

**INTERVAL KONFIDENSI BAGI FUNGSI TAHAN HIDUP
WAKTU TUNGGU LETUSAN GUNUNG KELUD
(Studi Kasus : Data Berdistribusi Eksponensial Dua Parameter Tersensor Lengkap)**

Tri Prihatin Nurul Muthmainatul Jannah¹⁾ dan Akhmad Fauzy²⁾

¹⁾*Mahasiswa Program Studi Statistika, FMIPA UII Yogyakarta*
email: Mjnurul45@yahoo.co.id

²⁾*Pengajar Program Studi Statistika, FMIPA UII Yogyakarta*
email: akhmadfauzy@uii.ac.id

Abstrak

The exponential distribution is a distribution which is very important in the analysis of life-time. Distinguishing analysis lifetime with other statistical study was the existence of censorship. The complete censored is a censored where all object or individual can be observed. In february 2014 and there has been a catastrophic eruption of Mount Kelud which gives ash rain impact up to a radius of ± 500 Km to the west. The focus of research is the confident intervals estimated of exponentials distribution two parameters for complete censored lifetime data are used by the eruption of Mount Kelud.

Kata kunci: *exponential distribution, interval, letusan eruption of Mount Kelud, complete censored*

1. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki letak geografis dan geologis sebagai penunjang kesuburan dan kekayaan yang terkandung di dalamnya. Secara geologis negara Indonesia dibagi menjadi tiga wilayah, yakni daerah dangkalan sunda, daerah dangkalan sahur, dan daerah antara dangkalan sunda dan dangkalan sahur. Sedangkan secara geografis Indonesia terletak di antara dua benua yakni Benua Asia dan Benua Australia, dan diapit oleh dua samudera yakni Samudera Hindia dan Pasifik. Selain mendapatkan keuntungan dari letak geologis dan geografis ini, Indonesia juga mendapatkan dampak atau efek yang ditimbulkan yakni banyaknya bencana yang terjadi.

Menurut Undang-Undang Nomor 24 Tahun 2007, Tentang Penanggulangan Bencana, disebutkan bahwa, bencana disebabkan oleh tiga faktor, yaitu faktor alam (tanah longsor, erupsi gunung berapi, gempa bumi, tsunami, banjir, kekeringan, dan angin topan), faktor non alam (kegagalan teknologi, gagal modernisasi, epidemi, dan wabah penyakit), dan faktor sosial (konflik sosial antar kelompok, suku, ras atau antar

komunitas masyarakat, dan teror).

Ancaman bencana alam yang ada di wilayah Indonesia bermacam-macam, salah satunya yang paling menonjol adalah ancaman bencana kegunungapian. Indonesia adalah negara yang memiliki jumlah gunungapi aktif terbanyak di dunia sebagai akibat dari letak geografisnya yang merupakan pertemuan 3 lempeng tektonik utama dunia. Pada bulan Februari 2014 telah terjadi bencana erupsi gunung berapi Kelud yang menyebabkan sejumlah bandara di Jawa Tengah, Jawa Timur dan Jawa Barat ditutup (BNPB, 2014). Berdasarkan data dari Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG), dari tahun 1000 sampai dengan tahun 2014 Gunung Kelud telah mengalami letusan sebanyak 33 kali. Rentang waktu inilah yang kemudian disebut waktu tunggu atau waktu istirahat gunung kelud meletus menuju letusan berikutnya

Dalam ilmu statistik terdapat cabang ilmu analisis tahan hidup. Analisis tahan hidup ini merupakan metode analisis yang digunakan untuk mengetahui daya tahan atau keandalan suatu produk hasil industri.

Analisis tahan hidup sekarang ini berkembang pesat, tidak hanya digunakan di bidang industri tetapi juga di bidang kedokteran, biologi, teknik dan lain-lain (Lawless, 2003). Yang membedakan analisis uji hidup ini dengan analisis lain adalah adanya penyensoran.

Distribusi eksponensial merupakan distribusi yang sering digunakan dalam analisis uji hidup, fungsinya sederhana akan tetapi memiliki kelemahan, karena laju kegagalan diasumsikan konstan sepanjang waktu (Abdul Kudus, et al, 2014). Untuk dapat memberikan gambaran yang baik tentang nilai parameter tersebut, biasanya dicari nilai interval konfidensinya. Bain dan Engelhardt (1992) telah menguraikan suatu metode dalam mencari interval konfidensi untuk dua parameter distribusi eksponensial. Kajian ini juga diterapkan untuk kasus selang waktu Letusan Gunung Kelud.

Tujuan dari penelitian ini adalah menduga interval konfidensi bagi fungsi tahan hidup berdistribusi eksponensial dua parameter sensor lengkap dengan studi kasus data waktu letusan Gunung Kelud.

Masalah yang harus terselesaikan adalah menduga interval konfidensi bagi fungsi tahan hidup distribusi eksponensial dua parameter pada letusan Gunung Kelud tersensor lengkap dengan data waktu terjadinya letusan Gunung Kelud. Sensor yang dipakai merupakan sensor lengkap hal ini dikarenakan data waktu letusan Gunung Kelud semuanya terobservasi.

2. LANDASAN TEORI

Letusan gunung berapi atau erupsi adalah peristiwa keluarnya magma dari dalam perut bumi yang terdorong oleh gas yang bertekanan sangat tinggi. Gunung Kelud merupakan salah satu gunung api paling aktif di Indonesia yang terletak di provinsi Jawa Timur, tepatnya berada di antara tiga kabupaten yakni Kediri, Blitar dan kabupaten Malang. Secara geografis Gunung Kelud terletak pada $7^{\circ}56'$ LS dan $112^{\circ}18'30''$ BT dengan ketinggian puncak 1.731 mdpl (Kirbani Sri Brotopuspito dan Wahyudi, 2007).

Gunung kelud merupakan gunung strato vulkanik Gunung api ini berbentuk strato yang diklasifikasikan sebagai gunung api aktif tipe A bersifat freato magmatik sampai magmatik. Secara morfologis, Gunung Api Kelud ditandai oleh keberadaan beberapa bekas kawah yang tumpang tindih berbentuk tapal kuda di bagian tertentu. Hal ini mencirikan bahwa telah terjadi erupsi secara berulang dan bersifat eksplosif (Harun Abdul Aziz, 2014).

Gunung api Kelud ini mulai dikenal dunia karena sebuah bencana lahar letusan yang terjadi pada tahun 1919 yang menewaskan lebih dari 5000 jiwa. Kemudian dilakukan sebuah kajian proses, tipe dan produk letusan Gunung api Kelud ini pada tanggal 10 Februari 1990 memberikan kejelasan bahwa karakteristik letusan gunung api Kelud bertipe St. Vincent dengan tinggi tiang asap letusan mencapai lebih dari 10 kilometer, memuntahkan sebanyak 150-200 juta m^3 material *piroklastik* dalam jangka waktu yang relatif singkat (kurang dari 10 jam) (Indyo Pratomo, 2006).

Berdasarkan data sejarah letusan diketahui bahwa daur kegiatan Gunung Api Kelud berkisar antara 15 sampai dengan 30 tahun (rata-rata waktu istirahat), dan kegiatan letusan terutama terjadi di bagian kawah yang berisi air pada ketinggian >1600 mdpl dengan letusan berupa semburan lahar primer mencapai suhu 200° C (Kadarsetia, dkk, 2006). Menurut Sartohadi(2014), beberapa kali skala erupsi Gunung Kelud mencapai VEI (*Volcano Explosivity Index*) ≥ 4 dengan jumlah material yang dikeluarkan ≥ 150 juta m^3 .

Material vulkanis yang dihasilkan Gunung Kelud secara umum bersifat lepas-lepas yang berasal dari hancuran batuan pumicitik-andesit. Terdapat tiga tahapan dalam erupsi Gunung Kelud, yaitu *freatik*, *freato-magmatik* dan *magmatik*. Erupsi *freatik* pada waktu lalu hampir selalu diikuti dengan tumpahnya danau kawah sehingga menyebabkan terciptanya lahar primer yang panas. Erupsi *freato-magmatik* menghasilkan material *piroklastik* yang terlempar ke angkasa. Dan erupsi *magmatik* yang mengakhiri proses erupsi menghasilkan

batuan beku gang dan lelehan lava basaltik dalam jumlah terbatas yang membeku di kawasan puncak gunung api (Sartohadi, 2014).

Fungsi tahan hidup banyak diaplikasikan pada bidang kedokteran dan teknik. Hingga sampai saat ini analisis tahan hidup berkembang dan banyak digunakan sebagai salah satu ala analisa dalam bidang industri, epidemiologi, demografi, dal lain-lain. Dalam jurnal penelitian Fauzy (2011), tujuan diadakannya analisis tahan hidup ini adalah :

- i. Untuk menentukan bentuk statistik yang sesuai dengan distribusi waktu hidup atau proses kegagalan.
- ii. Untuk mengestimasi parameter dari data aktu hidup yang berdistribusi tertentu dan melakukan uji hipotesis terhadap parameter tersebut.
- iii. Untuk meramal batas kepercayaan dari komponen waktu hidup.

Waktu tahan hidup T adalah variabel random non negatif yang mewakili ketahanan hidup dari individu-individu dalam suatu populasi yang homogen (Athoilah, 2012). Distribusi probabilitas dari T dapat dispesifikasikan dalam banyak hal, tiga diantaranya sebagai fungsi dasar dalam aplikasi tahan hidup yaitu fungsi pada peluang, fungsi tahan hidup, dan fungsi kegagalan.

Fungsi padat peluang adalah probabilitas suatu individu mati atau gagal dalam interval waktu dari t sampai $t+\Delta t$, dengan T merupakan variabel random. Fungsi pada peluang dinyatakan dengan :

$$\begin{aligned}
 f(t) &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left[\frac{P(\text{objek gagal pada interval } t, (t + \Delta t))}{\Delta t} \right] \\
 &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left[\frac{P(t < T < t + \Delta t)}{\Delta t} \right]
 \end{aligned}$$

Fungsi tahan hidup adalah probabilitas suatu individu yang amsih dapat bertahan hidup lebih dari waktu t . Jika T sebagai variabel random waktu tahan hidup dalam interval $[0, \infty)$, maka $S(t)$ dapat dirumuskan :

$$\begin{aligned}
 S(t) &= P(\text{objek hidup lebih dari waktu } t)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= P(T > t) \\
 &= 1 - P(\text{objek gagal sebelum waktu } t) \\
 &= 1 - P(T \leq t)
 \end{aligned}$$

Fungsi kegagalan atau fungsi hazard (*hazard function*) menyatakan peluang kegagalan suatu individu pada waktu t , jika diketahui bahwa individu tersebut tetap hidup hingga waktu t . Fungsi kegagalan dari waktu tahan hidup T dinotasikan sebagai berikut :

$$h(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left[\frac{P(t < T < t + \Delta t | T > t)}{\Delta t} \right]$$

Sensor tipe I adalah tipe penyensoran dimana percobaan akan dihentikan setelah mencapai waktu T yang telah ditentukan untuk mengakhiri semua n individu yang masuk pada waktu yang sama.

Sensor tipe II adalah tipe penyensoran dimana sampel ke- r merupakan observasi terkecil dalam sampel random berukuran $(1 \leq r \leq n)$. Dengan kata lain, dari total sampel berukuran n dan berlanjut sampai mati atau gagal maka percobaan akan dihentikan sampai r dari unit uji mengalami kematian. Semua unit uji n masuk pada waktu yang sama.

Pada sensor tipe III ini, individu atau unit uji masuk ke dalam percobaan pada waktu yang berlainan selama periode waktu tertentu. Beberapa unit uji mungkin gagal atau mati sebelum pengamatan berakhir sehingga waktu tahan hidupnya dapat diketahui secara pasti. Kemungkinan kedua adalah unit uji keluar sebelum pengamatan berakhir atau kemungkinan ketiga adalah unit uji tetap hidup sampai batas waktu terakhir pengamatan. Untuk unit uji yang tetap hidup, waktu tahan hidupnya adalah dari mulai masuk pengamatan sampai dengan waktu.

Fungsi kepadatan peluang distribusi eksponensial dua parameter θ adalah sebagai berikut (Fauzy dan Septiani, 2014).

$$\begin{aligned}
 f(t; \mu, \theta) &= \frac{1}{\theta} \exp\left(-\frac{t-\mu}{\theta}\right); \quad t \geq \mu, \mu \geq 0, \theta > 0 \\
 &\quad (1)
 \end{aligned}$$

Fungsi tahan hidup dari data berdistribusi eksponensial dua parameter diperoleh:

$$S(t) = \int_t^\infty f(t)dt = \int_t^\infty \theta^{-1} \exp\left(-\frac{t-\mu}{\theta}\right) dt = \exp\left[-\frac{(t-\mu)}{\theta}\right] \quad (2)$$

Lawless (2003) telah menguraikan rumus untuk mencari interval konfidensi dari distribusi eksponensial dua parameter pada data tersensor tipe lengkap:

$$\exp\left(-\frac{(t-\hat{\mu}_{min})}{\hat{\theta}_{min}}\right) < S(t) < \exp\left(-\frac{(t-\hat{\mu}_{max})}{\hat{\theta}_{max}}\right) \quad (3)$$

Dimana rumus untuk parameter θ dan μ , adalah :

$$\frac{2n\theta}{\chi^2_{(1-\frac{\alpha}{2}; 2n)}} = \theta_{min} < \theta < \frac{2n\theta}{\chi^2_{(\frac{\alpha}{2}; 2n)}} = \theta_{max} \quad (4)$$

dan

$$\mu_{min} - \frac{\theta F_{(1-\frac{\alpha}{2}; 2; 2n)}}{n} < \mu < \mu_{max} - \frac{\theta F_{(\frac{\alpha}{2}; 2; 2n)}}{n} \quad (5)$$

Kajian tentang analisis tahan hidup telah diperluas dan dipublikasikan dalam Fitra dan Fauzy (2014), Wulandya dan Fauzy (2014), Fauzy, et al (2002), Fauzy dan Ibrahim (2002), Fauzy dan Putra (2013), Athoillah, et al (2012).

3. METODOLOGI

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data letusan Gunung Kelud pada tahun 1000 sampai tahun 2014. Data bersumber dari PVMBG. Data tersebut dapat dilihat dalam tabel di bawah ini.

Tabel 1. Data waktu tunggu Erupsi Gunung Kelud dari tahun 1000 sampai dengan tahun 2014.

| Tahun Erupsi | Keterangan | Waktu Istirahat (dalam tahun) |
|-----------------|--|-------------------------------|
| 1000 | Erupsi Sentral | 311 |
| 1311 | Tidak ada rincian, ada korban jiwa | 23 |
| 1334 | Tidak ada rincian, ada korban jiwa | 42 |
| 1376 | Erupsi sentral, pembentukan kubah lava, bukan erupsi efusif, tidak ada aliran piroklastik, ada korban jiwa | 9 |
| 1385 | Tidak ada rincian | 10 |
| 1395 | Tidak ada rincian | 16 |
| 1411 | Tidak ada rincian | 40 |
| 1451 | Tidak ada rincian | 11 |
| 1462 | Tidak ada rincian | 19 |
| 1481 | Tidak ada rincian | 67 |
| 1548 | Tidak ada rincian | 38 |
| 1586 | Tidak ada rincian, 10000 korban jiwa | 55 |
| 1641 | Tidak ada rincian | 75 |
| 28 Juli 1716 | Tidak ada rincian, ada korban jiwa | 36 |
| 1 Mei 1752 | Erupsi sentral | 19 |
| 10 Januari 1771 | Erupsi sentral | 5 |
| 1776 | Tidak ada rincian | 9 |
| 5 Juni 1785 | Tidak ada rincian | 26 |

| | | |
|------------------|---|----|
| 1811 | Tidak ada rincian | 14 |
| 1825 | Tidak ada rincian, ada korban jiwa | 1 |
| 25 Oktober | | 6 |
| 1826 | Tidak ada rincian | |
| 1835 | Tidak ada rincian | 13 |
| 16 Mei 1848 | Kawah terbuka ke arah barat daya, ada korban jiwa | 3 |
| 24 Januari | | 13 |
| 1851 | Tidak ada rincian | |
| 3-4 Jan 1864 | Tidak ada rincian | 37 |
| 22-23 Mei 1901 | Erupsi Sentral Eksplosif, 22 juta meter kubik material letusan | 18 |
| 1919, Desember | Erupsi sentral eksplosif, aliran piroklastik, 5160 korban jiwa | 1 |
| 21 Desember 1920 | Terbentuk sumbat lava di kawah di bawah permukaan air danau | 31 |
| 31 Agustus 1951 | Erupsi sentral eksplosif, dasar kawah naik 43 m, 200 juta meter kubik material letusan, 7 korban jiwa | 15 |
| 1966 | Erupsi sentral eksplosif, 90 meter kubik material letusan, 210 korban jiwa | 24 |
| 1990 | Erupsi sentral eksplosif, 57,3 juta meter kubik material letusan | 17 |
| 05 November 2007 | erupsi sentral freatik, menghasilkan sumbat lava berbentuk kubah, danau kawah hilang, 16,2 juta meter kubik material erupsi | 7 |
| 14 Februari 2014 | erupsi sentral eksplosif, 2 korban jiwa, dampak abu kelud hingga Jawa Barat | |

Langkah pertama adalah mengurutkan waktu tunggu di atas berdasarkan dari kecil ke besar. Seterusnya melakukan uji bahwa data tersebut berdistribusi eksponensial dengan menggunakan uji Lilliefors. Selanjutnya membuat interval konfidensi bagi fungsi tahan hidup dari distribusi eksponensial dua parameter tersensor lengkap.

4. PEMBAHASAN

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data waktu tunggu letusan Gunung Kelud (dalam tahun) sejak tahun 1000 sampai tahun 2014 yang tercatat pada Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi.

Tabel 2. Data waktu letusan Gunung Kelud sejak tahun 1000 – 2014.

| | | | | | | | |
|---------------------|----|----|----|-----|----|----|----|
| Urutan | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Waktu Tunggu | 1 | 1 | 3 | 5 | 6 | 7 | 9 |
| Urutan | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| Waktu Tunggu | 9 | 10 | 11 | 13 | 13 | 14 | 15 |
| Urutan | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| Waktu Tunggu | 16 | 17 | 18 | 19 | 19 | 23 | 24 |
| Urutan | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 |
| Waktu Tunggu | 26 | 31 | 36 | 37 | 38 | 40 | 42 |
| Urutan | 29 | 30 | 31 | 32 | | | |
| Waktu Tunggu | 55 | 67 | 75 | 311 | | | |

Data di atas merupakan data tersensor lengkap, karena data tersebut adalah waktu tunggu semua letusan Gunung Kelud sejak pertama kali meletus yakni tahun 1000 sampai terakhir meletus tahun 2014. Data di atas berdistribusi eksponensial dua parameter.

Nilai estimasi titik parameter θ dan μ

diduga dengan nilai rata-rata dari data waktu tunggu letusan gunung kelud yaitu 32 hari ($\theta = 32$) dan estimasi titik parameter μ yaitu 0 hari ($\mu = 0$). Dengan menggunakan rumus (4) dan (5), maka batas bawah, batas atas dan lebar interval pada tingkat kepercayaan 99 % dan 95 % dapat diperoleh.

Tabel 3. Batas bawah (BB), batas atas (BA) dan lebar interval (LI) pada tingkat kepercayaan (TK) 99 % dan 95 % untuk parameter θ .

| TK | BB | BA | LI |
|------|------------|------------|------------|
| 99 % | 21.1399657 | 53.0435574 | 31.9035916 |
| 95 % | 23.271656 | 46.7836764 | 23.5120204 |

Tabel 4. Batas bawah (BB), batas atas (BA) dan lebar interval (LI) pada tingkat kepercayaan (TK) 99 % dan 95 % untuk parameter μ .

| TK | BB | BA | LI |
|------|-------------|------------|-------------|
| 99 % | -5.76218936 | -0.0050129 | 5.757176425 |
| 95 % | -3.909913 | -0.0253278 | 3.884585182 |

5. KESIMPULAN

Dari hasil kajian di atas didapatkan nilai estimasi titik parameter θ dan μ yaitu 32 tahun ($\theta = 32$) dan 0 hari ($\mu = 0$). Sedangkan estimasi interval bagi dua parameter distribusi eksponensial tersensor lengkap pada tingkat kepercayaan 95% dan 99% dapat dilihat dalam tabel 3 dan 4 di atas.

PERSEMBAHAN

Ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada Dosen Pembimbing Skripsi yang telaah banyak memberikan masukan dan dukungan, dan juga pihak-pihak lain yang telah membantu hingga terselesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Athoillah, I., Wuryandari, T., Sudarno. 2012. *Model Regresi data Tahan Hidup Tersensor Tipe-III Berdistribusi Log-Logistik*. Jurnal Gaussian, Vol.1, Nomor 1, Tahun 2012, Halaman 83-92.
- Aziz, Harun A. 2014. *Penurunan Total Suspended Solid (Tss) Dan Kekeruhan Pada Air Terkontaminasi Abu Vulkanik Gunung Kelud Menggunakan Reaktor Slow Sand Filter (Saringan Pasir Lambat) Single Media*. Skripsi Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Bain, Lee J. and Max Engelhardt. 1992. *Introduction To Probability And Mathematical Statistics*. Second edition. Boston: PSW-KENT Publishing Company.
- BNPB. 2014. Info Bencana Maret 2014. <http://bnpb.go.id/publikasi/pustaka/14?page=2> (06 November 2014)
- Brotospito, K.S., Wahyudi. 2007. *Erupsi Gunungapi Kelud dan Nilai-B Gempa Bumi di Sekitarnya*. Laboratorium Geofisika: UGM.
- Fauzy, A., Fitra, M. 2014. *Interval Konfidensi Untuk Satu Parameter Distribusi Eksponensial Di Bawah Sensor Lengkap (Studi Kasus Data Waktu Tunggu Bencana Puting Beliung Di Bulan April 2014)*. Prosiding Seminar Nasional Matematika: Tuban.
- Fauzy, A., Ibrahim, N. A. 2002. *Estimasi Interval Dari Satu Parameter Distribusi Eksponensial Pada Sensor Tipe-II dengan Metode Bootstrap*. Prosiding Seminar Nasional Matematika : Universitas Diponegoro Semarang
- Fauzy, A., Ibrahim, N. A., Daud, I., Abu Bakar, M.R. 2002. *Pendugaan Selang Bagi Kuantil Pada Dua Parameter Distribusi Eksponensial Di Bawah Sensor Tipe-Ii Dengan Metode Bootstrap Persentil*. Prosiding Seminar Nasional Matematika : ITS Surabaya.
- Fauzy, A., Putra, A. S. 2013. *Interval Konfidensi Untuk Dua Parameter Distribusi Eksponensial di Bawah Sensor Tipe II (Studi Kasus: Data Waktu Tunggu Gempabumi Besar di Indonesia)*.
- Fauzy, A., Septiani, A. 2014. *Selang Bagi Fungsi Kuantil Masa Tahanan Anggota DPR Yang Tersangkut Korupsi (Data Berdistribusi Eksponensial Dua Parameter Tersensor Tipe-II)*. Universitas Pendidikan Yogyakarta: Yogyakarta
- Fauzy, A., Wulandya, S. A. 2014. *Interval Konfidensi Bagi Fungsi Tahan Hidup Waktu Tunggu Gempa Bumi Besar Di Indonesia (Data Berdistribusi Eksponensial Satu Parameter Tersensor Tipe-II)*. Universitas Pendidikan Yogyakarta: Yogyakarta.
- Fauzy, Akhmad. 2011. *Variansi dari Data Uji Hidup Berdistribusi Eksponensial Tersensor Tipe-II*. ISBN:978-602-19356-0-6
- Kadarsetia, Eka, dkk. 2006. *Karakteristik Kimiawi Air Danau Kawah Gunung Api Kelud, Jawa Timur Pasca Letusan Tahun 1990*. Jurnal Geologi Indonesia. Vol 1 No 4 Desember 2006 : 185-192
- Kudus, A., Muchlis, R.D., Respati, T. 2011. *Penaksiran Peluang Kesembuhan dengan Kekambuhan Berdistribusi Eksponensial*. Prosiding SnaPP2011 Sains, Teknologi, dan Kesehatan.
- Lawless, J. F. 2003. *Statistical models and methods for lifetime data* (2nd ed.). New York: John Wiley & Sons.
- Pratomo. Indyo. 2006. *Klasifikasi gunung Api Aktif Indonesia, Studi Kasus dari Beberapa Letusan Gunung Api dlm Sejarah*. Pusat Survei Geologi: Bandung.
- PVMBG. 2007. Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Sejarah Letusan Gunungapi Kelud. <http://portal.vsi.esdm.go.id/joomla/> dan <http://www.desdm.go.id/>
- Sartohadi, J., Pratiwi, E.S. 2014. *Pengelolaan Keganungapian Kelud pada Periode Krisis erupsi 2014*. Universitas Gajah Mada: Yogyakarta.