

**KLASIFIKASI JENIS GEMPA GUNUNG BERAPI
MENGUNAKAN JARINGAN SYARAF TIRUAN *BACKPROPAGATION***

SKRIPSI

Oleh:

IQROK WAHYU PERDANA

NIM 06550041



**JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI (UIN) MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG**

2013

**KLASIFIKASI JENIS GEMPA GUNUNG BERAPI
MENGUNAKAN JARINGAN SYARAF TIRUAN *BACKPROPAGATION***

SKRIPSI

Diajukan Kepada:

**Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN)
Maulana Malik Ibrahim Malang Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Dalam Memperoleh Gelar Sarjana Kompuetr (S.Kom)**

Oleh:

IQROK WAHYU PERDANA

NIM. 06550041

**JURUSAN TEKNIN INFORMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI (UIN) MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG**

2013

HALAMAN PERSETUJUAN

**KLASIFIKASI JENIS GEMPA GUNUNG BERAPI
MENGUNAKAN JARINGAN SYARAF TIRUAN *BACKPROPAGATION***

SKRIPSI

Oleh :

**IQROK WAHYU PERDANA
NIM. 06550041**

**Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji:
Tanggal : 6 Juli 2013**

Pembimbing I

Pembimbing II

H. Fatchurrochman, M.Kom

A. Nasichuddin, M.Ag

NIP. 197007312005011002

NIP. 197307052000031002

**Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Informatika
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang**

Ririen Kusumawati, M.Kom

NIP. 197203092005012002

HALAMAN PENGESAHAN

**KLASIFIKASI JENIS GEMPA GUNUNG BERAPI
MENGUNAKAN JARINGAN SYARAF TIRUAN *BACKPROPAGATION***

SKRIPSI

Oleh:

**IQROK WAHYU PERDANA
NIM. 06550041**

Telah Dipertahankan Di Depan Dewan Penguji Skripsi
Dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Komputer (S.Kom)

Tanggal : 11 Juli 2013

Susunan Dewan Penguji		Tanda Tangan
1. Penguji Utama	: <u>Syahiduz Zaman, M.Kom</u> NIP. 197005022005011005	()
2. Ketua Penguji	: <u>Zainal Abidin, M.Kom</u> NIP. 197606132005011001	()
3. Sekretaris Penguji	: <u>H. Fatchurrochman, M.Kom</u> NIP. 197007312005011002	()
4. Anggota Penguji	: <u>A. Nasichuddin, M.Ag</u> NIP. 197307052000031002	()

**Mengetahui dan Mengesahkan,
Ketua Jurusan Teknik Informatika
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang**

**Ririen Kusumawati, M.Kom
NIP. 197203092005012002**

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Iqrok Wahyu Perdana
NIM : 06550041
Jurusan : Teknik Informatika
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Skripsi : **KLASIFIKASI JENIS GEMPA GUNUNG BERAPI
MENGUNAKAN JARINGAN SYARAF TIRUAN
BACKPROPAGATION**

Dengan ini menyatakan dengan sebenarnya bahwa:

1. Isi dari skripsi yang saya buat adalah benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan data, tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil dan tulisan saya sendiri, selain bahan yang saya kutip dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka.
2. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang, 15 Juli 2013

Yang membuat pernyataan,

Iqrok Wahyu Perdana

NIM. 06550041

MOTTO

Break Your Limit, Grab Your Dream, Enjoy Your Future!



Think Big

Start Small

Act Now

Learn Quick

Grow Fast

LEMBAR PERSEMBAHAN

Ada Suka Sekaligus Sesal!

Meski ada rasa bangga saat menyelesaikannya, namun terselip juga rasa kecewa dan penyesalan yang begitu mendalam. Bagaimana tidak, proposal yang telah diajukan pada semester VI lebih tepatnya tanggal 11 Desember 2009, Baru bisa mewujudkan jadi skripsi di akhir Semester XIV. Dimana periode tersebut adalah detik-detik terakhir menuju gelar Drop-Out.

Kalaulah kiranya penulis tak menyalakan waktu sedemikian hebatnya, maka sudah pasti skripsi ini lebih bermanfaat sebagai rujukan untuk insan akademika Fakultas Sains dan Teknologi dan masyarakat umum lainnya. Setidaknya episode sejarah penulis ini menjadikan pelajaran bagi rekan mahasiswa, jangan pernah sia-siakan waktumu. Karena dengan menyalakan waktumu engkau hanya akan memanen seribu penyesalan.

Hingga akhirnya dengan penghargaan yang begitu dalam, skripsi ini kupersembahkan kepada:

1. Ayahanda Ahmad Lukman SR dan Ibunda Rahmaati yang terus memberikan semangat tiada terputus. Yang mendorong secara moril dan materiil. Yang terus menyambung doa dan nasehat. Yang terus menyisihkan waktu untuk memperhatikan perkembangan skripsi penulis. Semoga Ilmu ananda ini menjadi jariah yang bisa Engkau nikmati di jannah kelak. Amin.

2. Bu Ririen Kusumawati, yang memberikan nasehat dan dorongan untuk segera menyelesaikan skripsi 3,5 tahun yang lalu. Hingga kini pun waktu bergulir dan semakin habis, maaf jika penulis mengecewakan harapan-harapan Anda selama ini.
3. Pak Fatchurrochman, pembimbing sekaligus dosen wali yang ajeg dan bijaksana. Sabar memberikan dukungan dan bimbingan hingga terselesaikannya Skripsi ini. Bukan hanya memberikan bimbingan dan arahan, beliau juga memberikan tumpangan berteduh selama skripsi ini diselesaikan.
4. Dosen Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang, Pak Syauqi A'la, Pak Syahiduz Zaman, Pak Zainal Abidin, Pak Amin Hariyadi, Pak Faisal, Pak Totok Chamidy, Pak Bu Roro, Bu Hani. Beserta seluruh tim Laboran, Helpdesk dan Administrasi Jurusan yang selama ini telah memberikan pelayanan akademik terbaik kepada penulis.
5. Istriku Yevi Nur Syaidah yang rela mengorbankan waktu-waktu penting untuk kutinggalkan demi menyelesaikan skripsi ini. Istri yang siang malam terus memberikan suntikan motivasi tiada henti. Terima kasih atas pengertian dan perhatianmu selama ini.
6. Putra pertamaku Harsa Hufadzil Ula, yang maksud kuberi nama demikian agar ia mampu menjaga segala amanah yang dibebankan kehidupan kepadanya, kelak nanti. Nak, jangan seperti bapakmu yang banyak melalaikan amanah ini. Namun saksikanlah, jika engkau berbuat salah,

jangan ragu untuk segera memperbaikinya, dan selesaikan segala tanggung jawabmu.

7. Sahabat AIR UIN Maulana Malik Ibrahim Malang, Selamat Hariadi, Slamet Arif Billah, Ruslan Hermawan, Zainal Abidin, Hartanto, Agung, Budi Fairul, As'ad, Ramadhita.
8. Seluruh civitas akademika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang & Pecinta Bidang Penelitian Vulkanologi di seluruh Indonesia.

Semoga segores ilmu pengetahuan yang aku tulis ini bermanfaat bagi penelitian kegunung-apian selanjutnya. Dan semoga hubungan antara ilmu vulkanologi dan informatika dapat terlain lebih mesra dan sinergis.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puja dan puji syukur sudah selayaknya kita panjatkan ke haribaan Allah SWT yang telah memberikan anugerah kehidupan, anugerah iman dan anugerah ilmu pengetahuan. Sholawat serta salam semoga selalu tercurah ke haturan baginda Rasulullah SAW, pembawa berita gembira dan penerang jalan umat akhir zaman.

Skripsi berjudul Klasifikasi Jenis Gempa Gunung Berapi Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation ini telah berhasil penulis selesaikan, atas bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Demikian demikian, menjadi lumrah apabila penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan kepada:

1. Prof. Dr. Mudjia Rahardjo, M.Si selaku Rektor Universitas Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah mengelola kampus dan menanamkan prinsip-prinsip pendidikan tinggi yang menginspirasi banyak pihak termasuk penulis.
2. Dr. drh. Bayinatul Muchtaromah, M.Si selaku Dekan Fakultas Sain dan Teknologi Universitas Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Ririen Kusumawati, M.Kom selaku Ketua Jurusan Teknik Informatika Universitas Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Fatchurrochman, M.Kom selaku dosen wali dan dosen pembimbing skripsi yang telah banyak memberikan saran, bimbingan, juga bantuan dalam proses penyelesaian skripsi ini.

5. A. Nasichuddin, M.Ag selaku dosen pembimbing integrasi sains islami yang telah memberikan banyak kemudahan dalam proses penyelesaian skripsi ini.
6. Segenap Dosen Teknik Informatika, PKPBA, Laboran, Asisten Dosen, Asisten Laboratorium, Dewan Kyai Ma'had Sunan Ampel Al-Aly, Asitdz, Murobby, dan segenap Musyrif yang telah membimbing penulis selama menimba ilmu di Universitas Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
7. Pak Suparno selaku kepala kantor Pos Pengamatan Gunung Semeru. Pak Herry Kusandarto yang membeimbing secara teknis komputasi. Pak Liswanto yang mengajak naik ke puncak untuk mengecek kondisi stasiun seismometer. Pak Arifin dan Pak Sopian yang telah membantu penulis saat mengadakan penelitian di Pos Pemantau Gunung Semeru.
8. Seluruh sahabat di komunitas Azzam Islamic Research (AIR), HMJ TI 200702008, UINbuntu *Linux User Group*, *Eth0 Network Discussion Group*, *DNA Apartement*, LDK at-Tarbiyah, SESCOM, KAMMI, dan Sahabat Dakwah yang memberikan warna-warni kehidupan berorganisasi dan bermasyarakat serta pengalaman berharga selama penulis mengenyam jenjang pendidikan tinggi.
9. dr Arief Alamsyah, MARS, Feri D. Sampurno, CMNLP, Andik Top, SE, Dadang Kriswanto, SE, dan segenap tim manajemen PT. Inspiera Sinergi Indonesia serta rekan-rekan alumni Amazing Camp yang telah memberikan

banyak pengetahuan dan keahlian di bidang motivasi dan pemberdayaan diri.

10. Semua pihak yang tak mungkin jika disebutkan satu persatu yang turut menjadi katalisator terselesaikannya penulisan skripsi ini.

Semoga setetes ilmu yang terpercik dalam karya tulis sederhana ini bermanfaat bagi kemajuan ilmu pengetahuan bangsa. Penulis berharap bisa melanjutkan penelitian ini ke jenjang yang lebih tinggi dan menghasilkan karya ilmiah yang lebihberkualitas, serta lebih bermanfaat bagi khalayak rami.

Malang, 15 Juli 2013

Penulis

Iqrok Wahyu Perdana

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN MOTTO	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
ABSTRAK	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	11
1.3 Tujuan Penelitian	12
1.4 Manfaat Penelitian	12
1.5 Batasan Masalah	13
1.6 Metode Penelitian	13
1.7 Sistematika Penulisan Skripsi	14
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	16
2.1 Vulkanologi	16
2.2 Kajian Sains Qur’ani tentang Gunung Berapi	17
2.3 Pengamatan Gunung Berapi di Indonesia	20

2.4 Gempa Bumi (Seismik)	23
2.5 Gempa Bumi Vulkanik	27
2.6 Jaringan Syaraf Tiruan.....	34
2.7 Algoritma <i>Backpropagation Neural Network</i>	39
2.8 Verifikasi dan Validasi Sistem	46
2.8.1 Verifikasi	46
2.8.2 Validasi	48
BAB III METODE PENELITIAN	52
4.1. Desain Penelitian	52
4.2. Prosedur Penelitian	53
4.2.1. Alat dan Bahan	54
4.2.2. Waktu dan Tempat	54
4.3. Metode Penelitian	54
4.3.1. Metode Pengumpulan Data	54
4.3.2. Analisis Perancangan Sistem	58
4.3.3. Perancangan Arsitektur Jaringan Syaraf Tiruan	71
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	82
5.1. Tahap Preprocessing Data.....	82
5.2. Uji Verifikasi dan Validasi Jaringan Syaraf Tiruan	84
5.3. Kajian Integrasi Qur'an dan Sains	90
BAB V KESIMPULAN.....	93
5.4. Kesimpulan	93
5.5. Saran	93
DAFTAR PUSTAKA.....	95

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Data Gunung Berapi di Indonesia	21
Tabel 2.2	Contoh Tabel Pengujian Leave one out	50
Tabel 2.3	Contoh Tabel Pengujian Four-fold Cross-validation	50
Tabel 2.4	Contoh Tabel Pengujian Two-fold Cross-validation	51
Tabel 3.1	Kode Kanal dan Lokasi Seismometer	58
Tabel 3.2	Tabel Konversi Output JST terhadap Jenis Gempa	72
Tabel 4.1	Data Gempa Gunung Semeru Januari 2012	82
Tabel 4.2	Data Set Pelatihan JST	84
Tabel 4.3	Hubungan Antara Jumlah Hidden Neuron dan Epoch	86
Tabel 4.4	Hubungan Antara Nilai Learning Rate dan Epoch	86
Tabel 4.5	Data Hasil Uji Validitas	89

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Fosil Manusia di Lokasi Prostitusi, Pompeii.....	5
Gambar 2.1	Lokasi Gunung Berapi di Indonesia	21
Gambar 2.2	Model Rambatan Gelombang Primer (P)	24
Gambar 2.3	Model Rambatan Gelombang Sekunder (S)	25
Gambar 2.4	Model Rambatan Gelombang Rayleigh	26
Gambar 2.5	Model Rambatan Gelombang Love	26
Gambar 2.6	Empat Fase Gelombang Seismik	27
Gambar 2.7	Contoh Gempa Vulkanik Dalam (VA)	28
Gambar 2.8	Contoh Gempa Vulkanik Dangkal (VB)	29
Gambar 2.9	Contoh Gempa Letusan	29
Gambar 2.10	Contoh Gempa Hembusan	30
Gambar 2.11	Contoh Gempa Tremor	30
Gambar 2.12	Contoh Rentetan Gempa (Swarm)	31
Gambar 2.13	Struktur Sel Neuron Pada Otak Manusia	35
Gambar 2.14	Struktur Neuron Pada Jaringan Syaraf Tiruan	37
Gambar 2.15	Arsitektur Jaringan Syaraf tiruan <i>Backpropagation</i>	41
Gambar 3.1	Desain Penelitian	52
Gambar 3.2	Alur Sistem Pencatatan Gempa Gunung Berapi	57
Gambar 3.3	<i>Use Case Diagram</i> Sistem	59
Gambar 3.4	Activity Diagram pada saat Pengguna Mengakses Sistem ..	61
Gambar 3.5	Activity Diagram Pelatihan JST	62
Gambar 3.6	Activity Diagram Penyimpanan Bobot Hasil Pelatihan	63
Gambar 3.7	Activity Diagram Aplikasi JST	64

Gambar 3.8	Activity Diagram Penyimpanan Laporan	65
Gambar 3.9	Sequence Diagram Fungsi Pelatihan JST	67
Gambar 3.10	Sequence Diagram Fungsi Aplikasi JST	68
Gambar 3.11	Rancangan GUI untuk Fungsi Pelatihan JST.....	69
Gambar 3.12	Rancangan GUI untuk Fungsi Aplikasi JST.....	70
Gambar 3.13	Rancangan Arsitektur JST untuk Pengenalan Jenis Gempa .	73
Gambar 4.1	Grafik Selisih Epoch Antar Learning Rate	87
Gambar 4.2	Laju Konvergensi MSE	88



ABSTRAK

Perdana, Iqrok Wahyu. 2013. Klasifikasi Jenis Gempa Gunung Berapi Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan backpropagation. Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing I : H.Fatchurrochman, M.Kom., Pembimbing II : A. Nasichuddin, M.Ag.

Kata kunci : Vulkanologi, Gempa Vulkanik, JST, Backpropagation

Gunung berapi adalah obyek penelitian yang menarik dari sisi ilmu vulkanologi maupun dari sisi budaya, mengingat Indonesia adalah negeri yang memiliki banyak gunung berapi aktif. Usaha manusia untuk berdamai dengan potensi bencana gunung berapi, mengingat material yang dikeluarkan gunung berapi mempunyai nilai ekonomi yang tinggi, menjadikan manusia untuk terus meneliti dan mengamati aktifitas vulkanik gunung berapi. Hal ini guna meminimalisir dampak negatif yang ditimbulkan dari potensi bencana gunung berapi.

Dalam usaha pengamatan, para pengamat memiliki tugas yang cukup berat untuk menganalisis data seismik gunung berapi. Muncul sebuah ide untuk mendelegasikan tugas pengamat dalam menganalisis data seismik kepada sistem komputer sehingga dapat memudahkan pengamat dalam kegiatan pemantauan. Pada penelitian ini mencoba menelisik kemungkinan digunakannya algoritma Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation untuk mengenali jenis-jenis gempa gunung berapi.

Jaringan Syaraf Tiruan yang dibangun bertugas mengklasifikasikan data seismik berdasarkan jenis gempanya. Pada masa pelatihan, digunakan learning rate = 1; momentum = 0,6; error maksimum = 0,001; epoch maksimum = 100.000; bias = 1; bobot sinaptik bernilai acak antara -1 hingga 1. Arsitektur jaringan yang digunakan menggunakan 3 neuron pada input layer, sebuah hidden layer dengan 6 neuron dan 2 neuron pada output layer. Data set pelatihan yang digunakan sebanyak 31 data dan data set untuk pengujian yang digunakan sebanyak 29 data.

Hasil dari penelitian ini dapat disimpulkan, Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation dapat diimplementasikan dalam sistem pemantauan gempa gunung berapi. JST ditugaskan untuk mengenali jenis-jenis gempa gunung berapi, dengan tingkat validitas 93,1%.

ABSTRACT

Perdana, Iqrok Wahyu. 2013. Volcano Seismic Clasification Using Artificial Neural Network *Backpropagation* Method. Department of Informatics Engineering, Faculty of Science and Technology Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Sains dan Teknologi, State Islamic University of Maulana Malik Ibrahim Malang. Advisor I : H.Fatchurrochman, M.Kom., Advisor II : A. Nasichuddin, M.Ag.

Keyword : Vulcanology, Vulcano Seismic, ANN, Backpropagation

Volcanoes is an interesting research object either for volcanology field study or as a culture study especially in Indonesia, those many active volcanoes exist in this land. Human being is in endeavor to make synergy to anticipate volcano potential disaster. In half side, human lacked for volcanoes material, but in other side it's too risky life under volcanoes disaster threat. Therefore humanity keep continuous to examine and learn to know more about volcanoes activity.

In effort to observe volcanoes activity, observer have a serious order to analyze volcano-seismic data every day. Emerge an idea to delegating observer task to automatic computer system. This research propose to find availability implementation of Backpropagation Artificial Neural Network to recognizing kind of volcano-seismic data.

Artificial Neural Network in this system constructed to classify volcano-seismic belong to their characeristic entity. In training phase, this research set the value of learning rate = 1; momentum = 0,6; max error = 0,001; max epoch = 100.000; bias = 1; random value of synaptic weight, between -1 to 1. The result of this research have a conclusion that Backpropagation Neural Network can be applied to monitor volcano-seismic data. ANN can recognized characteristic of volcano-seismic data with validity rate 93,1%.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Studi mengenai gunung berapi di Indonesia semakin diminati akhir-akhir ini, terutama pasca tragedi meletusnya Gunung Merapi pada tahun 2009. Gunung berapi sebagai salah satu produk geothermal yang dihasilkan secara alami, memiliki dampak yang signifikan dalam keberlangsungan makhluk hidup terutama manusia.

Produk yang dihasilkan gunung berapi bisa berdampak negatif maupun positif bagi kehidupan manusia. Tatkala panas yang dihasilkan gunung berapi tidak dapat dikendalikan dan meledak, maka terjadilah bencana yang menimbulkan kerusakan pada lingkungan sekitarnya. Materi-materi letusan gunung berapi berupa lava pijar, lontaran batu dan awan panas yang dimuntahkan memiliki suhu ekstrim, sehingga menyebabkan makhluk hidup di sekitarnya tidak dapat beradaptasi sehingga mengalami kematian.

Namun di sisi lain gunung berapi juga menghasilkan produk yang bermanfaat seperti sulfur yang digunakan untuk bahan kimia dan pengobatan, batuan kerikil dan pasir yang digunakan untuk bangunan dan kesenian, juga abu vulkanik yang menyuburkan tanaman. Hal yang demikian, menyebabkan manusia lebih memilih untuk tetap berinteraksi dengan gunung berapi meski telah mengetahui resikonya.

Meskipun manusia tidak menyukai potensi bencana yang disebabkan aktifitas gunung berapi, namun manusia juga membutuhkan produk-produk geothermal yang dihasilkan oleh gunung berapi. Sehingga manusia terus menjalin hubungan dengan gunung berapi melalui penelitian dan pengamatan untuk lebih memahami aktifitas, potensi bencana, tanda-tanda akan terjadinya bencana dan mitigasi yang harus dilakukan saat bencana terjadi. Harapan dari kegiatan tersebut, manusia mampu memanfaatkan produk geothermal gunung berapi secara maksimal, dengan meminimalisir kerugian saat terjadi bencana alam yang disebabkan oleh gunung berapi.

Muzil Alzwar (dkk, 1988 : 182) dalam bukunya Pengantar Ilmu Gunung Api mengungkapkan bahwa kegiatan pengamatan gunung berapi telah dilakukan di Gunung Etna dan Gunung Visuvius, Italia; sejak abad 20. Baru kemudian kegiatan pengamatan gunung berapi menular ke Jepang dan Hawaii. Sedangkan di Indonesia sendiri, pengamatan gunung berapi dimulai pada tahun 1920, dimana tahun-tahun sebelumnya pengamatan hanya ditujukan untuk sekedar mengetahui gejala peningkatan gunung berapi tanpa diikuti usaha untuk memperkecil dampak negatif dari letusan gunung berapi tersebut.

Melalui pengamatan yang dilakukan bertahun-tahun, manusia menemukan sebuah gejala yang menarik. Bahwa gunung berapi juga memiliki aktifitas pergerakan yang kontinyu, meski secara visual tidak terlihat. Pergerakan tersebut terekam oleh *tiltmeter*, sebuah alat untuk mengukur deformasi (perubahan bentuk muka gunung berapi). Selain itu, para pengamat gunung berapi juga merekam aktifitas gempa-gempa kecil yang terus berlangsung pada gunung api aktif melalui

seismograf. Gempa-gempa ini berukuran mikro dan tidak dapat dirasakan oleh manusia.

Allah SWT. Dalam Al-Qur'an telah memberikan sebuah inspirasi untuk memperhatikan aktifitas gunung berapi dalam Surat An-Naml ayat 88;

وَتَرَى الْجِبَالَ تَحْسَبُهَا جَامِدَةً وَهِيَ تَمُرُّ مَرَّ السَّحَابِ صُنِعَ اللَّهُ الَّذِي لَمْ يَكُنْ كُنْزًا لِّشَيْءٍ إِنَّهُ خَبِيرٌ بِمَا تَفْعَلُونَ ﴿٨٨﴾

Artinya: *“Dan kamu lihat gunung-gunung itu, kamu sangka dia tetap di tempatnya, padahal ia berjalan sebagai jalannya awan. (Begitulah) perbuatan Allah yang membuat dengan kokoh tiap-tiap sesuatu; Sesungguhnya Allah Maha mengetahui apa yang kamu kerjakan”* (QS. An-Naml 27 : 88)

Syaikh Musthofa Al-Maraghy dalam tafsirnya menjelaskan makna ayat ini, manusia mengira bahwasannya gunung itu tetap berada di tempatnya selamanya. Tapi kelak di hari kiamat gunung-gunung tersebut akan mengalami perubahan bentuk secara cepat seperti bergumulnya awan-awan. Perubahan ini tidak akan pernah disangka, seperti manusia meengira seseorang yang berbadan besar, tidak akan bisa berlari cepat (Al-Maraghy, 1950).

Ayat ini berada dalam rangkaian ayat yang menjelaskan tentang kejadian kiamat di akhir zaman. Allah mengutip ayat ini sebagai peringatan untuk manusia, bahwa sangat mudah bagi Allah untuk menghancurkan sebuah kaum dengan perantara meletusnya sebuah gunung berapi. Namun kebanyakan manusia menyangka bahwa gunung yang selama ini kokoh berdiri dengan gagahnya menjulang ke langit, merupakan sebuah senjata pemusnah massal yang belum

diaktifkan. Sehingga manusia merasa aman berbuat dosa tanpa rasa takut akan ancaman kematian.

Dalam ayat ini pula Allah mengingatkan manusia bahwa senjata pemusnah massal bernama gunung berapi tersebut memiliki potensi bencana yang sangat dahsyat. Allah menggunakan gaya bahasa majasi *تَمَرُّ مَرَّ السَّحَابِ* yang artinya “berlari sebagaimana larinya awan”. Namun penggunaan frasa ini bukanlah sekedar gaya bahasa majasi. Karena fakta arkeologis telah mendokumentasikan kejadian dilumatnya masyarakat kota Pompeii dan Herculanium, Italia pada peristiwa meledaknya gunung Visuvius 24 Agustus 79M. Awan panas, hujan batu dan abu vulkanik mengubur kedua kota dalam hitungan menit. Kejadian ini begitu cepat terjadi dan tidak ada yang mampu menghindar. Tragisnya, peristiwa itu juga mengabadikan momen penting berupa fragmen saat-saat terakhir penduduk kota Pompeii sebelum dilumat habis oleh materi vulkanik.

Sekitar 1.600 tahun kemudian, secara tak sengaja keberadaan Pompeii ditemukan. Penggalan arkeologis menemukan jasad-jasad manusia yang diawetkan oleh abu vulkanik dalam berbagai pose. Menguak jalanan beku, tempat pelacuran yang dipenuhi pose erotis, dan banyak bukti kemajuan peradaban kala itu. Ini sekaligus sebagai pelajaran bagi manusia, bahwa kesombongan atas kemajuan sebuah peradaban yang mengakibatkan merajalelanya kemungkar dan kemaksiatan tidak bisa mengalahkan kekuatan yang dimiliki oleh alam.



Gambar 1.1 Fosil Manusia yang Terabadikan di Lokasi Prostitusi, Pompeii

Hasil pengamatan Tita Parasita (2007:53) mengenai potensi bahaya primer Gunung Semeru berupa letusan awan panas yang memiliki kecepatan antara 40-100 km/jam dengan jarak luncur mencapai 10 km dari puncak. Selain tu ada juga letusan awan panas bersuhu 400°C di ujung aliran dan 1000° di dekat kawah dengan kecepatan melebihi 100 km/jam yang jarak letusannya mencapai 15 km dari mulut kawah. Kejadian ini rutin terjadi di gunung berapi aktif sebagai tanda bahwa jalur vulkanik tidak mengalami sumbatan atau dalam kondisi normal.

Potensi bahaya yang rutin terjadi di gunung berapi aktif bisa mempengaruhi perubahan kondisi lingkungan di sekitarnya secara ekstrim hingga radius 15 km. Tentu dalam peristiwa letusan-letusan besar seperti Gunung Vesuvius akan berdampak pada lingkungan yang lebih luas. Maha benar Allah dengan segala

firmanNya yang telah menunjukkan potensi bencana gunung berapi agar manusia tidak sombong atas apa yang dicapai dalam sebuah peradaban.

Dari hasil studi tentang Geologi disimpulkan bahwa gunung berapi bukanlah sebuah entitas yang berdiri sendiri. Terbentuknya gunung berapi adalah akibat dari pertemuan lempeng-lempeng bumi. Muzil Alzwar (dkk, 1988 : 71) mengutip pendapat Morgan yang menyatakan, "*Konsep Tektonik Lempeng menjelaskan bahwa kulit bumi terdiri dari beberapa bagian lempeng yang tegar. Yang bergerak satu terhadap lainnya, di atas massa liat astenosfer dengan kecepatan rata-rata 10cm/tahun atau 100 km/10 juta tahun*".

Muzil Alzwar (dkk, 1988 : 72) menjelaskan secara lanjut, bahwa lempeng-lempeng tegar saling bergerak, yang masing-masing berdasarkan perbedaan sifatnya disebut sebagai lempeng benua dan lempeng samudra. Apabila dua lempeng tersebut saling mendekat, pada umumnya lempeng samudra akan ditekuk ke bawah lempeng benua hingga jauh ke dalam lapisan astenosfer sepanjang jalur miring bergempa.

Tekukan yang dihasilkan oleh pertemuan kedua lempeng ini lah yang pada akhirnya kini kita kenal dengan sebutan gunung berapi. Magma yang dihasilkan oleh gunung berapi sebagian besar disebabkan oleh panas yang dihasilkan dari gesekan antar kedua lempeng yang melelehkan mineral-mineral alam hingga berbentuk cair. Pergerakan gunung tidak dapat dipisahkan dari pergerakan lempeng bumi, sehingga dapat disimpulkan bahwa gunung berapi juga melakukan pergerakan yang linear dengan pergerakan lempeng bumi.

Fakta ilmiah ini sangat bersesuaian dengan Firman Allah :

﴿٧﴾ وَالْجِبَالِ أَوْتَادًا ﴿٦﴾ أَلَمْ نَجْعَلِ الْأَرْضَ مِهَادًا

Artinya: “*Bukankah Kami telah menjadikan bumi itu sebagai hamparan?, dan gunung-gunung sebagai pasak?*” (QS. An-Nabaa’ 78 : 6-7)

Dalam menjelaskan kedahsyatan proses hancurnya alam semesta pada saat kiamat di akhir zaman, Al-Qur’an sering menyitir peristiwa meledaknya gunung berapi sebagai salah satu episode yang sangat signifikan dalam menyumbang indeks kerusakan alam. Al-Qur’an menceritakan betapa dahsyatnya potensi bencana alam yang disebabkan oleh aktivitas vulkanik gunung berapi dengan bahasa yang cukup lugas. Dalam Surat Al-Muzammil ayat 14, disebutkan;

يَوْمَ تَرْجُفُ الْأَرْضُ وَالْجِبَالُ وَكَانَتِ الْجِبَالُ كَثِيبًا مَّهِيلًا ﴿٤١﴾

Artinya: “*Pada hari bumi dan gunung-gunung bergoncangan, dan menjadilah gunung-gunung itu tumpukan-tumpukan pasir yang berterbangan.*” (QS. Al-Muzammil 73 : 14)

Dahsyatnya kerusakan yang terjadi akibat ledakan gunung berapi juga telah dialami oleh Indonesia. Pada tanggal 26-27 Agustus 1883 Gunung Krakatau yang berlokasi di selat sunda meletus dan mengakibatkan kerusakan lingkungan yang sangat hebat. Suara letusannya terdengar hingga ke Alice Springs, Australia; dan Pulau Rodrigues, di dekat Afrika. Energi ledakannya diperkirakan mencapai 30.000 kali bom atom yang diledakkan di Hiroshima. Pada saat peristiwa ini terjadi, Bumi diliputi awan gelap hingga dua setengah hari dikarenakan debu vulkanik yang menutupi atmosfer. Selain materi vulkanik seperti awan panas,

kondisi geografis Gunung Krakatau yang dikelilingi oleh perairan selat sunda, menyebabkan timbulnya gelombang tsunami yang turut menambah dahsyatnya kerusakan yang ditimbulkan.

Letusan Gunung Krakatau menyebabkan perubahan iklim global secara ekstrim. Satu tahun setelah peristiwa tersebut (1816), sering disebut dengan *tahun tanpa musim panas* karena perubahan cuaca secara drastis, diakibatkan oleh abu vulkanik yang menyebar hingga Eropa dan Amerika Utara. Sejarah mencatat 36.000 jiwa menjadi korban ledakan Gunung Krakatau, sehingga peristiwa ini ditetapkan sebagai salah satu bencana terdahsyat yang pernah terjadi di dunia.

Sebelum peristiwa ledakan Gunung Krakatau terjadi, pada April 1815 di Nusa Tenggara Barat, Gunung Tambora yang memiliki ketinggian 4.300 mdpl meletus dalam skala 7 VEI (Volcanic Exsplosivity Index). Akibat dari ledakan tersebut, kini yang tersisa hanyalah kubah setinggi 2.851 mdpl saja. Suara letusannya terdengar hingga Sumatra, atau sekitar radius 2.000 km. Abu vulkanik jatuh di Kalimantan, Sulawesi, Jawa dan Maluku. Kegiatan penelitian bertajuk *Ekspedisi Cincin Api* yang disponsori oleh KompasTV menyebutkan bahwa 3 kerajaan kecil yang berada di sekitar Gunung Tambora lenyap seketika saat peristiwa ini terjadi. Beberapa peneliti memperkirakan korban jiwa dalam bencana geologis ini mencapai 92.000 jiwa dengan angka 11.000-12.000 di antaranya terbunuh secara langsung akibat letusan tersebut.

Bukan hanya itu, bahkan ledakan gunung berapi paling dahsyat yang pernah diketahui di planet Bumi juga terjadi di Indonesia. Bencana ledakan gunung

berapi yang terjadi sekitar 73.000 tahun yang lalu itu hampir memusnahkan seluruh umat manusia. Bencana yang disebut *Super Volcano* itu terjadi di Gunung Toba, Sumatra Utara. Jika peristiwa *Super Volcano* Gunung Toba dibandingkan dengan ledakan Gunung Krakatau, seperti sendawa kecil saja. Materi yang dimuntahkan berupa 28.000 meter kubik abu vulkanik yang menyebar ke seluruh atmosfer Bumi, dan kini hanya menyisakan kawah besar seluas 3000 km² yang dikenal sebagai Danau Toba. Bumi mengalami perubahan iklim global yang sangat ekstrim.

Sebagai sebuah negara yang berada tepat di pertemuan antara dua lempeng bumi, yakni lempeng benua asia dan lempeng samudra hindia, menjadikan Indonesia dikelilingi oleh gunung berapi yang berjajar di sepanjang sirkum pasifik. Indonesia memiliki tidak kurang dari 83 gunung berapi Aktif, yang aktifitas vulkanisnya terus diawasi oleh Pusat Vulkanologi dan Mitigasi di bawah Kementerian ESDM.

Pengamatan Aktifitas Kegempaan Gunung Semeru

Gunung Semeru yang berlokasi di perbatasan Kabupaten Lumajang dan Kabupaten Malang adalah gunung berapi aktif tertinggi di Pulau Jawa, dan tertinggi ketiga di Indonesia setelah Puncak Cartenz, Peg. Jayawijaya; dan Gunung Rinjani. Sebagai gunung berapi aktif, Gunung Semeru menunjukkan aktifitas seismik yang sangat aktif. Pada tahun 2009-2010, Seismograf mencatat kurang lebih terjadi 100 hingga 200 gempa mikro setiap harinya. Meskipun telah data seismik telah diolah secara digital, namun tetap membutuhkan tenaga ahli

untuk mengklasifikasikan, mencatat dan membuat laporan aktifitas kegempaan gunung berapi secara manual.

Untuk mengamati aktifitas Gunung Semeru secara berkelanjutan, Pemerintah Indonesia melalui PVMBG mendirikan Pos Pemantau Gunung Semeru yang terletak di Gunung Sawur (700 mdpl) Kecamatan Candipuro, tepat di sebelah selatan Gunung Semeru. Dari Pos Pemantau ini puncak Semeru terlihat jelas dan dipantau secara visual selama 24 jam.

Sistem pencatatan aktifitas seismik Gunung Semeru dilakukan dengan memasang 9 buah stasiun seismogram di berbagai titik di sekitar Gunung Semeru yang dikelola secara remote dari jarak jauh. Kini, stasiun seismogram yang aktif hanya ada 7 buah. Data seismik yang ditangkap seismogram dikirimkan melalui gelombang radio pendek menuju *data logger* yang berada di Pos Pemantau. Masing-masing stasiun seismogram ditenagai oleh Baterai Aki yang daya listriknya selalu disuplai secara otomatis oleh panel tenaga surya (*solar panel*). Data logger yang digunakan Pos Pemantau Gunung Semeru adalah Datamark LS-7000 dengan seting frekuensi data 100Hz, artinya dalam satu detik terdapat 100 datum nilai seismik yang dicatat. Fungsi data logger ini adalah mengolah data seismik yang didapatkan menjadi format RAW (berkas asli dalam format byte), kemudian disimpan dalam kartu memori. Selain disimpan, data berformat RAW tersebut diteruskan ke seismograf manual yang mengubah byte-byte data RAW menjadi bentuk visual berupa gambar gelombang yang dibentuk oleh getaran pena seismograf di atas kertas yang disediakan. Data RAW tersebut juga bisa

didistribusikan ke unit-unit komputer melalui jaringan LAN dan internet, sehingga bisa ditampilkan secara realtime.

Pada tahun 2007 Herry Kuswandarto, salah seorang pengamat Gunung Semeru, telah melakukan pengembangan aplikasi *ArgaLite* yang berfungsi untuk menampilkan aktifitas seismik Gunung Semeru secara visual dan realtime. Kemampuan *ArgaLite* terus dikembangkan dan kini sudah memasuki versi 2.3.2. Namun fungsinya hanya sebatas digitalisasi visual dari seismograf manual menjadi grafik digital. Keunggulan aplikasi ini adalah lebih menghemat kertas dan menjadikan kegiatan pemantauan gunung berapi ramah lingkungan.

Belum adanya sistem penganalisa jenis-jenis gempa dan pengkodifikasi data kegempaan gunung berapi, menjadikan penulis tertarik untuk mengembangkan sebuah sistem yang secara otomatis bisa menganalisa jenis-jenis gempa yang terjadi dalam 24 jam, lalu kemudian dikodifikasi dalam bentuk laporan aktifitas seismik gunung berapi. Dengan adanya aplikasi yang dapat menganalisa aktifitas seismik gunung berapi, penulis berharap dapat mempermudah kinerja para Pengamat dalam memantau aktifitas gunung berapi.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang tentang urgensi pengembangan sistem informasi yang berfungsi untuk mempermudah kegiatan pengamatan dan penelitian gunung berapi yang telah dijabarkan di atas, lalu ditentukanlah rumusan masalah yang penting untuk diselesaikan. Rumusan masalah yang mendasari penelitian ini dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Bagaimana membuat aplikasi yang berfungsi untuk mengklasifikasikan jenis-jenis gempa gunung berapi?
2. Dapatkah algoritma *backpropagation neural network* diaplikasikan untuk mengenali jenis-jenis gempa gunung berapi?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah merancang sebuah aplikasi yang berfungsi untuk mengklasifikasikan data gempa gunung berapi berdasarkan jenis gempanya menggunakan algoritma *Backpropagation Neural Network*. Lalu kemudian hasilnya dikodifikasikan dalam sebuah berkas laporan.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Tersedianya sebuah aplikasi untuk mengklasifikasikan data kegempaan gunung berapi yang akan memudahkan para peneliti dan pengamat dalam menerbitkan laporan mengenai aktifitas kegempaan gunung berapi.
2. Tersedianya sebuah aplikasi analisis untuk menganalisis data kegempaan gunung berapi dengan algoritma yang mampu terus menyesuaikan diri dengan mempelajari data kegempaan gunung berapi terbaru sehingga mereduksi peran pakar dalam perawatannya.

1.5 Batasan Masalah

Pada penelitian ini diberikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini mengambil studi kasus yang dilakukan di Pos Pengamatan Gunung Semeru milik Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi.
2. Penelitian ini membahas terkait perancangan perangkat lunak yang berfungsi mengolah informasi dan menganalisa data-data seismik.
3. Data seismik yang akan diolah dalam penelitian ini didapatkan dari laporan kegempaan Gunung Semeru pada bulan Januari 2012 milik Pos Pemantau Gunung Semeru.
4. Penelitian ini tidak membahas aspek pengaruh implementasi sistem terhadap kinerja pemantauan gunung berapi.

1.6 Metode Penelitian

Untuk mencapai tujuan yang telah dirumuskan sebelumnya, maka metodologi yang digunakan dalam penulisan skripsi ini adalah:

1. Analisa kebutuhan sistem
2. Pengumpulan data seismik
3. Perancangan antarmuka aplikasi
4. Proses pembelajaran algoritma Jaringan Syaraf Tiruan *Backpropagation*
5. Implementasi algoritma dalam aplikasi

1.7 Sistematika Penulisan Skripsi

Sistematika penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Bab I Pendahuluan, menjelaskan urgensi penelitian mengenai pengembangan sistem informasi di bidang vulkanologi yang berfungsi untuk menganalisis data kegempaan gunung berapi, demi memudahkan tugas pengamatan dan penelitian yang dilakukan oleh PVMBG. Penjelasan dimulai dengan *inspirasi rabbani* dari Al-Qur'an yang menggambarkan betapa dahsyatnya potensi bencana ledakan gunung berapi yang harus diperhatikan secara serius, mengingat Indonesia adalah negara yang dikelilingi oleh puluhan gunung berapi aktif. Hingga kemudian memaparkan kondisi kekinian tentang perlunya dukungan sistem informasi dalam kegiatan pemantauan gunung berapi.
2. Bab II Tinjauan Pustaka, penjelasan mengenai dasar teori kegempaan gunung berapi yang dikemukakan oleh berbagai pakar geologi. Pada bab ini diungkap juga data aktifitas vulkanis gunung berapi di Indonesia dan kegiatan pemantauan aktifitas gunung berapi yang dilakukan oleh PVMBG. Dilanjutkan dengan penjelasan dasar teori tentang algoritma *Backpropagation Neural Network* yang digunakan untuk mengajarkan sistem mengenali sebuah obyek berdasarkan kemiripan sifatnya.
3. Bab III Perancangan Sistem, menjelaskan tentang perancangan sistem menggunakan Unified Modelling Language (UML), yang kemudian diimplementasikan dalam perancangan antar muka aplikasi. Dilanjutkan

dengan proses pembelajarn sistem untuk mengenali sebuah pola seismik, dan uji coba sistem pada lingkungan nyata.

4. Bab IV Hasil dan Pembahasan, membahas tentang hasil implementasi dan hasil uji coba yang dilakukan.
5. Bab V Penutup, berisi kesimpulan dan saran yang diharapkan dapat bermanfaat untuk pengembangan selanjutnya.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Vulkanologi

Vulkanologi merupakan studi tentang gunung berapi, lava, magma, dan fenomena geologi yang berhubungan. Seorang ahli vulkanologi adalah orang yang melakukan studi pada bidang ini. Istilah vulkanologi berasal dari Bahasa Latin Vulcan, dewa api Romawi.

Para ahli vulkanologi sering mengunjungi gunung berapi, terutama yang masih aktif, untuk mengamati letusan gunung berapi, mengumpulkan produk letusan termasuk contoh tephra (seperti abu, ash atau batu apung, pumice), batuan, dan lava. Tujuan utama dari penyelidikan adalah perkiraan letusan; pada saat ini belum ada cara yang akurat untuk melakukan hal ini, tetapi memperkirakan letusan, seperti halnya memperkirakan gempa bumi, dapat menyelamatkan banyak jiwa. Seorang ahli vulkanologi mempelajari pembentukan gunung berapi dan letusannya saat ini serta sejarah letusannya.

Perkembangan vulkanologi abad 20 dirintis oleh Thomas A. Jaggar, seorang profesor geologi dari Masschuset Institute of Technology (MIT), dan Frank A. Perret, seorang insinyur listrik sahabat T. A. Jaggar (Muzil Alzwar, 1988 : 3). Dan sejarah perkembangan ilmu vulkanologi tidak terpisah dari kegiatan pengamatan gunung berapi. Pusat pengamatan pun didirikan dimana-mana, seperti di Hawaii (Hawaiian Volcano Observatory) tahun 1911 yang merekam aktifitas vulkanik di daerah tersebut secara kontinyu. Pada 1912 Pemerintah Hindia Belanda

mendirikan Volcanological Survey untuk mengamati gunung berapi di Indonesia, khususnya yang berada di Pulau Jawa.

Setiap gunung berapi memiliki karakteristik yang berbeda dibandingkan dengan gunung berapi lainnya. Sehingga penelitian di bidang vulkanologi terus berkembang secara dinamis sesuai dengan kondisi kekinian. Dalam mempelajari gejala vulkanisme gunung berapi, dibedakan dalam 2 garis besar kegiatan; yakni kegiatan penelitian dan kegiatan pengamatan.

Kegiatan penelitian biasanya dilakukan dengan mengunjungi langsung lokasi gunung berapi (*in situ*) secara temporer, untuk mempelajari deformasi bentuk permukaan tanah, kondisi geologi dan kandungan zat yang dikeluarkan oleh letusan gunung berapi, dan kegiatan lain yang berhubungan. Sedangkan kegiatan pengamatan dilakukan dari jarak jauh (*remote*) secara kontinyu untuk mengamati aktifitas seismik (kegempaan) gunung berapi yang menunjukkan gejala vulkanisme, serta mengamati kondisi visual gunung berapi. Dalam kegiatan pengamatan ini, data kegempaan gunung berapi adalah bahan yang sangat penting untuk mempelajari aktifitas gunung berapi.

2.2 Kajian Sains Qur'ani tentang Gunung Berapi

Gunung sebagai obyek penelitian empiris tidak dapat dilepaskan dari kajian integasi sains islami. Al-Qur'an sebagai pedoman hidup ummat islam banyak memuat ayat-ayat yang berhubungan dengan gunung berapi sebagai obyek yang harus diperhatikan oleh manusia. Gunung berapi menjadi sebuah fenomena alam yang menunjukkan kebesaran Allah SWT sebagai pencipta alam semesta.

Setidaknya gunung berapi disebutkan dalam al-Qur'an dengan berbagai hikmah, diantaranya adalah sebagai penjaga stabilitas kesetimbangan alam semesta dan sebagai peringatan untuk manusia agar bertaqwa kepada Allah

Gunung berapi bukanlah entitas obyek yang berdiri sendiri, namun ia adalah salah satu obyek yang diciptakan melalui proses alamiah pergeseran lempeng bumi dengan fungsi yang sangat vital dalam menjaga kesetimbangan alam. Allah SWT berfirman dalam surat an-Nahl ayat 16;

وَأَلْقَى فِي الْأَرْضِ رَوَاسِيَ أَنْ تَمِيدَ بِكُمْ وَأَنْهَارًا وَسُبُلًا لَعَلَّكُمْ تَهْتَدُونَ ﴿٥١﴾

Artinya: *“Dan Dia menancapkan gunung-gunung di bumi supaya bumi itu tidak goncang bersama kamu, (dan Dia menciptakan) sungai-sungai dan jalan-jalan agar kamu mendapat petunjuk.”* (QS. an-Nahl 16 : 15)

Nash al-Qur'an pada surat an-Nahl di atas sangat bersesuaian dengan fakta ilmiah yang dikaji oleh para pakar vulkanologi. Bumi bukanlah materi padatan solid yang bersifat statis seperti seongkah batu yang melayang di luar angkasa. Namun bumi terdiri dari banyak lapisan astenosfer dari inti bumi hingga kerak bumi. Kerak bumi sendiri terdiri dari lempeng-lempeng benua dan lempeng-lempeng samudra yang saling bertindihan dan terus bergerak secara dinamis.

Pertemuan antar lempeng inilah yang akhirnya membentuk deretan gunung berapi. Gunung berapi sendiri berfungsi sebagai penjaga stabilitas energi panas bumi yang ditimbulkan oleh gesekan antar lempeng. Panas bumi ini disalurkan secara periodik melalu rongga-rongga aliran magma yang bermuara di kawah. Jika tidak ada lubang saluran ini, maka panas bumi tersebut bisa meletup sewaktu-

waktu dan menimbulkan kerusakan yang lebih hebat dari erupsi gunung berapi. Dalam bahasa al-Qur'an, Allah menggunakan kalimat *أَنْ تَمِيدَ بِكُمْ* (agar bumi itu tidak goncang bersama kamu) yang menunjukkan bahwa ada potensi bencana yang lebih besar seandainya tidak diciptakan gunung yang berfungsi sebagai penjaga stabilitasnya.

Hikmah kedua dalam penciptaan gunung berapi adalah sebagai peringatan kepada manusia agar senantiasa takut dengan datangnya kematian yang tidak akan pernah disangka. Dalam surat An-Naml ayat 88 Allah SWT menyindir manusia yang terlena dengan kemaksiatan dan tidak takut akan datangnya kematian. Manusia mengira bahwa gunung yang tegak kokoh berdiri itu tidak berbahaya, padahal gunung itu adalah ancaman kematian yang nyata. Dimana potensi bencana yang ditimbulkan oleh gunung berapi dapat menjadi senjata pemusnah massal yang dapat menghapus peradaban sebuah bangsa sekaligus.

Kedahsyatan potensi bencana alam yang dapat ditimbulkan oleh gunung berapi diceritakan dalam banyak surat, salah satunya dalam surat Al-Ma'arij;

يَوْمَ تَكُونُ السَّمَاءُ كَالْمُهْلِ ﴿٨﴾ وَتَكُونُ الْجِبَالُ كَالْعِهْنِ ﴿٩﴾ وَلَا يَسْأَلُ حَمِيمٌ
حَمِيمًا ﴿١٠﴾

Artinya: “Pada hari ketika langit menjadi seperti luluhan perak, dan gunung-gunung menjadi seperti bulu (yang berterbangan), dan tidak ada seorang teman akrabpun menanyakan temannya,” (QS. Al-Maarij 70 : 8-10)

Ayat tersebut menceritakan begitu gentingnya kondisi dan akibat kedahsyatan bencana yang ditimbulkan gunung berapi dapat menyebabkan kepanikan luar biasa sehingga manusia tidak sempat lagi memperhatikan orang lain, bahkan ttak ada waktu untuk sekedar bertegur sapa. Hal ini menunjukkan bahwa potensi bencana yang dapat ditimbulkan gunung berapi merupakan bencana yang sangat hebat.

Dengan potensi bencana yang demikian hebat, diharapkan manusia dapat berpikir bahwa kematian selalu mengancam dimanapun kita berada. Dengan selalu mengingat kematian, akan mengantarkan manusia menjadi pribadi bijaksana yang tidak terlena oleh kenikmatan dunia yang bersifat fana. Selain itu, kalimat-kalimat Al-Qur'an yang menggunakan kata تَرَى (melihat) seringkali dikonotasikan sebagai 'berpikir' atau 'mencerna dengan akal pikiran' atas kejadian-kejadian alam untuk dijadikan pelajaran. Seperti pada kalimat *alam taro kaifa 'alaa robbuka bi ashabil fiil* yang artinya *tidakkah kamu berpikir bagaimana Tuhanmu bertindak terhadap pasukan gajah?*. Sehingga dengan penggunaan kata تَرَى pada surat An-Nahl ayat 88 seharusnya menjadi inspirasi bagi manusia untuk berfikir tentang fenomena gunung berapi, dan menjadikannya ladang ilmu pengetahuan yang patut dikaji lebih dalam.

2.3 Pengamatan Gunung Berapi di Indonesia

Indonesia tergolong negara paling kaya potnsi bencana gunung berapi di kawasan Asia Tenggara, bahkan di dunia seain kepulauan karibia. Berikut adalah data gunung berapi di Indonesia.

Tabel 2.1 Data Gunung Berapi di Indonesia

Daerah	Tipe A	Tipe B	Tipe C	Jumlah
Sumatera	13	12	6	21
Jawa	21	9	5	35
Bali	2	-	-	2
Lombok	1	-	-	1
Sumbawa	2	-	-	2
Flores	16	3	5	24
Laut Banda	8	1	-	9
Sulawesi	6	2	5	13
Kep.Sangihe	5	-	-	5
Halmahera	5	2	-	7
Total				119

Keterangan:

- Tipe A** Gunung berapi yang pernah mengalami erupsi magmatik sekurang-kurangnya satu kali sesudah tahun 1600.
- Tipe B** Gunung berapi yang sesudah tahun 1600 belum lagi mengadakan erupsi magmatik, namun masih memperlihatkan gejala kegiatan seperti kegiatan solfatara.
- Tipe C** Gunung berapi yang erupsinya tidak diketahui dalam sejarah manusia, namun masih terdapat tanda-tanda kegiatan masa lampau berupa lapangan solfatara/fumarola pada tingkah lemah.



Gambar 2.1 Lokasi Gunung Berapi di Indonesia

Laporan Aktifitas seismik gunung berapi dari pemantauan yang dilakukan oleh petugas pengamat di Pos Pemantau dilaporkan secara terpusat ke Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG). Laporan tersebut kemudian dianalisis untuk menentukan level mitigasi yang menggambarkan kondisi terkini dan potensi bahaya sebuah gunung berapi. Informasi level mitigasi disertai dengan rekomendasi untuk pemerintah daerah dan masyarakat lokal dalam menyikapi kondisi terkini gunung berapi tersebut. Level mitigasi gunung berapi diklasifikasikan dalam empat level (PVMBG, 2001) sebagai berikut:

- 1. Aktif Normal (Level I)** Kegiatan gunung berapi berdasarkan pengamatan dari hasil visual, kegempaan dan gejala vulkanik lainnya tidak memperlihatkan adanya kelainan.
- 2. Waspada (Level II)** Terjadi peningkatan kegiatan berupa kelainan yang tampak secara visual atau hasil pemeriksaan kawah, kegempaan dan gejala vulkanik lainnya.
- 3. Siaga (Level III)** Peningkatan semakin nyata hasil pengamatan visual/pemeriksaan kawah, kegempaan dan metoda lain saling mendukung. Berdasarkan analisis, perubahan kegiatan cenderung diikuti letusan.
- 4. Awas (Level IV)** Menjelang letusan utama, letusan awal mulai terjadi berupa abu/asap. Berdasarkan analisis data pengamatan, segera akan diikuti letusan utama.

Salah satu parameter yang dijadikan acuan dalam pengambilan keputusan level mitigasi bencana gunung berapi adalah data kecepatan gunung berapi yang didapat dari *seismograf*.

2.4 Gempa Bumi (Seismik)

Gempa bumi adalah suatu fenomena alam yang dihasilkan oleh perubahan mendadak (pelepasan energi) di dalam bumi, yang dalam model fisika dan matematika merupakan transfer energi dalam bentuk gelombang elastik. Mekanisme terjadinya gempa didasarkan pada konsep mekanisme fokus atau sumber gelombang, menurut teori elastik Rebound terdapat 5 mekanisme pokok, sebagai berikut (Siswowitzo, 1981):

1. Gempa Tektonik, disebabkan oleh pecahnya batuan karena strain elastik yang melebihi daya tahan batuan yang menghasilkan perpindahan.
2. Perpindahan batuan disebabkan oleh akumulasi stress yang mencapai maksimum.
3. Gerakan gempa dimulai dari keadaan elastik sampai keadaan tidak elastik.
4. Gelombang yang ditimbulkan oleh gempa bumi berawal dari *Fault Surface* dan menyebar ke segala arah dengan cepat.
5. Pada saat terjadi gempa, energi yang terdiasi adalah energi strain elastik.

Terdapat dua tipe gelombang elastik berdasarkan teori gelombang elastik dan deformasi elemen medium serta konsep displacement potensial, dimana pada

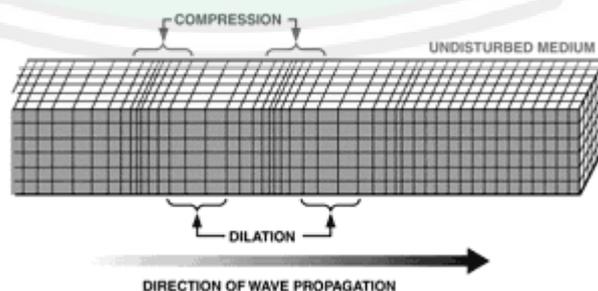
medium homogen isotropik transfer energi dapat ditransmisikan. Kedua tipe tersebut yaitu ;

1. Gelombang elastik yang ditransfer melalui medium lapisan-lapisan bumi sering disebut *Gelombang Body*.
2. Transfer energi yang terjadi di permukaan bumi, akibat efek *free surface* atau pembebasan energi di permukaan, dikenal sebagai *Ground Roll*.

Dalam perambatan gerakannya, *Gelombang Body* dapat dibaca dalam dua fase gelombang yang kadang saling berhimpitan namun juga sering terpisah sehingga terlihat jelas fase-fasenya. Fase-fase tersebut adalah:

a. Gelombang Pressure / Gelombang Primer (P)

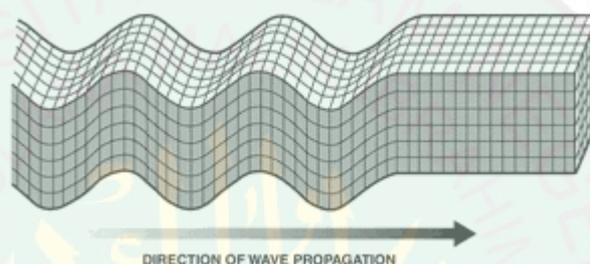
Disebut sebagai gelombang kompresi atau gelombang longitudinal. Gelombang ini menginduksi gerakan partikel medium dalam arah paralel dengan arah propagasi gelombang. Pada rekaman seismogram gelombang ini selalu tiba lebih dulu, sehingga dikenal dengan nama gelombang primer (P), Gelombang ini dapat merambat pada media padat maupun cair.



Gambar 2.2 Model Rambatan Gelombang Primer (P)

b. Gelombang Shear / Gelombang Sekunder (S)

Disebut juga sebagai gelombang sekunder atau gelombang transversal. Gelombang S menyebabkan gerakan partikel medium dalam arah tangensial gelombang. Pada rekaman seismogram gelombang ini tiba setelah gelombang P. Gelombang ini tidak dapat merambat pada media cair.



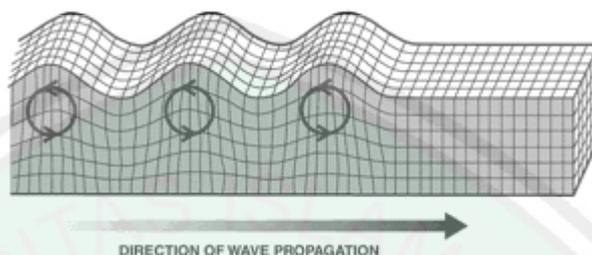
Gambar 2.3 Model Rambatan Gelombang Sekunder (S)

Sedangkan *Ground Roll* merupakan gelombang kompleks dengan frekuensi rendah dan amplitudo besar yang menjalar pada *free surface* media elastik *semi infinite* dengan kecepatan antara 500-600 m/s. Sifat dan gerakan partikel media pada gelombang permukaan ada yang mirip gelombang P atau gelombang S. Terdapat dua tipe gelombang permukaan berdasarkan sifat gerakan partikel medium elastiknya.

a. Gelombang Rayleigh

Gelombang permukaan yang gerakan partikel medianya merupakan kombinasi gerakan partikel media yang disebabkan oleh gelombang P dan gelombang S. Orbit gerakan partikel merupakan gerakan eliptik dengan sumber mayor elips yang tegak lurus dengan permukaan dan arah propagasi.

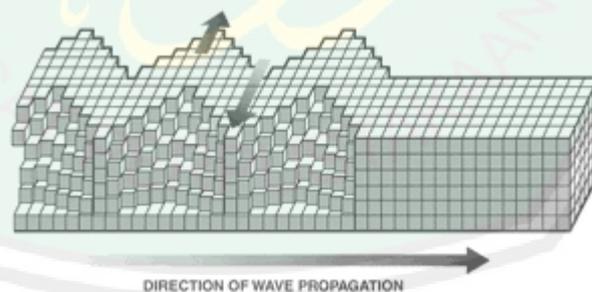
Sumbu minor sejajar dengan arah propagasi. Gelombang merambat sepanjang media padat.



Gambar 2.4 Model Rambatan Gelombang Rayleigh

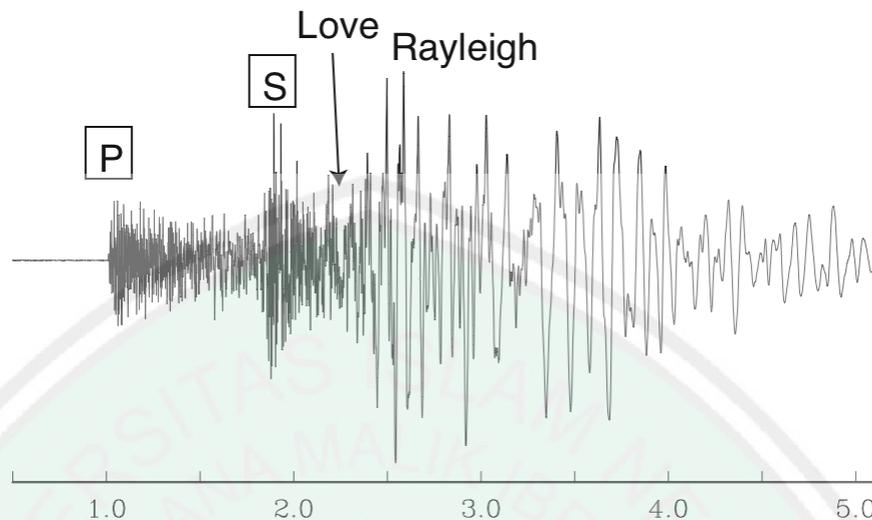
b. Gelombang Love

Merupakan gelombang permukaan yang menjalar dalam bentuk gelombang transversal. Gerakan partikel akibat propagasi gelombang lovesama atau mirip dengan gelombang S. Gelombang ini tidak mempunyai komponen tegak. Gelombang merambat sepanjang batas dua macam media.



Gamvar 2.5 Model Rambatan Gelombang Love

Jika membaca sebuah gelombang yang terekam di lembar *seismogram*, keempat fase gelombang di atas dapat ditemukan seperti pada gambar berikut:



Gambar 2.6 Empat Fase Gelombang Seismik

2.5 Gempa Bumi Vulkanik

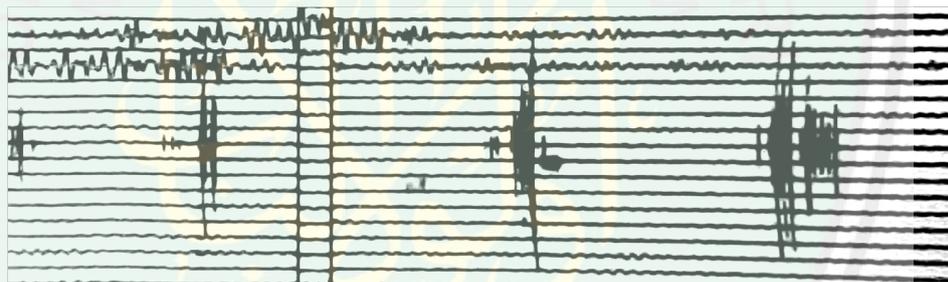
Gempa bumi vulkanik (*volcano seismic*) adalah gempa yang disebabkan oleh gejala kegiatan gunungapi. Misalnya karena kegiatan magma atau gas, pembentukan retakan/rekahan, letusan gunungapi atau kegiatan hidrotermal. Biasanya gempa bumi vulkanik tidak terasa oleh manusia karena berukuran mikro, sehingga hanya bisa dicatat oleh Seismograf. Berdasarkan kedalaman dan sifat-sifat gelombangnya, Kristanto (2008:2) mengelompokkan gempa vulkanik menjadi :

a. Gempa Vulkanik Dalam (*Tipe A*)

Gempa yang mempunyai frekuensi sekitar 4-7 Hz, durasi yang pendek (Koyanagi, 1984). Berdasarkan penyebabnya gempa tipe A dibagi menjadi dua macam, pertama gempa yang disebabkan oleh tekanan dari bawah ke atas saat sebelum terjadi letusan, kedua gempa yang terjadi

karena adanya penurunan tekanan sesudah letusan berlangsung. Kedua gempa tersebut dibedakan dari gerakan awalnya. Ciri-ciri lainnya sebagai berikut :

1. selisih waktu tiba gelombang P dan S atau (S-P) sampai 5 detik.
2. Kedalaman sumbernya antara 1 – 20 km dibawah kerucut gunung berapi.
3. Berdasarkan sifat fisisnya, gempa ini bentuknya mirip dengan gempa Tektonik-Lokal.

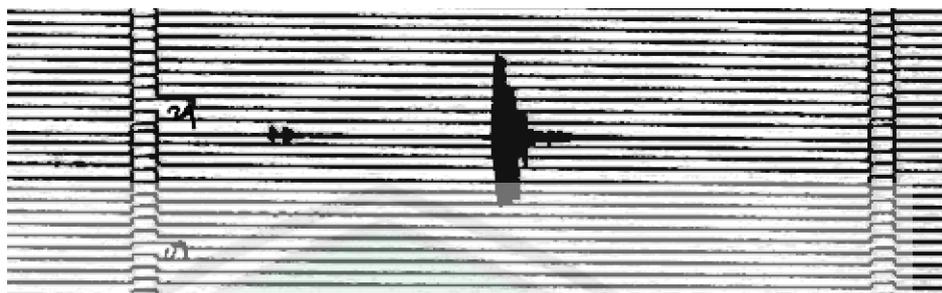


Gambar 2.7 Contoh Gempa Vulkanik Dalam (VA).

b. Gempa Vulkanik Dangkal (*Tipe B*)

Gempa tipe B sering ditemukan pada gunungapi yang mempunyai tipe letusan Volcano. Ciri-ciri lainnya, yaitu :

1. Gelombang P tidak tegas, sedangkan gelombang S sulit dikenal atau tidak muncul sehingga nilai (S-P) sulit ditentukan.
2. Kedalaman sumbernya kurang atau sama dengan 1 km.



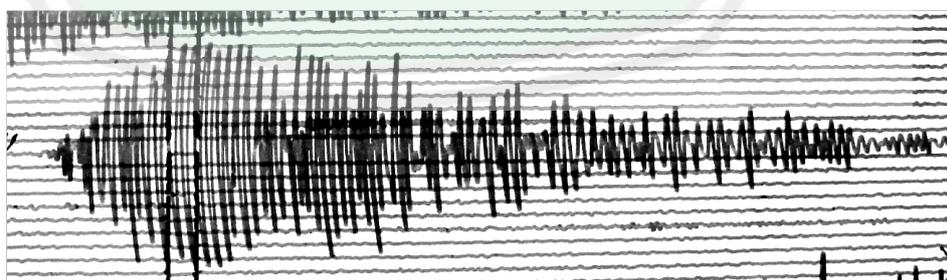
Gambar 2.8 Contoh Gempa Vulkanik Dangkal (VB).

c. Gempa Fase-Banyak (tipe C)

Gempa yang sumbernya dangkal yang terdiri dari banyak fase gelombang dan kedalaman sumbernya.

d. Gempa Letusan

Gempa yang berasosiasi atau terjadi karena letusan/erupsi gunungapi yang umumnya berlangsung di kawah. Dari hasil pengamatan seismik, gerakan pertama gempa letusan adalah *push* atau *up*, dengan kata lain gempa letusan ditimbulkan oleh mekanisme sebuah sumber tunggal yang positif.



Gambar 2.9 Contoh Gempa Letusan.

e. Gempa Hembusan

Jenis gempa ini mekanismenya hampir sama dengan gempa letusan, namun dengan kekuatan gempa yang lebih kecil dan material vulkanik yang terlempar menyertainya lebih ringan. Hal ini tercermin dari besaran amplitudo dan waktu (durasi) kejadian gempanya. Gempa Hembusan pada umumnya melontarkan materi gas uap air.



Gambar 2.10 Contoh Gempa Hembusan

f. Tremor Vulkanik

Getaran yang terjadi secara terus-menerus dalam beberapa menit atau beberapa jam. Gerakan awal dan akhirnya tidak jelas. Terjadi karena kegiatan vulkanik berupa gerakan gas dan leleran lava. Berdasarkan bentuk gelombangnya, tremor vulkanik dibagi menjadi dua jenis :

1. Tremor Harmonik, bentuknya menerus serta simetris.
2. Tremor Spasmodik, bentuknya menerus tidak beraturan.



Gambar 2.11 Contoh Gempa Tremor

g. Gempa Guguran

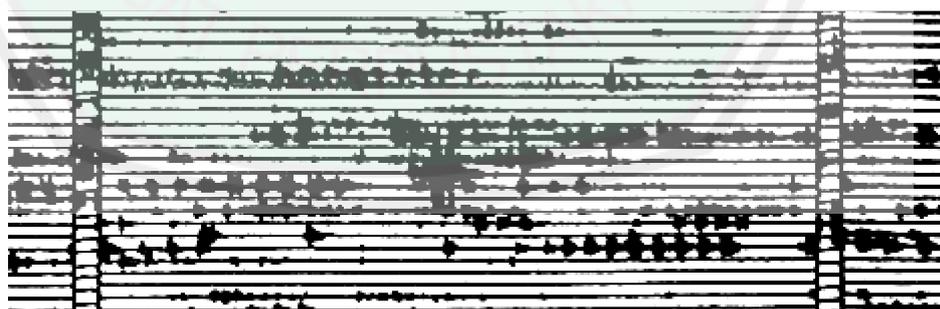
Getaran yang diakibatkan oleh guguran atau longsor material dari tubuh Gunung Api, tergolong gelombang permukaan. Untuk mengetahui jenis gempa ini tidak cukup hanya dengan menggunakan rekaman seismogram namun harus diikuti dengan pengamatan secara visual.

h. Getaran Banjir

Diakibatkan oleh banjir air atau lahar dingin, tergolong jenis gempa gelombang permukaan (*ground roll*).

i. Rentetan Gempa (*swarm*)

Jenis gempa ini ditandai oleh rentetan gempa (sejenis) tanpa berlangsung gempa utama. Terjadi dalam jumlah relatif banyak dalam jangka waktu dan daerah tertentu.



Gambar 2.12 Contoh Rentetan Gempa (*swarm*)

Beberapa jenis gempa di atas sebagian tidak dapat dianalisis hanya dengan mengandalkan data seismk, karena juga membutuhkan data visual untuk membedakan antara gempa yang satu dengan gempa yang lain. Seperti misalnya

rentetan gempa (swarm) sangat mirip dengan gempa guguran. Namun secara visual, pada gempa guguran akan terlihat perpindahan massa berupa longsor pada muka gunung berapi.

Begitu juga antara gempa guguran dan getaran ganjir, terdapat kemiripan yang tidak akan bisa dideteksi tanpa pengamatan visual. Dikarenakan pembahasan skripsi ini dibatasi hanya menggunakan data seismik saja, maka penulis mengambil referensi lain yang sesuai untuk penelitian ini, yakni klasifikasi jenis gempa vulkanik menurut Minakami (1974 : 3). Dalam jurnal vulkanologi berjudul *Seismology of Volcanoes in Japan* yang diterbitkan Elsevier, Minakami membagi jenis-jenis gempa vulkanik menjadi empat kategori saja, yakni;

- 1) Gempa Vulkanik Tipe-A.
- 2) Gempa Vulkanik Tipe-B.
- 3) Gempa Letusan atau gempa bumi yang diikuti letusan eksplosif.
- 4) Tremor Vulkanik atau Denyut Vulkanik

Gempa Vulkanik Tipe-A atau yang dikenal dengan Gempa Vulkanik Dalam dicirikan oleh Minakami sebagai gempa yang terjadi di bawah gunung berapi dengan kedalaman lebih dari 1 km, lebih tepatnya antara 1 km hingga 20 km. Umumnya berkekuatan tidak lebih dari 6 Magnitudo. Pada evaluasi seismogram, sifat gerakan gempa ini mirip dengan gempa tektonik dangkal.

Gempa Vulkanik Tipe-B atau yang biasa disebut Gempa Vulkanik Dangkal biasanya berasal dari lokasi yang berdekatan dengan kawah. Magnitudo dari

Gempa Tipe-B biasanya sangat kecil. Fase S yang terlihat dalam seismogram tidak terlihat jelas. Mengingat frekuensi seismik Gempa Tipe-B biasanya meningkat sebelum pecahnya letusan eksplosif kawah gunung berapi, pengamatan secara kontinyu terhadap Gempa Tipe-B sangat bermanfaat untuk memprediksi waktu terjadinya erupsi gunung berapi.

Adapun Gempa Letusan terjadi bersamaan dengan peristiwa erupsi gunung berapi. Sebuah letusan erupsi tunggal dari gunung berapi bertipe Vulcanian seperti Gunung Asama biasanya terjadi hanya beberapa menit saja. Amplitudo maksimum atau Magnitudo dari Gempa Letusan berhubungan erat dengan intensitas erupsi. Jika dibandingkan dengan Gempa Tipe-A dan Gempa Tektonik, Gempa Letusan memiliki panjang gelombang yang lebih panjang. Detonasi atau getaran yang dihasilkan dari Gempa Letusan terbilang cukup kuat. Dalam beberapa kasus, banyak panel kaca dalam rumah dan bangunan di kaki gunung mengalami kerusakan.

Tremor vulkanik adalah gempa yang terjadi secara terus-menerus dengan interval yang pendek, biasanya setiap beberapa detik, pergerakan gempa tercatat secara kontinyu. Lokasi awal terjadinya gempa biasanya berada di posisi yang sangat dangkal di dekat kawah. Namun demikian, ada beberapa hasil pengamatan yang menemukan bahwa Tremor Vulkanik terjadi di kedalaman 20 km hingga 30 km, meskipun hal itu jarang terjadi.

Dari keempat jenis gempa vulkanik di atas, yang paling dicari dan penting dicatat oleh pengamat gunung berapi adalah Gempa Tipe-A dan Gempa Tipe-B,

yang disinyalir berhubungan erat dengan kegiatan magmatis gunung berapi. Namun demikian, seluruh jenis data gempa tetap bermanfaat untuk mempelajari perilaku gunung berapi, sehingga tetap dikodifikasikan dalam bentuk laporan.

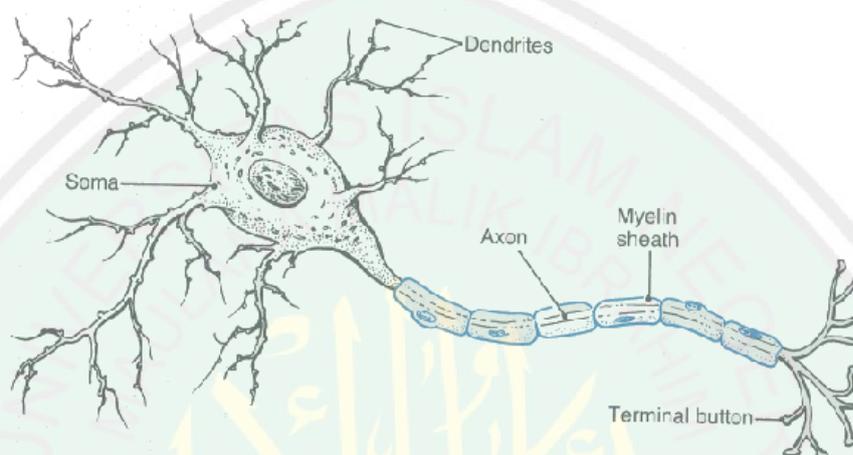
2.6 Jaringan Syaraf Tiruan

Para ahli komputasi mendefinisikan Jaringan Syaraf Tiruan atau Artificial Neural Network (ANN) sebagai model komputasi yang cara kerjanya menyerupai atau lebih tepatnya menyederhanakan cara kerja otak biologis manusia dalam memproses data dan menyimpan informasi. Dilihat dari sisi fungsionalitasnya, Jaringan Syaraf Tiruan diciptakan untuk mengadopsi cara manusia belajar untuk mengenali sebuah pola informasi. Dimana ketika manusia tersebut dihadapkan dengan data-data baru yang tidak sama persis dengan data yang diajarkan, masih bisa mengenali kemiripan pola melalui ciri-ciri yang diingat dalam memorinya.

Didi Supriyadi dalam tesis mengenai penerapan Jaringan Syaraf Tiruan untuk Informasi penyebaran demam berdarah, mengutip definisi Jaringan Syaraf Tiruan menurut Agarkal dan Gathol, "*Jaringan Syaraf Tiruan berasumsi perhitungan yang didistribusikan melalui beberapa unit sederhana yang disebut neuron, yang saling berhubungan dan beroperasi secara paralel sehingga dikenal sebagai sistem pemroses paralel terdistribusi atau sistem koneksi*" (Supriyadi, 2012:15).

Untuk memahami adopsi cara kerja otak manusia pada JST, harus dipahami struktur neuron dan cara kerjanya. Setiap unit sel neuron pada otak memproses sebuah data dengan cara mengaktifkan aliran listrik secara kimiawi. Satu sel

neuron terhubung dengan neuron-neuron lain. Dalam proses pengenalan sebuah pola, otak manusia memberikan bobot pada ciri-ciri tertentu yang dijadikan variabel untuk mengenali pola tersebut.



Gambar 2.13 Struktur Sel Neuron pada Otak Manusia

Sebuah unit neuron terdiri dari 3 bagian, yakni *dendrit*, *soma*, dan *akson*. Setiap bagian tersebut memiliki fungsi sebagai berikut;

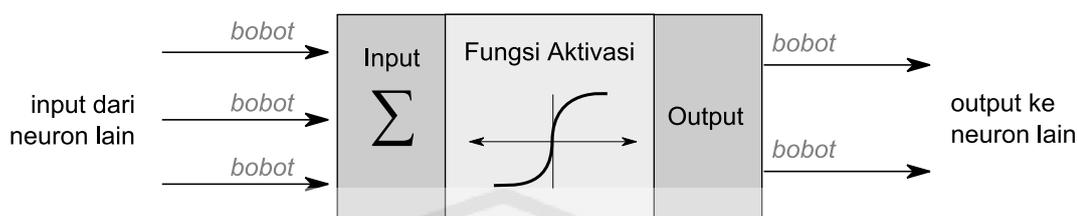
1. Dendrit, merupakan elemen pemrosesan yang menerima dan melewatkan sinyal masukan dari *neuron* lain. Sebuah *neuron* mampu menerima 5.000 sampai 15.000 sinyal masukan. Sinyal tersebut dimodifikasi dengan bobot (diperkuat/ diperlemah) pada sinapsis penerima.
2. Soma/badan sel, berfungsi mengakumulasikan sinyal masukan terbobot yang dilewatkan melalui dendrit. Jika sinyal-sinyal tersebut lebih besar dari batas ambang tertentu (*threshold*), maka sel akan dipicu sehingga akan mentransmisikan ke *neuron* lain.

3. Akson, berfungsi sebagai saluran keluaran dari suatu *neuron* yang akan menyalurkan sinyal ke *neuron* yang lain.

Mengadopsi cara kerja neuron pada otak manusia, JST juga memiliki algoritma yang mirip dalam bentuk lebih sederhana. JST tercipta sebagai suatu generalisasi model matematis dari pemahaman manusia (*human cognition*) yang didasarkan atas asumsi sebagai berikut (Hermawan, 2006) :

1. Pemrosesan informasi terjadi pada elemen sederhana yang disebut *neuron*.
2. Isyarat mengalir di antara sel syaraf/*neuron* melalui suatu sambungan penghubung.
3. Setiap sambungan penghubung memiliki bobot yang bersesuaian.
4. Setiap sel syaraf akan merupakan fungsi aktivasi terhadap isyarat hasil penjumlahan berbobot yang masuk kepadanya untuk menentukan isyarat keluarannya.

Sama halnya seperti otak manusia, Jaringan Syaraf Tiruan juga terdiri dari beberapa unit neuron, dan antar neuron saling terhubung. Neuron-neuron tersebut akan menerima informasi dari neuron lain kemudian melakukan operasi perhitungan atas informasi yang diterima dengan bobot tertentu. Selanjutnya neuron mengirimkan hasil operasi perhitungn sebagai sebuah informasi baru melalui sambungan keluaran menuju neuron-neuron lain (Kusumadewi, 2003:209).



Gambar 2.14 Struktur Neuron pada Jaringan Syaraf Tiruan

Informasi (disebut dengan input) akan dikirim ke sebuah neuron dengan bobot kedatangan tertentu. Input ini akan diproses oleh suatu fungsi perambatan yang akan menjumlahkan nilai-nilai semua bobot yang datang. Hasil penjumlahan ini kemudian akan dibandingkan dengan suatu nilai ambang (threshold) tertentu melalui fungsi aktivasi. Apabila input tersebut melewati suatu nilai ambang tertentu, maka neuron tersebut akan diaktifkan, tetapi jika tidak maka neuron tersebut tidak akan diaktifkan. Apabila neuron tersebut diaktifkan, maka neuron tersebut akan mengirimkan output melalui bobot-bobot outputnya ke semua neuron yang berhubungan dengannya. Hal ini dilakukan secara terus menerus.

Pada Jaringan Syaraf Tiruan, neuron-neuron akan dikumpulkan dalam lapisan-lapisan (*layer*) yang disebut dengan lapisan neuron (*neuron layers*). Biasanya neuron-neuron pada satu lapisan akan dihubungkan dengan lapisan-lapisan sebelum dan sesudahnya (kecuali lapisan *input* dan lapisan *output*). Informasi yang diberikan pada Jaringan Syaraf Tiruan akan dirambatkan dari lapisan ke lapisan, mulai dari lapisan input hingga ke lapisan output melalui lapisan-lapisan lainnya yang sering dikenal dengan nama lapisan tersembunyi (*hidden layers*), tergantung pada algoritma pembelajarannya. Pada algoritma tertentu, bisa jadi informasi dirambatkan secara mundur pada jaringan.

Algoritma Jaringan Syaraf Tiruan beroperasi secara langsung dengan angka sehingga data yang tidak numerik harus diubah menjadi data numerik. Jaringan Syaraf Tiruan tidak dapat menerangkan bagaimana suatu hasil didapatkan dan hasilnya tidak bersifat pasti benar seperti pada operasi diskrit komputer. Hasil pengolahan pada output lebih bersifat prediksional dengan jumlah error tertentu. Untuk itulah JST dapat digunakan untuk memproses sebuah informasi dari data-data inputan yang tidak lengkap.

Ciri utama Jaringan Syaraf Tiruan adalah kemampuan untuk mempelajari sebuah pola dari contoh yang diajarkan atau dari pengalaman terdahulu. Sistem Jaringan Syaraf Tiruan tidak diprogram untuk melakukan operasi matematis seperti pada sistem komputer konvensional melainkan dengan memberikan sesi pembelajaran untuk mengenali pola pada data berseri. Pada sesi pembelajaran ini sinapsis-sinapsis antar unit neuron akan memperbaiki bobotn *default* yang telah diberikan menjadi bobot yang lebih ideal sehingga keluaran yang diharapkan mendekati ambang minimum kesalahan pengenalan pola.

Proses pembelajaran dalam Jaringan Syaraf Tiruan dapat dikategorikan dalam dua jenis:

a. Proses Pembelajaran Terbimbing (*Supervised Learning*)

Dalam proses pembelajaran terbimbing, sistem dikontrol oleh pengguna untuk mengenali pola-pola inputan dengan target output yang telah ditentukan. Target output ini adalah acuan untuk pengubahan bobot-bobot sinapsis. Pada proses pelatihan, satu sinyal masukan diberikan kepada satu

neuron yang selanjutnya akan diolah dan akan menghasilkan satu keluaran. Nilai keluaran ini akan dibandingkan dengan nilai targetnya. Jika terjadi perbedaan antara *output* hasil pembelajaran dengan *output* yang ditargetkan, maka di sini akan timbul nilai *error*. Untuk mendapatkan nilai keluaran yang sesuai dengan target (*error* yang terjadi kecil), maka harus dilakukan pelatihan secara berkala yang disebut *Epoch* hingga selisih antara nilai keluaran dan nilai target menjadi sangat kecil.

b. Proses Pembelajaran Tak Terbimbing (*Unsupervised Learning*)

Pada pembelajaran tak terbimbing, jaringan akan mengubah bobot-bobot sinapsisnya, sehingga reaksi terhadap masukan tanpa memerlukan target output. Tujuan pembelajaran ini adalah mengelompokkan unit-unit yang hampir sama dalam suatu area tertentu. Pembelajaran ini cocok untuk pengelompokan pola.

2.7 Algoritma *Backpropagation Neural Network*

Banyak algoritma yang diusulkan untuk melatih Jaringan Syaraf Tiruan. Salah satu yang populer adalah algoritma pelatihan *Backpropagation*. *Backpropagation* merupakan algoritma pembelajaran yang terawasi dan biasanya digunakan oleh perceptron dengan banyak lapisan untuk mengubah bobot-bobot yang terhubung dengan neuron-neuron yang ada pada lapisan tersembunyinya (Negnevitsky, 2006:166).

Algoritma *Backpropagation* dapat dibagi dalam 2 bagian (Puspitaningrum, 2006:128), sebagaimana berikut:

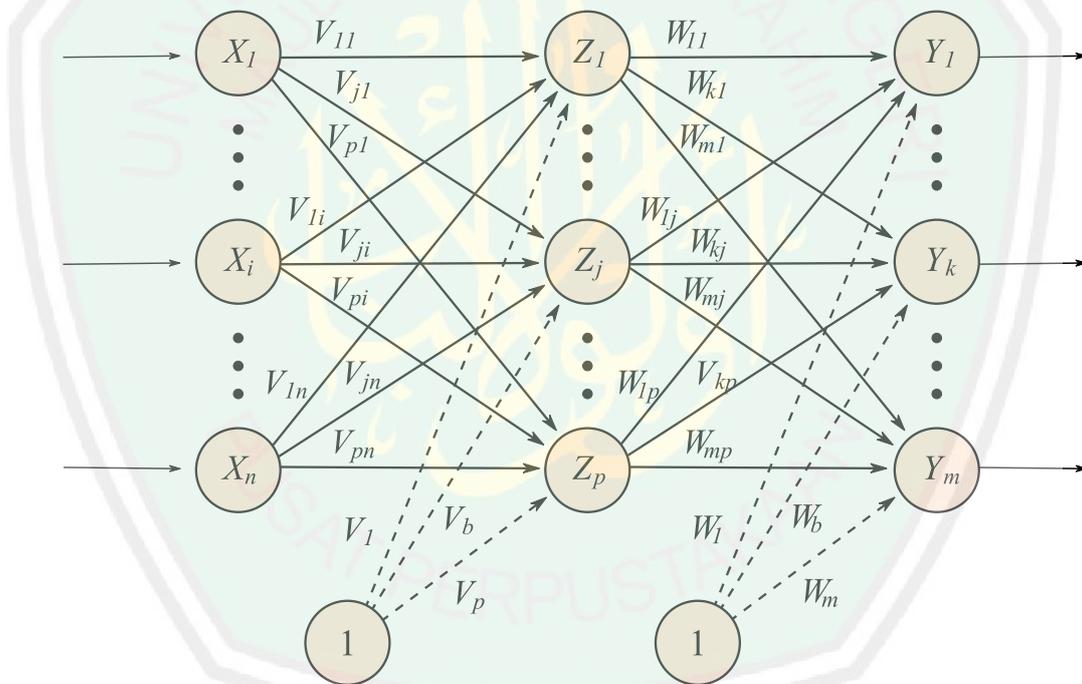
- 1. Algoritma Pelatihan :** Terdiri dari 3 tahap; tahap umpan maju (feedforward) pola pelatihan input, tahap perambatan mundur (backpropagation) atas error yang ditimbulkan antara nilai output dan nilai target, dan tahap pengaturan ulang bobot-bobot sinapsis.
- 2. Algoritma Aplikasi :** Yang digunakan dalam algoritma ini hanyalah tahap umpan maju saja menggunakan bobot terakhir yang dihasilkan dari algoritma pelatihan.

Algoritma Backpropagation menerapkan hidden layer yang menempatkan beberapa unit neuron ke dalam satu atau lebih lapis tersembunyi. Gambar 2.15 adalah arsitektur backpropagation dengan n buah unit input X_i dengan $1 < i < n$ ditambah sebuah bias, sebuah hidden layer yang terdiri dari p unit tersembunyi Z_j dengan $1 < j < p$ ditambah sebuah bias, serta m buah unit keluaran Y_k dengan $1 < k < m$.

Inisiasi pada bobot-bobot sinapsis yang menghubungkan antar unit neuron dimulai dari bobot V_{ji} yang menghubungkan unit-unit di input layer ke unit-unit di hidden layer. Unit V_{ji} berjumlah sebanyak $n * p$ buah, dengan n adalah jumlah neuron X_i yang ada di input layer dan p adalah jumlah unit Z_j yang ada di hidden layer. Dilanjutkan dengan inisiasi bobot W_{kj} yang menghubungkan antara unit-unit neuron di hidden layer ke unit-unit neuron di output layer. Unit W_{kj} berjumlah

sebanyak $p \cdot m$ buah, dengan p adalah jumlah unit Z_i di hidden layer dan m adalah jumlah unit Y_k yang ada di output layer.

Selain inisiasi bobot pada tiap sinapsis yang menghubungkan antar neuron, dideklarasikan juga variabel bias V_{jb} sebanyak p buah, dimana p adalah jumlah neuron pada Z_n ; dan variabel bias W_{kb} sebanyak m buah, dimana m adalah jumlah unit Y_k . Bias adalah konstanta bernilai 1 sebagai nilai defaultnya, dan bisa berubah seiring proses perubahan bobot pada fase perambatan balik.



Gambar 2.15 Arsitektur Jaringan Syaraf Tiruan *Backpropagation*

Proses perambatan maju pada tahap pertama dimulai dengan memberikan pola masukan ke unit-unit di input layer. Dengan melakukan perambatan maju dihitung nilai aktivasi pada unit-unit di lapisan berikutnya. Pada setiap lapisan,

tiap unit pengolah melakukan penjumlahan berbobot dan menerapkan fungsi sigmoid untuk menghitung keluarannya (Supriyadi, 2012:23).

Untuk menghitung penjumlahan berbobot, digunakan rumus persamaan:

$$S_j = b_j + \sum_{i=1}^n a_i \cdot w_{ji} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan : w_{ji} = bobot sambungan dari unit i ke unit j

a_i = masukan yang berasal dari unit i

b_j = bobot bias pada unit j

Setelah nilai S_j dihitung, fungsi sigmoid diterapkan pada S_j untuk membentuk $f(S_j)$, fungsi sigmoid mempunyai persamaan sebagai berikut:

$$f(S_j) = \frac{1}{1 + e^{-S_j}} \dots\dots\dots (2.2)$$

Secara lengkap, algoritma backpropagation untuk pelatihan jaringan dengan satu lapis tersembunyi (dengan fungsi aktivasi sigmoid biner) sebagai berikut (Supriyadi, 2012:26) :

Langkah 0 : Inisialisasi semua bobot dengan bilangan acak kecil (antara -1 hingga 1 atau antara -0,5 hingga 0,5).

Langkah 1 : Jika kondisi penghentian belum terpenuhi, lakukan langkah 2 hingga langkah 8.

Langkah 2 : Untuk setiap pasang data pelatihan, lakukan langkah 3 hingga langkah 8.

Fase I : Feed Forward

Langkah 3 : Tiap unit input menerima sinyal dan meneruskannya ke unit tersembunyi di depannya.

Langkah 4 : Hitung semua output di unit tersembunyi Z_j ($j=1,2,\dots,p$)

$$z_{net_j} = V_{jb} + \sum_{i=1}^n X_i \cdot V_{ji} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$z_j = f(z_{net_j}) = \frac{1}{1 + e^{-z_{net_j}}} \dots\dots\dots (2.4)$$

Langkah 5 : Hitung semua output jaringan di unit Y_k ($k=1,2,\dots,m$)

$$y_{net_k} = W_{kb} + \sum_{j=1}^p Z_j \cdot W_{kj} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$y_k = f(y_{net_k}) = \frac{1}{1 + e^{-y_{net_k}}} \dots\dots\dots (2.6)$$

Fase II : Backpropagation

Langkah 6 : Hitung faktor δ unit keluaran berdasarkan kesalahan di setiap unit keluaran Y_k ($k=1,2,\dots,m$)

$$\delta_k = (t_k - y_k) \cdot f'(y_{net_k}) = (t_k - y_k) \cdot y_k \cdot (1 - y_k) \dots\dots\dots (2.7)$$

δ_k merupakan unit kesalahan yang akan dipakai dalam perubahan bobot lapis di belakangnya (langkah 7).

Hitung suku perubahan bobot ΔW_{kj} (yang nanti akan dipakai untuk merubah bobot W_{kj}) dengan *learn rate* α melalui persamaan berikut:

$$\Delta W_{kj} = \alpha \cdot \delta_k \cdot Z_j \dots\dots\dots (2.8)$$

Hitung juga perubahan bias ΔW_b (yang nanti akan dipakai untuk merubah bias W_b) sebagaimana rumus berikut:

$$\Delta W_b = \alpha \cdot \delta_k \dots\dots\dots (2.9)$$

Langkah 7 : Hitung faktor δ unit tersembunyi berdasarkan kesalahan pada setiap unit tersembunyi Z_j ($j=1,2,\dots,p$)

$$\delta_{net_j} = \sum_{k=1}^m \delta_k \cdot W_{kj} \dots\dots\dots (2.10)$$

Faktor δ unit tersembunyi :

$$\delta_j = \delta_{net_j} \cdot f'(z_{net_j}) = \delta_{net_j} \cdot z_j \cdot (1 - z_j) \dots\dots\dots (2.11)$$

Hitung suku perubahan bobot ΔV_{ji} (yang akan dipakai nanti untuk merubah bobot V_{ji}) dan suku perubahan bias ΔV_b (yang akan dipakai nanti untuk merubah bias V_b :

$$\Delta V_{ji} = \alpha \cdot \delta_j \cdot X_i \dots\dots\dots (2.12)$$

$$\Delta V_b = \alpha \cdot \delta_j \dots\dots\dots (2.13)$$

Fase III : Perubahan Bobot

Langkah 8 : Hitung semua perubahan bobot sinapsis yang menuju ke unit keluaran (W_{kj}) dan perubahan bias pada unit keluaran (W_b) menggunakan rumus ini:

$$W_{kj} (t+1) = W_{kj}(t) + \Delta W_{kj} \dots\dots\dots (2.14)$$

$$W_b (t+1) = W_b (t) + \Delta W_b \dots\dots\dots (2.15)$$

Hitung juga perubahan bobot sinapsis menuju lapis tersembunyi (V_{ji}) dan perubahan bias pada lapis tersembunyi (V_b), menggunakan rumus berikut:

$$V_{ji} (t+1) = V_{ji} (t) + \Delta V_{ji} \dots\dots\dots (2.16)$$

$$V_b (t+1) = V_b (t) + \Delta V_b \dots\dots\dots (2.17)$$

Variabel t pada rumus-rumus di atas sebagai representasi nilai bobot dan bias lama dan $t+1$ adalah bobot dan bias baru.

Langkah 9 : Selesai.

2.8 Verifikasi dan Validasi Sistem

Pengembangan sistem yang bertumpu pada kemampuan kecerdasan buatan harus melewati tahap verifikasi dan validasi sistem. Fase ini adalah fase penting untuk menentukan apakah sistem tersebut dapat diimplementasikan untuk menyelesaikan persoalan di dunia nyata ataukah tidak. Kesalahan kecil dalam sistem bisa berdampak besar bagi proses bisnis dalam kehidupan nyata. Sehingga

diperlukan ketelitian dalam menguji coba sistem untuk mengetahui sebuah gambaran sejauh mana tingkat keberhasilan sistem tersebut jika kelak diterapkan.

Verifikasi adalah tahap pembuktian bahwa sistem telah dibangun secara layak ditinjau dari segi mekanis. Validasi adalah pengecekan apakah sistem yang dibangun sesuai dengan kebutuhan yang sudah diidentifikasi sebelumnya pada awal proyek. Pendekatan verifikasi dan validasi yang paling banyak dilakukan untuk menguji sistem Jaringan Syaraf Tiruan adalah pengujian *trial-and-error*.

2.8.1 Verifikasi

Beberapa aspek deklaratif dalam verifikasi Jaringan Syaraf Tiruan yang penting untuk ditinjau kembali secara teliti (Puspitaningrum, 2006:150) :

1. Jaringan

- Apakah arsitektur jaringan berbentuk lapisan tunggal atau lapisan banyak?
- Apakah aliran informasi jaringan adalah umpan maju atau berulang?
- Apakah pola koneksinya terhubung penuh atau terhubung sebagian?

2. Unit

- Bagaimana koneksi inputnya?
- Bagaimana koneksi outputnya?
- Mengenai nonlinearitas, apakah hard limit, sigmoid atau tangen?

3. Perilaku

- Bagaimana inisialisasi bobotnya?
- Bagaimana perhitungan aktivasinya?
- Bagaimana proses perubahan bobotnya?

Hal lain yang juga perlu diverifikasi adalah apakah persamaan-persamaan matematika dari Jaringan Syaraf Tiruan yang dipilih telah diimplementasikan dengan benar. Selain melakukan verifikasi terhadap aspek deklaratif, harus dilakukan pula verifikasi terhadap aspek prosedural:

1. Konvergensi

Apakah Jaringan Syaraf Tiruan akan berkonvergensi ke sebuah nilai asimtot melalui *epoch-epoch* yang dijalani selama pelatihan?

2. Stabilitas

Apakah epoch-epoch yang terjadi semakin lama semakin membawa perubahan output ke arah yang semakin kecil sehingga output mendekati konstan?

Dalam proses debug, ketersediaan kode sumber dinilai sangat penting untuk melakukan perbaikan. Dalam melakukan pengujian terhadap Jaringan Syaraf Tiruan bisa dilakukan dengan beberapa cara, antara lain:

1. Melihat bobot-bobotnya

Bobot-bobot bernilai besar menunjukkan terjadinya *overtraining*, namun jika bobot bernilai sangat kecil menunjukkan ada unit-unit neuron yang sebenarnya tidak diperlukan. Untuk menganalisa bobot-bobot tersebut sebaiknya antar muka sistem pelatihan dibuat sedemikian rupa hingga output numeriknya bisa dibaca. Bila perlu output numerik dalam bentuk grafik sehingga perubahan yang terjadi selama pelatihan dan pengujian jaringan mudah dipantau.

2. Memasukkan input baru

Output yang dihasilkan oleh Jaringan Syaraf Tiruan diteliti untuk mengetahui apakah memang telah sesuai dengan target output.

2.8.2 Validasi

Untuk memvalidasi Jaringan Syaraf Tiruan, terdapat dua kali validasi yaitu pada saat pelatihan dan setelah pelatihan berakhir. Pada saat pelatihan, Jaringan Syaraf Tiruan dipandang sebagai sebuah sistem pembelajaran. Sedangkan setelah pelatihan, Jaringan Syaraf Tiruan dipandang sebagai sebuah sistem kerja (*application system*) (Puspitaningrum, 2006:152).

Ada beberapa aspek yang harus diperhatikan dalam fase validasi. Seperti contohnya aspek unjuk kerja, validasi harus bisa menjawab pertanyaan ini, “apakah sistem sebagai pemecah masalah menghasilkan solusi yang memuaskan dalam menghadapi berbagai kondisi baik data normal, data yang terkena noise, data tidak lengkap, atau data yang tidak relevan?”.

Aspek lainnya yang harus diperhatikan juga adalah kualitas, dimana hasil pengujian harus menjawab pertanyaan, “seberapa menarik atau bermanfaat jika sistem ditrapkan dalam dunia nyata?”. Juga aspek efisiensi, “Apakah kompleksitas algoritma yang digunakan cukup efisien untuk menyelesaikan permasalahan yang dihadapi?” Pada aspek efisiensi, walaupun proses pembelajaran Jaringan Syaraf Tiruan berjalan dengan lambat namun tingkat akurasi yang ditawarkan lebih tinggi sehingga Jaringan Syaraf Tiruan tersebut tetap dapat diterima.

Beberapa teknik validasi yang dapat diterapkan untuk memperkirakan tingkat kesalahan pada pengembangan sistem berbasis Jaringan Syaraf Tiruan antara lain:

1. Metode *Holdout*

Penerapan metode ini adalah dengan membagi data ke dalam 2 set terpisah. Set pertama digunakan untuk proses pelatihan (training set) dan set berikutnya digunakan untuk pengujian (testing set). Perlu kasus pengujian dalam jumlah yang cukup untuk menjamin hasil estimasi yang dapat dipercaya. Biasanya dalam proses pelatihan setiap kategori output dimasukkan berselang-seling.

Maksud dari penyajian secara bergantian ini adalah agar jaringan tidak melupakan contoh-contoh yang pernah dipelajari atau sebaliknya terlalu ingat kepada pola-pola terakhir yang pernah dipelajari.

2. Metode *Leave one out*

Metode ini diterapkan dengan cara melakukan pengalaman sebanyak n kali untuk contoh-contoh kasus sejumlah n dengan setiap kali mengeluarkan satu kasus untuk pengujian. Angka perkiraan kesalahan adalah angka kesalahan pengujian rata-rata setelah n kali percobaan.

Contoh :

Terdapat data berisikan contoh-contoh kasus A, B, C, D dan E.

Eksperimen dilakukan dengan cara sebagai berikut:

Tabel 2.2 Contoh Tabel Pengujian *Leave One Out*

Eksperimen ke-	Data Pelatihan	Data Pengujian
1	A, B, C, D	E
2	A, B, C, E	D
3	A, B, D, E	C
4	A, C, D, E	B
5	B, C, D, E	A

Dari hasil pengujian pada masing-masing iterasi eksperimen, ditemukan angka *error* 1.00, 0.00, 0.00, 1.00, 0.00 sehingga angka *error* rata-ratanya adalah 0.40. Angka error berkisar antara 0.00 dan 1.00 dimana semakin kecil nilainya menunjukkan semakin tangguh jaringan tersebut.

3. Metode *Cross-validation*

Teknik ini juga disebut *leave some out* atau *leave one out*. *K-fold cross validation* cocok untuk data baik dalam jumlah besar maupun kecil.

Contoh :

Terdapat data berisikan contoh-contoh kasus A, B, C, D, E, F, G dan H. Eksperimen antara lain bisa dilakukan dengan cara *four-fold cross-validation* sebagaimana berikut:

Tabel 2.3 Contoh Tabel Pengujian *Four-fold Cross-validation*

Eksperimen ke-	Data Pelatihan	Data Pengujian
1	A, B, C, D, E, F	G, H
2	A, B, C, D, G, H	E, F
3	A, B, E, F, G, H	C, D
4	C, D, E, F, G, H	A, B

Atau dengan *two-fold cross-validation* sebagaimana berikut:

Tabel 2.4 Contoh Tabel Pengujian *Two-fold Cross-validation*

Eksperimen ke-	Data Pelatihan	Data Pengujian
1	A, B, C, D	E, F, G, H
2	E, F, G, H	A, B, C, D

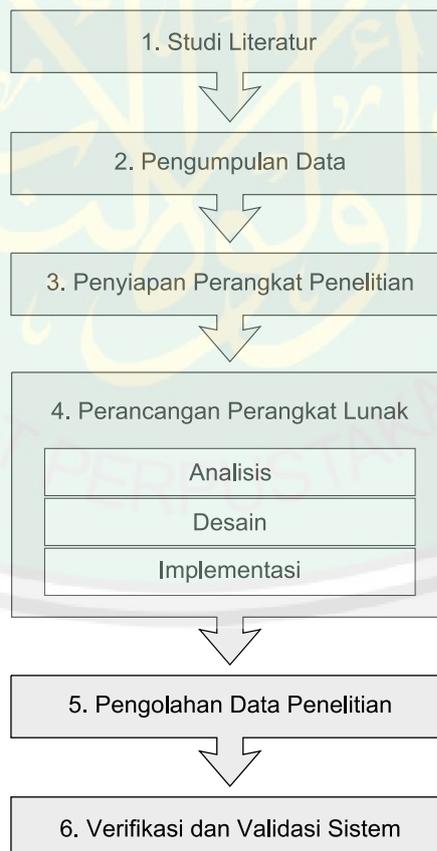
Validasi terhadap sistem diterapkan melalui uji lapangan atau uji turing. Uji lapangan dimana sistem diterapkan di lapangan dengan dipantau oleh pemakai. Uji turing yaitu membandingkan hasil yang diperoleh sistem dengan hasil yang diperoleh oleh pakar dimana sistem valid jika manusia tidak bisa mengetahui hasil yang dikeluarkan oleh sistem.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Desain Penelitian

Desain penelitian mempresentasikan tahapan yang akan dilakukan dalam penelitian, dengan tujuan memudahkan peneliti dalam melakukan penelitian. Adapun dalam berjudul *Klasifikasi Jenis Gempa Gunung Berapi Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation* ini menerapkan model desain penelitian sebagai berikut:



Gambar 3.1 Desain Penelitian

Tahapan yang penulis lakukan dalam penelitian ini diantaranya adalah:

1. Studi literatur mengenai kegunung-apian dan kegempaan gunung berapi. Serta melakukan studi literatur tentang sistem kecerdasan buatan untuk mempelajari kemungkinan diterapkannya metode Jaringan Syaraf Tiruan *Backpropagation* untuk mengklasifikasikan jenis-jenis gempa gunung berapi.
2. Mengumpulkan data kegempaan gunung berapi yang akan digunakan sebagai obyek penelitian.
3. Mempersiapkan perangkat penelitian.
4. Melakukan analisis dan perancangan perangkat untuk memproses data kegempaan gunung berapi yang dijabarkan dalam kegiatan berikut:
 - a) Analisis kebutuhan sistem
 - b) Desain diagram alir pada sistem
 - c) Implementasi dalam kode pemrograman
5. Pengolahan data penelitian menggunakan algoritma Jaringan Syaraf Tiruan *Backpropagation*.
6. Melakukan verifikasi apakah algoritma Jaringan Syaraf Tiruan sudah berjalan dengan benar dan menguji tingkat akurasi Jaringan Syaraf Tiruan dalam mengenali jenis-jenis gempa gunung berapi.

3.2 Prosedur Penelitian

Untuk menghasilkan sistem sesuai dengan rancangan yang diharapkan, penelitian ini menerapkan prosedur pelatihan sebagai berikut;

3.2.1 Alat dan Bahan

Perangkat keras:

1. Unit PC/Laptop
2. Data Logger LS7000
3. Salinan lembar seismogram tanggal 1-10 Januari 2012
4. Salinan laporan energi gempa Gunung Semeru bulan Januari 2012

Perangkat lunak:

1. Sistem Operasi Windows 7 86-bit
2. Java Development Kit 1.7 Update 21
3. Java Runtime Environment
4. ArgoUML 0.34
5. Netbeans IDE 7.3.1
6. ArgaLite 2.3.2

3.2.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di Pos Pemantau Gunung Semeru yang berlokasi di Gunung Sawur, Kecamatan Candirpuro, Kabupaten Lumajang. Penelitian berlangsung tanggal 23 Juni 2013 hingga 5 Juli 2013.

3.3. Metode Penelitian

Metode yang diterapkan dalam penelitian ini meliputi metode pengumpulan data dan metode pengembangan sistem.

3.3.1 Metode Pengumpulan Data

Guna mendapatkan informasi seakurat mungkin, penulis melakukan wawancara dengan pihak terkait yang menangani langsung obyek yang diteliti, dalam hal ini data kegempaan gunung berapi. Obyek wawancaranya adalah para

pengamat Gunung Berapi yang berkantor di Pos Pemantau Gunung Semeru, Kecamatan Candipuro, Kabupaten Lumajang. Beberapa pengamat yang diwawancarai oleh penulis adalah Bapak Suparno yang menjabat sebagai kepala kantor, Bapak Arifin dan Bapak Liswanto yang bertindak sebagai petugas pemantau aktifitas Gunung Semeru, dan Bapak Herry Kuswandarto yang juga bertugas memantau Gunung Semeru sekaligus pengembang aplikasi *ArgaLite* untuk memantau aktifitas kegempaan gunung berapi secara *realtime*.

Dari hasil wawancara penulis mendapatkan informasi bahwa kondisi gunung berapi pada khususnya Gunung Semeru dikatakan meningkat jika terjadi gempa tremor yang cukup banyak dalam satu bulan. Gunung Semeru merupakan gunung berapi aktif yang sering terjadi erupsi (letusan) di lokasi kawah, sehingga seismograf banyak mencatat gempa letusan. Kondisi ini merupakan gejala normal yang menandakan rutinitas pelepasan energi panas pada gunung berapi bertipe *strato volcano*, sehingga bukan digolongkan sebagai gejala peningkatan aktifitas gunung berapi.

Para pengamat Gunung Semeru mengungkapkan bahwa sangat sulit untuk menggunakan data diskrit. Satu-satunya cara yang sangat direkomendasikan adalah melalui data visual dengan melihat langsung bentuk gelombang yang tercatat pada lembar seismogram. Pola gelombang pada tiap-tiap jenis gempa memiliki ciri khas bentuk yang mudah dikenali. Seperti contohnya gempa tremor yang memiliki panjang gelombang bermenit-menit bahkan hingga hitungan jam. Atau gempa vulkanik dalam yang memiliki ciri unik berupa batas yang terlihat

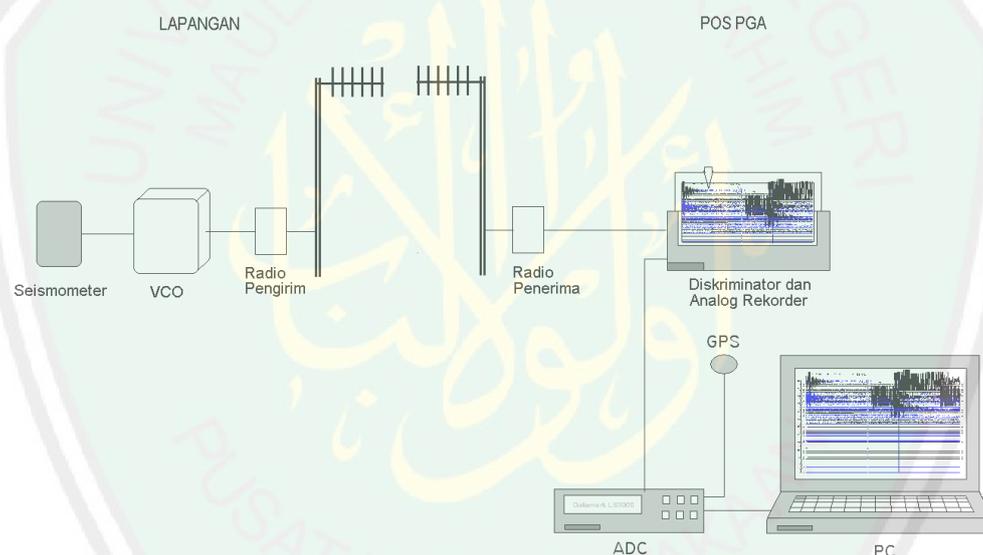
jeas pada titik Pressure (P) dan Shear (S), serta panjang gelombang yang sangat pendek. Gempa vulkanik dangkal memiliki ciri yang hampir sama dengan gempa vulkanik dalam namun batas antara titik Pressure (P) dan Shear (S) tidak terlihat jelas. Sedangkan ciri utama gempa letusan adalah memiliki pintasan Amplitudo yang sangat besar.

Dari hasil wawancara, penulis melakukan penyederhanaan variabel-variabel penilaian yang telah disebutkan oleh para pengamat Gunung Semeru. Variabel-variabel yang diambil untuk dijadikan nilai input pada Jaringan Syaraf Tiruan untuk mengenali jenis gempa adalah tiga variabel berikut:

- a. Selisih waktu terjadinya Pressure dan Shear (S-P).
- b. Amplitudo maksimal gelombang
- c. Panjang gelombang (λ)

Data seismik Gunung Semeru disimpan dalam sebuah *data logger* LS-7000 yang ditempatkan di Pos Pemantau Gunung Semeru. Alat ini memuat data seismik dari tujuh stasiun *seismometer* yang di sebar di sekitar kawasan Gunung Semeru. Sinyal seismik dari setiap *seismometer* ditransmisikan melalui radio gelombang pendek dari stasiun seismometer menuju Pos Pemantau Gunung Semeru. Tugas *data logger* adalah mengumpulkan sinyal dari tujuh stasiun seismometer untuk kemudian diubah menjadi data diskrit dengan frekuensi data 100 Hz. Selanjutnya setiap satu menit data tersebut dikompilasi dalam berkas RAW dan disimpan dalam *memory card* yang tertancap di *data logger*.

Data diskrit yang dicatat oleh *data logger* bisa diteruskan lagi menuju *seismograf* analog. Data tersebut akan diubah menjadi data kontinu berupa grafik gelombang yang ditorehkan di atas kertas *seismogram*. Selain itu data diskrit yang dicatat oleh data logger juga bisa ditransmisikan menuju perangkat komputer menggunakan jaringan LAN. Dengan menggunakan perangkat lunak ArgALite, data tersebut bisa dilihat secara visual dalam bentuk gelombang kontinu secara *realtime*.



Gambar 3.2 Alur Sistem Pencatatatan Gempa Gunung Berapi

Sumber : *Diktat Diklat Pengamat Pemula Gunung Berapi*, hal 21

Untuk membedakan data seismik dari satu stasiun *seismograf* dengan stasiun lainnya, setiap dilengkapi dengan header yang memuat informasi kanal stasiun darimana data tersebut berasal. Kode kanal untuk masing-masing stasiun dinyatakan dalam tabel 3.1;

Tabel 3.1 Kode Kanal dan Lokasi Seismometer

No	Kode Kanal	Stasiun Seismometer
1	A000	Puncak G. Semeru
2	A001	Bukit Kepolo
3	A002	Bukit Leker
4	A003	Besuk Bang
5	A004	Tretes
6	A005	-
7	A006	-

Di Pos Pemantau Gunung Semeru, terdapat tiga seismograf analog. Data seismik yang di catat secara analog oleh ketiga seismograf tersebut adalah data saismik dari stasiun Leker, Besuk Bang dan Tretes. Penulis mengambil data seismik yang tercatat pada lembaran-lembaran seismogram pada bulan Januari 2012, yang dikuatkan dengan laporan hasil pengamatan yang dilakukan oleh pengamat Gunung Semeru.

Dari sekian banyak data seismik, penulis mengambil sampel data secara acak sebanyak 60 data seismik yang memuat empat jenis gempa gunung berapi. Masing-masing adalah 21 gempa letusan, 14 gempa tremor, 21 gempa vulkanik dalam (VA) dan 4 gempa vulkanik dangkal (VB). Selanjutnya data tersebut dibagi menjadi dua set, dimana set pertama digunakan untuk set pelatihan dan set berikutnya digunakan sebagai set pengujian.

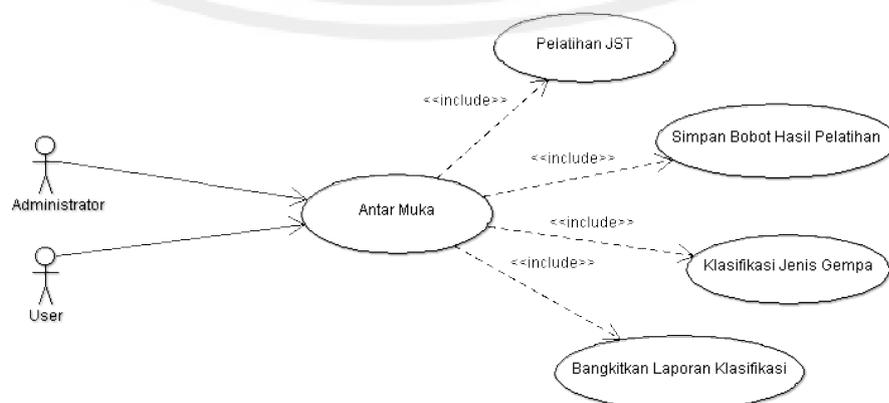
3.2.2 Analisis Perancangan Sistem

Sistem yang akan dikembangkan dalam penelitian ini memiliki 2 fungsi utama sesuai dengan algoritma Jaringan Syaraf Tiruan *Backpropagation* yang

tergolong algoritma pembelajaran terawasi, yakni fungsi pelatihan dan fungsi aplikasi. Pada fungsi pelatihan, pengguna memasukkan sejumlah data input yang memiliki target output untuk dilatihkan ke dalam sistem menggunakan algoritma pelatihan Jaringan Syaraf Tiruan *Backpropagation*. Hasil akhir dari fungsi ini adalah keluarnya nilai output berupa bobot-bobot yang akan digunakan untuk fungsi aplikasi. Fungsi Aplikasi menyediakan instrumen kepada pengguna untuk mengenali data baru yang belum pernah dilatihkan pada fungsi pelatihan menggunakan bobot-bobot yang dihasilkan dari fungsi pelatihan sebelumnya.

Output yang dihasilkan dari fungsi pelatihan dapat disimpan dengan menggunakan fungsi penyimpanan. Sedangkan output yang dihasilkan dari fungsi aplikasi dapat disimpan sebagai sebuah berkas laporan dengan menggunakan fungsi pembangkitan laporan. Namun pada tahap ini, pengguna bisa memilih apakah akan menyimpan hasil operasi ataukah membatalkan hasil operasi dengan cara membersihkan seluruh hasil operasi dari layar.

Seluruh fungsi di atas dapat digambarkan dalam *Use Case Diagram* pada gambar 3.3 berikut:



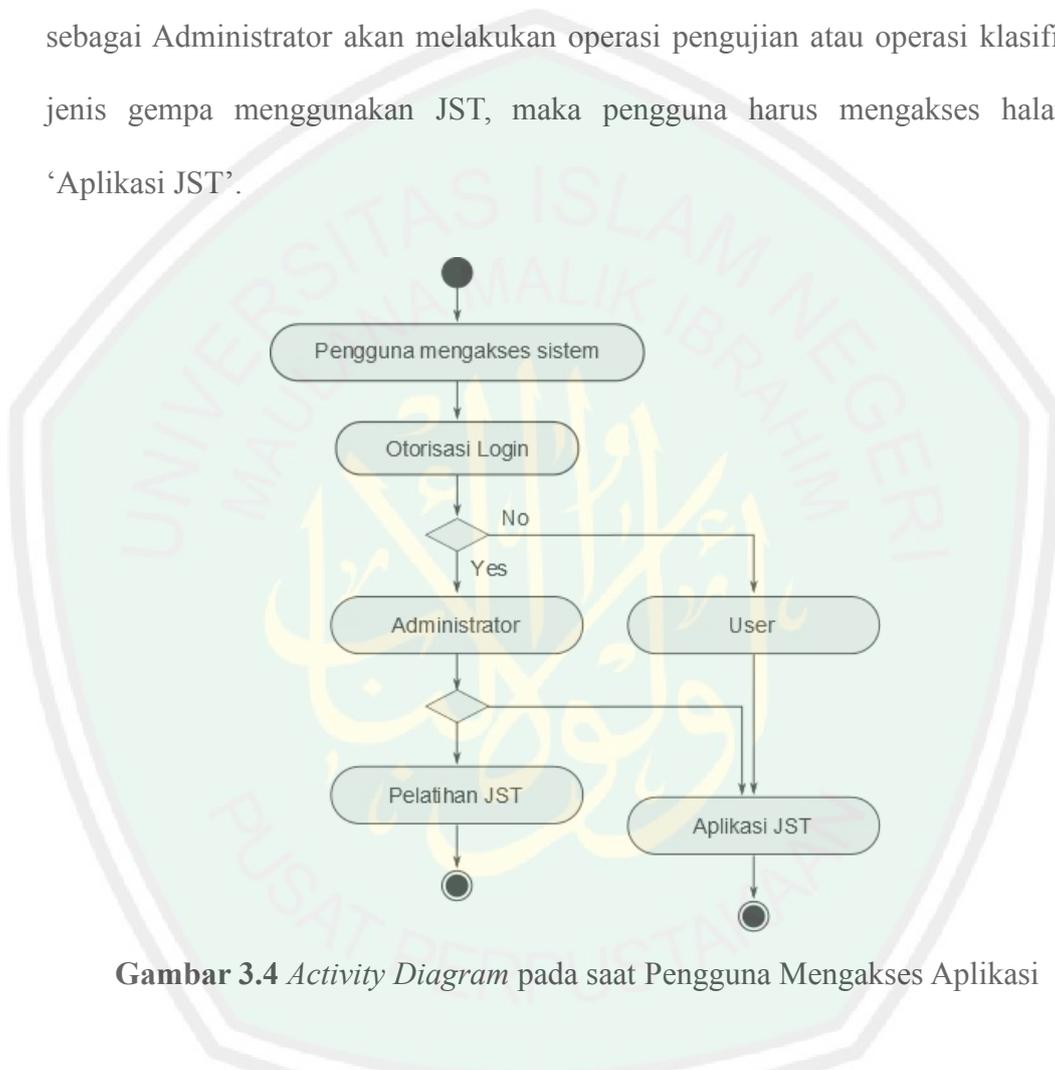
Gambar 3.3 *Use Case Diagram* Sistem Klasifikasi Jenis Gempa Gunung Berapi

Pengguna dalam sistem ini dibedakan dalam dua *privilege* (hak akses), yakni *Administrator* dan *User*. Hak akses bagi *Administrator* adalah berhak mengakses halaman ‘Pelatihan JST’ dan halaman ‘Aplikasi JST’. Sedangkan *User* hanya diperbolehkan mengakses halaman .Aplikasi JST. Hal ini didasarkan pada pertimbangan bahwa Jaringan Syaraf Tiruan memerlukan otorisasi agar bobot-bobot hasil pelatihan JST tidak mudah terpengaruh perubahan lingkungan, sehingga meningkatkan *robustness* (daya tahan) dalam menghadapi perubahan lingkungan ataupun perubahan pengguna yang dinamis.

Pada saat mengakses aplikasi pengguna dihadapkan pada kotak dialog otorisasi apakah menggunakan hak akses sebagai *Administrator* ataukah sebagai *User*. Jika pengguna berhasil melakukan otorisasi sebagai *Administrator*, maka halaman utama aplikasi akan memunculkan dua panel tab, yakni panel tab ‘Pelatihan JST’ dan panel tab ‘Aplikasi JST’. Sedangkan jika pengguna tidak memiliki otorisasi sebagai *Administrator*, pengguna bisa masuk dan menggunakan aplikasi sebagai *User*, dan hanya berhak mengakses ‘Aplikasi JST’. Dengan demikian sistem mampu menangani dua skenario hak akses pengguna, yakni skenario pengguna sebagai *Administrator* dan skenario pengguna sebagai *User*. Kedua skenario ini digambarkan dalam *Activity Diagram* pada gambar 3.4.

Pada skenario pertama, pengguna memiliki hak akses sebagai *Administrator*. Setelah melakukan proses otorisasi pengguna akan dihadapkan pada halaman antar muka aplikasi dengan dua panel tab, yakni panel tab ‘Pelatihan JST’ dan ‘Aplikasi JST’. Jika pengguna sebagai *Administrator* akan

melakukan operasi pelatihan pengenalan jenis gempa gunung berapi, maka pengguna harus mengakses halaman ‘Pelatihan JST’. Namun apabila pengguna sebagai Administrator akan melakukan operasi pengujian atau operasi klasifikasi jenis gempa menggunakan JST, maka pengguna harus mengakses halaman ‘Aplikasi JST’.

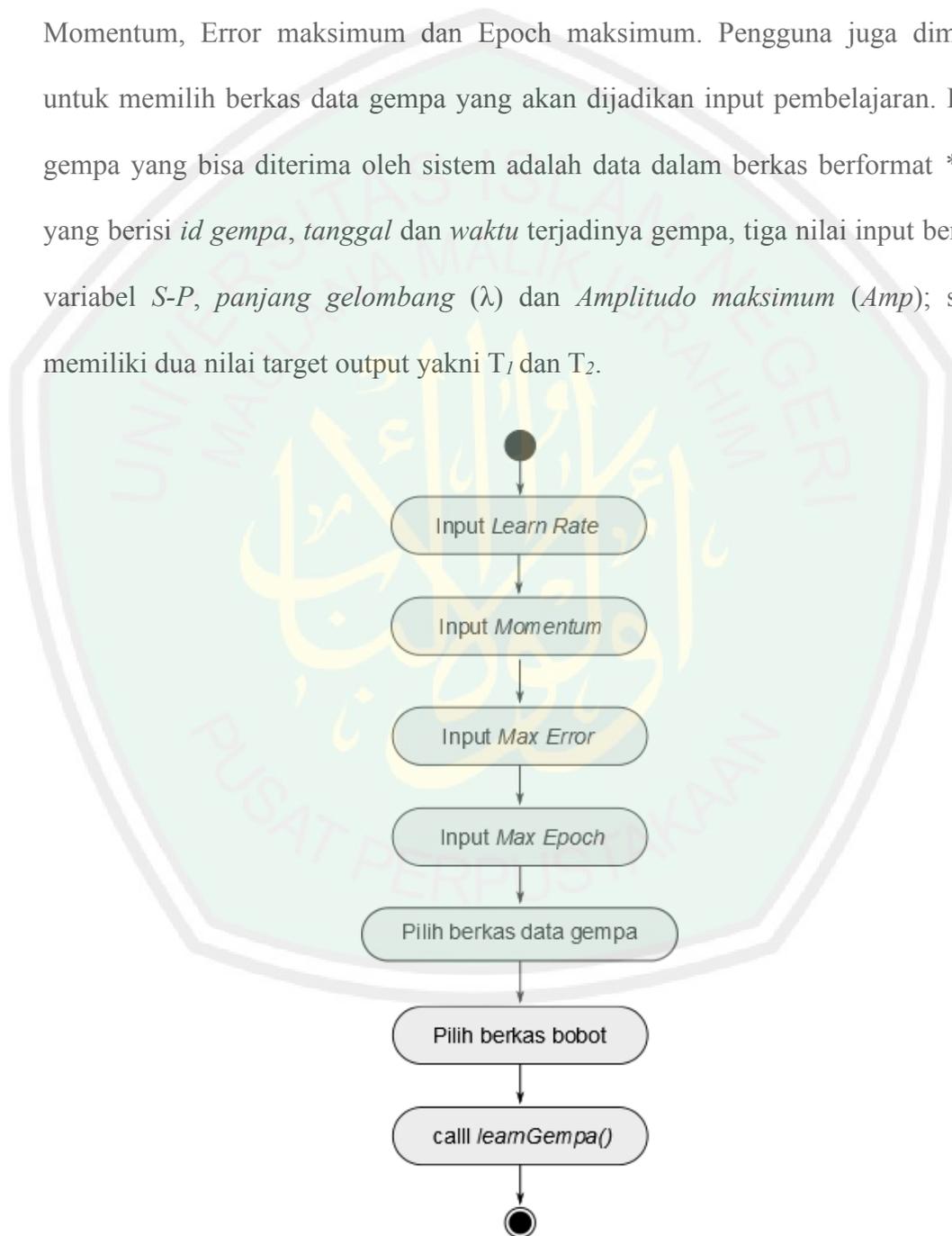


Gambar 3.4 Activity Diagram pada saat Pengguna Mengakses Aplikasi

Selanjutnya untuk penanganan skenario yang kedua yakni pengguna sebagai *User*, pengguna bisa mengabaikan proses otorisasi login. Setelah masuk sebagai *User*, pengguna hanya bisa mengakses halaman ‘Aplikasi JST’ untuk melakukan operasi pengujian atau operasi klasifikasi data gempa.

Alur Activity Diagram berlanjut pada fungsi Pelatihan JST. Gambar 3.5 menunjukkan alur yang harus dilakukan oleh pengguna sebagai *Administrator*

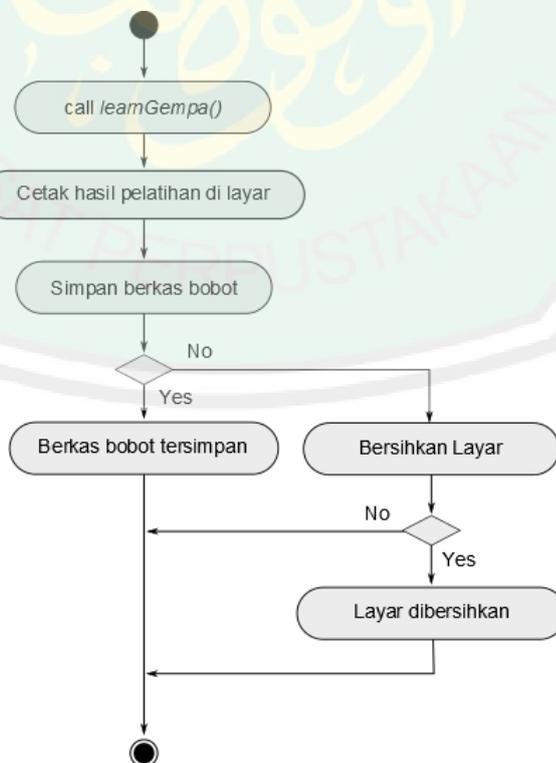
dalam melakukan pelatihan JST untuk mengenali jenis-jenis data gempa. Untuk melakukan pelatihan JST, Administrator menentukan nilai Learn Rate (α), Momentum, Error maksimum dan Epoch maksimum. Pengguna juga diminta untuk memilih berkas data gempa yang akan dijadikan input pembelajaran. Data gempa yang bisa diterima oleh sistem adalah data dalam berkas berformat *.csv yang berisi *id gempa*, *tanggal* dan *waktu* terjadinya gempa, tiga nilai input berupa variabel *S-P*, *panjang gelombang* (λ) dan *Amplitudo maksimum* (*Amp*); serta memiliki dua nilai target output yakni T_1 dan T_2 .



Gambar 3.5 Activity Diagram Pelatihan JST

Pengguna selanjutnya memilih berkas bobot yang dijadikan sebagai parameter awal pelatihan Jaringan Syaraf Tiruan. Ketika pengguna menekan tombol ‘Pelajari Data’, sistem akan melakukan proses pembelajaran dan merubah bobot-bobot yang ditentukan sebelumnya hingga nilai target error melebihi batas *Error maksimum* atau operasi perulangan melebihi *Epoch maksimum*.

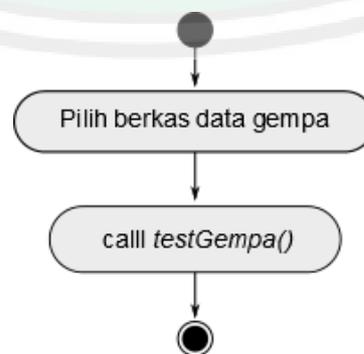
Setelah proses pelatihan Jaringan Syaraf Tiruan berakhir, pengguna dapat menyimpan bobot dan bias yang dihasilkan untuk dijadikan setting variabel konstan pada fungsi ‘Aplikasi JST’ menggunakan fungsi penyimpanan bobot hasil pelatihan. Selain itu, pengguna juga dapat menghapus layar dan mereset seluruh setting parameter jika ingin melakukan proses pelatihan lagi. Kegiatan ini tergambar dalam *Activity Diagram* pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 *Activity Diagram* Penyimpanan Bobot Hasil Pelatihan

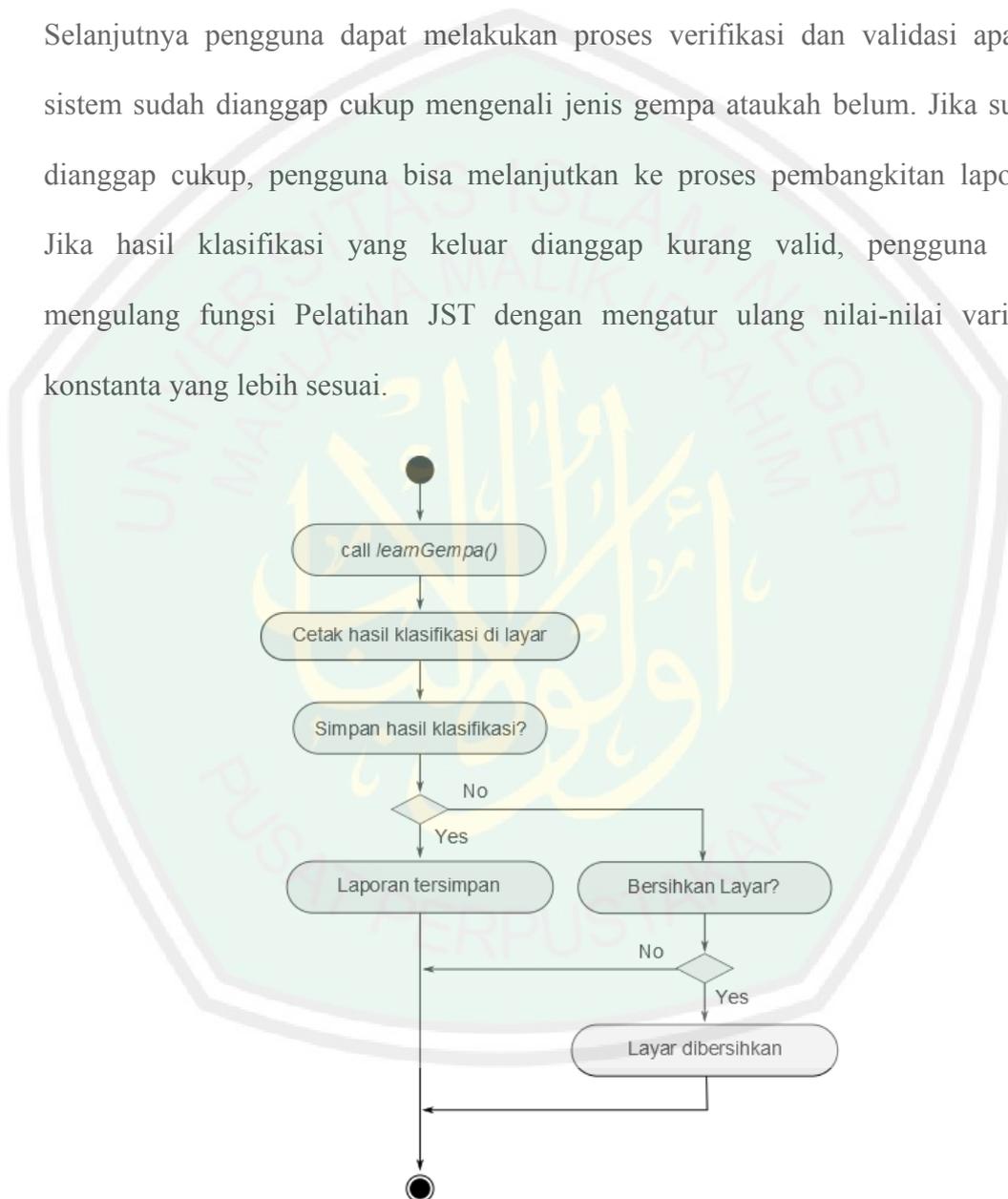
Beralih pada fungsi Aplikasi JST. Fungsi ini berjalan jika pengguna sebagai *Administrator* atau pengguna sebagai *User* akan menggunakan sistem sebagai aplikasi yang diterapkan dalam proses bisnis sehari-hari. Diasumsikan pengguna akan menguji kemampuan sistem dalam mengenali jenis gempa gunung berapi. Pada fungsi aplikasi JST, sistem meminta pengguna untuk memilih berkas data gempa yang akan diklasifikasikan. Data gempa yang bisa diterima oleh sistem adalah data dalam berkas berformat **.csv* yang berisi *id gempa*, *tanggal* dan *waktu* terjadinya gempa, tiga nilai input berupa variabel *S-P*, *panjang gelombang* (λ) dan *Amplitudo maksimum* (*Amp*);

Selanjutnya sistem akan melakukan proses analisis data gempa gunung berapi menggunakan algoritma Jaringan Syaraf Tiruan *Backpropagation* fase *step forward* saja. Hasil akhir dari fungsi ini adalah output berupa klasifikasi data gempa berdasarkan jenis gempanya yang terbagi dalam empat klasifikasi; gempa letusan, gempa tremor, gempa vulkanik dalam dan gempa vulkanik dangkal. Proses ini dapat dilihat dalam Activity Diagram pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 Activity Diagram Aplikasi JST

Setelah proses pada fungsi Aplikasi JST selesai, pengguna bisa melanjutkan ke proses pembangkitan laporan atau berhenti hingga tahap ini. Selanjutnya pengguna dapat melakukan proses verifikasi dan validasi apakah sistem sudah dianggap cukup mengenali jenis gempa ataukah belum. Jika sudah dianggap cukup, pengguna bisa melanjutkan ke proses pembangkitan laporan. Jika hasil klasifikasi yang keluar dianggap kurang valid, pengguna bisa mengulang fungsi Pelatihan JST dengan mengatur ulang nilai-nilai variabel konstanta yang lebih sesuai.



Gambar 3.8 Activity Diagram Pembangkitan dan Penyimpanan Laporan

Dalam Activity Diagram pembangkitan laporan yang ditunjukkan gambar 3.8, aktifitas dimulai ketika pengguna memilih untuk membangkitkan laporan

dengan menekan tombol 'Simpan Laporan'. Selanjutnya sistem membuka kotak dialog agar pengguna dapat menentukan direktori dan nama berkas laporan hasil klasifikasi data gempa disimpan.

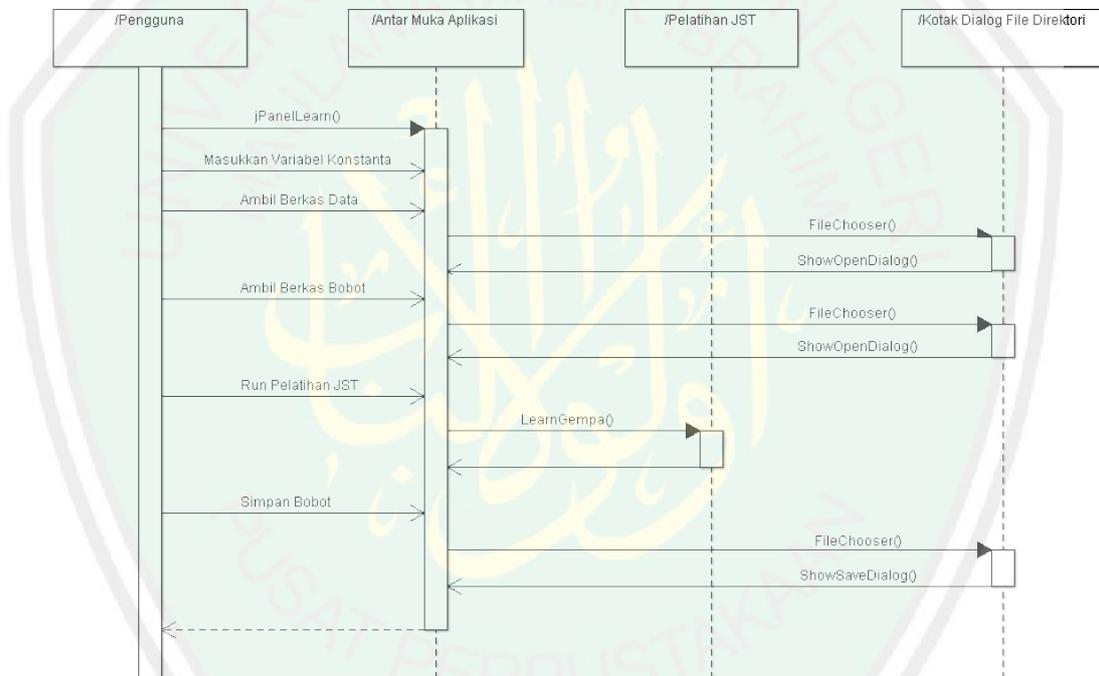
Dari seluruh *Activity Diagram* di atas dapat dijelaskan alur logika berjalannya sistem sesuai dengan *Use Case Diagram* pada gambar 3.3. Jika seluruh *Activity Diagram* di atas diurutkan sesuai proses kerja sistem, maka akan didapatkan urutan sebagai berikut:

1. Pengguna mengakses antar muka sistem.
2. Sistem memberikan pilihan, apakah pengguna akan melakukan Pelatihan JST ataukah akan melakukan Klasifikasi Data Gempa.
3. Jika pengguna memilih melakukan Pelatihan JST, sistem akan membuka antar muka Pelatihan JST:
 - a. Pengguna menentukan nilai variabel konstanta pelatihan
 - b. Pengguna memilih berkas data set pelatihan
 - c. Pengguna memilih berkas bobot awal pelatihan
 - d. Sistem melakukan Pelatihan JST
4. Pengguna menyimpan bobot hasil Pelatihan JST.
5. Jika Pengguna memilih melakukan Klasifikasi Data Gempa, sistem akan membuka antar muka Klasifikasi Data Gempa:
 - a. Pengguna memilih berkas data set pengujian

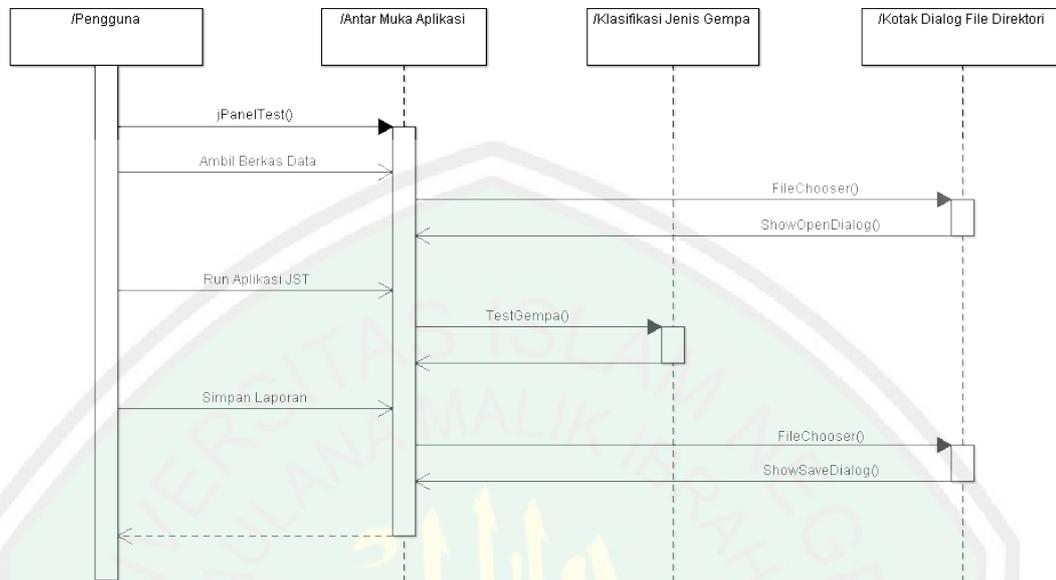
b. Sistem melakukan klasifikasi jenis gempa

6. Pengguna menyimpan laporan Klasifikasi Data Gempa.

Dari alur logika berjalannya sistem di atas, setiap proses yang berlaku dalam *Activity Diagram* dapat dijabarkan secara lebih detail menggunakan sequence diagram berikut;



Gambar 3.9 Sequence Diagram Fungsi Pelatihan JST



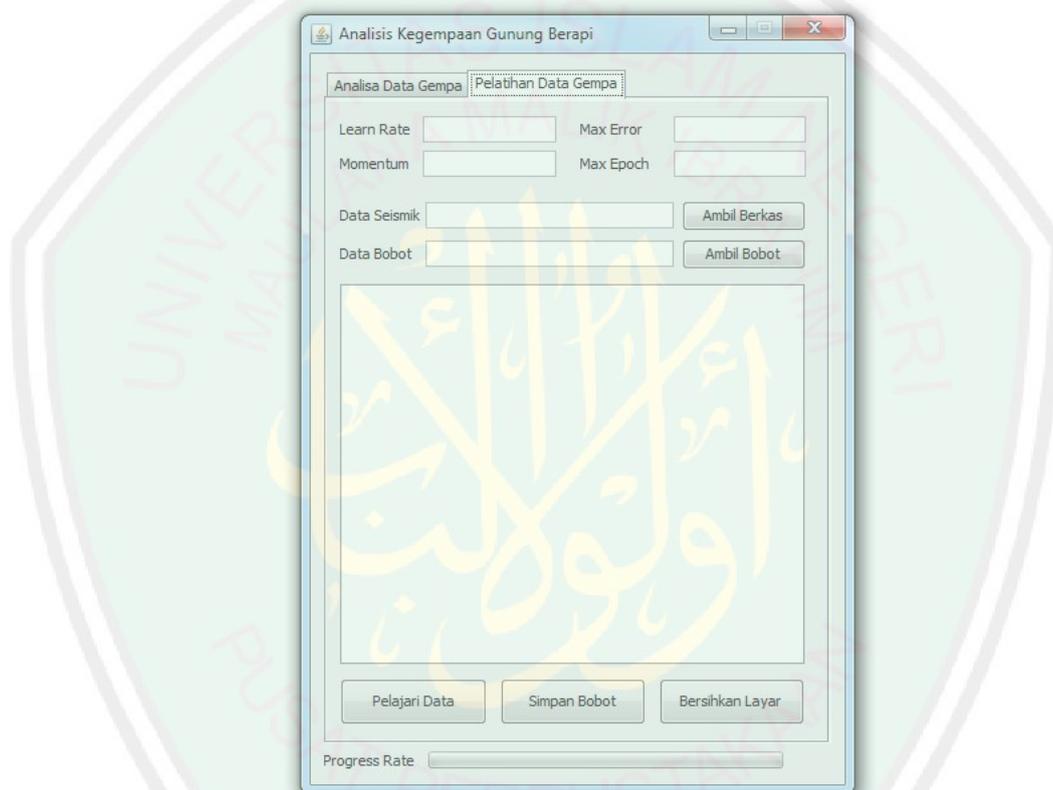
Gambar 3.10 Sequence Diagram Fungsi Aplikasi JST

Dari hasil analisis dan perancangan sistem yang telah dijabarkan di atas, dibentuklah rancangan grafis antar muka pengguna atau *Graphical User Interface (GUI)* untuk memudahkan pengguna dalam menggunakan sistem.

GUI dirancang dengan tampilan yang sederhana guna meningkatkan aksesibilitas dan kemudahan adaptasi bagi pengguna baru. Menimbang hal tersebut, tampilan utama aplikasi dibagi dalam dua panel tab. Panel tab pertama berjudul '*Pelatihan Data Gempa*' untuk antar muka fungsi pelatihan JST, dan panel tab berjudul '*Analisis Data Gempa*' untuk antar muka fungsi aplikasi JST.

Gambar 3.11 menunjukkan desain antarmuka sistem yang menunjukkan fungsi Pelatihan JST. Untuk mengakses halaman antar muka ini, pengguna harus melalui proses otorisasi login seperti yang dijelaskan pada *Activity Diagram 3.4*. Setelah melakukan otorisasi login sebagai *Administrator*, panel tab '*Pelatihan Data Gempa*' akan terbuka. Pada panel tab ini terdapat kolom-kolom untuk

pengisian variabel konstanta yang dibutuhkan untuk operasi algoritma pelatihan JST berupa nilai Learn Rate, Momentum, Error Maksimum dan Epoch Maksimum. Melalui antar muka ini pula pengguna dapat memilih berkas data dan berkas bobot yang akan dijadikan variabel dinamis untuk pengolahan JST.



Gambar 3.11 Rancangan GUI untuk fungsi Pelatihan JST

Di tengah aplikasi terdapat layar teks area yang menjadi fokus utama aplikasi, dimana ketika operasi pelatihan JST berlangsung semua nilai-nilai kembalian seperti nilai MSE pada tiap epoch dan nilai akhir bobot ditampilkan di layar ini. Tombol-tombol fungsi untuk mengeksekusi perintah pelatihan JST, penyimpanan bobot hasil JST dan pembersihan layar ditampilkan secara berjajar di bawah layar teks area.



Gambar 3.12 Rancangan GUI untuk fungsi Aplikasi JST

Gambar 3.12 merupakan desain antar muka untuk fungsi Aplikasi JST. Antar muka program ini merupakan implementasi dari Activity Diagram pada gambar 3.7 dan gambar 3.8. Pada panel tab '*Analisis Data Gempa*' pengguna bisa memilih berkas data yang akan dianalisis menggunakan kolom pemilihan berkas. Di tengah aplikasi terdapat layar teks area yang menjadi fokus utama aplikasi, dimana ketika fungsi aplikasi JST berjalan semua hasil operasi ditampilkan di layar ini. Tombol-tombol fungsi untuk mengeksekusi perintah aplikasi JST, penyimpanan laporan dan pembersihan layar ditampilkan secara berjajar di bawah layar teks area.

3.2.3 Perancangan Arsitektur Jaringan Syaraf Tiruan

Dalam penelitian ini penulis menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan untuk diimplementasikan dalam pengenalan jenis-jenis gempa. Seperti yang telah dibahas pada sub bab 3.2.2 tentang Analisis Perancangan Sistem; sistem klasifikasi jenis gempa ini dirancang untuk menerima tiga inputan dan menghasilkan dua output. Hal ini didasarkan pada diskusi dengan para pengamat Gunung Semeru, bahwa keempat jenis gelombang gempa vulkanik secara sederhana dapat dikenali melalui tiga parameter; yakni S-P, panjang gelombang dan amplitudo maksimum.

Ketiga parameter tersebut bukanlah satu-satunya cara mengenali gempa, hanya saja merupakan sebuah simplifikasi untuk memudahkan sistem Jaringan Syaraf Tiruan dalam mempelajari pola gempa gunung berapi. Secara abstrak, setiap jenis gempa memiliki ciri-ciri yang berbeda pada tiap parameter di atas, seperti dijabarkan di bawah ini;

1. Gempa Letusan

S-P : Besar

λ : Bervariasi

Amp : Besar

2. Gempa Tremor

S-P : Tidak dapat dilihat dengan jelas (0)

λ : Sangat panjang

Amp : Bervariasi

3. Gempa Vulkanik Dalam (VA)

S-P : Pendek

λ : Pendek

Amp : Bervariasi

4. Gempa Vulkanik Dangkal (VB)

S-P : Pendek

λ : Tidak dapat dilihat dengan jelas (0)

Amp : Bervariasi

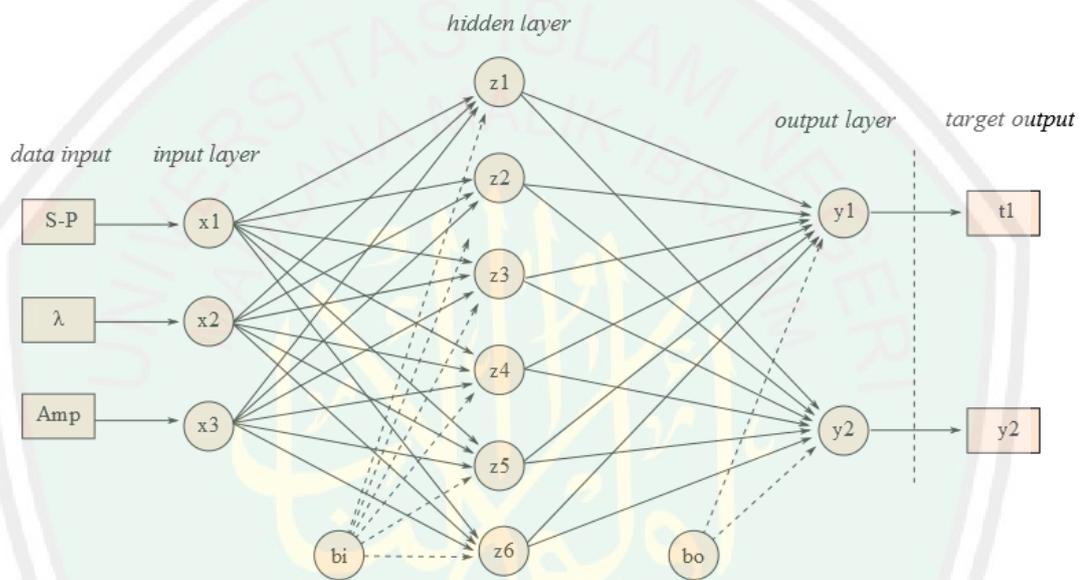
Dari tiga inputan yang telah dibahas di atas, akan diolah menggunakan algoritma Jaringan Syaraf Tiruan untuk menghasilkan dua nilai output Y_1 dan Y_2 dengan probabilitas nilai antara 0 dan 1. Kombinasi antara kedua keluaran ini akan dikonversi menjadi informasi jenis gempa sebagaimana tabel berikut;

Tabel 3.2 Tabel Konversi Output JST terhadap Jenis Gempa

Y_1	Y_2	Jenis Gempa
0	0	Gempa Letusan
0	1	Gempa Tremor
1	0	Gempa Vulkanik Dalam (VA)
1	1	Gempa Vulkanik Dangkal (VB)

Selanjutnya perancangan dilanjutkan pada penentuan hidden layer yang paling optimal untuk mengenali banyak pola gempa gunung berapi. Teori Jaringan Syaraf Tiruan menyebutkan semakin banyak unit neuron pada layer tersembunyi semakin baik pula sebuah sistem mengenali sebuah pola. Namun jika terlalu banyak unit neuron pada layer tersembunyi, sistem semakin lambat dalam melakukan proses pelatihan. Dari kedua teori tersebut, diputuskan untuk memakai satu layer tersembunyi. Jumlah unit neuron yang ditanamkan pada hidden layer

akan diuji dengan menanamkan antara 1 hingga 10 unit neuron untuk melihat jaringan mana yang lebih efektif untuk mengenali jenis gempa gunung berapi. Sehingga rancangan arsitektur Jaringan Syaraf Tiruan untuk klasifikasi jenis gempa gunung berapi menjadi seperti gambar 3.11 berikut ini;



Gambar 3.11 Rancangan Arsitektur JST untuk Pengenalan Jenis Gempa

Algoritma Jaringan Syaraf Tiruan *Backpropagation* merupakan algoritma pembelajaran terawasi. Dalam proses pelatihan, pengguna mengunggah berkas data pelatihan ke dalam sistem. Selanjutnya sistem menginputkan data S-P, panjang gelombang (λ) dan Amplitudo maksimum(Amp) ke unit neuron X_1 , X_2 dan X_3 di input layer dan menentukan target output T_1 dan T_2 (lihat *Activity Diagram* pada gambar 3.5 dan *Sequence Diagram* pada gambar3.9). Algoritma berjalan dalam tiga fase. Fase pertama adalah fase perambatan maju untuk mengolah data dari input layer yang dioperasikan dengan bobot-bobot di masing-masing sinaptik. Selisih antara nilai output yang dihasilkan dari proses

perambatan maju dengan target output yang telah ditetapkan oleh user disebut sebagai variabel error. Besaran variabel error yang terjadi pada tiap perhitungan data inilah yang kemudian diakumulasikan dan digunakan untuk operasi pada fase yang kedua, yakni fase perambatan mundur.

Operasi yang berjalan pada saat perambatan mundur menghasilkan nilai delta bobot dan delta bias yang akan digunakan sebagai faktor pengubah nilai bobot dan bias pada fase yang ketiga, yakni fase perbaikan bobot. Berangkat dari pemahaman ini, kemudian dilakukan adopsi desain arsitektur Jaringan Syaraf Tiruan dalam fungsi-fungsi (method) yang dibentuk melalui bahasa pemrograman Java.

Algoritma yang dibangun untuk perhitungan Jaringan Syaraf Tiruan terdapat pada class **GempaBackpro** dengan dua method utama. Method-method tersebut adalah method *learnGempa()* untuk melakukan fungsi pelatihan Jaringan Syaraf Tiruan dan method *testGempa()* untuk melakukan fungsi aplikasi Jaringan Syaraf Tiruan. Dalam class GempaBackpro dilakukan deklarasi variabel konstanta, diambil dari nilai yang diinputkan pengguna pada kolom antar muka aplikasi, sebagaimana berikut:

```
final double learn_rate = txt_learnRate.getText( );
final double momentum = txt_Momentum.getText( );
final double tgt_err = txt_maxError.getText( );
final int epohmaks = txt_maxEpoch.getText( );
```

Selanjutnya deklarasi bobot-bobot yang akan ditanamkan pada sinaptik yang menghubungkan antar neuron. Untuk bobot-bobot sinaptik penghubung input layer X_i menuju hidden layer Z_j dideklarasikan sebagai variabel array

multidimensi `weight_in[][]` bermatriks 6x3 yang mempresentasikan jumlah hidden layer dikalikan dengan jumlah input layer. Variabel `weight_in[][]` diisi dengan sembarang nilai bertipe `double` dengan range nilai antara -1 hingga 1.

Sedangkan untuk bobot-bobot pada sinaptik penghubung antara hidden layer Z_j dan output layer Y_k dideklarasikan sebagai variabel array multidimensi `weight_out[][]` dengan matriks 2x6 yang mempresentasikan jumlah output layer dikalikan dengan jumlah hidden layer. Variabel `weight_out[][]` diisi dengan sembarang nilai bertipe `double` dengan range antara -1 hingga 1.

Selain itu juga ditentukan nilai bias untuk proses aktivasi sigmoid. Bias pada untuk membantu proses aktivasi di hidden layer dideklarasikan sebagai variabel array `bias_in[]` berdimensi 1x6 yang mempresentasikan jumlah unit neuron di hidden layer. Nilai bias untuk proses aktivasi sigmoid di output layer dideklarasikan sebagai variabel array `bias_out[]` berdimensi 1x2 yang mempresentasikan jumlah unit di output layer. Nilai `bias_in[]` dan `bias_out[]` adalah nilai konstanta bernilai 1, namun seiring dengan perbaikan bobot dan bias dalam algoritma Jaringan Syaraf Tiruan akan berubah sesuai dengan nilai delta bias yang dihasilkan dalam fase perambatan mundur.

Deklarasi variabel bobot dan bias ditunjukkan dalam potongan kode berikut:

```
double [][] weight_in = new double [6][3];
double [][] weight_out = new double [2][6];
double [] bias_in = new double [6];
double [] bias_out = new double [2];
```

Dalam sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini, inisiasi nilai bobot dan bias didapatkan dari berkas `*.csv` yang diambil melalui kolom ambil bobot.

Proses pemuatan berkas tersebut menggunakan bantuan import class *java.io.** melalui method *RandomAccessFile()*. Kemudian nilai-nilai yang terkandung dalam berkas dicacah dan dimasukkan dalam variabel array *weight_in[]*, *bias_in[]*, *weight_out[][]* dan *bias_out[]* berdasarkan ketentuan dimensi matriks seperti yang telah diatur di atas. Proses inisiasi nilai bobot dan bias tersebut dapat ditunjukkan melalui kode berikut:

```
int returnVal = fileChooser.showOpenDialog(this);
if (returnVal == JFileChooser.APPROVE_OPTION) {
    File file = fileChooser.getSelectedFile();
    try {
        RandomAccessFile ambildata = new RandomAccessFile
        (file.getAbsolutePath(), "r");
        ambilbobot.seek(0);

        for(int r=0; r<10; r++){
            String bobotku = (String) ambilbobot.readLine();
            String [] tumpuk = bobotku.split(";");
            if(r<6){
                for (int i=0; i<weight_in[0].length; i++) {
                    weight_in[r][i] = Double.parseDouble(tumpuk[i]);
                }
            }
            else if(r<7){
                for (int i=0; i<bias_in.length; i++) {
                    bias_in[i] = Double.parseDouble(tumpuk[i]);
                }
            }
            else if(r<9){
                for (int i=0; i<weight_out[0].length; i++) {
                    weight_out[r-7][i]=Double.parseDouble(tumpuk[i]);
                }
            }
            else if (r<10){
                for (int i=0; i<bias_out.length; i++) {
                    bias_out[i] = Double.parseDouble(tumpuk[i]);
                }
            }
        }
    }
    catch (IOException ex) {
        System.out.println("problem accessing file
        "+file.getAbsolutePath());
        System.out.println(ex);
    }
}
```

```
}

```

Untuk data yang akan dimasukkan sebagai input dan target output disimpan dalam sebuah berkas **.csv* yang diambil menggunakan bantuan class import **java.io.*** . Selanjutnya data akan dicacah dan dimasukkan ke variabel array `input[][]` dan `target[][]`. Variabel `input[][]` berdimensi $p*3$ dimana p adalah jumlah data yang dimasukkan dan 3 adalah jumlah unit neuron pada layer input. Sedangkan variabel berdimensi $p*2$ dimana p adalah jumlah data yang dimasukkan dan 2 adalah jumlah unit neuron pada layer output. Nilai p sendiri dapat berubah secara dinamis sesuai jumlah data pada berkas **.csv*.

Operasi pengecekan jumlah data dapat dilihat pada baris kode berikut:

```
int jmldata = 0;
try {
    RandomAccessFile ambildata = new RandomAccessFile
(file.getAbsolutePath(), "r");
    ambildata.seek(0);

    while(ambildata.readLine() != null)
        jmldata++;
    ...
}
catch (IOException ex) {
    System.out.println("problem accessing file
"+file.getAbsolutePath());
    System.out.println(ex);
}

```

Operasi untuk mendeklarasikan dimensi array `input[][]` dan `target[][]`:

```
header = new String[jmldata][3];
input = new double[jmldata][3];
target = new int[jmldata][2];

```

Operasi untuk pencacahan data input dan target output sebagai berikut:

```
...
ambildata.seek(0);

int ulangi=0;
while(ambildata.getFilePointer() < ambildata.length()) {

```

```

String datum = (String) ambildata.readLine();
String [] tumpuk = datum.split(";");
header[ulangi][0] = (tumpuk[0]);
header[ulangi][1] = (tumpuk[1]);
header[ulangi][2] = (tumpuk[2]);
input[ulangi][0] = Double.parseDouble(tumpuk[3]);
input[ulangi][1] = Double.parseDouble(tumpuk[4]);
input[ulangi][2] = Double.parseDouble(tumpuk[5]);
target[ulangi][0] = Integer.parseInt(tumpuk[6]);
target[ulangi][1] = Integer.parseInt(tumpuk[7]);

    ulangi++;
}
...

```

Setelah melakukan inisiasi nilai pada semua variabel yang dibutuhkan untuk proses pelatihan Jaringan Syaraf tiruan, dilanjutkan dengan proses pelatihan Jaringan Syaraf Tiruan dengan memanggil method *learnGempa()* yang berisi kode berikut:

```

double sse;
double [] rms=new double[epohmaks]
rms[0]= 1;

//Pengulangan Operasi sebanyak 'epochmaks'
for (int epoch=1; epoch<=epohmaks; epoch++){

    //Penghentian epoch bila rms<=tgt_err
    if (rms[epoch-1]<=tgt_err)
        break;
    else{
        sse=0;

        //Pengulangan operasi dari data pertama hingga terakhir
        for (int data=0; data<jmldata; data++){

            /*** LANGKAH 1 : FEED FORWARD ***/
            //Operasi 1.1 : penghitungan nilai tiap unit di layer
            hidden --> 'z'
            for (int j=0; j<layerhidden; j++) {
                double bebanin=0;
                for (int i=0; i<layerinput; i++) {
                    bebanin+=(weight_in[j][i]*input[data][i]);
                }
                z_net[j]=bias_in[j]+bebanin;
                z[j] = 1/(1+(double)Math.exp(-z_net[j]));
            }
        }
    }
}

```

```

//Operasi 1.2 : penghitungan nilai tiap unit di layer
output --> 'y'
for (int k=0; k<layeroutput; k++){
    double bebanout=0;
    for (int j=0; j<layerhidden; j++) {
        bebanout+=weight_out[k][j]*z[j];
    }
    y_net[k] = bias_out[k]+bebanout;
    y[k] = 1/(1+(double)Math.exp(-y_net[k]));
}

//Operasi 1.3 : penghitungan 'error' pada 'y' terhadap
error target (tgt_err)
for (int k=0; k<layeroutput; k++){
    err[k] = target[data][k]-y[k];
    kuad_err[k] = Math.pow(err[k],2);
    sse+=kuad_err[k];
}

/**** LANGKAH 2 : BACKPROPAGATION *****/
//Operasi 2.1 : Menghitung sigma output
for (int k=0; k<layeroutput; k++){
    sig_out[k] = err[k]*y[k]*(1-y[k]);
}

//Operasi 2.2 : Menghitung delta_wo & delta_bo
for (int k=0; k<layeroutput; k++) {
    for (int j=0; j<layerhidden; j++) {
        delta_wo[k][j] = learn_rate*sig_out[k]*z[j];
    }
    delta_bo[k] = learn_rate*sig_out[k];
}

//Operasi 2.3 : Menghitung sigma input
for (int j=0; j<layerhidden; j++){
    double hitungsig=0;
    for (int k=0; k<layeroutput; k++) {
        hitungsig+=(sig_net[k]*weight_out[k][j]);
    }
    sig_in[j] = hitungsig*z[j]*(1-z[j]);
}

//Operasi 2.4 : Menghitung delta_wi & delta_bi
for (int j=0; j<layerhidden; j++){
    for (int i=0; i<layerinput; i++) {
        delta_wi[j][i] =
learn_rate*sig_in[j]*input[data][i];
    }
    delta_bi[j]=learn_rate*sig_in[j];
}

/**** LANGKAH 3 : UBAH BOBOT *****/
//Operasi 3.1 : Merubah bobot 'weight_in' & 'bias_in'
for (int j=0; j<layerhidden; j++){
    for (int i=0; i<layerinput; i++) {

```

```

        weight_in[j][i]+=delta_wi[j][i];
    }
    bias_in[j]+=delta_bi[j];
}

//Operasi 3.2 : Merubah bobot 'weight_out' & 'bias_out'
for (int k=0; k<layeroutput; k++){
    for (int j=0; j<layerhidden; j++) {
        weight_out[k][j]+=delta_wo[k][j];
    }
    bias_out[k]+=delta_bo[k];
}
}
rms[epoch]=Math.sqrt(sse/jmldata*layeroutput);
}

```

Bobot baru dari hasil pelatihan inilah yang akan digunakan untuk penerapan Jaringan Saraf Tiruan *Backpropagation* fase perambatan maju dalam fungsi aplikasi. Bobot baru disimpan dalam berkas *final_bobot.csv* menggunakan fungsi penyimpanan bobot yang ditunjukkan potongan kode berikut:

```

...
int returnVal = fileChooser.showSaveDialog(this);
if (returnVal == JFileChooser.APPROVE_OPTION) {
    File file = fileChooser.getSelectedFile();
    try {
        BufferedWriter tulisFile = new BufferedWriter( new
        FileWriter(file) );
        tulisFile.write( txt_showJST.getText( ));
        tulisFile.flush();
        tulisFile.close();
    }
    catch (IOException ex) {
        System.out.println("problem accessing file
        "+file.getAbsolutePath());
        System.out.println(ex);
    }
}
...

```

Selanjutnya beralih ke proses verifikasi sistem untuk mengetahui apakah pengenalan pola gempa sudah sesuai dengan yang diharapkan. Proses verifikasi menggunakan interface yang terdapat pada panel tab 'Analisis Data Gempa'.

Untuk pengujian hasil perhitungan Jaringan Syaraf Tiruan menggunakan fungsi

Aplikasi yang terdapat pada method *testGempa()* berikut:

```

for (int data=0; data<jmlldata; data++){
    for (int j=0; j<layerhidden; j++) {
        double bebanin=0;
        for (int i=0; i<layerinput; i++) {
            bebanin+=(weight_in[j][i]*input[data][i]);
        }
        z_net[j]=bias_in[j]+bebanin;
        z[j] = 1/(1+(double)Math.exp(-z_net[j]));
    }

    for (int k=0; k<layeroutput; k++){
        double bebanout=0;
        for (int j=0; j<layerhidden; j++) {
            bebanout+=weight_out[k][j]*z[j];
        }
        y_net[k] = bias_out[k]+bebanout;
        y[k] = 1/(1+(double)Math.exp(-y_net[k]));
    }
}

```

Output yang dihasilkan dari method *testGempa()* akan ditampilkan ke dalam teks area `txt_showHasil`. Selanjutnya pengguna bisa melakukan pengujian verifikasi dan validasi untuk menguji ketangguhan sistem dalam mengenali jenis-jenis gempa gunung berapi.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Tahap Preprocessing Data

Untuk pengembangan sistem dalam penelitian ini penulis menggunakan 60 data gempa yang bersumber dari dokumen Laporan Energi Gempa Gunung Semeru Januari 2012. Laporan tersebut memuat tiga jenis gempa, antara lain gempa tremor, gempa vulkanik dalam dan gempa vulkanik dangkal. Dalam SOP pengamatan Gunung Semeru, pengamat tidak berkewajiban membuat laporan gempa letusan. Sehingga untuk mendapatkan data gempa letusan, penulis menggunakan data grafis dari seismogram. Dari data yang berhasil dihimpun, penulis memilih 60 data gempa secara acak sebagaimana bisa dilihat pada tabel 4.1 berikut;

Tabel 4.1 Data Gempa Gunung Semeru Januari 2012

ID	Tanggal	Waktu	S-P	λ	Amp	Jenis Gempa
g001	1/1/2012	11:40:02	5	48	15	Letusan
g002	1/2/2012	7:32:37	2	14	2	VA
g003	1/2/2012	13:24:28	2	25	7	VA
g004	1/2/2012	10:21:00	9	27	27	Letusan
g005	1/3/2012	8:35:12	0	56	7	Tremor
g006	1/3/2012	12:22:16	0	110	27	Tremor
g007	1/3/2012	13:39:45	0	163	5	Tremor
g008	1/3/2012	1:41:49	10	118	13	Letusan
g009	1/3/2012	16:39:12	3	26	24	Letusan
g010	1/4/2012	16:22:32	3	22	11	VA
g011	1/4/2012	9:16:03	14	79	26	Letusan
g012	1/4/2012	11:45:24	7	110	24	Letusan
g013	1/5/2012	12:07:33	2	89	35	Letusan
g014	1/6/2012	19:45:21	2	28	15	VA
g015	1/6/2012	10:13:25	3	137	25	Letusan
g016	1/7/2012	19:14:15	0	120	3	Tremor

ID	Tanggal	Waktu	S-P	λ	Amp	Jenis Gempa
g017	1/7/2012	21:04:19	2	30	9	VA
g018	1/7/2012	12:35:43	4	128	15	Letusan
g019	1/10/2012	13:32:10	2	22	13	VA
g020	1/10/2012	7:20:38	3	21	7	VA
g021	1/10/2012	14:34:10	10	88	23	Letusan
g022	1/12/2012	17:56:30	9	40	17	Letusan
g023	1/14/2012	8:42:43	1	14	3	VA
g024	1/14/2012	17:08:10	1	20	9	VA
g025	1/13/2012	7:39:22	2	10	3	VA
g026	1/14/2012	18:29:45	5	118	27	Tremor
g027	1/15/2012	4:35:23	0	135	5	Tremor
g028	1/15/2012	6:07:23	0	60	2	Tremor
g029	1/25/2012	6:15:07	0	275	5	Tremor
g030	1/15/2012	6:20:04	0	205	4	Tremor
g031	1/15/2012	8:04:00	0	605	3	Tremor
g032	1/15/2012	8:24:00	0	1415	4	Tremor
g033	1/16/2012	1:29:17	2	20	6	VA
g034	1/17/2012	3:20:10	2	16	4	VA
g035	1/17/2012	18:02:53	1	7	5	VA
g036	1/17/2012	20:34:05	1	16	8	VA
g037	1/17/2012	7:24:33	8	114	34	Letusan
g038	1/18/2012	16:25:00	0	120	1	Tremor
g039	1/18/2012	8:42:43	9	40	14	Letusan
g040	1/19/2012	16:29:37	0	135	3	tremor
g041	1/19/2012	15:57:36	3	19	5	VA
g042	1/19/2012	13:22:47	5	118	27	Letusan
g043	1/20/2012	16:45:07	1	25	14	VA
g044	1/20/2012	20:18:14	0	12	4	VB
g045	1/20/2012	6:02:53	0	13	3	VB
g046	1/27/2012	2:02:24	0	14	3	VB
g047	1/20/2012	11:08:02	11	62	12	Letusan
g048	1/21/2012	13:01:55	1	15	5	VA
g049	1/21/2012	9:46:24	8	28	10	Letusan
g050	1/22/2012	1:43:41	3	19	4	VA
g051	1/22/2012	12:09:37	8	100	35	Letusan
g052	1/22/2012	17:53:22	7	28	10	Letusan
g053	1/23/2012	10:33:36	2	30	10	VA
g054	1/24/2012	15:36:00	2	20	3	VA
g055	1/24/2012	18:13:10	5	100	35	Letusan
g056	1/25/2012	19:29:04	7	119	29	Letusan

ID	Tanggal	Waktu	S-P	λ	Amp	Jenis Gempa
g057	1/29/2012	20:48:12	0	100	2	Tremor
g058	1/29/2012	20:51:00	0	3060	4	Tremor
g059	1/30/2012	23:35:31	3	18	3	VA
g060	1/31/2012	20:02:24	0	12	2	VB

Data gempa di atas memuat empat jenis gempa vulkanik, masing-masing adalah 21 gempa letusan, 14 gempa tremor, 21 gempa vulkanik dalam (VA) dan 4 gempa vulkanik dangkal (VB). Untuk data pelatihan diambil 11 gempa letusan, 7 gempa tremor, 11 gempa vulkanik dalam (VA) dan 2 gempa vulkanik dangkal (VB). Total set data untuk pelatihan berjumlah 31 data. Sedangkan sisanya, yakni 29 data lain akan dijadikan sebagai set data pengujian.

4.2 Uji Verifikasi dan Validasi Jaringan Syaraf Tiruan

Setelah algoritma Jaringan Syaraf Tiruan diimplementasikan pada sistem, dilakukan verifikasi untuk menguji laju konvergensi terbaik. Setting nilai variabel konstanta pada tahap verifikasi awalnya menggunakan Learn rate = 0,1; Momentum = 0,6; Error maksimum = 0,01 dan Epoch maksimum = 100.000. Jumlah unit neuron pada layer input 3 buah, dan pada layer output 2 buah. Untuk proses pelatihan, sistem menggunakan data set yang ditunjukkan dalam tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data Set Pelatihan JST

No	ID	Tanggal	Waktu	Input			Target	
				X ₁	X ₂	X ₃	T ₁	T ₂
1	g001	1/1/2010	11:40:02	5	48	15	0	0
2	g004	1/2/2010	10:21:00	9	27	27	0	0
3	g008	1/3/2010	1:41:49	10	118	13	0	0
4	g009	1/3/2010	16:39:12	3	26	24	0	0
5	g011	1/4/2010	9:16:03	14	79	26	0	0

N ^o	ID	Tanggal	Waktu	X ₁	X ₂	X ₃	T ₁	T ₂
6	g012	1/4/2010	11:45:24	7	110	24	0	0
7	g013	1/5/2010	12:07:33	2	89	35	0	0
8	g015	1/6/2010	10:13:25	3	137	25	0	0
9	g018	1/7/2010	12:35:43	4	128	15	0	0
10	g021	1/10/2010	14:34:10	10	88	23	0	0
11	g022	1/12/2010	17:56:30	9	40	17	0	0
12	g002	1/2/2010	7:32:37	2	14	2	1	0
13	g003	1/2/2010	13:24:28	2	25	7	1	0
14	g010	1/4/2010	16:22:32	3	22	11	1	0
15	g014	1/6/2010	19:45:21	2	28	15	1	0
16	g017	1/7/2010	21:04:19	2	30	9	1	0
17	g019	1/10/2010	13:32:10	2	22	13	1	0
18	g020	1/10/2010	7:20:38	3	21	7	1	0
19	g023	1/14/2010	8:42:43	1	14	3	1	0
20	g024	1/14/2010	17:08:10	1	20	9	1	0
21	g025	1/13/2010	7:39:22	2	10	3	1	0
22	g033	1/16/2010	1:29:17	2	20	6	1	0
23	g005	1/3/2010	8:35:12	0	56	7	0	1
24	g006	1/3/2010	12:22:16	0	110	27	0	1
25	g007	1/3/2010	13:39:45	0	163	5	0	1
26	g016	1/7/2010	19:14:15	0	120	3	0	1
27	g027	1/15/2010	4:35:23	0	135	5	0	1
28	g028	1/15/2010	6:07:23	0	60	2	0	1
29	g030	1/15/2010	6:20:04	0	205	4	0	1
30	g044	1/20/2010	20:18:14	0	12	4	1	1
31	g045	1/20/2010	6:02:53	0	13	3	1	1

Sistem diujicoba untuk melakukan proses pelatihan JST dengan jumlah unit neuron di hidden layer diubah secara dinamis antara 1 unit neuron hingga 10 unit neuron. Didapatkan hubungan antara jumlah unit neuron pada hidden layer dengan jumlah epoch yang dibutuhkan untuk mencapai titik konvergensi seperti terlihat dalam tabel 4.3 berikut;

Tabel 4.3 Hubungan Antara Jumlah Hidden Neuron dan Epoch

Percobaan ke-	Jml Neuron	Epoch	Pengenalan
1	1	4758	87.10%
2	2	3185	87.10%
3	3	2531	90.32%
4	4	2100	96.77%
5	5	1796	100%
6	6	1567	100%
7	7	1390	100%
8	8	1250	96.77%
9	9	1135	96.77%
10	10	1039	93.55%

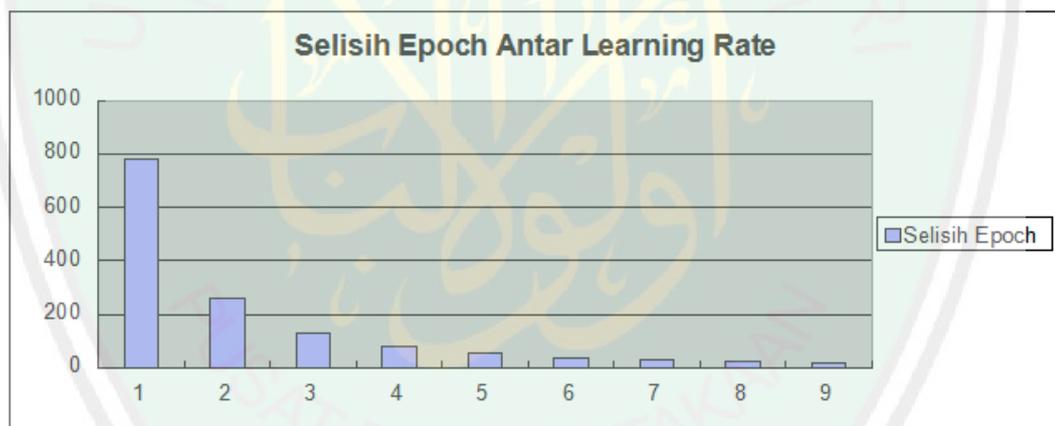
Dari percobaan di atas ditemukan bahwa jumlah neuron yang dapat mengenali jenis gempa secara baik adalah sejumlah 5, 6 dan 7 neuron. Dengan pertimbangan kestabilan, penulis memutuskan untuk menggunakan 6 neuron yang diletakkan di hidden layer, sehingga tidak terlalu banyak dan tidak terlalu sedikit.

Verifikasi selanjutnya adalah untuk menguji variabel learning rate yang paling efektif dalam operasi JST untuk menuju titik konvergensi. Nilai learning rate diubah-ubah dari 0,1 hingga 1.

Tabel 4.4 Hubungan Antara Nilai Learning Rate dan Epoch

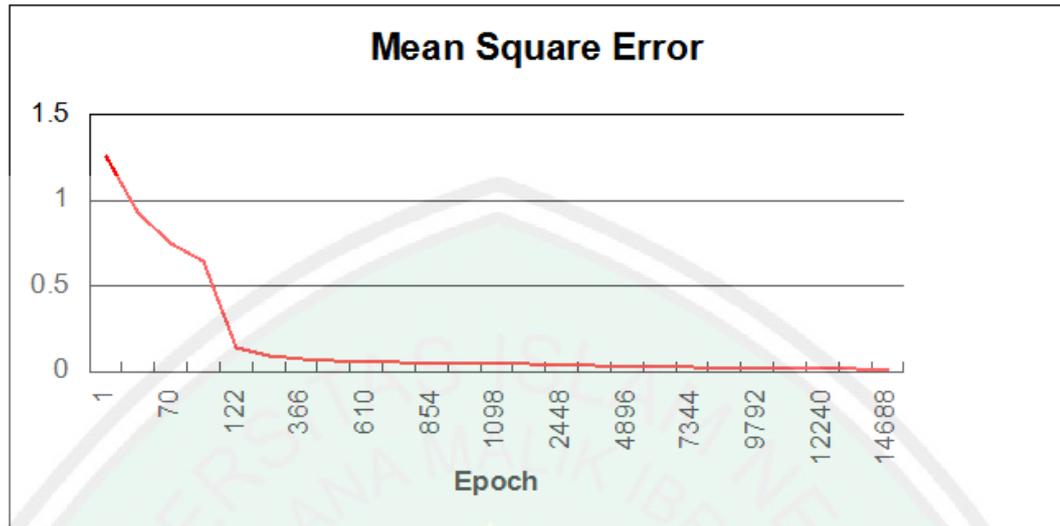
Percobaan ke-	Learning Rate	Epoch	Pengenalan
1	0,1	1567	100%
2	0,2	784	100%
3	0,3	523	100%
4	0,4	392	100%
5	0,5	314	100%
6	0,6	262	100%
7	0,7	225	100%
8	0,8	197	100%
9	0,9	175	100%
10	1	157	100%

Jika selisih Epoch antara percobaan yang satu dengan percobaan berikutnya dijadikan dalam bentuk grafik, akan didapati grafik seperti pada gambar 4.1. Pada gambar 4.1 dapat dibaca bahwa selisih epoch antara percobaan ke-1 dengan learning rate 0,1 dan percobaan ke-2 dengan learning rate 0,2 terpaut 786 epoch. Sedangkan pada percobaan 7 hingga 10 dengan learning rate 0,7 hingga 1, selisih epoch terpaut pada kisaran 20 hingga 30 epoch. Dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai learning rate tidak terlalu berpengaruh pada selisih epoch. Sedangkan semakin kecil angka learning rate, selisih epoch akan semakin besar. Dari percobaan ini, penulis metuskan untuk menggunakan learning rate bernilai 1.



Gambar 4.1 Grafik Selisih Epoch Antar Learning Rate

Untuk meningkatkan validitas sistem dalam mengenali data gempa baru yang belum pernah diajarkan, penulis merubah Error maksimum dari 0,01 menjadi 0,001. Ketika sistem dijalankan, sistem melakukan iterasi perhitungan Jaringan Syaraf Tiruan hingga akhirnya pada iterasi ke-14888 Mean Square Error telah melampaui target Error maksimum dengan nilai $9.999973388466793E^{-4}$. Laju konvergensi MSE digambarkan dalam grafik pada gambar 4.2;



Gambar 4.2 Laju Konvergensi MSE

Hasil output dari proses pelatihan Jaringan Syaraf Tiruan berupa bobot dan bias baru yang tampil pada layar teks area program sebagaimana berikut:

```

Epoch ke-1 --> MSE : 1.2556154316788113
Epoch ke-2 --> MSE : 0.13882578683475855
Epoch ke-3 --> MSE : 0.09307074859703955
.
.
.
Epoch ke-14886 --> MSE : 0.0010000645847487806
Epoch ke-14887 --> MSE : 0.0010000309601025923
Epoch ke-14888 --> MSE : 9.999973388466793E-4

```

Hasil Akhir Perhitungan

```

=====
weight_in[1][1] : 0.1837
weight_in[1][2] : 0.822
weight_in[1][3] : 0.3314
weight_in[2][1] : 0.6608
weight_in[2][2] : 0.2081
weight_in[2][3] : 0.1327
weight_in[3][1] : 0.6397
weight_in[3][2] : 0.8366
weight_in[3][3] : 0.912
weight_in[4][1] : 0.7282
weight_in[4][2] : 0.5306
weight_in[4][3] : 0.7356
weight_in[5][1] : 0.6898
weight_in[5][2] : 0.4022
weight_in[5][3] : 0.1914
weight_in[6][1] : 0.5891
weight_in[6][2] : 0.9671

```

```

weight_in[6][3] : 0.0189
bias_in[1] : 1.0
bias_in[2] : 1.0
bias_in[3] : 1.0
bias_in[4] : 1.0
bias_in[5] : 1.0
bias_in[6] : 1.0
weight_out[1][1] : -1.4911877865545764
weight_out[1][2] : -1.477387786554574
weight_out[1][3] : -1.1557877865545587
weight_out[1][4] : -1.0323877865545261
weight_out[1][5] : -1.6992877865545768
weight_out[1][6] : -1.2132877865545793
weight_out[2][1] : -1.4069658233305242
weight_out[2][2] : -1.2256658233305089
weight_out[2][3] : -1.086665823330518
weight_out[2][4] : -1.34036582333053
weight_out[2][5] : -1.2065658233305159
weight_out[2][6] : -1.8143658233305229
bias_out[1] : -1.7012716139044262
bias_out[2] : -1.6930342942147696

```

Tahap selanjutnya adalah melakukan uji validitas dengan mengujikan 29 data gempa baru yang belum pernah diujikan. Namun pada tahap ini, sistem salah mengenali 2 data diantara 29 data gempa dengan demikian terdapat galat sebesar 6,9%. Sehingga tingkat validitas sistem dalam mengenali data baru yang belum pernah diujikan hanyalah 93,1%.

Data kesalahan sistem dalam mengenali jenis gempa pada fase pengujian validitas dapat dilihat dalam tabel 4.5 berikut:

Tabel 4.5 Data Hasil Uji Validitas menggunakan Set Data yang Belum Diujikan

No	ID	Tanggal	Waktu	Input			Output		Target		Hasil
				X ₁	X ₂	X ₃	Y ₁	Y ₂	T ₁	T ₂	
1	g026	1/14/2010	18:29:45	5	118	27	0	0	0	0	Benar
2	g034	1/17/2010	3:20:10	2	16	4	1	0	1	0	Benar
3	g037	1/17/2010	7:24:33	8	114	34	0	0	0	0	Benar
4	g035	1/17/2010	18:02:53	1	7	5	1	0	1	0	Benar
5	g036	1/17/2010	20:34:05	1	16	8	1	0	1	0	Benar
6	g039	1/18/2010	8:42:43	9	40	14	0	0	0	0	Benar

No	ID	Tanggal	Waktu	X ₁	X ₂	X ₃	Y ₁	Y ₂	T ₁	T ₂	Benar
7	g042	1/19/2010	13:22:47	5	118	27	0	0	0	0	Benar
8	g041	1/19/2010	15:57:36	3	19	5	1	0	1	0	Benar
9	g047	1/20/2010	11:08:02	11	62	12	0	0	0	0	Benar
10	g043	1/20/2010	16:45:07	1	25	14	1	0	1	0	Benar
11	g049	1/21/2010	9:46:24	8	28	10	0	0	0	0	Benar
12	g048	1/21/2010	13:01:55	1	15	5	1	0	1	0	Benar
13	g050	1/22/2010	1:43:41	3	19	4	1	0	1	0	Benar
14	g051	1/22/2010	12:09:37	8	100	35	0	0	0	0	Benar
15	g052	1/22/2010	17:53:22	7	28	10	0	0	0	0	Benar
16	g053	1/23/2010	10:33:36	2	30	10	1	0	1	0	Benar
17	g054	1/24/2010	15:36:00	2	20	3	1	0	1	0	Benar
18	g055	1/24/2010	18:13:10	5	100	35	0	0	0	0	Benar
19	g056	1/25/2010	19:29:04	7	119	29	0	0	0	0	Benar
20	g059	1/30/2010	23:35:31	3	18	3	1	0	1	0	Benar
21	g031	1/15/2010	8:04:00	0	605	3	0	1	0	1	Benar
22	g032	1/15/2010	8:24:00	0	1415	4	0	1	0	1	Benar
23	g038	1/18/2010	16:25:00	0	120	1	0	1	0	1	Benar
24	g040	1/19/2010	16:29:37	0	135	3	0	1	0	1	Benar
25	g029	1/25/2010	6:15:07	0	275	5	0	1	0	1	Benar
26	g046	1/27/2010	2:02:24	0	14	3	1	1	1	0	Salah
27	g057	1/29/2010	20:48:12	0	100	2	0	1	0	1	Benar
28	g058	1/29/2010	20:51:00	0	3060	4	0	1	0	1	Benar
29	g060	1/31/2010	20:02:24	0	12	2	1	1	1	0	Salah

Keterangan: Data yang salah di tunjukkan dengan baris berwarna kuning.

4.3 Kajian Integrasi Qur'an dan Sains

Allah SWT memerintahkan manusia untuk senantiasa memperhatikan efektifitas pekerjaan dan efisiensi waktu. Dalam al-Qur'an surat al-Insyirah ayat 7 Allah SWT berfirman *فَإِذَا فَرَغْتَ فَانصَبْ* yang artinya, "Maka apabila kalian telah selesai dalam suatu urusan tetaplah bekerja (dalam urusan yang lain)". Sebagian mufasir menafsirkan ayat ini apabila Engkau (Muhammad) telah selesai berdakwah maka

beribadahlah kepada Allah SWT. Sebagian yang lain menafsirkan apabila engkau telah melaksanakan urusan dunia maka kerjakanlah urusan akhirat.

Dengan kemampuan daya cipta yang dianugerahkan Allah kepada manusia, muncullah berbagai peradaban dengan ratusan produk ilmu pengetahuan dan teknologi . Peradaban terus berkembang dan manusia terus bereksperimen di berbagai bidang untuk menemukan metode-metode baru yang berguna untuk mempermudah pekerjaan dan mempersingkat waktu suatu pekerjaan. Sebagai contoh, jika dahulu kala untuk berkomunikasi jarak jauh harus menggunakan media surat yang baru sampai setelah berhari-hari, kini manusia bisa saling terhubung dengan berbagai media seperti sms, telepon dan internet.

Selain mempersingkat waktu, pekerjaan semakin praktis dan mudah. Contohnya adalah pada zaman Rasulullah, untuk menulis al-Qur'an digunakan media-media yang sangat sederhana berupa potongan tulang, tanah dan pelepah kurma. Hingga ketika Umar bin Khattab RA. Mempin umat islam terjadi persilangan pendapat karena banyak perbedaan logat membaca al-Qur'an dikarenakan sedikitnya mushaf pada saat itu. Untuk menulis satu mushaf saja membutuhkan waktu berbulan-bulan. Namun dengan berkembang teknologi percetakan saat ini, mushaf al-Quran bisa dicetak dalam satu hari. Terlebih dengan perkembangan teknologi gadget, mushaf tersimpan rapi di dalam sebatang handphone dan bisa dikeluarkan kapan saja ketika dibutuhkan untuk tilawah. Bentuknya yang merupakan berkas elektronik sangat mudah di reproduksi dan disebarakan melalui jejaring internet.

Demikian pula dengan penelitian ini yang bertujuan untuk mempermudah tugas manusia dalam menganalisa data kegempaan gunung berapi. Dari penelitian dapat disimpulkan bahwa algoritma Jaringan Syaraf Tiruan *Backpropagation* dapat digunakan untuk mengenali jenis-jenis gempa gunung berapi. Sehingga ke depan dapat dikembangkan sebuah sistem yang terintegrasi dengan sistem pencatatan gempa gunung berapi dan secara otomatis menganalisa data gempa menjadi sebuah laporan berkala secara *realtime* tanpa intervensi dari manusia.

Dengan adanya sistem tersebut, pekerjaan pemantau gunung berapi menjadi lebih efektif dan efisien. Sehingga ketika tenaga manusia sudah dapat digantikan oleh sistem komputer, sumber daya manusia dapat dialihkan secara signifikan pada pekerjaan lain yang lebih bermanfaat.

BAB V KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian tentang penerapan Jaringan Syaraf Tiruan *Backpropagation* untuk klasifikasi jenis gempa gunung berapi dengan tiga variabel input; yakni variabel S-P, panjang gelombang (λ) dan Amplitudo maksimum; yang menghasilkan dua variabel output dapat disimpulkan:

1. Sistem komputasi Jaringan Syaraf Tiruan *Backpropagation* dapat diterapkan untuk mengenali jenis-jenis gempa gunung berapi.
2. Uji verifikasi menunjukkan bahwa sistem mampu mengenali data gempa yang pernah dilatihkan, dengan tingkat ketepatan 100%. Namun dari hasil uji validitas sistem memiliki galat sebesar 6,9% sehingga hanya mampu mengenali 93,1% data gempa yang belum pernah diujikan.
3. Data gempa gunung berapi dapat diklasifikasikan dan dikelompokkan menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan untuk kemudian disusun dalam sebuah laporan sederhana yang mencakup kejadian gempa dalam sebulan.

5.2 Saran

Penelitian ini baru berhasil menjawab tentang kemungkinan implementasi Jaringan Syaraf tiruan *Backpropagation* untuk mengenali jenis-jenis gempa gunung berapi berdasarkan tiga variabel inputan yang diperoleh secara manual. Untuk bisa benar-benar diterapkan sebagai subsistem penganalisa jenis gempa

dalam sebuah sistem pemantau aktivitas gunung berapi yang berjalan secara otomatis maka harus diintegrasikan dengan transmisi *datalogger* secara *realtime*.

Saran untuk penelitian lanjutan dengan tema yang sama adalah diarahkan untuk menemukan algoritma yang lebih akurat dalam mengenali jenis-jenis gempa gunung berapi. Selain itu meningkatkan metode pemotongan data gempa dari metode simplifikasi menjadi metode deteksi piksel dalam matriks, sehingga pola gelombang gempa bisa dikelompokkan menjadi lebih spesifik.



DAFTAR PUSTAKA

- Al-Maraghy, Ahmad Musthofa. 1951. *Tafsir Al-Maraghy*. Kairo: Al-Azhar.
- Alzwar, Muzil. dkk. 1988. *Pengantar Dasar Ilmu Gunung Api*. Bandung: Penerbit Nova.
- Dzurizin, Daniel. 2007. *Volcano Deformation Geodetic Monitoring Techniques*. Chicester, UK : Praxis Publishing.
- Dzurizin, Daniel. 2007. *Volcano Deformation: Geodetic Monitering Techniques*. Chichester, UK: Praxis Publishing, Ltd.
- Hakusan Corporation, 1998. *Datamark LS-7000 Seismological Obseration System User's Manual*. Japan: Hakusan Corporation.
- Hermawan, Arief. 2006. *Jaringan Syaraf Tiruan, Teori dan Aplikasinya*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Indrajani & Martin. 2007. *Pemrograman Berbasis Objek dengan Bahasa Java*. Jakarta: Elex Media Komputindo.
- Kadir, Abdul. 2004. *Dasar Pemrograman Java 2*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Kramer, Steven L. 2003. *Geotechnical Earthquake Engineering*. Delhi, India: Pearson Education.
- Kristanto dan Budianto, Agus. 2008. *Buletin Vulkanologi dan Bencana Geologi: Evaluasi Seismik dan Visual Kegiatan Vulkanik G. Egon, April 2008*. Bandung: PVMBG, Volume 3 Nomor 2, Agustus 2008: 9-17.
- Kusumadewi, Sri. 2003. *Artificial Intelligence (Teknik dan Aplikasinya)*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Kuswandarto, Herry. 2008. *Indonesian Journal of Physics: Automatic and Real-time Processing of Tilt Records for Prediction of Explosions at Semeru Volcano, East Java, Indonesia*. Vol 19 No. 3.
- Minakami, Takeshi. 1974. *Physical Volcanology: Seismology of Volcanoes in Japan*. Amsterdam, Netherland: Elsevier Scientific Publishing Company. Volume 6: 1-23.
- Negnevitsky, Michael. *Artificial Intelligence, A Guide to Intelligence Systems*. Addison Wesley.
- Nugroho, Adi. 2009. *Rekayasa Perangkat Lunak Menggunakan UML dan Java*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Purnama, Rangsang. 2007. *Pemrograman GUI Menggunakan Java*. Jakarta: Prestasi Pustaka.

- Puspitaningrum, Diyah. 2006. *Pengantar Jaringan Syaraf Tiruan*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Siradj, Titan Parasita. 2007. Analisis Gempa Letusan Stasiun Leker 8 Januari 2007 Pukul 07.00 - 19.05 WIB, Gunung Api Semeru, Lumajang - Jawa Timur. *Laporan Praktek Kerja Lapangan* Tidak Diterbitkan. Malang - Universitas Brawijaya.
- Siswowitzo, S. 1981. *Seismologi Gunungapi, Analisa Gempa dan Hubungannya dengan Tingkat Kegiatan Gunungapi*. Bandung: Direktorat Vulkanologi.
- Supriyadi, Didi. 2012. Sistem Informasi Penyebaran Penyakit Demam Berdarah Menggunakan Metode Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation. *Thesis* Tidak diterbitkan. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Wahana Komputer. 2010. *Membangun GUI dengan Java Netbeans 6.5*. Yogyakarta: Penerbit Andi.

