

DAERAH KEYAKINAN (CONFIDENCE BANDS) FUNGSI TAHAN HIDUP WAKTU TUNGGU BENCANA BANJIR BANDANG BESAR DI INDONESIA (Data Berdistribusi Eksponensial Satu Parameter Tersensor Tipe-II)

Annas Syaiful Rizal¹ dan Akhmad Fauzy²

¹ Mahasiswa Program Studi Statistika, FMIPA UII Yogyakarta
email: annasipoel@gmail.com

² Pengajar Program Studi Statistika, FMIPA UII Yogyakarta
email: afauzy@yahoo.com

Abstract

Indonesia is a country that is susceptible to disaster, one of which is flash flood. There are at least nine occurred of flash floods in Indonesia that resulted in fatalities over 50 peoples. Data duration of the flood event included in the survival data categories. The analysis used in this study is the analysis of survival (survival analysis) of data exponentially distributed with one parameters of type-II censored. The exponential distribution is one of the most important in life time analysis. The purpose of this study is to know the area of confidence (confidence bands) for the survival function of duration time of the flash flood event in Indonesia. The result showed that the longer period of duration time flash flood event of the estimated survival function $S(t)$ is getting smaller, and the graph area confidence (confidence bands) and the width of the interval of the upper limit and lower limit survival function of each data moves decreases to follow the pattern exponential. The data used is the data on flash floods in Indonesia since 1990.

Keyword: *confidence bands, survival function, flash flood, sensor type-II*

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Negara Indonesia memiliki kondisi geografis, geologis, hidrologis dan demografis yang memungkinkan terjadinya bencana, baik yang disebabkan oleh faktor alam, faktor non alam maupun faktor manusia yang mengakibatkan timbulnya korban jiwa manusia, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda dan dampak psikologis. (BNPB, 2012)

Kejadian bencana di Indonesia terus meningkat dari tahun ke tahun. Bencana yang seringkali terjadi di Indonesia antara lain banjir, tanah longsor, kekeringan, kebakaran hutan dan lahan, puting beliung, gempa bumi, Tsunami, letusan gunung berapi, kegagalan teknologi, epidemi dan kerusuhan sosial (Bakornas, 2005).

Salah satu bencana yang sering

terjadi di Indonesia adalah banjir. Terdapat bermacam banjir yaitu banjir hujan ekstrim, banjir kiriman, banjir hulu, banjir rob, dan banjir bandang. Setiap jenis banjir tersebut memiliki karakteristik yang khas. Banjir bandang adalah kejadian banjir yang singkat dalam waktu sekitar 6 jam yang disebabkan oleh hujan lebat, bendungan jebol, tanggul jebol. Banjir bandang ini dikarakterisasikan dengan cepatnya kenaikan muka air sungai/saluran. Dalam proses kejadian banjir bandang, longsor adalah yang pertama terjadi yang dipicu oleh terjadinya hujan, selanjutnya banjir bandang merupakan kejadian berikutnya sebagai kelanjutan dari kejadian longsor (Larsen et.al., 2001).

Kejadian banjir bandang di Indonesia menunjukkan tren yang meningkat. Seringnya wilayah Indonesia terjadi gempa bumi telah menyebabkan struktur kohesi batuan dan lapisan tanah mudah longsor. Guncangan gempa menyebabkan

lapisan batuan vulkanik muda mengalami retakan sehingga mudah longsor. Hal ini terlihat di Wasior, dimana hampir separo bukit runtuh sehingga membendung sungai di hulu (Syamhudi, 2012).

Berdasarkan data dari Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) tercatat dalam banjir bandang telah terjadi sebanyak 9 kali semenjak tahun 1990 yang mengakibatkan korban jiwa diatas 50 orang. Dampak banjir bandang terbesar yang dialami Indonesia sejak 1990 adalah di kabupaten Langkat, Sumatera Utara yang menyebabkan korban jiwa lebih dari 300 jiwa. Dampak banjir bandang tidak hanya korban jiwa tetapi juga ekonomi. Dampak lain dari bencana banjir bandang adalah menimbulkan kerusakan dan kehilangan harta benda sangat tinggi secara masif dan cepat, terutama terhadap bangunan rumah tinggal (hilang karena hanyut dan rusak), infrastruktur seperti jembatan dan jalan yang memerlukan biaya besar untuk rehabilitasinya. Selain itu kerusakan bangunan infrastruktur dapat mengisolasi suatu kawasan pemukiman, akibatnya biaya untuk evakuasi dan pengiriman bantuan menjadi sulit dan mahal. Kehilangan mata pencaharian dalam jangka yang cukup lama menyebabkan kelumpuhan ekonomi masyarakat yang terkena banjir bandang tersebut.

Analisis uji hidup (*survival analysis*) adalah suatu penyelidikan tentang tahap hidup dari suatu unit atau komponen hasil industri. Salah satu fungsi dari uji tersebut adalah untuk menguji daya tahan atau keandalan suatu produk hasil industri. Pihak manajemen suatu industri biasanya melakukan suatu penyelidikan untuk mengetahui seberapa besar peluang hasil industrinya dapat bertahan hidup sampai waktu tertentu. Dalam ilmu statistik khususnya bidang analisis uji hidup, peluang suatu individu (produk hasil industri) akan bertahan hidup sampai waktu tertentu disebut dengan fungsi tahan hidup (Cox and Oakes, 1984).

Penyensoran adalah sesuatu hal yang penting di dalam analisis uji hidup.

Beberapa tipe penyensoran yang biasanya sering dipakai antara lain sensor lengkap, sensor tipe I-dan tipe-II. Dalam sensor lengkap atau uji sampel lengkap ini eksperimen akan dihentikan apabila semua komponen yang diuji telah mengalami kematian semua atau gagal. Untuk sensor tipe-I, eksperimen akan dihentikan apabila telah mencapai waktu penyensoran tertentu. Sedangkan suatu sampel dikatakan tersensor tipe-II apabila eksperimen akan dihentikan setelah kerusakan atau kegagalan ke- r telah diperoleh (Lawless, 2003).

Tujuan

Penelitian yang dilaksanakan bertujuan untuk memperoleh daerah keyakinan (confidence bands) fungsi tahan hidup waktu tunggu bencana banjir bandang besar di dengan data berdistribusi eksponensial satu parameter tersensor tipe-II.

Perumusan Masalah

Perumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana menentukan daerah keyakinan (confidence bands) fungsi tahan hidup waktu tunggu bencana banjir bandang besar di dengan data berdistribusi eksponensial satu parameter tersensor tipe-II.

2. KAJIAN LITERATUR

Banjir Bandang

Banjir dalam pengertian umum adalah debit aliran air sungai dalam jumlah yang tinggi, atau debit aliran air di sungai secara relatif lebih besar dari kondisi normal akibat hujan yang turun di hulu atau di suatu tempat tertentu terjadi secara terus menerus, sehingga air tersebut tidak dapat ditampung oleh alur sungai yang ada, maka air melimpah keluar dan menggenangi daerah sekitarnya. (Peraturan Dirjen RLPS No.04 thn 2009).

Banjir merupakan peristiwa dimana daratan yang biasanya kering (bukan daerah rawa) menjadi tergenang oleh air, hal ini disebabkan oleh curah hujan yang tinggi dan kondisi topografi wilayah berupa dataran rendah hingga cekung.

Selain itu, terjadinya banjir juga dapat disebabkan oleh limpasan air permukaan (runoff) yang meluap dan volumenya melebihi kapasitas pengaliran sistem drainase atau sistem aliran sungai. Terjadinya bencana banjir juga disebabkan oleh rendahnya kemampuan infiltrasi tanah, sehingga menyebabkan tanah tidak mampu lagi menyerap air. Banjir dapat terjadi akibat naiknya permukaan air lantaran curah hujan yang diatas normal, perubahan suhu, tanggul/bendungan yang bobol, pencairan salju yang cepat, terhambatnya aliran air di tempat lain (Ligal, 2008).

Banjir bandang merupakan banjir yang sifatnya cepat dan pada umumnya membawa material tanah (berupa lumpur), batu, dan kayu. Akibat dari kecepatan aliran banjir yang disertai dengan material tersebut, maka biasanya banjir bandang ini sifatnya sangat merusak dan menimbulkan korban jiwa pada daerah yang dilalui disebabkan tidak sempatnya dilakukan evakuasi pada saat kejadian, dan kerusakan pada bangunan terjadi karena gempuran banjir yang membawa material. Beberapa faktor yang menjadi penyebab terjadinya bencana banjir bandang adalah sebagai berikut (Adi S, 2013):

- a. Curah hujan yang ekstrim tinggi
- b. Geomorfologi yang bergunung dan lereng curam;
- c. Formasi geologi terdiri dari batuan vulkanik muda;
- d. Vegetasi penutup tidak mendukung penyerapan air hujan seperti hutan gundul dan lahan kritis;
- e. Perubahan tutupan lahan, khususnya dari vegetasi hutan menjadi non hutan
- f. Kejadian longsor yang menyebabkan ter bendungnya sungai dibagian hulu
- g. Perilaku manusia/masyarakat yang eksploitatif terhadap lingkungan sehingga pemanfaatan lahan tanpa dilakukan konservasi tanah dan air.

Berdasarkan hasil survey YPM dan JICA (2011a) ternyata tanda-tanda sebelum terjadinya banjir bandang adalah sebagai berikut:

- Hujan lebat
- Banyak pohon tumbang
- Kayu terbawa kepemukiman
- Debit air lebih tinggi
- Air keruh
- Penyusutan muka air sungai
- Adanya suara gemuruh

Berdasarkan tanda-tanda akan terjadinya banjir bandang tersebut maka dapat diterangkan bahwa adanya hujan lebat mengakibatkan debit air sungai meningkat, proses longoran menyebabkan terbawanya kayu dan keruhnya air sungai hingga tersumbatnya aliran sungai. Proses tersumbatnya saluran sungai menyebabkan muka air menyusut karena air ter bendung. Sedangkan suara gemuruh merupakan indikasi gerakan air yang sangat cepat dengan membawa material kayu dan batu sebagai akibat jebolnya sumbatan sungai. Daerah yang merupakan kawasan rawan banjir bandang dapat diidentifikasi sebagai berikut (<http://ugm.ac.id>):

- Terdapat bentang lahan yang kontras antara perbukitan dengan kemiringan lereng yang curam menjadi dataran rendah;
- Dataran rendah yang merupakan zona endapan yang membentuk bentang lahan berupa aluvial fan (kipas aluvial) yaitu zona akumulasi sedimen banjir yang membentuk morfologi seperti kipas;
- Daerah hulu terdiri dari batuan lapuk pada zona gempa, sehingga adanya gempa bumi akan memicu terjadinya longsor pada tebing sungai dengan kelerengan tinggi

Analisis Uji Hidup

Pada awalnya analisis uji hidup berfungsi sebagai salah satu alat analisis

tentang waktu hidup sehingga berlaku kematian atau kerusakan di dalam bidang kedokteran dan teknik. Sampai saat ini analisis uji hidup telah berkembang ke bidang lain seperti ilmu asuransi, epidemiologi, ekonomi, demografi dan sebagainya. Buku teks yang khusus tentang analisis uji hidup dalam bidang kesehatan dan biologi dapat dilihat dalam Collett (2003), Kleinbaum dan Klein (2005), Klein dan Moeschberger (2003), Therneau dan Grambsch (2000) dan Hougaard (2000). Dalam bidang teknik dapat dilihat dalam Birolini (2004), Ushakov (1994), Bury (1999), Wolstenholme (1999), dan Pham (2003).

Sensor Tipe-II

Fungsi kepadatan probabilitas dari distribusi eksponensial satu parameter θ adalah (Ireson, *et.al*, 1996):

$$f(t; \theta) = \frac{1}{\theta} \exp\left(-\frac{t}{\theta}\right); \theta > 0 \tag{1}$$

Total tahan hidup pada data tersensor tipe-II adalah (Lawless, 2003):

$$T = \sum_{i=1}^r t(i) + (n-r)t(r) \tag{2}$$

Selanjutnya Lawless (2003) telah merumuskan nilai dugaan dari θ -nya, yaitu

$$\hat{\theta} = \frac{T}{r}$$

Peluang suatu individu akan bertahan hidup sampai waktu tertentu (*fungsi survivor*), didefinisikan oleh Lawless (2003):

$$S(x) = \Pr(T > t) = 1 - \Pr(T \leq t) = 1 - F(t) \tag{3}$$

Fungsi tahan hidup dari distribusi eksponensial satu parameter adalah: (4)

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

Bain dan Engelhardt (1992) telah menguraikan rumus untuk mencari selang konfidensi fungsi tahan hidup dari satu parameter distribusi eksponensial pada data tersensor tipe-II, yaitu:

$$\exp\left(-\frac{t}{\theta_{min}}\right) < S(t) < \exp\left(-\frac{t}{\theta_{maks}}\right) \dots (5)$$

3. METODOLOGI PENELITIAN

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data tentang waktu tunggu banjir bandang besar di Indonesia dari tahun 1990 (lihat Tabel 1.)

Tabel 1. Data waktu tunggu banjir bandang besar di Indonesia dari tahun 1990

No	Tanggal Kejadian	Waktu Tunggu (bulan)	Meninggal	Kabupaten
1	27 Januari 1990	1	85	Kota Semarang, Jawa Tengah
2	02 Febuari 1990	1	169	Kabupaten, Semarang, Jawa Tengah
3	12 September 1990	7	77	Kota Semarang, Jawa Tengah
4	07 Oktober 1995	61	84	Kerinci, Jambi
5	02 Januari 2003	97	300	Langkat, Sumatera Utara
6	01 Januari 2006	26	119	Jember, Jawa Timur
7	27 Maret 2009	38	100	Tangerang, Banten
8	11 Juli 2010	14	65	Konawe, Sulawesi Tenggara
9	04 Oktober 2010	3	170	Teluk Wondama, Papua Barat

(Sumber: BNPB, 2014)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data tentang waktu banjir

bandang besar di Indonesia dari tahun 1990

Tabel 2. Data waktu tunggu banjir bandang besar (dalam bulan) yang terjadi di Indonesia

Urutan	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Waktu tunggu (bulan)	1	1	3	7	14	26	38	61	97

Data di atas adalah data waktu tunggu banjir bandang besar (dalam bulan) yang terjadi di Indonesia yang telah diurutkan. Data berasal dari tabel 1. Setelah dilakukan uji Lilliefors, maka data waktu tunggu di atas berdistribusi eksponensial satu parameter tersensor tipe-II dengan $n = 12$. Berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan (4) diatas, diperoleh estimasi titik fungsi tahan hidup tunggu banjir bandang besar satu parameter berikut:

Dimana θ adalah parameter rata-rata dari data masa waktu tunggu banjir bandang.

Nilai parameter θ adalah

$$\hat{\theta} = \frac{\sum_{i=1}^r t_{(i)} + (n - r)t_{(r)}}{r}$$

$$\hat{\theta} = \frac{248 + (12 - 9)97}{9}$$

$$\hat{\theta} = 59,889 = 60$$

Dari hasil perhitungan tersebut, diperoleh nilai estimasi parameter $\hat{\theta}$ yaitu 60 bulan. Nilai fungsi tahan hidup dari masing-masing titik. Contohnya pada waktu tunggu ke-3 atau $t(3)$ yaitu 3 tahun, perhitungan fungsi tahan hidupnya adalah:

$$S(t) = \exp\left(-\frac{t}{\hat{\theta}}\right)$$

$$S(t) = \exp\left(-\frac{3}{60}\right)$$

$$S(t) = 0,9511$$

Tabel 3. Estimasi titik fungsi tahan hidup banjir bandang besar

Waktu Tunggu (Bulan)	S(t)
S(1)	0,983441
S(1)	0,983441
S(3)	0,951141
S(7)	0,889689
S(14)	0,791547
S(26)	0,647823
S(38)	0,530196
S(61)	0,361117
S(97)	0,197965

Dari nilai fungsi tahan hidup diatas, maka dapat dihitung selang bagi fungsi tahan hidup. Dengan menggunakan rumus persamaan (5) di atas maka batas bawah, batas atas dan lebar selang fungsi tahan hidup banjir bandang besar pada tingkat kepercayaan 99 % dan 95 % dapat diperoleh. Contoh perhitungan selang fungsi tahan hidup $t = 3$ bulan yaitu:

a. Fungsi tahan hidup 95%

$$\exp\left(-\frac{t}{\theta_{min}}\right) < S(t) < \exp\left(-\frac{t}{\theta_{maks}}\right)$$

$$\exp\left(-\frac{3}{34,19}\right) < S(t) < \exp\left(-\frac{3}{130,97}\right)$$

$$0,9160 < S(t) < 0,9773$$

b. Fungsi tahan hidup 99%

$$\exp\left(-\frac{t}{\theta_{min}}\right) < S(t) < \exp\left(-\frac{t}{\theta_{maks}}\right)$$

$$\exp\left(-\frac{3}{29,01}\right) < S(t) < \exp\left(-\frac{3}{172,07}\right)$$

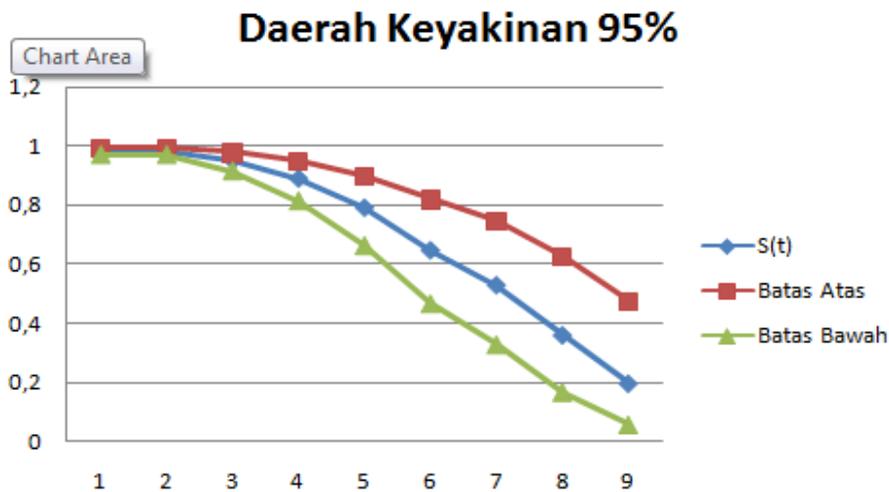
$$0,9017 < S(t) < 0,9827$$

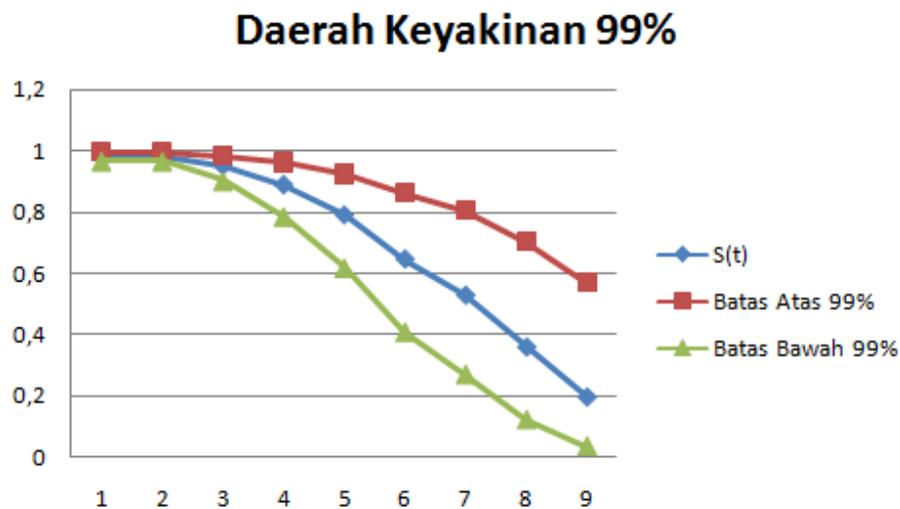
Tabel 4. Selang fungsi tahan hidup banjir bandang besar pada tingkat kepercayaan 95 %

Waktu Tunggu (Bulan)	95%			99%		
	Batas Bawah	Batas Atas	Lebar Selang	Batas Bawah	Batas Atas	Lebar Selang
1	0,9711	0,9923	0,0212	0,9661	0,9942	0,0280
1	0,9711	0,9923	0,0212	0,9661	0,9942	0,0280
3	0,9160	0,9773	0,0613	0,9017	0,9827	0,0809
7	0,8148	0,9479	0,1330	0,7856	0,9601	0,1745
14	0,6640	0,8986	0,2345	0,6172	0,9218	0,3046
26	0,4674	0,8199	0,3524	0,4081	0,8597	0,4516
38	0,3291	0,7481	0,4190	0,2698	0,8018	0,5319
61	0,1679	0,6276	0,4596	0,1221	0,7015	0,5793
97	0,0586	0,4768	0,41820	0,0353	0,5690	0,5337

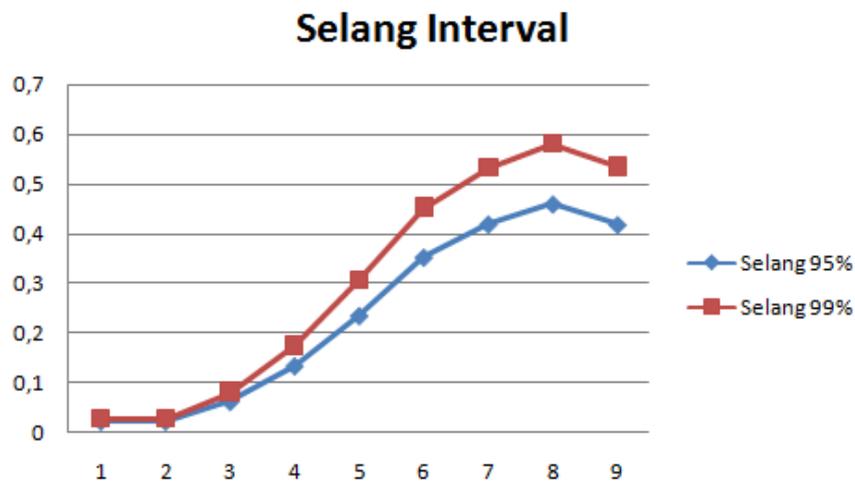
Berdasarkan tabel 4 dapat dilihat bahwa Estimasi titik bagi fungsi tahan hidup pada waktu tunggu banjir bandang 1 bulan mempunyai probabilitas yang lebih besar daripada estimasi titik bagi fungsi tahan hidup waktu tunggu banjir bandang 3 bulan. Semakin lama waktu tunggu banjir bandang maka probabilitas fungsi tahan hidupnya semakin kecil.

Perbandingan grafik daerah keyakinan (confidence bands) untuk selang fungsi tahan hidup banjir bandang besar data berdistribusi eksponensial satu parameter tersensor tipe-II pada tingkat kepercayaan 99 % dan 95 % sebagai berikut:





Gambar 1. Daerah Keyakinan 95% dan 99% untuk selang fungsi tahan hidup



Gambar 2. Perbandingan Selang 95% dan 99% untuk selang fungsi tahan hidup

5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan pembahasan diperoleh kesimpulan bahwa nilai fungsi tahan hidup semakin lama waktu tunggu banjir bandang maka probabilitas fungsi tahan hidup $S(t)$ semakin kecil. Berdasarkan grafik daerah keyakinan (confidence bands) fungsi tahan hidup waktu tunggu banjir bandang besar di Indonesia bergerak menurun secara eksponensial, demikian juga nilai dari batas atas dan batas bawah fungsi tahan hidup dari masing-masing data bergerak menurun mengikuti pola eksponensial. Dengan tingkat keyakinan 95% lebar selang waktu

tunggu banjir bandang lebih kecil dibandingkan dengan tingkat keyakinan 99%.

6. UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih untuk Prof. Akhmad Fauzy, S.Si., M.Si., Ph.D. selaku dosen pembimbing. Serta keluarga penulis Amallya, Adis, dan Yusran yang selalu memberikan semangat serta doanya pihak LPPM UMS yang telah menjadi mediator dan memberikan ruang untuk mempublish hasil penelitian.

7. DAFTAR PUSTAKA

- Adi, S. Karakteristik Banjir Bandang di Indonesia. *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia* Vol. 15, No. 1, April 2013 Hlm 42-51.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2012). *Indeks Rawan Indonesia*. Jakarta: BNPB.
- Bakornas. (2005). *Panduan pengenalan karakteristik bencana dan upaya mitigasinya di Indonesia*. Set. Bakornas PBP.
- Birolini, A. (2004). *Reliability engineering: theory and practice* (4th ed). Berlin: Springer-Verlag.
- BNPB. (2014). *Data kebencanaan*. www.bnpb.go.id. Diakses 8 Januari 2015.
- Bury, K. (1999). *Statistical distributions in engineering*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Cox, D. R. & Oakes, D. (1984). *Analysis of survival data*. London: Chapman & Hall.
- Collett, D. (2003). *Modeling survival data in medical research* (2nd ed.). London: Chapman & Hall.
- [Ditjen RLPS] Direktorat Jenderal Rehabilitasi Lahan dan Perhutanan Sosial Departemen Kehutanan. 2009b. Peraturan nomor P.04/V-Set/2009 tentang Pedoman Monitoring dan Evaluasi DAS. Jakarta.
- Hougaard, P. (2000). *Analysis of multivariate survival data (statistics for biology and health)*. New York: Springer-Verlag.
- Ireson, W. G. (1996). *Handbook of reliability engineering and management* (2nd ed.). New York: McGraw Hill.
- Kemdikbud. (2013). <http://belajar.kemdiknas.go.id/index3.php?display=view&mod=script&cmd=Bahan%20Belajar/Pengetahuan%20Populer/view&id=49&uniq=342>
- Klein, J. P. & Moeschberger, M. L. (2003). *Techniques for censored and truncated data (statistics for biology and health)* 2nd ed. New York: Springer-Verlag.
- Kleinbaum, D. G. & Klein, J. P. (2005). *Survival analysis: A self-learning text (statistics in the health sciences)* 2nd ed. New York: Springer-Verlag.
- Larsen, M.C., Conde, M.T.V., Clark, R.A., 2001, *Landslide Hazards Associated with Flash-Floods, with Examples from the December, 1999 Disaster in Venezuela, Coping with Flash floods*, Kluwer Academic Publisher, p. 259 – 275.
- Lawless, J. F. (2003). *Statistical models and methods for lifetime data*(2nd ed.). New York: John Wiley & Sons.
- Ligal, S. 2008. Pendekatan Pencegahan dan Penanggulangan Banjir. *Jurnal Dinamika Teknik Sipil* Volume 8, No. 2 Juli 2008.
- Pham, H. (2003). *Handbook of reliability engineering*. London: Springer-Verlag.
- Syamhudi, 2012, *Fenomena Banjir Bandang di Indonesia Terus Meningkat*, <http://mediaprofesi.com/sosialita/1561>
- Therneau, T. M. & Grambsch, P. (2000). *Modeling survival data: extending the Cox model (statistics for biology and health)*. New York: Springer-Verlag.
- Ushakov, I. A. (1994). *Handbook of reliability engineering*. Toronto: John Wiley & Sons.
- Wolstenholme, L. C. (1999). *Reliability modeling: a statistical approach*. Florida: Chapman & Hall.
- <http://ugm.ac.id/index.php?page=rilis&artikel=3150>, Banjir Bandang Wasior Bagian Dari Proses Evolusi Bentang Alam Papua Barat
- YPM (Yayasan Pengabdian Masyarakat) dan JICA (Japan International Corporation Agency), 2011a, *Manual Evakuasi Darurat Bencana Banjir Bandang*, Tim Kajian Yayasan Pengabdian Masyarakat, Jember.