksi adanya anomali yang mengindikasikan terjadinya erupsi lebih dini.

5. DAFTAR RUJUKAN

- [1] R. Sobradelo, J. Marti. 2014. Short term volcanic hazard Assessment Through Bayesian Inference: Retrospective Application to The Pinatubo 1991 Volcanic Crisis. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 290, pp. 1-11.
- [2] Akhoondzadeh, M. 2013. An Adaptive Network-based Fuzzy Inference System for detection of thermal and TEC anomalies around the time of the Varzeghan, Iran earthquake of 11 August 2012. *Advance in Space Research*, vol 51, pp. 2048-2057, 2013.
- [3] Badan Geologi, 2015. Aktivitas Terakhir Gunung Merapi. Tersedia pada halaman : <http://www.merapi.bgl.esdm.go.id>. [Diakses pada : 23 Agustus 2015]
- [4] Pang-Ning Tang, et al. 2014. *Introduction to Data Mining*. Pearson.
- [5] Puspitaningrum, Dyah. 2006. *Pengantar Jaringan Saraf Tiruan*, Yogyakarta: ANDI.
- [6] Agus Budi, Philipe L, Sri Sumarti, Subandriyo, Surono, J. Philippe, Metaxian, J. Philippe. 2013. Analysis Of The Seismic Activity Assosiated With The 2010 Eruption Of Merapi Volcano. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 261, pp. 153-170.
- [7] Akhoondzadeh, M. 2013. Genetic Algorithm for TEC seismo-ionospheric Anomalies Detection Around The Time of Solomon Earthquake of 06 February 2013. *Advance in space Research*, vol 52, pp. 581-590.
- [8] Akhoondzadeh, M. 2013. A MLP neural network as an investigator of TEC time

- series to detect seismo-ionospheric anomalies. *Advance in space Research*, vol 52, pp. 837-852.
- [9] Sparks, R.S.J. 2003. Forecasting volcanic eruptions. *Journal of Earth and Planetary Science Letters*, vol 210, pp. 1-15.
- [10] Bozzo, Enrico, Carniel Roberto, Dario Fasino. 2010. Relationship between singular spectrum analysis and fourier analysis : theory and application to the monitoring of volcanic activity. *Computers and Mathematics with Applications*, vol 60, pp. 812-820.
- [11] Ham, Fredic. M, 2012. A Neurocomputing Approach for Monitoring Plinian Volcanic Eruption Using Infrasound. In : *Proceedings of INNS-WC2012 (International Neural Network Society Winter Conference)*. Procedia Computer Science. Melbourne 2012.
- [12] Novelo-Casanova, D-A, Valdes-Gonzalez. 2008. Seismic pattern recognition techniques to predict large eruption at the Popocatepetl, Mexico, volcano. *Journal of Volcanology and Geothermal*, vol 176, pp. 583-590.
- [13] Sparks, R.S.J. 2003. Forecasting volcanic eruptions. *Journal of Earth and Planetary Science Letters*, vol 210, pp. 1-15.