

Kajian Probabilistik Jatuhan Abu Vulkanik Terhadap Tapak Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) Muria

Sunarko*

Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir-BATAN
Jl. Kuningan Barat Mampang Prapatan, Jakarta 12710, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat Artikel:

Diterima:
19 Mei 2016
Diterima dalam bentuk revisi:
1 Juli 2016
Disetujui:
27 Juli 2016

Kata kunci:

Probabilistik
Tephra
Skenario batas atas

ABSTRAK

KAJIAN PROBABILISTIK JATUHAN ABU VULKANIK TERHADAP TAPAK PLTN MURIA. Telah dilakukan kajian probabilistik terhadap bahaya akibat jatuhnya material piroklastik dari letusan hipotetik Gunung Muria di area tapak PLTN Semenanjung Muria. Tujuan kajian adalah untuk mendapatkan distribusi deposisi abu vulkanik dan nilai kebolehjadiannya di ULA terkait daya dukung beton pengungkung PLTN. Metodologi yang digunakan adalah melakukan simulasi dengan masukan data sekunder parameter letusan erupsi gunung Merapi tahun 2010 (terbatasnya data letusan Muria), dan data meteorologi sekunder berupa data rerata harian hasil olahan data pemantauan di ULA periode 1994-1995. Simulasi dilakukan berdasarkan metode skenario batas atas menggunakan kode komputer Tephra2. Hasil kajian menunjukkan bahwa distribusi abu vulkanik dominan mengarah ke arah Timur Laut – Barat Daya. Nilai kebolehjadian untuk beban > 1 kg/m² adalah kurang dari 5%, sedangkan untuk beban > 10 kg/m² adalah kurang dari 1%. Jatuhan abu vulkanik akibat letusan Gunung Muria tidak membahayakan struktur bangunan PLTN yang akan dibangun di ULA.

ABSTRACT

THE PROBABILISTIC ASSESSMENT OF VOLCANIC ASH FALLOUT ON MURIA NPP SITE. Probabilistic assessment on the hazards of pyroclastic material fallout from the eruption of Mount Muria in Muria Peninsula NPP site area has been carried out. The objective of the assessment is to obtain the distribution of volcanic ash deposition and its probability in Ujung Lemahabang (ULA) related to the carrying capacity of the concrete confinement NPP. The methodology used is performing a simulation using secondary data from Mount Merapi eruption data in 2010 (considering the very limited data Muria eruption), and the secondary meteorological data in the form of daily average data, processed from the monitoring data in ULA in the period of 1994-1995. The simulation was performed according to the upper limit scenario method using computer code Tephra2. The results show that the distribution of the volcanic ash leads dominantly to the Northeast - Southwest. The probability of volcanic ash to weigh ≥ 1 kg/m² is less than 5%, and the probability to weigh ≥ 10 kg/m² is less than 1%. The volcanic ash fallout from the eruption of Mount Muria does not endanger the NPP building structure which will exist in ULA.

Keywords: probabilistic, tephra, upper limit scenario

© 2016 Jurnal Pengembangan Energi Nuklir. All rights reserved

1. PENDAHULUAN

Salah satu tapak PLTN terpilih di pulau Jawa berada di Semenanjung Muria. Hasil Studi Tapak dan Studi Kelayakan (STSK) pada tahun 1996 dinyatakan bahwa tapak PLTN layak untuk dibangun di Ujung Lemahabang [ULA] dan Ujungwatu, meskipun untuk beberapa aspek studi masih perlu dilakukan kajian yang lebih mendalam. Laporan *Site Safety Review Mission* dari *International Atomic Energy Agency* (IAEA), aspek

vulkanologi merupakan salah satu aspek penting yang perlu dikaji terkait keberadaan gunung Muria yang jaraknya sekitar 20 km arah tenggara[1].

Aspek vulkanologi merupakan aspek penting dalam pemilihan lokasi PLTN di Indonesia mengingat letak Indonesia yang berada pada daerah busur api (*ring-of-fire*) dan terdapatnya beberapa gunung api aktif lainnya. Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) saat ini mencatat bahwa dari 143 gunung di Indonesia, sebanyak 76 berupa gunung api aktif, namun Gunung Muria tidak tercatat sebagai salah satu gunung

* Penulis korespondensi.
E-mail: sunarko@batan.go.id

api aktif di Indonesia[2]. Berdasarkan kajian McBirney *et al.*, (2003) dengan memperhatikan beberapa aspek seperti: i) rekaman kejadian vulkanik; ii) manifestasi kegiatan magmatik dalam luasan 100 km²; iii) kajian terhadap gerakan non-eruptif; iv) sejarah geologi pusat letusan; dan v) sejarah letusan gunung yang serupa, disimpulkan bahwa Gunung Muria dapat diklasifikasikan sebagai “*capable volcano*” atau memiliki kebolehdian untuk meletus kembali[3]. Berdasarkan hal ini perlu dilakukan kajian bahaya jatuhnya abu vulkanik (*tephra*) atau abu piroklastik yang bersumber dari Gunung Muria maupun gunung-gunung lainnya di kompleks Gunung Muria, seperti Gunung Genuk, Patiayam, atau sumber lainnya dimana tapak PLTN Muria berada[4].

Tujuan kajian adalah mendapatkan distribusi deposisi abu vulkanik serta nilai kebolehdian, dan kurva bahaya deposisi abu vulkanik di ULA yang tingkat kebolehdian setingkat letusan terbesar Gunung Merapi. Kajian ini menggunakan skenario batas atas (*Upper-limit Scenario*) dan data letusan gunung Merapi tahun 2010, serta data meteorologi (data pendukung) dari pangkalan data meteorologi ULA, Kabupaten Jepara periode tahun 1994-1995. Hasil kajian diharapkan dapat diketahui potensi bahaya abu vulkanik Gunung Muria terhadap calon tapak PLTN di ULA.

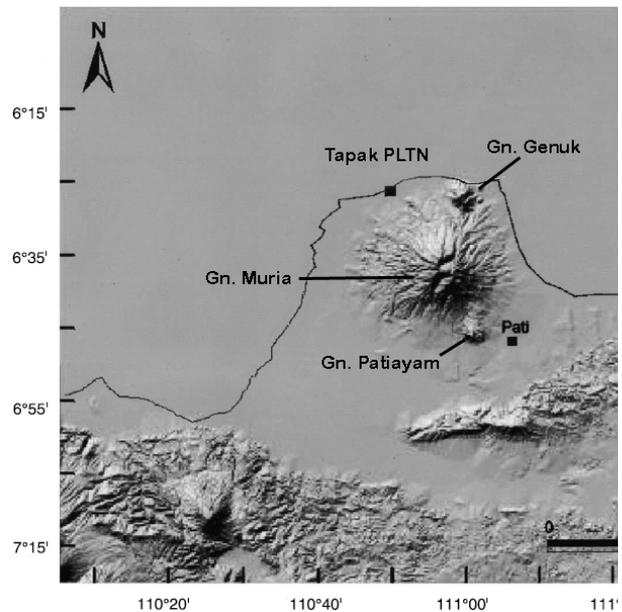
2. POKOK BAHASAN

2.1. Deskripsi Gunung Muria

Gunung Muria merupakan gunung berjenis *stratovolcano* yang puncaknya terletak pada koordinat 6,62°LS dan 110,88°BT, dan ketinggian puncak 1625 meter. Gunung tersebut terletak di zona subduksi dengan kedalaman zona Benioff mencapai sekitar 400 km[3]. Batuan penyusun utama gunung Muria adalah *Trachybasalt/Tephrite Basanite*, *Trachyte/Trachyandesite*, *Phonolite Basalt/Picro-Basalt*, *Andesite/Basaltic Andesite*. Letusan terakhir diperkirakan terjadi 160 SM[5].

Serupa dengan gunung Muria, gunung Merapi yang termasuk dalam jajaran gunungapi paling aktif di dunia juga berjenis *stratovolcano* dan terletak di koordinat 7,542°LS dan 110,442°BT dengan ketinggian

puncak mencapai 2968 m. Batuan penyusun mayoritas adalah *Andesite/Basaltic Andesite dan Trachyandesite/Basaltic trachy-andesite* sedangkan batuan penyusun minornya adalah *Basalt/Picro-Basalt dan Trachybasalt/Tephrite Basanite*. Letusan terbesar kedua sejak tahun 1800-an (VEI = 4) terjadi pada tahun 2010. Ketinggian abu dalam letusan ini mencapai 8000 m dan sebaran piroklastiknya mencapai 16 km ke arah selatan dan jatuhnya bongkahan batuan besar (bom) hingga 4 km dari pusat letusan[6]. Adanya kesamaan fitur antara gunung Muria dan gunung Merapi dan sulitnya mendapatkan data/literatur mengenai letusan gunung Muria, maka sebagai model untuk letusan gunung Muria digunakan data letusan Gunung Merapi.



Gambar 1. Kompleks Vulkanik Gn. Muria[4].

Tephra atau abu gunung api tersebar melalui media atmosfer sesuai dengan karakteristik meteorologi dimana gunung berapi tersebut berada. Jangkauan jatuhnya abu dapat menyebar hingga radius ratusan kilometer sehingga potensi bahayanya harus dikaji, walaupun lokasi PLTN terletak jauh dari gunung berapi aktif. Fenomena sebaran abu vulkanik tidak termasuk dalam kriteria eksklusi atau faktor penolak dalam pemilihan lokasi PLTN ketika bahaya yang ditimbulkan dapat ditanggulangi menggunakan solusi teknis. Hingga saat ini, kerusakan fisik bangunan PLTN karena beban abu vulkanik dari kegiatan gunung berapi yang besar belum pernah terjadi kecuali terbatas pada deposisi abu dan

gempa gunung berapi. Beberapa fenomena penting yang harus dipelajari terkait potensi bahaya yang dapat ditimbulkan sebagai manifestasi kegiatan gunung berapi diantaranya adalah jatuhnya material piroklastik, seperti abu vulkanik.

IAEA merekomendasikan kajian deterministik dan probabilistik bahaya gunung api terhadap calon lokasi PLTN seperti tertuang dalam IAEA *Safety Guide* No. SSG-21 tentang bahaya gunung api dalam evaluasi tapak untuk instalasi nuklir[7]. Kajian deterministik maupun probabilistik dapat dibantu dengan perangkat lunak yang dapat mensimulasikan letusan gunung berapi serta akibat yang ditimbulkannya dengan mempertimbangkan besaran sumber, karakteristik meteorologi daerah setempat, serta ciri-ciri fisik abu vulkanik. Secara ringkas dapat dijelaskan bahwa metode deterministik mengkaji bahaya gunung api menggunakan satu atau beberapa postulasi skenario terburuk dengan memanfaatkan nilai-nilai volume atau jangkauan maksimum dari sebaran abu gunung api. Namun metode ini tidak memanfaatkan sebaran data secara maksimal dan tidak memasukkan unsur ketidakpastian dalam analisisnya. Di sisi lain, metode probabilistik dapat mempertimbangkan banyak skenario bahaya dengan memanfaatkan sebaran data dengan tingkat ketidakpastiannya[7].

Kajian bahaya jatuhnya abu vulkanik untuk setiap gunung api yang masih memiliki kemungkinan untuk meletus (*capable volcano*) biasanya mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut[7]:

- i. Sumber potensial abu vulkanik,
- ii. Besaran erupsi abu vulkanik, serta ciri fisik dari erupsi tersebut,
- iii. Frekuensi erupsi yang menghasilkan abu vulkanik,
- iv. Kondisi meteorologi antara daerah sumber dan lokasi yang akan mempengaruhi transport dan deposisi abu vulkanik,
- v. Efek sekunder dari abu vulkanik seperti meningkatnya kemungkinan aliran lahar, potensi polusi dan korosi kimiawi yang dapat menimbulkan dampak terhadap operasi PLTN.

2.2. Kode Komputer *Tephra2*

Sebaran *tephra*, seperti halnya sebaran polutan berbentuk partikel kecil maupun gas, dapat disimulasikan menggunakan teori adveksi-difusi, dimana penyebaran polutan berupa partikel dengan berbagai ukuran akan terdifusi oleh turbulensi udara (arus eddy), terbawa oleh angin, maupun gabungan kedua proses tersebut. Kode komputer *Tephra2* dapat melakukan simulasi dispersi *tephra*, bersifat *open source* dan dikembangkan oleh Dr. Charles Connor *dkk.*, dari Universitas South of Florida, Tampa, Amerika Serikat[8,9]. Kode komputer ini menggunakan teknik kepulan (*puff*) Gaussian untuk berbagai ukuran partikel yang didiskretisasi dalam parameter ϕ dan terdistribusi normal. Waktu jatuhnya partikel dihitung berdasarkan ϕ dan posisi partikel dalam kolom letusan. Selanjutnya akumulasi deposisi (kg/m^2) dari setiap ukuran partikel serta jumlah totalnya pada titik grid i dapat diketahui. Simulasi numerik akumulasi *tephra* dapat digambarkan oleh persamaan adveksi-difusi dengan konservasi masa seperti pada persamaan (1).

$$\frac{\partial C_j}{\partial t} + w_x \frac{\partial C_j}{\partial x} + w_y \frac{\partial C_j}{\partial y} - v_{lj} \frac{\partial C_j}{\partial z} = K \frac{\partial^2 C_j}{\partial x^2} + K \frac{\partial^2 C_j}{\partial y^2} + Q \quad (1)$$

Dimana x bernilai positif searah dengan arah angin, y adalah arah melintang dan z adalah posisi vertikal; C_j adalah konsentrasi massa partikel (kg/m^3) dari suatu kelas ukuran partikel j ; w_x dan w_y adalah komponen x dan y dari arah angin (m/detik) dan kecepatan angin vertikal dianggap dapat diabaikan; K adalah koefisien difusi horizontal untuk *tephra* di atmosfer (m^2/detik), dimana dalam *Tephra2* diasumsikan bernilai tetap dan bersifat isotropik ($K_x = K_y = K_z$). Parameter Q ($\text{kg/m}^3 \cdot \text{detik}$) adalah perubahan konsentrasi partikel terhadap waktu pada sumber pada waktu t (detik).

Kolom erupsi diasumsikan terbentuk diatas puncak letusan gunung berapi (*vent*) dan kolom tersebut dibagi menjadi bagian-bagian dari mana partikel akan jatuh dan tersebar dari setiap tingkat ketinggian kolom. Untuk setiap ketinggian kolom i mulai dari ketinggian *vent* hingga ketinggian kolom maksimum (H) dan ukuran butir j maka didapatkan massa

tephra $M(x,y)$ yang diakumulasikan pada titik perhitungan (x,y) seperti pada persamaan (2).

$$M(x,y) = \sum_{i=1}^H \sum_{j=\Phi_{\min}}^{\Phi_{\max}} M_{i,j}^0 f_{i,j}(x,y) \quad (2)$$

Dimana $M_{i,j}^0$ adalah massa awal pada kolom i untuk ukuran butir j . Lapisan atmosfer dibagi menjadi lapisan-lapisan dengan w_{xk} dan w_{yk} sebagai komponen arah angin pada sumbu x dan y pada lapisan k . Kecepatan angin horizontal dapat berubah dengan ketinggian namun diasumsikan konstan pada lapisan tersebut. Kecepatan akhir (*terminal velocity*) dihitung untuk setiap ukuran partikel j yang dilepaskan dari suatu ketinggian i sebagai fungsi dari bilangan Reynolds yang diparameterisasi oleh kerapatan atmosfer [10]. Kecepatan akhir ini bergantung pada kerapatan partikel, bentuk partikel dan ciri fisik atmosfer. Fungsi $f_{i,j}(x,y)$ (m^{-2}) adalah solusi dari persamaan adveksi-difusi untuk menghitung fraksi massa untuk ukuran partikel dan ketinggian lepasan tertentu yang jatuh disekitar titik koordinat (x,y) .

$$f_{i,j}(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma_{i,j}^2} \exp \left\{ -\frac{(x-\bar{x}_{i,j})^2 + (y-\bar{y}_{i,j})^2}{2\sigma_{i,j}^2} \right\} \quad (3)$$

Parameter $\bar{x}_{i,j}$ dan $\bar{y}_{i,j}$ adalah koordinat-koordinat titik pusat dari distribusi Gauss bivariat ($\bar{x}_{i,j} = x_i + \sum_{\text{lapisan}} \delta x_j$, $\bar{y}_{i,j} = y_i + \sum_{\text{lapisan}} \delta y_j$) dan $\sigma_{i,j}^2$ adalah variansi dari distribusi Gauss yang merupakan fungsi dari difusi atmosfer dan sebaran horizontal dari abu yang dilepaskan [11].

Parameter $\sigma_{i,j}^2$ pada persamaan (3) merupakan penyatuan proses-proses yang terjadi dalam keputulan dan atmosfer kedalam satu parameter dan didefinisikan sebagai [11]:

$$\sigma_{i,j}^2 = 2K(t_{i,j} + t_j') \quad (4)$$

K ($m^2/detik$) adalah tetapan difusi dan t_j' adalah waktu difusi horizontal dalam kolom keputulan. Koefisien K dalam tulisan diberikan nilai $568 m^2/detik$ yang merupakan nilai baku dalam *Tephra2* dan masih dalam jangkauan yang diberikan dalam pemodelan gunung Tarawera di Selandia Baru [12]. Koefisien difusi vertikal

umumnya bernilai kecil pada ketinggian diatas 500 meter dan dapat diabaikan.

Saat waktu jatuhnya partikel mencapai skala jam maka skala struktur turbulensi yang membawa partikel akan meningkat dengan waktu. Sebagai contoh, untuk partikel dengan diameter < 1 mm yang jatuh dari ketinggian 30 km akan mempunyai waktu jatuh > 1 jam. Dalam hal ini, variansi $\sigma_{i,j}^2$ dapat ditentukan secara empirik sebagai [11]:

$$\sigma_{i,j}^2 = \frac{4C}{5} (t_{i,j} + t_j')^{5/2} \quad (5)$$

Dimana C adalah tetapan difusi oleh arus eddy yang ditentukan secara empirik ($C = 0,04 m^2/detik$ [10]), $t_{i,j}$ adalah waktu difusi dari kolom i dan besar partikel j , dan t_j' adalah waktu difusi dalam kolom untuk partikel berukuran j . Dengan $t_{i,j} = 0$ dan $r_i = 3\sigma_{i,j} = 0,34z_i$ maka waktu difusi horizontal untuk partikel berukuran kecil adalah:

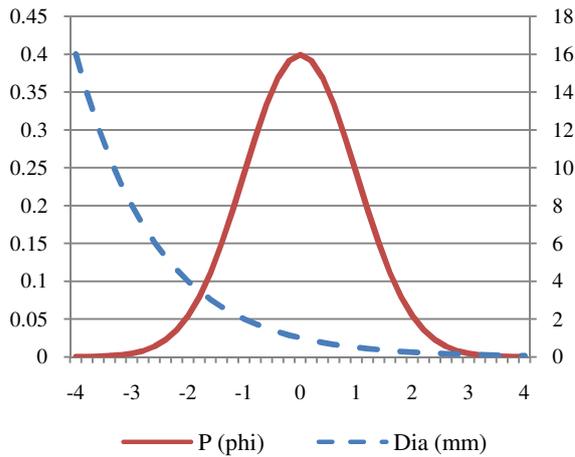
$$t_i = (0,2z_i^2)^{2/5} \quad (6)$$

Distribusi butir total untuk suatu erupsi dapat diperkirakan dengan mengasumsikan distribusi normal dalam satuan ϕ dimana ukuran partikel d (milimeter) diberikan sebagai:

$$d = 2^{(-\phi)} \quad (7)$$

Distribusi ukuran butir terdepositasi menentukan jumlah partikel relatif yang ada dalam deposit yang dapat dipisah-pisahkan menurut ukuran partikel. *Tephra* biasanya akan memiliki median ukuran butir antara -1ϕ dan 1ϕ ($0,5 - 2,0$ mm). Dalam tulisan ini, ukuran butir keseluruhan diberikan dalam $\phi = -4$ hingga $\phi = 4$ (Gambar 2).

Kemungkinan partikel untuk terlepas dari kolom dihitung untuk setiap langkah. Massa *tephra* total terdistribusi secara vertikal pada kolom erupsi berdasarkan pada suatu fungsi kerapatan kebolehjadian (*probability density function- pdf*) dari massa sebagai fungsi dari ketinggian. Sebagai contoh untuk awan *tephra* yang berbentuk jamur, sebagian besar massa dapat terdistribusi pada 20% bagian atas dari total tinggi kolom (*plume ratio*, $PR=0,1$ pada Gambar 3).

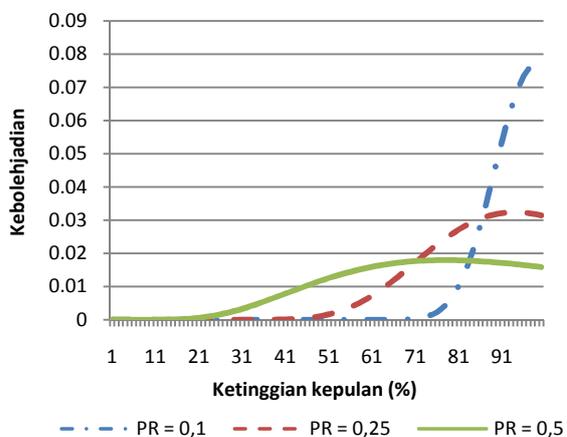


Gambar 2. Diameter Dan Distribusi Partikel ϕ .

2.3. Kebolehjadian Skenario Batas Atas

Berdasarkan suatu skenario erupsi, kebolehjadian skenario batas-atas (*upper-limit scenario*) dapat dipetakan untuk menggambarkan kontur kebolehjadian tercapainya suatu batas akumulasi abu tertentu (kg/m^2) [12]. Batas ini dapat berupa nilai batas yang ditetapkan oleh regulator atau suatu nilai yang apabila terlampaui akan membahayakan publik secara langsung maupun tidak langsung.

Peta hasil simulasi menggambarkan kebolehjadian tercapainya akumulasi *tephra* dengan besaran tertentu berdasarkan distribusi statistik profil angin dan kontur untuk $P[M(x,y) \geq \text{batas deposisi} | \text{erupsi}]$, dimana semua parameter erupsi ditentukan secara deterministik. $M(x,y)$ adalah massa per



Gambar 3. Distribusi Vertikal Abu Vulkanik Dalam Kolom Letusan.

satuan luas pada koordinat (x,y) dan batas deposisi adalah akumulasi yang terjadi yang dianggap berbahaya (kg/m^2). Untuk serangkaian N profil angin N_w , kebolehjadian $P(x,y)$ pada titik (x,y) ditentukan dengan menjumlahkan berapa kali batas tersebut terlampaui seperti diberikan dalam persamaan (8).

$$P(x,y) = \left(\frac{1}{N_w} \right) \sum_{i=1}^{N_w} n_i \tag{8}$$

$$n_i = \begin{cases} 1, & \text{jika } [M_i(x,y) \geq \text{batas deposisi} | \text{erupsi}] \\ 0, & \text{lainnya} \end{cases}$$

Indeks i mengacu pada profil angin. Jumlah keseluruhan profil angin N_w ekuivalen dengan jumlah simulasi yang dijalankan dan setiap simulasi saling bebas karena hasil dari satu simulasi tidak dipengaruhi oleh hasil simulasi lainnya. Peta dengan satu skenario erupsi berguna untuk menentukan batas atas akumulasi abu vulkanik bila parameter letusan yang digunakan adalah parameter letusan terbesar. Skenario ini dikenal juga sebagai skenario untuk kejadian maksimum yang dimungkinkan (*maximum probable event scenario*).

3. METODOLOGI

Pada kajian ini digunakan metode skenario batas atas, dan parameter letusan ditentukan secara deterministik menggunakan nilai-nilai dari data literatur maupun asumsi-asumsi. Kode komputer *Tephra2* dalam setiap sesi simulasi memerlukan tiga file input, masing-masing adalah parameter letusan, grid perhitungan, dan struktur vertikal angin hingga ketinggian di atas ketinggian maksimum kepulan letusan abu vulkanik.

Simulasi dilakukan pada daerah berukuran 100 km x 100 km dengan jarak antar titik koordinat sebesar 1 km pada sumbu x dan y sehingga dimensi jejaring persegi menjadi 101 x 101 km. Koordinat jejaring untuk setiap sesi simulasi tidak berubah sehingga hanya diperlukan satu set data saja. Volume abu gunungapi akibat erupsi Merapi diperkirakan sebesar $21 \pm 4 \times 10^6 \text{ m}^3$ [13]. Rapat massa abu gunungapi yang digunakan dalam perhitungan adalah 1.250 kg/m^3 sehingga massa total letusan adalah sekitar $2,63 \times 10^{10}$

Tabel 1. Parameter Input Tephra2

Parameter	Besaran	Keterangan
<i>PLUME_HEIGHT</i>	9600	Ketinggian total kepulan (m)
<i>ERUPTION_MASS</i>	2,63E+ 10	Total massa tererupsi (kg)
<i>VENT_EASTING</i>	532290	Koordinat easting dari vent (m)
<i>VENT_NORTHING</i>	1382690	Koordinat northing dari vent (m)
<i>VENT_ELEVATION</i>	1625	Ketinggian vent (m) Muria
<i>EDDY_CONST</i>	0,04	Tetapan eddy
<i>DIFFUSION_COEFFICIENT</i>	568	Tetapan difusi
<i>FALL_TIME_THRESHOLD</i>	100000	Waktu jatuhnya minimum (detik)
<i>LITHIC_DENSITY</i>	2600	Rapat massa abu Lithic (kg/m ³)
<i>PUMICE_DENSITY</i>	1000	Rapat massa abu pumis (kg/m ³)
<i>PLUME_RATIO</i>	0,1	Parameter bentuk kepulan

kg[14]. Massa dan distribusi partikel (ϕ) diperoleh dari data letusan gunung Merapi tahun 2010.

Data meteorologi yang digunakan dalam kajian ini adalah data temperatur (ketinggian 10 dan 50 meter). Data (per jam) disusun dalam kolom (jam 00:00 s/d jam 23:00) dan baris (tanggal 1 sampai tanggal terakhir bulan yang bersangkutan). Selanjutnya data meteorologi diolah untuk mendapatkan rerata harian untuk parameter arah dan kecepatan angin (ketinggian 10 dan 40 meter). Data meteorologi tersebut merupakan hasil pengamatan di daerah Ujung Lemahabang, Semenanjung Muria, Jawa-Tengah selama 1 tahun (Agustus tahun 1994 s/d Agustus tahun 1995) yang dilakukan oleh Newjec[4]. Parameter pengukuran kecepatan dan arah angin dilakukan pada ketinggian 10 dan 40 meter. Data meteorologi (per-jam) selanjutnya direratakan untuk mendapatkan data rerata harian, sehingga untuk periode 1 hari akan didapatkan satu data kecepatan angin dan satu data arah angin. Data arah dan kecepatan angin tersebut selanjutnya diekstrapolasi untuk mendapatkan arah dan kecepatan angin dari permukaan tanah hingga ketinggian di atas ketinggian maksimum kepulan dengan menggunakan formulasi:

$$v(z)=v_{ref}\left(\frac{z}{z_{ref}}\right)^b \quad (9)$$

Dimana parameter v_{ref} dan z_{ref} adalah kecepatan angin dan ketinggian referensi pemantauan (40 meter) sedangkan nilai

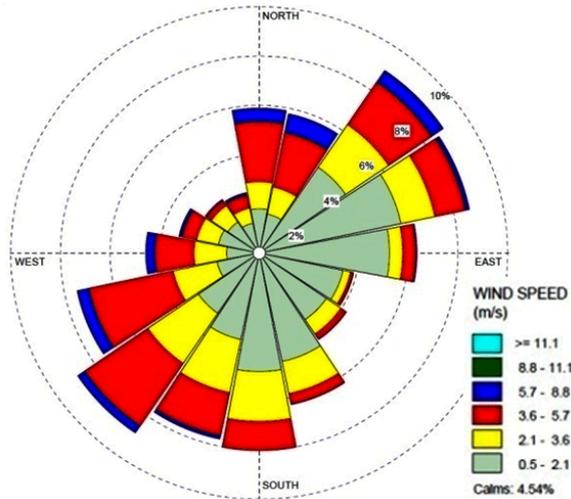
parameter b ditentukan oleh kondisi stabilitas atmosfer. Untuk kondisi stabilitas atmosfer netral (klasifikasi D Pasquill-Gifford) b bernilai 1,15. Sejumlah N_w data angin vertikal harian akan dipilih secara acak dari pangkalan data untuk dijalankan dalam N_w simulasi.

Dalam simulasi diasumsikan bahwa data pemantauan meteorologi mewakili kondisi di seluruh wilayah pemodelan. Setiap sesi simulasi dilakukan dengan terlebih dahulu memilih data meteorologi secara acak dari pangkalan data. Dalam penelitian ini, simulasi dilakukan sebanyak 300 kali dan setiap simulasi menggunakan data parameter letusan dan data grid meteorologi yang sama. Beberapa parameter letusan penting disajikan dalam Tabel 1[9]. Nama parameter ditulis sesuai format file konfigurasi sebagai input untuk kode *Tephra2*.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

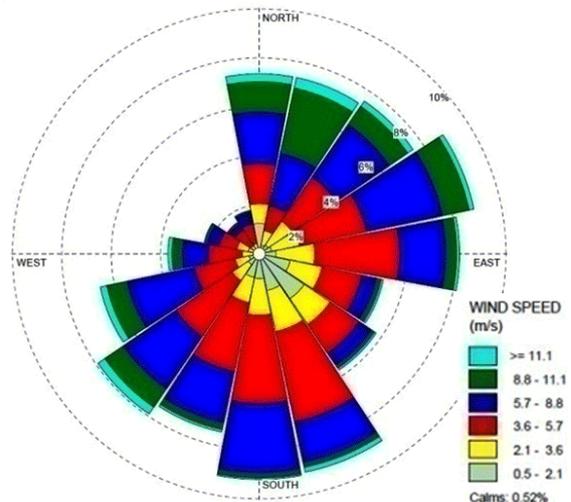
4.1. Hasil Analisis Kecepatan Dan Arah Angin

Hasil pengukuran kecepatan dan arah angin selama satu tahun pada ketinggian 10 meter menunjukkan distribusi frekuensi arah angin yang cukup merata ke segala arah (16 arah) dengan frekuensi tertinggi sebesar 10,4%, bertiup dari arah barat-daya (SW - *SouthWest*). Kecepatan angin didominasi oleh kelas kecepatan 0,5–2,1 m/detik dengan frekuensi 44,8%, kecepatan angin <0,5 m/detik dengan frekuensi 3,0%. Kecepatan angin maksimum rata-rata pada ketinggian 10 meter adalah 2,64 m/detik. Data pada Gambar 4.



Gambar 4. Windrose ULA Pada Ketinggian 10 m[4].

Hasil pengukuran kecepatan dan arah angin selama satu tahun pada ketinggian 40 meter menunjukkan distribusi frekuensi arah angin frekuensi tertinggi sebesar 9,1% dari arah selatan (S - South). Kecepatan angin didominasi oleh kelas kecepatan 3,6-5,7 m/detik dengan frekuensi 32,4%. Persentase kejadian *calm* adalah 0,5%. Data pada Gambar 5.



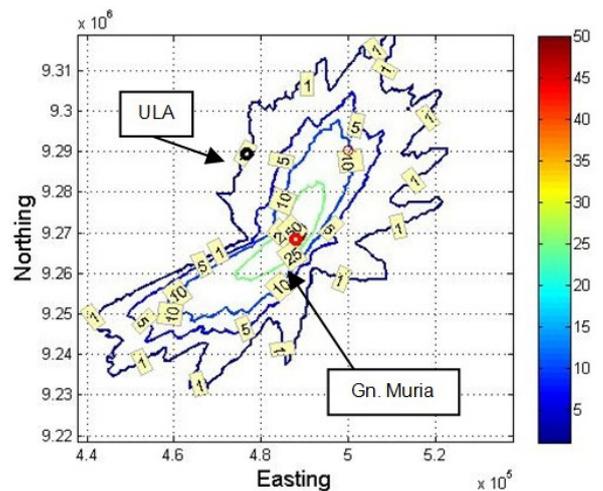
Gambar 5. Windrose ULA Pada Ketinggian 40 m[4].

Kecepatan angin rata-rata pada ketinggian 40 meter adalah 5,46 m/detik. Windrose untuk periode pemantauan 23 Agustus 1994 - 31 Agustus 1995 pada ketinggian 10 meter dan 40 meter ditunjukkan pada Gambar 4 dan 5. Pada gambar terlihat bahwa kecepatan angin rata-rata pada ketinggian 40 meter relatif lebih tinggi dibandingkan ketinggian 10 meter. Hal ini memberikan indikasi normal dengan

meningkatnya kecepatan dengan ketinggian dalam teori lapisan batas (*boundary layer*).

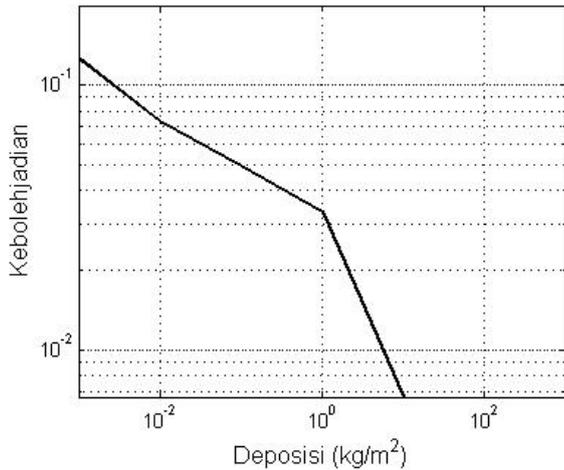
Simulasi dilakukan pada 300 sampel yang diambil secara acak dari pangkalan data meteorologi, dan hasil simulasi untuk deposisi abu vulkanik diperoleh sebesar $\geq 10 \text{ kg/m}^2$ (Gambar 6). Kebolehjadian deposisi sebesar 1 kg/m^2 di ULA mencapai kurang dari 5%, sedangkan deposisi sebesar $\geq 10 \text{ kg/m}^2$ mencapai sekitar 1%. Kebolehjadian untuk deposisi yang lebih besar dari 10 kg/m^2 kurang dari 1%.

Berdasarkan pola kebolehjadian sebaran abu vulkanik dapat diketahui bahwa penyebarannya cenderung berarah ke Timur Laut dan Barat-Daya, sesuai dengan pola angin dominan di daerah ULA. Dalam penelitian tentang deposisi abu vulkanik gunungapi, standar deposisi yang biasa digunakan adalah 10 kg/m^2 , dimana pada tingkat deposisi ini abu vulkanik bisa mematikan tanaman. Deposisi sebesar $100-700 \text{ kg/m}^2$ dapat menimbulkan robohnya atap bangunan, bergantung pada jenis dan struktur atap yang digunakan[15].

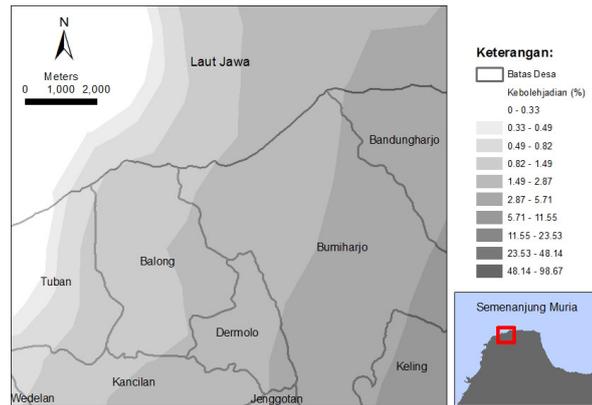


Gambar 6. Kebolehjadian deposisi $\geq 10 \text{ kg/m}^2$ (%).

Hasil analisis dapat pula diwakili oleh kurva bahaya (*hazard curve*)(Gambar 7). Dari hasil simulasi, terdapat kemungkinan sekitar 10% untuk deposisi hingga $0,05 \text{ kg/m}^2$ dan 5% untuk deposisi hingga $0,1 \text{ kg/m}^2$ di ULA. Deposisi yang lebih besar akan memiliki kebolehjadian yang semakin kecil sehingga dapat dikatakan bahwa daerah ULA cukup aman dari bahaya akumulasi *tephra* bila terjadi letusan setara dengan letusan Merapi 2010. Beban pada tingkat kebolehjadian 5% ($0,1 \text{ kg/m}^2$) masih sangat jauh dibawah kemampuan



Gambar 7. Kurva bahaya di Ujung Lemahabang (ULA).

Gambar 8. Kebolehjadian Deposisi 10 kg/m² di Ujung Lemahabang, Desa Balong.

bangunan PLTN untuk menahan beban statis yang diakibatkan akumulasi *tephra*.

Lokasi calon tapak PLTN di ULA terletak di pesisir utara desa Balong, kecamatan Keling, kabupaten Jepara. Pada sepanjang pesisir pantai ini, kebolehjadian deposisi ≥ 10 kg/m² berkisar antara 0,49 – 1,49% dan akan semakin besar ke arah timur dari pantai Desa Balong (Gambar 8). Namun demikian, hal ini tidak berbahaya bagi struktur bangunan nuklir seperti PLTN jenis PWR yang terbuat dari beton pra-tegang dengan kemampuan tekanan desain hingga 476 kPa ($4,76 \times 10^4$ kg/m², $g=10$ m/detik²) [16].

5. KESIMPULAN

Kebolehjadian sebaran dan terdeposisinya abu vulkanik untuk beban sebesar ≥ 1 kg/m² adalah kurang dari 5%, sedangkan untuk beban sebesar 10 kg/m² adalah kurang dari 1%. Deposisi dengan beban lebih besar dari 10 kg/m² memiliki kebolehjadian lebih kecil dari 1%. Arah deposisi abu vulkanik memiliki kecenderungan untuk tersebar ke arah Timur-Laut dan Barat-Daya, dan bergantung pada waktu deposisinya. Letak ULA yang berada di sebelah Barat-Laut Gunung Muria menjadikan keuntungan tersendiri karena tidak berada pada aksis sebaran dengan nilai kebolehjadian yang tinggi dengan deposisi yang besar (Barat Daya – Timur Laut). Namun demikian, data pola angin yang digunakan pada kajian ini kurang relevan dengan situasi terkini yang mengalami perubahan besar sehingga diperlukan data meteorologi terkini dan jumlah data cukup

banyak agar mendapatkan gambaran kebolehjadian deposisi yang sebenarnya.

DAFTAR ACUAN

- [1] IAEA. "Site Safety Review Mission: Final Review of the Siting Studies at Muria Peninsula, Indonesia (External Events Topics)". International Atomic Energy Agency, Indonesia, TC project INS/9/021, IAEA-RU-6847, 1997.
- [2] Anonim. Januari 2016. Data Dasar Gunungapi. Pusat Vulkanologi Dan Mitigasi Bencana Geologi. Bandung, Indonesia [Online]. Available: <http://www.vsi.esdm.go.id/index.php/gunungapi/data-dasar-gunungapi>.
- [3] Mcbirney, A., dkk. "Volcanic And Seismic Hazards At A Proposed Nuclear Power Site In Central Java", *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Vol. 126, 2003, 11-30.
- [4] NEWJEC. "Topical Report on Meteorology, Step-3", Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN), Jakarta, Indonesia, NEWJEC. 1996.
- [5] Smithsonian Institution. Februari 2016. National Museum of Natural History, Global Volcanism Program. [Online]. Available: <http://volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=263251>
- [6] Picquout A., dkk. "Air Traffic Disturbance Due To The 2010 Merapi Volcano Eruption", *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Vol. 261, 2013, 366-375.
- [7] IAEA, "Volcanic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations". International Atomic Energy Agency (IAEA), Austria, Specific Safety Guide No. SSG-21, October, 2012.
- [8] Costanza Bonadonna, Laura J Connor, Chuck B Connor, Leah Michelle Courtland. 2011. Tephra2. [Online]. Available: <https://vhub.org/resources/tephra2>. Diakses Februari 2016.
- [9] Laura Connors, etc. 2011. Tephra2 Users Manual. University of South Florida, Tampa, USA. [Online]. Available: https://vhub.org/resources/756/download/Tephra2_Users_Manual.pdf. Diakses Februari 2016.
- [10] Bonadonna C. Februari 2016. Probabilistic Modelling Of Tephra Dispersion. Department of Geology, University of South Florida, Tampa, FL 33620-5201, USA, 2006.

- [11] Bonadonna C., Ernst G.G.J., Sparks R.S.J. 1998. Thickness Variations And Volume Estimates Of Tephra Fall Deposits: The Importance Of Particle Reynolds Number. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 81. pp.173-187. [Online]. Available: http://www.unige.ch/sciences/terre/mineral/CERG/About/People/Bonadonna/Bonadonnpublications/Bonadonna_etal_1998_JVGR.pdf. Diakses Februari 2016
- [12] Bonadonna C., dkk. 2005. Probabilistic Modeling Of Tephra Dispersal: Hazard Assessment Of A Multiphase Rhyolitic Eruption At Tarawera. New Zealand, *Journal of Geophysical Research* 110, pp. 1-21. [Online]. Available: http://www.unige.ch/sciences/terre/mineral/CERG/About/People/Bonadonna/Bonadonnpublications/Bonadonna_etal_2005_JGR_Tarawera.pdf.
- [13] Solikhin A., dkk. "Mapping the 2010 Merapi Pyroclastic Deposits Using Dual-Polarization Synthetic Aperture Radar (SAR) Data". *Remote Sensing of Environment* 158, 2015, 180-192.
- [14] Takeo Suzuki. "A Theoretical Model for Dispersion of Tephra". *Arc Volcanism: Physics and Tectonics*, Terra Scientific Publishing Company (TERRAPUB), Tokyo, 1983, 95-113.
- [15] Magill C.R., dkk. "Probabilistic Tephra Fall Simulation For The Auckland Region, New Zealand". *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 153, 2006, 370-386.
- [16] Hsuan-Teh Hu, Yu-Hon Lin, "Ultimate Analysis of PWR Prestressed Concrete Containment Subjected To Internal Pressure", *International Journal of Pressure Vessels and Piping* 83, 2006, 161-167.

Halaman ini sengaja dikosongkan