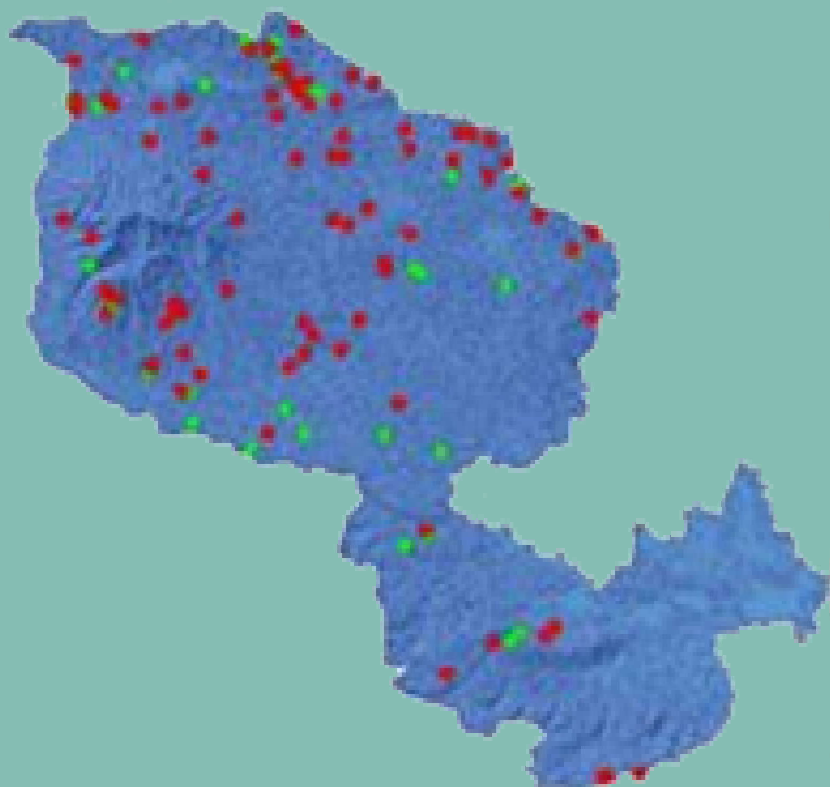


BULLETIN **VULKANOLOGI DAN BENCANA GEOLOGI** **OF VOLCANOLOGY AND GEOLOGICAL HAZARD**



**SIMULASI ALIRAN
PIROKLASTIK G. SUMBING –
JAWA TENGAH DENGAN
MENGGUNAKAN TITAN2D**

**KAJIAN ZONA RAWAN
BENCANA ABU VULKANIK
GUNUNGAPI BROMO - JAWA
TIMUR**

**BERITA BENCANA GEOLOGI
DI INDONESIA, JULI –
DESEMBER 2019.**

**PEMANTAUAN SEISMIK AMBIENT NOISE DAN REALTIME SEISMIC
AMPLITUDE MEASUREMENT UNTUK IDENTIFIKASI PENINGKATAN
AKTIVITAS GUNUNGAPI**

**METODE VALIDASI DALAM PEMODELAN STATISTIK PETA
KERENTANAN GERAKAN TANAH DI KABUPATEN CIAMIS**

**ESTIMASI VOLUME LAVA G, KARANGETANG DAN G. ANAK
KRAKATAU BERDASARKAN METODE PENGINDERAAN JAUH**



BULLETIN

VULKANOLOGI DAN BENCANA GEOLOGI OF VOLCANOLOGY AND GEOLOGICAL HAZARD

Dewan Redaksi

Ketua : Dr. Estu Kriswati, S.T. M.Sc.
Wakil Ketua : Novie N. Afatia, S.T., M.T.

Redaktur :

Dr. Ir. Sri Hidayati
Mardian Hardipto, S.T., M.T.
Dr. Sumaryono, S.T., M.Eng
Dr. Devy K. Syahbana, S.Si.
Dr. Nia Haerani, S.T, M.T
Ir. Imam Santosa, M.Sc
Ir. Kristianto, M.Si
Amalfi Omang, S.Si., M.Phil.

Mitra Bestari :

Dr. Ir. Dicky Muslim, M.Sc.
Dr. Eng. Imam A. Sadisun, ST., MT.
Dr. Andri Dian Nugraha, S.Si., M.Si.

Penata Letak dan Desain Grafis:

Dewi Subektiningsih

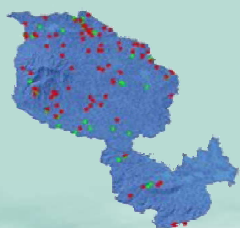
Sekretariat / Distributor:

M. Cipta Firmansyah
Yana Karyana

Alamat Redaksi

PUSAT VULKANOLOGI DAN MITIGASI BENCANA GEOLOGI

Jl. Diponegoro 57 Bandung 40122
Telp. (022) 7271402, (022) 7272606;
Fax. (022) 7202761
e-mail: bulletinpvmbg@esdm.go.id
<http://www.vsi.esdm.go.id>



*Foto sampul : parameter pengontrol gerakan
tanah kurvatur*

Diedit : Yana Karyana



Alamat redaksi:

PUSAT VULKANOLOGI DAN MITIGASI BENCANA GEOLOGI

Jl. Diponegoro No.57 Bandung 40122
Tlp.(022) 7271402,7272606 Fax. (022) 7202761
e-mail : bulletinpvg@vsi.esdm.go.id
<http://www.vsi.esdm.go.id>

BULLETIN

VULKANOLOGI DAN BENCANA GEOLOGI OF VOLCANOLOGY AND GEOLOGICAL HAZARD

PENGANTAR REDAKSI

Para Pembaca yang Budiman,

Indonesia merupakan wilayah yang rawan bencana geologi, baik yang diakibatkan oleh erupsi gunungapi, kejadian gerakan tanah, gempa bumi, dan tsunami. Beberapa diantaranya terjadi dalam skala yang besar. Banyak penelitian yang berhubungan dengan kebencanaan geologi dilakukan dengan menggunakan berbagai metode. Bulletin Vulkanologi dan Bencana Geologi (BVBG) Volume 13, Nomor 2 Tahun 2019 mempublikasikan 5 (lima) makalah berkaitan dengan kebencanaan geologi. Makalah pertama berjudul “Pemantauan seismik Ambient Noise dan Realtime Seismic Aplitude Measurement untuk identifikasi peningkatan aktivitas gunungapi” memaparkan pola data nilai variasi kecepatan sebagai hasil korelasi silang data seismik ambient noise dan data RSAM pada saat terjadi peningkatan aktivitas gunungapi. Makalah kedua berjudul “Metode validasi dalam pemodelan statistik peta kerentanan Gerakan tanah di Kabupaten Ciamis”. Metode validasi dalam pemodelan kerentanan gerakan tanah merupakan tahap yang sangat penting, karena terkait keakuratan data yang dipakai dan uji hasil pemodelannya. Tulisan ketiga memaparkan adanya metode alternatif dalam pemantauan aktivitas gunungapi terutama dalam mendeteksi adanya panas karena erupsi gunungapi, serta menghitung laju pengeluaran lava dalam kurun waktu erupsi tertentu. Kajian ini dituangkan dalam makalah berjudul “Estimasi volume lava G. Karangetang dan G. Anak Krakatau berdasarkan metode penginderaan jauh”. Makalah berjudul “Simulasi aliran piroklastik G. Sumbing – Jawa Tengah dengan menggunakan Titan2D” menjelaskan pemodelan aliran piroklastik menggunakan perangkat lunak Titan2D dalam mensimulasikan sebaran aliran piroklastik di Gunung Sumbing dengan kondisi morfologi saat ini menggunakan parameter-parameter kegeologian. Makalah kelima mengenai “Kajian zona rawan bencana abu vulkanik Gunungapi Bromo - Jawa Timur”, menganalisis sebaran abu vulkanik hasil erupsi Gunung Bromo dalam penentuan zona rawan bencana.

Penerbitan BVBG volume ini juga menyajikan rangkuman Berita Bencana Geologi (erupsi gunungapi, gempa bumi, tsunami dan gerakan tanah) di Indonesia, pada kurun waktu Juli – Desember 2019.

Dewan redaksi mengucapkan selamat membaca.

Salam
Dewan Redaksi

BULLETIN **VULKANOLOGI DAN BENCANA GEOLOGI**

OF VOLCANOLOGY AND GEOLOGICAL HAZARD

Mitra Bestari Tetap / Permanent Peer Reviewer:

Dr. Agustan, ST, M.Sc. (Penginderaan Jauh, Geodinamika)
Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)

Dr. Andri Dian Nugraha, S.Si., M.Si. (Geofisika, Seismologi)
Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, ITB

Ir. Asdani Soehaimi, dipl.Seis (Geologi, Seismotektonik)
Pusat Survey Geologi, Badan Geologi, KESDM

Dr. Eng. Asep Saepuloh (Geologi, Vulkanologi Penginderaan Jauh)
Teknik Geologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, ITB

Dr. Ir. Dicky Muslim, M.Sc. (Geologi, Bencana Geologi)
Teknik Geologi, Fakultas Teknik Geologi, Unpad

Dr. Eng. Imam A. Sadisun, ST, MT (Gerakan Tanah, Bencana Geologi)
Teknik Geologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, ITB

Dr. Zulfakriza Zulhan, ST, MT (Geofisika, Seismologi)
Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, ITB

Redaksi Bulletin Vulkanologi dan Bencana Geologi mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bestari yang telah membantu proses penyuntingan sehingga bulletin ini dapat di terbitkan.

BULLETIN VULKANOLOGI DAN BENCANA GEOLOGI

PEDOMAN PENULISAN

Aturan Umum

1. Artikel belum pernah diterbitkan dimanapun
2. Artikel dapat ditulis dalam bahasa Indonesia atau dalam bahasa Inggris sesuai dengan format yang telah ditentukan dan disertai Sari/Abstract
3. Redaksi berhak memperbaiki tata bahasa dan penulisan yang sesuai dengan format yang telah ditentukan
4. Artikel akan ditelaah dan disunting oleh Editor yang telah ditentukan
5. Naskah dikirimkan dalam bentuk hard copy dan soft copy dengan menyertakan gambar asli dalam bentuk foto ataupun bentuk corel, JPEG atau TIF
6. Naskah tidak dalam bentuk compressed file

Format Penulisan Artikel

1. Naskah ditulis dalam Bahasa Indonesia atau Bahasa Inggris, diketik dengan bentuk dan ukuran huruf (font) Times New Roman 12, dengan spasi 1.5. Jumlah artikel maksimum 10 halaman termasuk foto, gambar, grafik dan tabel. Sari/Abstract maksimum 300 kata yang ditulis dalam bahasa Indonesia dan Bahasa Inggris, disertai kata kunci pada baris bagian bawah dengan huruf miring.
2. Foto dibuat dengan resolusi tinggi (200-300 dpi), gambar dan grafik dibuat dengan simbol dan notasi yang jelas, minimal font 9.
3. Alinea baru dinyatakan dengan indentasi
4. Judul ditulis dalam huruf capital, dicetak tebal dengan spasi 1.5, maksimum 10 kata. Judul bersifat informatif dan ringkas
5. Sub judul ditulis dengan font Times New Roman 12, huruf besar pada awal kata, dan dicetak tebal
6. Nama penulis dan nama/alamat lembaga tempat penelitian ditulis lengkap, font Times New Roman 11, spasi 1.5
7. Sistematika penulisan : a. Judul, nama penulis, lembaga; b. Sari dan kata kunci (Bhs. Indonesia), abstract dan keyword (Bhs. Inggris), c. Isi naskah: I. Pendahuluan (latar belakang, tujuan, lokasi, data, dan metodologi), II. Hasil dan Pembahasan, III. Kesimpulan, ucapan terima kasih, daftar pustaka/referensi.
8. Foto, gambar, tabel dan grafik yang digunakan harus mengacu pada tulisan dalam artikel
9. Tabel dan gambar diberi nomor berurutan dalam naskah, dengan keterangan yang jelas. Grafik harus mempunyai label sumbu yang jelas disertai satuan yang disingkat dengan notasi baku, misalnya Z(103)
10. Sitasi kepustakaan (acuan) ditulis dalam sistem: nama penulis utama, tahun (nomor halaman, jika diperlukan)
11. Daftar pustaka ditulis dalam urutan abjad secara kronologis. Sistem penulisan pustaka dari :
 - a. Buku: nama pengarang, tahun terbitan, judul buku (ditulis dalam huruf miring), edisi, nama penerbit
 - b. Karangan dalam buku: nama pengarang, tahun terbitan, judul karangan (dalam huruf miring), nama editor, judul buku, nama penerbit
 - c. Artikel dalam jurnal; nama pengarang (jika jumlahnya lebih dari 4, cukup ditulis penulis pertama diikuti dkk atau et.al.), tahun terbitan, judul, nama majalah/jurnal (dalam huruf miring), jilid/volume, nomor, dan halaman
 - d. Karangan dalam pertemuan ilmiah/proceeding: nama pengarang, tahun, judul karangan (dalam huruf miring), nama penyelenggara serta tempat pertemuan
12. Penggunaan tata-nama, tata-istilah, lambang dan satuan, mengikuti tata cara penulisan yang baku, misalnya Sistem Internasional (SI)
13. Ucapan terima kasih, ditulis di bagian akhir naskah (setelah kesimpulan dan saran, sebelum daftar pustaka), dengan menyebutkan secara lengkap: nama, gelar dan lembaga penerima ucapan.



Alamat redaksi:

PUSAT VULKANOLOGI DAN MITIGASI BENCANA GEOLOGI

Jl. Diponegoro No.57 Bandung 40122

Tlp. 7271402, 7272606 Fax. 7202761

e-mail : bulletinpvmg@vsi.esdm.go.id

<http://www.vsi.esdm.go.id>



BULLETIN VULKANOLOGI DAN BENCANA GEOLOGI
BULLETIN OF VOLCANOLOGY AND GEOLOGICAL HAZARD

Volume 13, Nomor 2, Tahun 2019

Pemantauan Seismik Ambient Noise dan <i>Realtime Seismic Amplitude Measurement</i> untuk Identifikasi Peningkatan Aktivitas Gunungapi <i>Ambient Seismic Noise And Realtime Seismic Amplitude Measurement Monitoring For Identification Of Increased Volcanic Activity</i> <i>Yasa Suparman, Afnimar, Devy Kamil Syahbana</i>	1-11
Metode Validasi Dalam Pemodelan Statistik Peta Kerentanan Gerakan Tanah Di Kabupaten Ciamis <i>Validation Methods For Landslide Susceptibility Map Statistical Modelling In Ciamis District</i> <i>Yukni Arifianti, Pamela</i>	13-20
Estimasi Volume Lava G. Karangetang dan G. Anak Krakatau Berdasarkan Metode Penginderaan Jauh <i>Lava Volume Estimation Of Karangetang And Anak Krakatau Volcanoes Based On Remote Sensing Method</i> <i>Estu Kriswati, Hilma Alfianti</i>	21-32
Simulasi Aliran Piroklastik Gunung Sumbing, Jawa Tengah Dengan Menggunakan Titan2d <i>Simulation Of Pyroclastic Flow At Sumbing Volcano, Central Java Using Titan2d</i> <i>Wilfridus Fs Banggur, Agoes Loeqman</i>	33-43
Kajian Zona Rawan Bencana Abu Vulkanik Gunung Bromo – Jawa Timur <i>A Study Of Volcanic Ash Fall Hazard Zone In Bromo Volcano – East Java</i> <i>M. Ihsan Abdillah, Dian N Handiani, Yudhi Wahyudi</i>	45-60
Berita Kebencanaan Geologi Juli – Desember 2019 <i>Heruningtyas D. Purnamasari, Merry C. Natalia, Novie N. Afatia</i>	61-70

KAJIAN ZONA RAWAN BENCANA ABU VULKANIK GUNUNG BROMO – JAWA TIMUR

A STUDY OF VOLCANIC ASH FALL HAZARD ZONE IN BROMO VOLCANO – EAST JAVA

M. Ihsan Abdillah¹, Dian N Handiani¹, Yudhi Wahyudi²

¹Jurusan Teknik Geodesi, Institut Teknologi Nasional, Bandung

²Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi Bandung

Email: ihsanabdllh@gmail.com

Sari

Abu vulkanik letusan gunung membahayakan lalu lintas penerbangan dan kesehatan manusia. Upaya mitigasi untuk meminimalkan dampak korban jiwa dan kerusakan lingkungan dengan pemetaan zona rawan bencana gunung. Penelitian ini mengkaji kawasan rawan bencana sebaran abu vulkanik letusan Gunung Bromo dengan menggunakan multikriteria analisis dan teknik perhitungan *Simple Additive Weighted* (SAW). Kriteria kerawanan yang dikaji untuk mendukung pengambilan keputusan mitigasi bencana adalah elemen bahaya, faktor geografis fisik, lingkungan, sosial, dan budaya. Hasilnya adalah peta zona rawan bencana abu vulkanik dan diklasifikasikan menjadi tiga zona, yaitu kerawanan rendah (zona I), sedang (zona II), dan tinggi (zona III). Luas total zona kerawanan adalah 48.052,72 ha dengan tingkat kerawanan beragam, yaitu kerawanan rendah seluas 32.164,97 ha, sedang 14.857,96 ha, dan tinggi 1.029,342 ha. Zona rawan mencakup 4 kabupaten (Probolinggo, Pasuruan, Lumajang, dan Malang) dan 18 desa rawan bencana, serta 3 desa berpotensi rawan bencana. Kawasan rawan sedang mendominasi di Kabupaten Probolinggo dan rawan rendah dominan di Kabupaten Malang.

Kata kunci: abu vulkanik, gunung, Bromo, zona-rawan, SAW

Abstract

Volcanic ash endangers flight traffic and human health. Volcanic ash fall hazard zone mapping is early mitigation strategy to minimize impact on casualties. The purpose of this study is to analyze volcanic ash fall hazard zone at Bromo Volcano. The analysis used some factors such as hazard elements, physical geography, environment, social, and culture within Mt. Bromo. These factors are decision making criteria. Then, the volcanic ash fall hazard zone are mapped using multi criteria analysis and simple additive weighting (SAW) calculation. Mt. Bromo is classified into three hazard zone, they are low (zone I), middle (zone II), and high (zone III). Hazard zone total occupied 48.052.72 hectare with various og hazard classification. Low of hazard zone occupied 32.164.97 hectare, middle is 14.857.96 hectare, and high is 1.029.342 hectare. Four regencies (Probolinggo, Pasuruan, Lumajang, and Malang) are affected, while eighteen villages are disaster prone-zone and three villages are potential prone-zone by the volcanic ash fall. Middle and high hazard zone are dominated at Probolinggo regency and lower is at Malang regency.

Keywords: volcanic ash, volcano, Bromo, hazard zone, SAW

Pendahuluan

Tidak kurang dari 10% penduduk Indonesia bermukim di kawasan gunung dan keadaan ini menjadi ancaman yang perlu diwaspadai jika terjadi letusan gunung (Sari dan Nugroho, 2001). Undang-Undang (UU) No. 24 tahun 2007 dan Peraturan Pemerintah (PP) No. 21 tahun 2008 bertujuan menjamin terselenggaranya penanggulangan bencana secara terencana, terpadu, terkoordinasi, dan menyeluruh. Sehingga memberikan perlindungan kepada masyarakat dari ancaman, dampak, dan risiko bencana. Upaya pengurangan risiko bencana dan korban jiwa adalah memetakan kawasan rawan bencana gunung, salah satunya di Gunung Bromo.

Gunung Bromo adalah kerucut gunung aktif paling muda paska pembentukan kaldera lautan pasir dari kompleks pegunungan Tengger. Kerucut ini tercatat sebagai salah satu gunung yang sering mengalami erupsi dari 127 gunung aktif di Indonesia (Zaennudin, 2011). Pemetaan Kawasan Rawan Bencana (KRB) Gunung Bromo dilakukan oleh Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) pada tahun 2015. Dampak bencana letusan gunung yang diantisipasi dalam peta tersebut berdasarkan sejarah kejadian daerah yang terlanda oleh aliran massa (awan panas, lava, lahar) serta materi jatuhnya (abu vulkanik).

Penelitian ini memetakan zona rawan bencana abu vulkanik Gunung Bromo dengan menggabungkan informasi spasial terkait faktor yang mempengaruhi kerawanan bencana. Faktor-faktor tersebut diadaptasi dari Bachrudin dan Wirakusumah (1998) dalam Sari dan Nugroho (2001), yaitu pola dan distribusi elemen bahaya, kepekaan elemen bahaya, kondisi geografis, dan lokasi geomorfologi khusus. Faktor pola dan distribusi elemen bahaya diwakili sebaran dan intensitas jatuhnya abu vulkanik dari peta KRB Gunung Bromo (PVMBG, 2015). Faktor

geografis berupa data spasial yang mewakili situasi geografis fisik, lingkungan, sosial, dan budaya yang terpapar abu vulkanik. Peta tutupan lahan (fisik dan lingkungan) serta jumlah penduduk (sosial dan budaya) yang mewakili faktor geografis, sedangkan faktor geomorfologi khusus tidak dikaji detail dalam penelitian ini dan asumsi yang dibuat adalah setiap area dalam jangkauan sebaran abu vulkanik memiliki geomorfologi bervariasi.

Faktor-faktor tingkat kerawanan bencana tersebut dijadikan kriteria-kriteria untuk memberikan panduan dalam pengambilan keputusan atau dikenal dengan *Multi Criteria Decision Making* (MCDM) atau dikenal multikriteria analisis. Kriteria-kriteria yang telah ditentukan selanjutnya diberi bobot dan ranking untuk menghasilkan skor akhir yang diklasifikasikan dalam rentang nilai kerawanan yang terbagi tiga zona kerawanan, yaitu rendah (zona I), sedang (zona II), dan tinggi (zona III) sesuai Permen Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) No. 15 tahun 2011. Metode MCDM yang diaplikasikan di penelitian ini dikenal dengan *simple additive weighted* (SAW) (Velasquez dan Hester, 2013) dimana metode ini dapat diaplikasikan kedalam banyak disiplin ilmu, salah satunya adalah kebencanaan. Selain itu metode SAW merupakan metode yang sederhana, namun dengan metode yang sederhana ini sudah dapat menentukan suatu keputusan dari berbagai macam kriteria.

Penelitian ini diharapkan menghasilkan kajian terkini kerawanan bencana akibat abu vulkanik di Gunung Bromo, sehingga dapat melengkapi peta KRB gunung di Indonesia. Kajian dan peta KRB terbaru akan dapat membantu proses mitigasi dari bahaya abu vulkanik.

Maksud dan Tujuan

Penelitian ini bertujuan :

Memetakan dan mengkaji zona rawan bencana abu vulkanik akibat letusan Gunung Bromo

berdasarkan peta KRB Gunung Bromo, Peta Batas Administrasi, Peta Tutupan Lahan dan data Kepadatan Penduduk

Penerapan metode MCDM dengan teknik SAW dimaksudkan untuk pengambilan keputusan dalam menentukan zona dan tingkat kerawanan bencana abu vulkanik di Gunung Bromo. Hasilnya berupa peta zona rawan bencana abu vulkanik dan berisi informasi besar/kecilnya dampak bencana di wilayah tersebut.

Kawasan dan Elemen Bahaya Abu Vulkanik Gunung Bromo

Gunung Bromo merupakan salah satu gunung dari lima gunung yang terdapat di kompleks Pegunungan Tengger. Secara geografis terletak di 7° 56' 30" LS dan 112° 57' BT, sedangkan secara administratif terletak pada Kabupaten Probolinggo, Pasuruan, Malang, dan Lumajang, di Provinsi Jawa Timur. Gunung Bromo memiliki tinggi 2.329 mdpl dengan ketinggian dasar kaldera ± 2.100 mdpl yang dikenal sebagai lautan pasir. Berdasarkan catatan sejarah, letusan atau peningkatan kegiatan vulkanik mulai tercatat sejak tahun 1804, erupsinya dapat berlangsung pendek, yaitu beberapa hari saja tetapi dapat pula berlangsung satu bulan atau lebih secara terus menerus. Daur erupsi Gunung–Bromo tidak menentu yaitu masa istirahat terpendek kurang dari satu tahun sedangkan masa istirahat terpanjang 16 tahun (Badan Geologi, 2014).

Terdapat dua jenis bahaya gunung yang dibedakan menjadi bahaya primer (langsung) dan bahaya sekunder (tidak langsung). Bahaya primer, yaitu bahaya yang diakibatkan secara langsung oleh produk erupsi gunung, contohnya: aliran lava, aliran piroklastik, jatuhnya piroklastik (lontaran batu pijar dan hujan abu), gas beracun, dan lahar letusan. Sedangkan bahaya sekunder merupakan bahaya yang diakibatkan secara tidak langsung

oleh produk erupsi gunung, yaitu lahar dan longoran gunung (ESDM, 2011).

Menurut Anda dan Wahdini (2010), abu vulkanik adalah bahan material vulkanik yang disemburkan ke udara pada saat terjadi suatu letusan. Abu vulkanik kemudian jatuh pada suatu tempat yang jaraknya dapat mencapai ribuan kilometer tergantung pada kekuatan letusan, kecepatan angin dan arah angin. Berdasarkan Peta KRB Gunung Bromo (PVMBG, 2015) jatuhnya abu vulkanik digambarkan dengan area lingkaran yang terbagi menjadi tiga kawasan, yaitu KRB III, KRB II, dan KRB I dengan radius masing-masing kawasan dari titik sumber erupsi yaitu sebesar 2 Km. Jatuhnya abu vulkanik pada masing-masing KRB memiliki intensitas yang berbeda, dimana KRB III yang memiliki jarak paling dekat dengan sumber erupsi (0-2 Km) terdampak jatuhnya abu vulkanik lebat, KRB II dengan jarak (2-4 Km) dari sumber erupsi terdampak hujan abu sedang hingga lebat, dan KRB I dengan jarak yang paling jauh dari sumber erupsi (4-6 Km) terdampak hujan abu tipis.

Multi Criteria Decision Making

Multi Criteria Decision Making (MCDM) merupakan salah satu metode yang banyak digunakan dalam pengambilan keputusan dan bertujuan untuk memilih alternatif terbaik dari beberapa alternatif eksklusif atas dasar bermacam kriteria yang ditentukan oleh pengambil keputusan (Tseng, 2011). MCDM dapat diklasifikasikan menjadi dua model yaitu *Multi Attribute Decision Making* (MADM) dan *Multi Objective Decision Making* (MODM) (Zimmermann, 1991). MADM biasanya digunakan untuk melakukan penilaian atau seleksi terhadap beberapa alternatif dalam jumlah yang terbatas, sedangkan MODM digunakan untuk menyelesaikan masalah-masalah pada ruang kontinu, misalnya permasalahan dalam

pemrograman matematis. Terdapat sebelas metode MADM menurut (Velasquez dan Hester, 2013) yaitu :

1. *Multi-Attribute Utility Theory*
2. *Analytic Hierarchy Process*
3. *Fuzzy Set Theory*
4. *Case-based Reasoning*
5. *Data Envelopment Analysis*
6. *Simple Multi-Attribute Rating Technique*
7. *Goal Programming*
8. *ELECTRE (The outranking method)*
9. *PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation)*
10. *Simple Additive Weighting (SAW)*
11. *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*

Salah satu teknik perhitungan dalam multi-kriteria analisis adalah *simple additive weighted* (SAW). SAW merupakan metode yang menyeleksi alternatif terbaik dari sejumlah alternatif berdasarkan kriteria-kriteria yang ditentukan dengan melakukan perankingan untuk mengetahui nilai tertinggi sampai terendah (Indrawaty, 2011). Konsep dari SAW ialah nilai ternormalisasi kriteria untuk alternatif harus dikalikan dengan bobot kriteria yang kemudian alternatif terbaik dengan skor tertinggi dipilih sebagai klasifikasi paling rawan (Karami, 2011).

Hasil akhir skor untuk setiap alternatif dihitung dengan mengalikan tingkat perbandingan (*ran-*

king) untuk masing-masing atribut dengan kepentingan bobot yang diberikan terhadap atribut. Kemudian menjumlahkan hasil perkaliannya terhadap semua parameter yang terlibat (Azar, 2000). Menurut Kusumadewi (2006) terdapat beberapa langkah-langkah dalam menentukan metode SAW yaitu:

1. Menentukan kriteria yang akan dijadikan acuan dalam pengambilan keputusan.
2. Menentukan rating/bobot kecocokan setiap alternatif pada setiap kriteria.
3. Membuat matrik keputusan berdasarkan kriteria yang telah ditentukan, kemudian melakukan normalisasi matrik berdasarkan persamaan yang disesuaikan dengan jenis atribut, sehingga matrik ternormalisasi.
4. Hasil akhir diperoleh dari proses perankingan yaitu perjumlahan dari perkalian matrik ternormalisasi dengan vektor bobot preferensi sehingga diperoleh nilai terbesar yang dipilih sebagai alternatif terbaik.

Data dan Tahapan Perhitungan

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data yang diperoleh dari sumber-sumber yang sudah ada sebelumnya (data sekunder). Data tersebut meliputi peta batas administrasi desa, sebaran abu vulkanik, area tutupan lahan, dan kepadatan penduduk desa. Informasi setiap data ditunjukkan di Tabel 1.

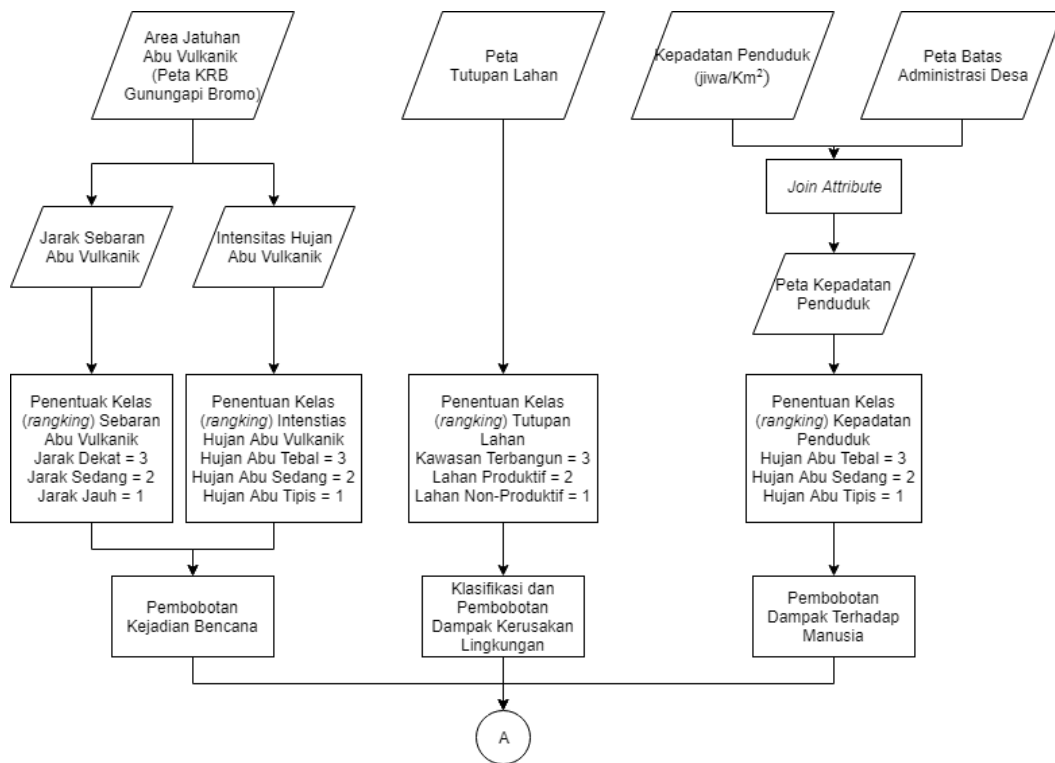
Tabel 1. Data-data dalam Penelitian

No	Data	Tahun	Sumber	Skala
1	Peta Batas Administrasi	2016	Badan Informasi Geospasial (BIG)	1:25.000
2	Peta KRB Gunung Bromo	2015	PVMBG	1:50.000
3	Peta Tutupan Lahan	2016	BIG	1:25.000
4	Data Kepadatan Penduduk	2018	Badan Pusat Statistik (BPS)	Perdesa

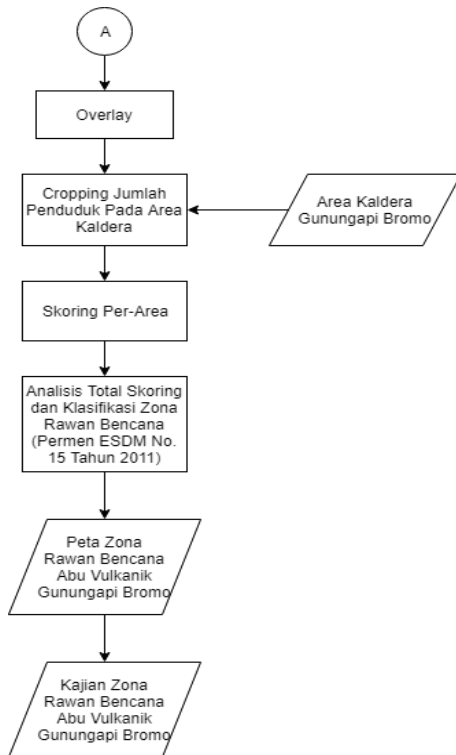
Pelaksanaan penelitian ini dibagi beberapa tahapan, yaitu persiapan, pengumpulan dan pengolahan data, klasifikasi kerawanan, serta penentuan zona rawan bencana abu vulkanik. Diagram alir penelitian ditunjukkan di Gambar 1. Tahapan-tahapan diagram alir tersebut diadaptasi sesuai metode MCDM-SAW dari Kusumadewi (2006). Metode tersebut mencakup penentuan kriteria-kriteria, kelas, *rangking*, dan bobot dari kriteria tersebut, pembuatan matriks keputusan, dan penjumlahan skor. Selanjutnya, klasifikasi zona kerawanan berdasarkan Permen ESDM no. 15 tahun 2011.

Tahapan-tahapan pelaksanaan penelitian tersebut dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Persiapan dan pengumpulan data, yaitu peta Kawasan Rawan Bencana (KRB) Gunung Bromo yang terbagi menjadi dua elemen atau parameter (jarak sebaran dan intensitas hujan abu vulkanik), peta tutupan lahan didapat dari BIG, dan peta kepadatan penduduk berdasarkan penggabungan peta batas administrasi per-desra (BIG) dan data kepadatan penduduk berdasarkan data BPS.



Gambar 1. Diagram Alir Tahapan-Tahapan Penelitian



Gambar 2. Diagram Alir Tahapan-Tahapan Penelitian (lanjutan)

Pengolahan data terdiri dari penentuan nilai bobot dan kelas masing-masing kriteria diadaptasi berdasarkan panduan BNPB (2011). Selanjutnya, proses *overlay* data yang sudah memiliki skor masing-masing elemen hasil dari perkalian bobot dengan *ranking*. Proses *overlay* menggabungkan masing-masing data menjadi satu file dengan menggunakan *analysis tools overlay* dengan teknik *union* di perangkat lunak ArcGIS. Pemotongan (*cropping*) data jumlah penduduk dilakukan setelah proses *overlay*, dan hasilnya menunjukkan daerah mana saja yang masuk dalam area kaldera Gunung Bromo. Asumsinya bahwa area kaldera tidak terdapat penduduk, karena area tersebut umumnya tutupan lahan berupa lautan pasir. Selanjutnya, proses skoring per-area didapat dari hasil penjumlahan skor antar data hasil *overlay*.

2. Klasifikasi kerawanan dan penentuan zona rawan bencana abu vulkanik berdasarkan Permen ESDM no.15 tahun 2011 dan membagi tingkat kerawanan kedalam tiga kelas (tinggi, sedang, rendah). Penentuan kelas kerawanan didapat dari perhitungan interval menggunakan skor hasil setiap area yang sudah diproses pada tahap sebelumnya. Untuk mempermudah pengenalan kelas kerawanan maka setiap kelas memiliki warna yang berbeda. Hasil akhirnya masuk tahap *layouting* dan dibuat peta zona rawan bencana abu vulkanik Gunung Bromo.

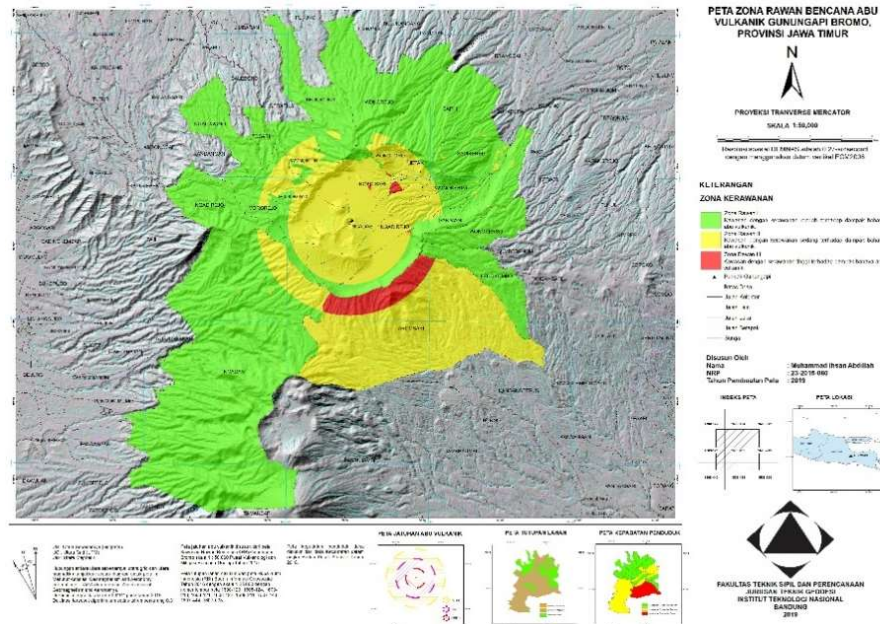
Pemetaan Zona Rawan Bencana Abu Vulkanik Gunung Bromo

Di dalam penelitian ini bobot kriteria elemen bahaya dan faktor geografis (tutupan lahan dan kepadatan penduduk) memiliki nilai sama besar 50% dan 50%. Kriteria elemen bahaya adalah jangkauan sebaran dan intensitas abu vulkanik (20% dan 30%). Sedangkan, kriteria geografis fisik dan lingkungan diwakili dengan tutupan lahan (10%), dan sosial-budaya diwakili kepadatan penduduk (40%). Bobot kriteria tersebut diadaptasi dari Indeks Rawan Bencana (BNPB, 2011) yang disesuaikan berdasarkan kebutuhan dalam penelitian ini melalui beberapa model (persentase nilai) percobaan. penentuan kelas dengan pendekatan kebalikan, semakin besar nilai *ranking* menunjukkan kelas tersebut penting (Tabel 2).

Peta zona kerawanan abu vulkanik Gunung Bromo (Gambar 2) menghasilkan kerawanan beragam di area yang saling bertampalan, baik area yang di dalam kawasan jatuhan abu vulkanik, maupun area yang berada di luar kawasan jatuhan abu vulkanik. Batas administrasi desa digabungkan untuk memudahkan orientasi lokasi pada keadaan real di lapangan dan analisis untuk keperluan mitigasi.

Tabel 2. Bobot, Ranking, dan skor Kriteria Kerawanan

Kriteria	Bobot Indikator	Sensitivitas Tingkat Kerawanan	Keterangan	Ranking	Skor
Jarak Sebaran Abu Vulkanik (km)	20%	KRB III	0-2	3	0,6
		KRB II	>2-4	2	0,4
		KRB I	>4-6	1	0,2
Intensitas Hujan Abu Vulkanik	30%	KRB III	Lebat	3	0,9
		KRB II	Sedang	2	0,6
		KRB I	Tipis	1	0,3
Tutupan Lahan	10%	Tinggi	Kawasan Terbangun	3	0,3
		Sedang	Lahan Produktif	2	0,2
		Rendah	Lahan Non Produktif	1	0,1
Kepadatan Penduduk (jwa/km ²)	40%	Padat	646-945	3	1,2
		Sedang	344-645	2	0,8
		Rendah	45-343	1	0,4



Gambar 3. Peta Zona Rawan Bencana Abu Vulkanik Gunung Bromo

Secara administratif terdapat 18 desa rawan bencana dan 3 desa berpotensi rawan bencana jatuhnya abu vulkanik, desa-desa tersebut termasuk ke dalam empat kabupaten yaitu Kabupaten Probolinggo, Pasuruan, Lumajang dan Malang dengan luas zona rawan abu vulkanik yang beragam. Hasil masing-masing peta rawan bencana abu vulkanik berdasarkan kabupaten dapat dilihat pada Gambar 3.

1. Kabupaten Probolinggo

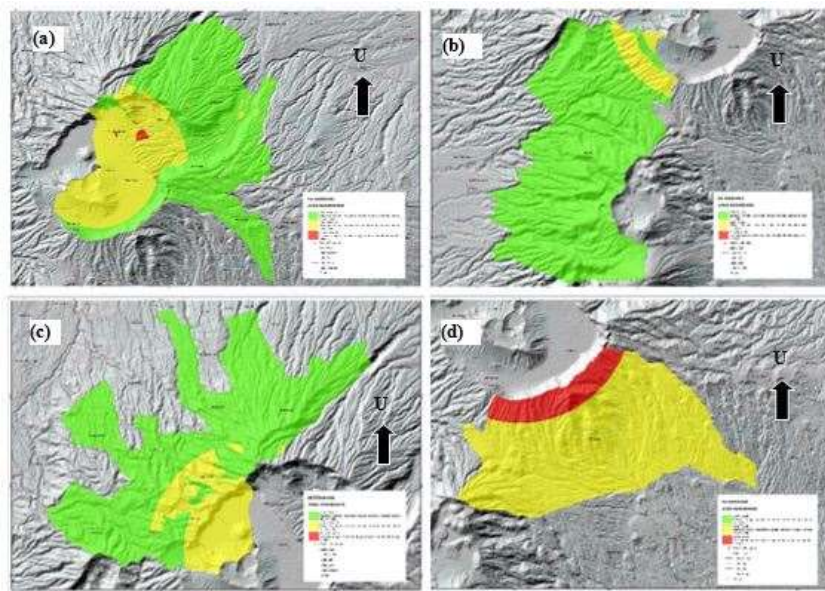
Desa-desa pada Kabupaten Probolinggo tersebar dari arah timur hingga utara Gunung Bromo. Terdapat 10 desa rawan bencana dan 1 desa yang berpotensi rawan bencana jatuhnya abu vulkanik, ditunjukkan pada Gambar 3a. Kerawanan tinggi terluas di Kabupaten Probolinggo terdapat di Desa Jetak, sedangkan kerawanan rendah terendah berada di Desa Wonokerso, dimana seluruh wilayah terpapar relatif rendah terhadap elemen bahaya abu vulkanik.

2. Kabupaten Pasuruan

Area desa yang terdapat di Kabupaten Pasuruan tersebar dari arah barat hingga utara Gunung-Bromo. Secara administratif terdapat 6 desa rawan bencana dan 2 desa berpotensi rawan bencana abu vulkanik, secara keseluruhan Kabupaten Pasuruan hanya masuk kedalam zona rawan rendah dan sedang, ditunjukkan pada Gambar 3b.

3. Kabupaten Malang

Kabupaten Malang terletak di selatan hingga barat daya Gunung Bromo, pada Kabupaten ini hanya memiliki satu desa rawan bencana jatuhnya abu vulkanik yaitu Desa Ngadas yang memiliki area yang cukup luas seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3c pada desa tersebut mayoritas zona rawan berupa kerawanan rendah dengan sedikit kerawanan sedang.



Gambar 4. Visualisasi Zona Rawan Bencana Abu Vulkanik Kabupaten (a) Probolinggo, (b) Pasuruan, (c) Malang, dan (d) Lumajang.

4. Kabupaten Lumajang

Kabupaten Lumajang terletak pada arah selatan hingga tenggara Gunung Bromo, dengan satu desa rawan bencana jatuhnya abu vulkanik yaitu Desa Argosari. Desa Argosari memiliki zona rawan bencana abu vulkanik dalam tingkatan sedang hingga tinggi, ditunjukkan pada Gambar 3d Zona rawan sedang memiliki nilai paling besar dibandingkan nilai rawan lainnya.

Dari total keseluruhan 21 Desa dan beragam tingkat kerawanan, dapat dihitung persentase setiap luas area kerawanan setiap desa rawan bencana dan berpotensi rawan bencana dengan rincian yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Luas Area Kerawanan Desa

No.	Nama Desa	Luas Desa (ha)	Zona Kerawa-nan	Luas Zona Kerawa-nan (ha)
1.	Jetak	258,24	Rendah	31,17
			Sedang	184,20
			Tinggi	42,88
2.	Ledokombo	1.274,77	Rendah	1.273,71
			Sedang	1,05
3.	Ngadas	1.107,72	Rendah	71,05
			Sedang	1.036,67
4.	Ngadirejo	1.516,92	Rendah	219,42
			Sedang	1.297,50
5.	Ngadisari	1.037,25	Rendah	118,74
			Sedang	912,41
			Tinggi	6,10
6.	Sapih	2.471,26	Rendah	2.414,16
			Sedang	57,09
7.	Sapikerep	1.322,85	Rendah	1.276,71
			Sedang	46,14
8.	Sariwani	2.420,89	Rendah	1.851,82
			Sedang	569,06
9.	Wonokerso	1.061,53	Rendah	1.061,53
10.	Wonokerto	487,98	Rendah	402,04
			Sedang	85,94
11.	Wonotoro	391,79	Sedang	388,90
			Tinggi	2,90
12.	Keduwung	1.901,16	Rendah	1.858,89
			Sedang	42,27
13.	Mororejo	1.133,99	Rendah	743,45
			Sedang	390,54
14.	Ngadirejo	1.608,37	Rendah	1.601,07
			Sedang	7,30
15.	Podokoyo	1.327,60	Rendah	274,76
			Sedang	1.052,84
16.	Wonokitri	1.443,55	Rendah	539,13
			Sedang	904,42
17.	Wonorejo	3.059,95	Rendah	3.046,90
			Sedang	13,05
18.	Ngadiwono	1.297,59	Rendah	1.297,59
19.	Tosari	424,89	Rendah	424,89
20.	Ngadas	14.638,90	Rendah	13.657,91
			Sedang	980,99
21.	Argosari	7.865,06	Sedang	6.887,58
			Tinggi	977,47

Berdasarkan Tabel 3 dapat disimpulkan bahwa Desa Ngadas di Kabupaten Malang merupakan area yang memiliki area kerawanan rendah paling tinggi dengan total luasan 13.657,91 ha. Sedangkan Desa Argosari di Kabupaten Lumajang merupakan area yang memiliki tingkat kerawanan sedang dan tinggi yang paling besar dengan total luasan 6.887,58 ha untuk kerawanan sedang dan 977,47 ha untuk area dengan tingkat kerawanan tinggi. Walaupun tingkat kerawanan pada Kabupaten Probolinggo dan Pasuruan bukanlah yang tertinggi, namun dua Kabupaten tersebut merupakan Kabupaten dengan jumlah Desa rawan bencana dan berpotensi rawan bencana terbanyak, total jumlah 11 Desa di Kabupaten Probolinggo dengan luas area dengan tingkat kerawanan rendah sebesar 8.720,35 ha, kerawanan sedang 4.578,96 ha, dan kerawanan tinggi 51,88 ha. Kabupaten Pasuruan terdapat 8 Desa dengan luas area kerawanan rendah sebesar 9.786,68 ha dan kerawanan sedang sebesar 2.410,42 ha.

Kajian Zona Rawan Bencana Abu Vulkanik Gunung Bromo

Di dalam panduan indeks rawan bencana BNPB (2011), penentuan bobot kawasan rawan bencana dilakukan dengan melihat besaran dampak dan frekuensi kejadian bencana yang terjadi di wilayah yang dikaji. Bobot menjadi tinggi jika tingginya faktor kehilangan nyawa dan harta (perekonomian) terjadi akibat terpapar oleh bencana yang ada.

Perhitungan indeks ini merupakan perangkat analisis menunjukkan riwayat (riwayat) nyata kebencanaan yang telah terjadi dan menimbulkan kerugian. Sehingga, peta indeks rawan bencana BNPB (2011) memberikan informasi tentang karakteristik wilayah terhadap jenis kebencanaan yang pernah terjadi dengan dampak kerugian yang ditimbulkannya, baik kerugian nyawa, perumahan, dan luka-luka.

Penelitian ini mengadopsi sistem indeks rawan bencana BNPB (2011) dalam penentuan bobot di setiap kriteria kerawanan yang telah ditentukan. Di mana kriteria kependudukan memiliki bobot terbesar dibandingkan kriteria lainnya (Tabel 1). Sehingga peta kerawanan bencana abu vulkanik yang dihasilkan di penelitian ini memberikan nilai rawan tinggi di area dengan jumlah penduduk yang tinggi. Hal yang perlu diperhatikan peta rawan bencana yang dihasilkan pada penelitian ini memiliki fungsi sedikit berbeda, yaitu peta menunjukkan dampak kawasan terpapar oleh bencana (kerawanan rendah, sedang, sampai tinggi) berdasarkan riwayat area dan obyek yang terpapar bahaya abu vulkanik.

Peta kerawanan bencana dalam penelitian ini berada dalam rentang skor area antara 0,5 – 2. Skor tersebut yang mengklasifikasikan tingkat kerawanan di setiap zona. Ringkasan klasifikasi hasil skor di seluruh area Bromo beserta informasi karakteristik wilayahnya ditunjukkan Tabel 4.

Tabel 4. Tingkat Kerawanan dan Karakteristik Wilayah

Lokasi	Skor	Tingkat Kerawanan	Karakteristik Wilayah
Area kaldera	0,6 – 0,7	Kerawanan rendah	Area KRB I yang masuk kedalam area kaldera dengan tutupan lahan non-produktif, produktif dan tidak memiliki kepadatan penduduk.
	1,1	Kerawanan sedang	Area KRB II yang masuk kedalam area kaldera dengan tutupan lahan non-produktif dan tidak memiliki kepadatan penduduk..
	1,6	Kerawanan sedang	Area KRB III yang masuk kedalam area kaldera dengan tutupan lahan non-produktif dan tidak memiliki kepadatan penduduk..
Luar Area Kaldera (Area Jatuhan Abu Vulkanik)	1 – 2	Dominasi Kerawanan Sedang – Tinggi	Area yang masuk kedalam jatuhan abu vulkanik (KRB II dan KRB I), memiliki kepadatan penduduk rendah – tinggi dengan tutupan lahan yang bervariasi.
Luar Area Kaldera (Bukan Area Jatuhan Abu Vulkanik)	0,5 – 1,5	Dominasi Kerawanan Rendah - Sedang	Area yang tidak terdampak jatuhan abu vulkanik, memiliki kepadatan penduduk rendah – tinggi dengan tutupan lahan yang bervariasi.

Beberapa hasil penentuan zona rawan abu vulkanik di Gunung Bromo di dalam penelitian ini berkesesuaian dengan berita di media massa dan observasi dinas pemerintah lokal setempat. Hasil penelitian menunjukkan zona rawan bencana abu vulkanik didominasi kategori sedang dan tinggi di Kabupaten Probolinggo dan Lumajang. Kondisi ini berkesesuaian dengan beberapa berita yang dilansir media massa (Kompas, 2019), yaitu arah sebaran hujan abu vulkanik terdapat di tiga kecamatan sekitar kawasan Gunung Bromo. Berita ini berdasarkan observasi Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Provinsi Jawa Timur dan menyatakan tiga kecamatan yang terparar tersebut, yaitu Kecamatan Sumber (berada di Kabupaten Probolinggo), satu Desa di Kecamatan Senduro (berada di Kabupaten Lumajang) dan Kecamatan Sukapura (berada di Kabupaten Probolinggo). Desa-desa tersebut terparar hujan abu vulkanik tertinggi (Kompas, 2019).

Berita terkini terkait semburan abu vulkanik Gunung Bromo berdasarkan informasi pada tanggal 19 Juli 2019. Kepala BPBD Kabupaten Probolinggo dan kepala bidang mitigasi gunung, PVMBG memberikan informasi

bahwa telah terekam erupsi di seismogram tanggal 19 Juli 2019 pukul 16:37 WIB dan erupsi tersebut mengeluarkan abu vulkanik. Paparan abu vulkanik ini diperkirakan mencapai radius 1 km dari kawah aktif, dan mencapai daerah permukiman warga Suku Tengger, di Desa Ngadas, Kecamatan Sukapura, Kabupaten Probolinggo (Surabayainside, 2019).

Penggunaan variabel elemen bahaya abu vulkanik tidaklah terbatas hanya pada jarak sebaran dan intensitas hujan abu (seperti dalam penelitian ini). Tebal dan tipisnya abu vulkanik terendapkan di setiap area juga dapat digunakan sebagai variabel elemen bahaya abu vulkanik. Berdasarkan laporan teknik dari United Nations Secretariat for International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR, Jenkins dkk., 2015), pembagian kelas ketebalan dibagi menjadi 5, yaitu kategori tipis ~ 1-10 mm, sedang ~ 10-100 mm, tebal ~ 100-1000 mm, dan sangat tebal > 1000 mm. Pembagian kelas tersebut memerlukan data lapangan dan bantuan pemodelan abu vulkanik Gunungapi, salah satu model yang digunakan adalah model The Global Volcano Model (GVM)

Diskusi

1. Tinjauan Pembobotan dan Pemeringkatan Kriteria Kerawanan

Di dalam panduan indeks rawan bencana BNPB (2011), penentuan bobot kawasan rawan bencana dilakukan dengan melihat besaran dampak dan frekuensi kejadian bencana yang terjadi di wilayah yang dikaji. Bobot menjadi tinggi jika tingginya faktor kehilangan nyawa dan harta (perekonomian) terjadi akibat terpapar oleh bencana yang ada. Perhitungan indeks ini merupakan perangkat analisis menunjukkan riwayat (histori) nyata kebencanaan yang telah terjadi dan menimbulkan kerugian, sehingga indeks rawan bencana BNPB (2011) memberikan informasi tentang karakteristik wilayah terhadap jenis kebencanaan yang pernah terjadi dengan dampak kerugian yang ditimbulkannya, baik kerugian nyawa, perumahan, dan luka-luka.

Adapun penentuan kelas di dalam penelitian ini menggunakan pendekatan kebalikan. Penentuan tersebut memudahkan dalam proses analisis dan klasifikasi yang memungkinkan saat tahapan perkalian antara bobot dan kelas akan menghasilkan nilai skor terbesar untuk kriteria terpenting dan skor terkecil untuk kriteria kurang penting.

Tiga kriteria yang menentukan zona rawan bencana dalam penelitian ini adalah elemen bencana abu vulkanik yang dibagi menjadi variabel jangkauan sebaran dan intensitas abu vulkanik, kriteria geografis fisik dan lingkungan diwakili dengan tutupan lahan, dan sosial-budaya diwakili kepadatan penduduk.

a. Kriteria Elemen Bahaya

Jarak sebaran abu vulkanik berkorelasi dengan intensitas hujan abu vulkanik. Semakin dekat jarak sebaran dengan sumber erupsi maka intensitas hujan abu semakin lebat, dan sebaliknya semakin jauh jarak sebaran maka intensitas hujan abu semakin tipis.

Berdasarkan kondisi sebaran dan intensitas elemen bahaya tersebut menyebabkan area yang berada lebih dekat dengan sumber erupsi akan terpapar bahaya abu vulkanik yang tinggi, sehingga kerusakan infrastruktur bangunan, lingkungan, serta kemungkinan jatuhnya korban jiwa semakin besar.

b. Kriteria Geografis Fisik dan Lingkungan Gunung Bromo memiliki kaldera pasir dengan area yang cukup luas ($\pm 4.838,50$ ha). Kaldera berlokasi mengelilingi kawasan Gunung Bromo, sehingga tutupan lahan yang mendominasi di sekitar area (0-4 km) merupakan kawasan dengan lahan non-produktif (memiliki bobot dan ranking terendah di dalam klasifikasi tutupan lahan).

Umumnya, area Gunung Bromo memiliki tingkat kerawanan fisik dan lingkungan yang rendah ke sedang, karena wilayah Gunung Bromo didominasi area lahan non-produktif di kawasan yang sangat berdekatan lokasi titik erupsi. Area lahan non-produktif lebih mendominasi dengan luasan area yaitu sebesar 73,8% sedangkan area lahan produktif memiliki luasan sebesar 25,6% dan area kawasan terbangun memiliki luas 0,6% dari total keseluruhan luas tutupan lahan pada empat kabupaten desa terdampak dan berpotensi terdampak.

c. Kriteria Geografis Fisik dan Lingkungan Kepadatan penduduk merupakan objek manusia secara langsung dan menjadi fokus penanggulangan apabila terjadi bencana. Data kepadatan yang digunakan dibagi berdasarkan tingkat wilayah desa dan terdapat 21 desa di kawasan Gunung Bromo yang terpapar abu vulkanik.

Besarnya bobot kepadatan penduduk (40%) menjadikan variabel ini memiliki pengaruh cukup besar dibandingkan variabel lainnya dalam menentukan tingkat kerawanan. Terdapat 21 desa yang terpapar, dengan 18

desa terklasifikasi sebagai desa rawan bencana, dan 3 desa berpotensi rawan bencana abu vulkanik. Desa yang berpotensi rawan bencana abu vulkanik didasarkan pada jarak lokasi desa yang berdekatan dengan garis area KRB, dimana garis area jatuhnya abu vulkanik pada peta KRB (PVMBG, 2015), bukanlah garis tegas yang membatasi jatuhnya abu vulkanik. Sehingga jatuhnya abu vulkanik dapat melebihi atau kurang dari batas yang dipetakan, maka diperlukan penambahan jarak aman. Besarnya penambahan jarak aman masih bersifat penilaian subjektif (berdasarkan observasi para ahli (expert) bencana letusan gunung di lapangan), karena belum adanya aturan yang mengatur tentang hal tersebut.

Terdapat satu desa (Desa Argosari, Kab. Lumajang) memiliki kepadatan penduduk yang cukup signifikan dibandingkan desa yang lainnya yaitu sebesar 945 jiwa/km². Hal tersebut berpengaruh pada penentuan kelas interval, dimana satu desa tersebut berada di kelas interval klasifikasi yang cukup tinggi, sedangkan desa lainnya masuk ke dalam klasifikasi rendah hingga menengah. Nilai ini pun berpengaruh pada hasil kerawanan, karena hasil skor akan berbeda relatif lebih tinggi untuk area di desa tersebut, dibandingkan desa lainnya

2. Tinjauan Penentuan Tingkat Kerawanan

Penentuan tingkat kerawanan pada suatu desa atau area ditentukan berdasarkan skor hasil pembobotan setiap parameter. Penentuan skor untuk masing-masing parameter dilakukan dengan mengalikan antara tingkat kelas (1, 2, dan 3) dengan bobot yang telah ditentukan.

Gunung-Bromo memiliki area kaldera pasir yang cukup luas, dan hampir tidak adanya penduduk yang menetap di area tersebut. Meskipun area tersebut banyak dikunjungi wisatawan, akan tetapi sifatnya sementara dan umumnya wisatawan serta masyarakat diperingatkan agar berada di jarak aman 1

kilometer dari kawah aktif Gunung-Bromo sehingga di dalam penelitian ini area tersebut nilai kepadatan penduduk dinyatakan sebagai nilai 0 (none atau diabaikan). Akan tetapi, di sisi lain area kaldera merupakan area dengan potensi area bahaya tertinggi (terdekat dengan titik erupsi, KRB III), sehingga faktor dampak kerusakan fisik dan lingkungan memiliki dampak terbesar. Sedangkan, di luar area kaldera, tutupan lahan menjadi variabel yang tinggi dalam menentukan kerawanan, akan tetapi lokasi tersebut hanya memiliki area lahan produktif dan lahan terbangun yang tidak luas sehingga kerawanan di luar kaldera pun hanya dalam tingkat sedang dan mayoritas adalah rendah.

3. Analisis Kawasan Rawan Abu Vulkanik Gunung Bromo

Peta KRB Gunung Bromo dikeluarkan oleh PVMBG (2015). Peta tersebut memberikan informasi mengenai potensi terjadi erupsi gunung dan kawasan yang diidentifikasi berpotensi terancam bahaya gunung. Berdasarkan pemahaman tersebut, peta zona/kawasan rawan bencana abu vulkanik Gunung Bromo yang dihasilkan pada penelitian ini memiliki fungsi sedikit berbeda, yaitu peta menunjukkan dampak kawasan terpapar oleh bencana (kerawanan rendah, sedang, sampai tinggi) berdasarkan histori area dan obyek yang terpapar bahaya abu vulkanik. Di area yang berdekatan dengan titik erupsi (KRB III), peta zona rawan abu vulkanik menunjukkan tingkat kerawanan sedang. Artinya wilayah sekitar kaldera dengan asumsi kepadatan penduduk yang tidak ada dan juga termasuk area tutupan lahan non produktif menjadikan wilayah tersebut memiliki dampak bencana dalam kategori sedang.

Akan tetapi, hasil ini tidak menjadikan area ini dapat digunakan sebagai area evakuasi jika terjadi erupsi gunung. Hal ini disebabkan area tersebut termasuk dalam kategori KRB III

dengan potensi terpapar bahaya tingkat tinggi (PerMen ESDM no. 15 tahun 2011). Selain itu, titik evakuasi umumnya berada di dalam kawasan ataupun di luar kawasan KRB I. Berdasarkan peraturan kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) No. 13 tahun 2010 tentang pedoman pencarian, pertolongan, dan evakuasi, menentukan bahwa kawasan KRB I dianggap area relatif aman untuk dijadikan tempat evakuasi sementara. Sedangkan, area yang aman terpapar dari bencana erupsi gunung berada di area terluar dari kawasan KRB I.

Secara administratif di dalam peta zona kerawanan abu vulkanik Gunung Bromo terdapat 18 desa yang terdampak rawan dan 3 desa berpotensi rawan bencana abu vulkanik. Desa-desa tersebut terbagi dalam empat kabupaten yaitu Kabupaten Probolinggo, Pasuruan, Lumajang, dan Malang dengan luas zona rawan beragam.

Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah (1) penentuan zona kerawanan abu vulkanik di Gunung Bromo dipetakan dengan menggunakan metode multikriteria *simple additive weighting* (SAW) yang sudah diadaptasi sesuai kriteria bencana abu vulkanik, (2) pembobotan kriteria bahaya abu vulkanik disesuaikan dengan indeks kerawanan bencana Indonesia (BNPB, 2011), yaitu bobot kriteria elemen bahaya sebesar 50% (20% bobot jarak jangkauan abu vulkanik dan 30% bobot intensitas hujan abu vulkanik). Sedangkan, bobot kriteria geografis sebesar 50% (10% bobot tutupan lahan dan 40% kepadatan penduduk), (3) area kawasan rawan bencana abu vulkanik Gunung Bromo memiliki luasan beragam, yaitu area kerawanan rendah seluas 32.164,97 ha, kerawanan sedang 14857,96, ha dan kerawanan tinggi 1.029,342 ha, serta total luasan area adalah 48.052,272 ha dan hasil

menunjukkan kerawanan rendah dan sedang mendominasi zona rawan abu vulkanik di Gunung Bromo, (4) total luasan tersebut terbagi ke dalam 18 desa rawan bencana dan 3 desa berpotensi rawan bencana jatuhnya abu vulkanik yang berada di empat kabupaten (Probolinggo, Pasuruan, Malang dan Lumajang) dengan dominasi kategori rawan sedang dan tinggi berada di Kabupaten Probolinggo, dan kategori rendah di Kabupaten Malang, (5) Peta zona kerawanan bencana Abu Vulkanik Gunung-Bromo pada penelitian ini dapat digunakan sebagai dasarantisipasi dan pertimbangan pengambilan keputusan untuk pemerintah pusat dan pemerintah daerah dalam upaya mitigasi. Salah satunya adalah untuk pembuatan peta risiko bencana gunung yang digunakan sebagai acuan dalam pengaturan tata ruang wilayah di daerah gunung yang berbasis risiko bencana.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Kepala Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi atas ijin penggunaan data peta Kawasan Rawan Bencana (KRB) Gunung Bromo.

Daftar Pustaka

- Anda, M., & W. Wahdini. 2010. Sifat, komposisi mineral, dan kandungan berbagai unsur pada abu erupsi merapi, Oktober-November 2010. Bogor: Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian.
- Azar, F.S. 2000. *Multiattribute Decision Making : Use of Three Scoring Methods to Compare The Performance of Imaging Techniques for Breast Cancer Detection*. Pennsylvania, Philadelphia.

- Badan Geologi. 2014. G. Bromo. Maret 10, 2019. <http://www.vsi.esdm.go.id/index.php/Gunung/data-dasar-Gunung/532-g-Bromo?start=1>.
- BNPB. 2010. Peraturan Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana No.13 Tahun 2010 Tentang Pedoman Pencarian, Pertolongan dan Evakuasi. Jakarta: Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB).
- BNPB. 2011. Indeks Rawan Bencana Indonesia. Jakarta : Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB).
- Indrawaty, Y., Andriana & Prasetya. 2011. Implementasi Metode Simple additive weighting pada Sistem Pengambilan Keputusan Sertifikasi Guru. *Jurnal Informatika, ITENAS*, No.2, Vol.2, Mei – Agustus 2011.
- Jenkins, S.F., Wilson, Magill, Miller, Stewart, Marzocchi, & Boulton. 2015. *Volcanic Ash Fall Hazard and Risk : Technical Background Paper for The UN-ISDR Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2015*. UNISDR 2015 Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction Technical Background Paper.
- Karami, A. 2011. *Utilization and Comparison of Multi Attribute Decision Making Techniques to Rank Bayesian Network Options*. Master Degree Project in Informatics One year Level ECTS 30 Spring Term Year 2011.
- Kementrian ESDM. 2011. Peraturan Menteri ESDM No.15 Tahun 2011 Tentang Pedoman Mitigasi Bencana Gunung, Gerakan Tanah, Gempa Bumi dan Tsunami. Jakarta: Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM).
- Kompas. 2019. Gunung Bromo Semburkan Abu Vulkanik, 9 Desa Dilanda Hujan Abu. Juni 11, 2019. <https://surabaya.kompas.com/read/201>
- Republik Indonesia. 2007. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2007 Tentang Penanggulangan Bencana. Sekretariat Negara, Jakarta.
- Republik Indonesia. 2008. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 21 Tahun 2008 Tentang Penyelenggaraan Penanggulangan Bencana. Sekretariat Negara, Jakarta.
- Republik Indonesia. 2012. Peraturan Daerah Provinsi Jawa Timur Nomor 5 Tahun 2012 Tentang Rencana Tata Ruang Provinsi. Sekretariat Negara, Jakarta.
- Republik Indonesia. 2013. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 8 Tahun 2013 Tentang Ketelitian Peta Rencana Tata Ruang. Sekretariat Negara, Jakarta.
- Sari, D.K. & Nugroho H. 2001. Pemetaan Hasil Pemodelan ALiran Lahar Untuk Pemetaan Kawasan Rawan Bencana Gunung Menggunakan Sistem Informasi Geografik. Seminar Nasional Pusat SIG dan Penginderaan Jauh LP-ITS, Surabaya, 24 Oktober 2014.
- Surabaya Inside. 2019. Gunung Bromo Semburkan Abu Vulkanik Lagi. Juli 21, 2019. <https://surabayainside.com/gunung-bromo-semburkan-abu-vulkanik-lagi/>
- Tseng, G.H, & Huang, J.J. 2011. Multiple Attribute Decision Making, Methods and Applications. CRC Press. Boca Raton.
- Jenkins, S.F., Wilson, Magill, Miller, Stewart, Marzocchi, & Boulton. 2015. *Volcanic Ash Fall Hazard and Risk : Technical Background Paper for The UN-ISDR Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2015*. UNISDR 2015 Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction Technical Background Paper.

Velasquez, M & Hester, T. H. 2013. *An Analysis of Multi Criteria Decision Making Methods*, International Journal of Operations Research Vol. 10, No. 2, 56-66 (2013).

Zaennudin, A. 2011. Perbandingan Antara Erupsi Gunung Bromo Tahun 2010 – 2011 dan erupsi Kompleks Gunung Tengger. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, Vol. 2 No. 1 April 2011: 21 – 37.

Zimmermann. 1991. *Fuzzy Sets Theory and Its Applications*. Edisi 2. Kluwer Academic Publishers: Massachusetts.