

PEMANFAATAN DATA *LIGHTNING* DALAM MEMBANGUN SIMULASI PERINGATAN DINI CUACA EKSTRIM DI BANDUNG, JAWA BARAT

Deni Septiadi^{1,2}, Safwan Hadi³, Bayong Tjasyono⁴

¹ Program Doktor Sains Kebumihan, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, ITB

² Badan Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika, Stage of Kelas I Bandung

³ Departemen Oseanografi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, ITB

⁴ Departemen Meteorologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, ITB

Telp/HP : 08151869384

Email : zeptiadi@yahoo.co.id

Abstract

This paper examine the lightning parameters which can be used as an indicator and predictor of extreme weather forecasting. Many country use a radar device that is able to track the extreme conditions of the local atmosphere. This tool can provide information on cloud-forming water grains through a system of echo. However, not all meteorological stations owned Meteorological Climatology and Geophysics Agency (BMKG) covered by radar, therefore, needs an alternative form of methods or parameters that were used as predictors of such lightning. Study of lightning activity is initiated by physical processes in clouds are represented in three stages i.e cumulus, mature and dissipation. Cumulus stage is marked by a low frequency of CG (Cloud Ground), in line with the dominant process of convection by the updraft. In an increasingly unstable atmospheric conditions with the updraft and downdraft tends balanced, the collision process in the cloud more powerful that would trigger an increase CG quickly as the representation of clouds is ripe (mature) and not infrequently accompanied by a torrential rain. The cloud electrification process reaches the saturated when the temperature air parcel has reached the level of the ambient temperature, marked by weakening updraft and dominance downdraft resulting in reduction in the quantity CG events. Understanding of the peculiarities of lightning activity will provide important information in the structure, the growth of clouds, atmospheric labilitas or as a warning extreme weather.

Keywords : Lightning, cumulus, mature, dissipation, simulation.

Abstrak

Tulisan ini mengkaji parameter kilat yang dapat digunakan sebagai indikator dan prediktor dalam melakukan analisis prakiraan cuaca ekstrim. Sebelumnya banyak negara memanfaatkan piranti radar dalam melacak kondisi ekstrim atmosfer lokal. Piranti ini dapat memberikan informasi mengenai butir air pembentuk awan melalui sistem gema (echo). Namun demikian di Indonesia tidak semua stasiun meteorologi milik BMKG memiliki radar, sehingga diperlukan alternatif lain seperti memanfaatkan data kilat/petir. Kajian aktivitas kilat diawali oleh proses cumulus ditandai dengan frekuensi CG (Cloud-Ground) yang minim, sejalan dengan dominasi proses konveksi oleh updraft. Dalam kondisi atmosfer yang semakin labil dengan updraft dan downdraft cenderung berimbang, proses tumbukan dalam awan semakin kuat sehingga akan memicu terjadinya peningkatan CG secara cepat sebagai representasi awan yang matang (mature) dan tak jarang disertai dengan curahan yang lebat/sangat lebat. Proses elektrifikasi lingkungan yang ditandai melemahnya updraft dan dominasi downdraft sehingga terjadi penurunan kuantitas kejadian CG. Pemahaman akan keganjilan aktivitas kilat akan memberikan informasi penting dalam struktur, pertumbuhan awan, labilitas atmosfer ataupun sebagai *warning* (peringatan) cuaca ekstrim.

Kata kunci : Lightning, cumulus, matur, dissipasi, simulasi.

1. PENDAHULUAN

Selama ini cuaca yang ramah membantu menopang hidup kita, sementara itu pada sisi yang lain cuaca dapat mematikan dan membinasakan dan dikenal sebagai cuaca ekstrim (*extreme weather*). Cuaca ekstrim meliputi peristiwa ekstrim seperti tornado, angin ribut, kondisi sangat dingin/panas, es dan badai musim dingin, hujan es batu (*hail*) dan badai guruh (*thunderstorms*). Kondisi cuaca ekstrim dapat juga memicu bahaya alam (*natural hazards*) seperti : banjir, kekeringan, gelombang badai (*storm surges*), lumpur dan longsoran es, pergerakan laut, danau es dan gelombang laut (Mcbean, 2004).

Ketika banyak negara-negara mengembangkan jaringan radar untuk melacak badai dan hujan, mayoritas dunia tidak tercakup oleh sistem pengamatan tersebut. Satelit hanya dapat mengestimasi curah hujan global, sementara satelit geostasioner menyediakan resolusi spasial yang kasar, begitu juga satelit orbitari tidak bisa melacak badai (Price, 2008).

Cuaca ekstrim berkaitan erat dan terindikasi dengan karakteristik keganjilan aktivitas kilat, baik itu oleh frekuensi kilat, polaritas kilat, keragaman, arus puncak atau pola-pola secara spasial. Deteksi kilat jangka panjang dapat membantu memperbaiki sistem peringatan dini (*early warning*) pada wilayah paling berbahaya dalam siklon tropis sebelum menyentuh daratan (Dotzek dan Price, 2008). Kilat merupakan suatu aspek badai yang dapat dimonitor terus-menerus, dan dari jarak yang jauh (Price, 2008).

Dalam menangani kejadian cuaca ekstrim seperti hujan lebat, hujan es maupun puting beliung, *forecaster* (prakirawan) seringkali dihadapkan pada kesulitan mengidentifikasi tanda-tanda awal fisis, baik secara kualitatif maupun kuantitatif yang dapat menerangkan arah perkembangan dinamika atmosfer. Pemanfaatan model dinamis cuaca seringkali terkendala akan resolusi yang rendah dan kasar meskipun dapat dilakukan proses *downscaling* (pengecilan skala). Namun demikian proses tersebut kurang menggambarkan kondisi riil setempat sehingga analisa cuaca sebagai acuan peringatan dini tidak berjalan optimal.

Banyak negara memanfaatkan piranti radar yang mampu melacak kondisi ekstrim atmosfer lokal dengan radius sekitar 80 km dari posisi radar. Piranti ini dapat memberikan informasi mengenai butir air pembentuk awan melalui sistem gema (*echo*), sebagaimana pada radar Doppler. Namun demikian di Indonesia tidak semua stasiun meteorologi milik BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika) memiliki radar, sehingga diperlukan alternatif lain seperti memanfaatkan data kilat/petir sebagai parameter *prediktor*.

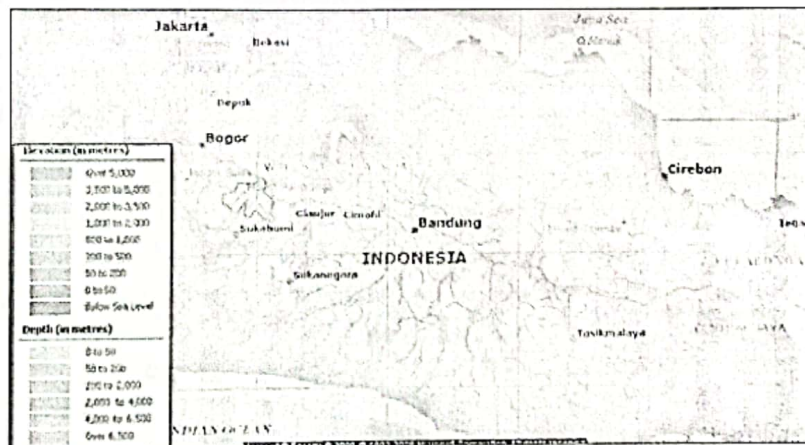
Kajian aktivitas kilat diawali oleh mekanisme pemisahan muatan dan proses fisis dalam awan yang terepresentasi dalam tiga taraf pertumbuhan. Proses pemisahan muatan listrik atmosfer dapat dijelaskan dengan *Teori Termoelektrik* dan *Teori Induksi* atau *Polarisasi* sebagaimana dalam Bayong (2008); Zoro (1999); Houghton (1985); Wallace dan Hobbs (1977). Sementara itu, jika dilihat dari analisis pertumbuhan awan dalam tiga taraf pertumbuhan yaitu *cumulus*, *mature* dan *dissipasi* sebagaimana dalam Bayong (2006b); Zoro (1999); Byers dan Braham (1949), terjadi proses *updraft* (aliran udara ke atas) dan *downdraft* (aliran udara ke bawah) dimana keganjilan aktivitas kilat terepresentasi dalam masing-masing taraf tersebut.

Penelitian aktivitas kelistrikan atmosfer di Indonesia sebagaimana dalam Zoro (1999), menunjukkan adanya korelasi antara jumlah sambaran petir dan curah hujan, juga disebutkan bahwa awan-awan jenis *Cumulonimbus* (Cb) dan *Cumulus congestus* (Cc) merupakan awan penghasil petir, terkecuali awan jenis *Stratiform* namun menghasilkan hujan.

Kajian keganjilan aktivitas kilat/petir masih menjadi hal baru terutama di daerah tropis khususnya Indonesia. Pemahaman akan keganjilan aktivitas kilat/petir akan memberikan informasi penting dalam struktur dan pertumbuhan awan serta labilitas atmosfer ataupun sebagai *warning* (peringatan) cuaca ekstrim. Aplikasi Softcomputing berbasis *neural logic* sebagai upaya prediksi ke depan dengan memanfaatkan parameter kilat/petir sebagai *prediktor* diharapkan dapat mensimulasikan peringatan dini cuaca dengan akurasi yang lebih baik.

2. DATA DAN METODE

Data yang digunakan meliputi data kilat *real time* yang didapat dari "*lightning detector*" yang terdiri dari data *CG+* dan *CG-*; data curah hujan, suhu, kelembaban udara, dan tekanan udara yang dicatat dari *AWS* (Automatic Weather System). Data tambahan berupa data reanalisis *Outgoing Longwave Radiation* (OLR) yang didapat dari <http://www.cdc.noaa.gov/> untuk melihat tingkat konvektivitas daerah penelitian. Hal ini diperlukan untuk memperkuat analisis secara fisis yang dilakukan. Studi ini dibatasi pada daerah Bandung yang terletak pada 6.53° LS dan 107.36° BT (Gambar 2.1) pada tanggal 13 Mei 2010.



Gambar 2.1. Lokasi penelitian

Metode kajian meliputi *analisis time series*; *analisis multivariabel* dan *analisis soft computing*. *Analisis time series* diperlukan sebagai analisis awal dalam melihat struktur data, mengekstrak nilai-nilai statistika yang berarti dan karakteristik lain yang terkandung dalam data. Analisis ini juga melibatkan teknik filtering sebagai antisipasi banyaknya noise (gangguan) pada data sehingga tidak memperlihatkan trend sesungguhnya dari data. *Analisis multivariabel* menguji sejauhmana korelasi antar parameter secara kuantitatif. Dalam riset ini deret waktu yang akan dianalisis meliputi : parameter petir/kilat (*CG-*, *CG+*), curah hujan, suhu, kelembaban dan tekanan. Aplikasi yang dipakai adalah teknik curve fitting menggunakan persamaan model *Eksponensial*, *Fourier*, *Gaussian*, *polynomial*, *Interpolant*, *Power*, *Rational*, *Smoothing Spline*, *Sum of Sin Functions*, *Weibul*. Berikut merupakan persamaan model Polynomial :

$$f(x) = p_1 * x^4 + p_2 * x^3 + p_3 * x^2 + p_4 * x + p_5 + \dots \dots \dots (2.1)$$

Sementara itu persamaan model Fourier :

$$f(x) = a_0 + a_1 * \cos(x * w) + b_1 * \sin(x * w) + a_2 * \cos(2 * x * w) + b_2 * \sin(2 * x * w) + \dots (2.2)$$

Persamaan model Gaussian :

$$f(x) = a_1 \cdot \exp(-((x-b_1)/c_1)^2) + a_2 \cdot \exp(-((x-b_2)/c_2)^2) + a_3 \cdot \exp(-((x-b_3)/c_3)^2) + \dots \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

p_1, p_2, p_3, \dots dst = konstanta

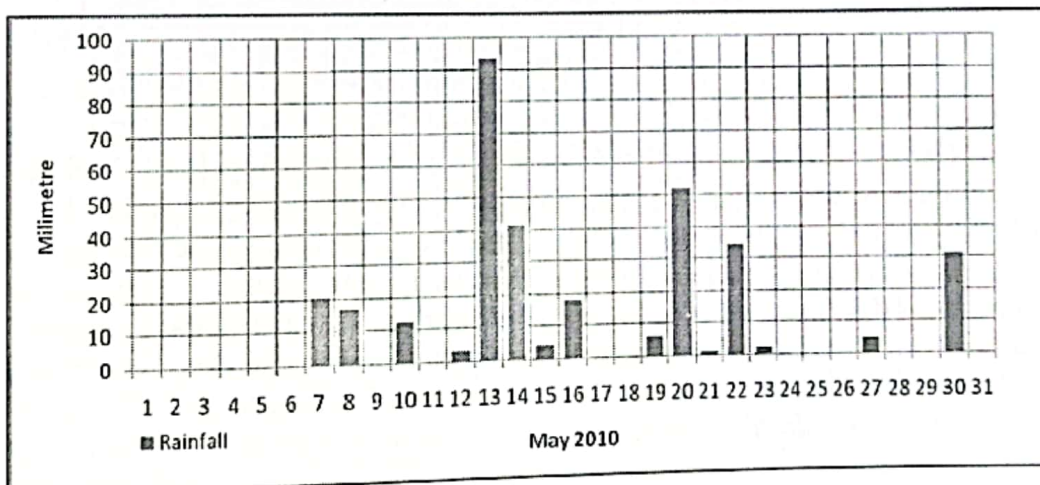
a_0, a_1, a_2, \dots dst = konstanta

a_1, a_2, a_3, \dots dst = konstanta

Selanjutnya *analisis soft computing* dilakukan untuk membuat simulasi prakiraan. ANFIS merupakan suatu teknik optimasi yang menggabungkan konsep *neural-network* dengan *fuzzy logic*. *Neural-network* mengenal pola-pola dan menyesuaikan pola terhadap perubahan lingkungan, sedangkan *fuzzy logic* menggabungkan pengetahuan manusia dan mencari kesimpulan untuk membuat suatu keputusan. ANFIS dapat diterapkan pada bidang pemodelan, pengambilan keputusan, pengolahan sinyal, dan kontrol (Jang, 1997), prediksi iklim permukaan laut (Rosyid, 2002), prediksi El Nino (Dupe, 1999) dan prediksi curah hujan di wilayah Indonesia (Ruminta, 2001 dan Septiadi, 2008). Dibidang geofisika padat ANFIS digunakan untuk menganalisis dan memprediksi gempa. Berbagai kelebihan ANFIS lain diantaranya adalah memiliki konsep matematika sederhana.

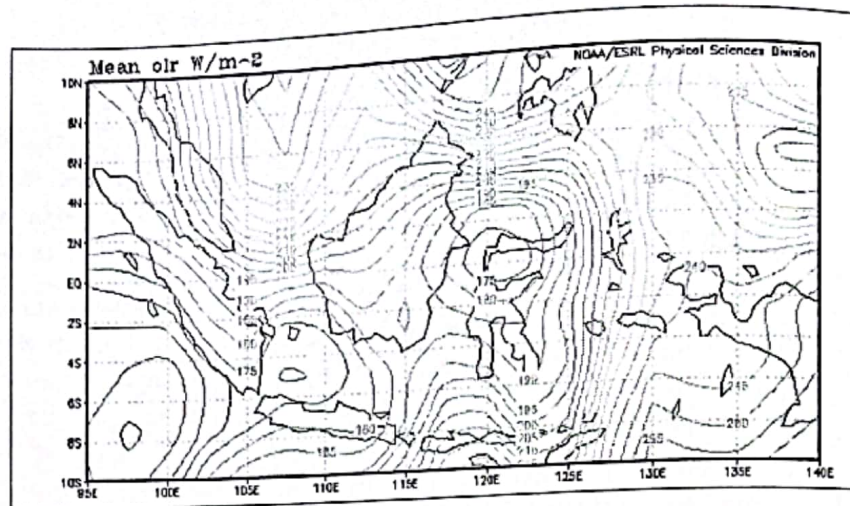
3. HASIL DAN DISKUSI

Visualisasi data set curah hujan bulan Mei 2010 memperlihatkan curah hujan terbesar terdapat pada tanggal 13 sebesar 93 mm sebagaimana Gambar 3.1. Karena itulah simulasi prediksi menggunakan data kilat sebagai prediktor dicobakan pada tanggal tersebut dengan mengambil kasus hujan lebat sebagai representasi curah hujan ekstrim.

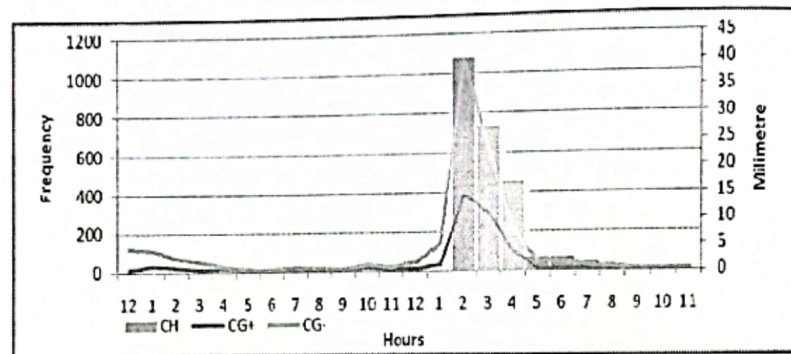


Gambar 3.1. Curah hujan selama bulan Mei 2010

Berdasarkan analisis *OLR* tanggal 13 Mei 2010 sebagaimana Gambar 3.2. menunjukkan konveksi yang aktif jika dilihat dari nilai *OLR* yang cenderung kecil sehingga mengindikasikan perawanan yang banyak. Sebagaimana penelitian Murakami dan Matsumoto (1994); Motell dan Weare (1987) yang menyatakan bahwa *OLR* berkorelasi negatif terhadap curah hujan.



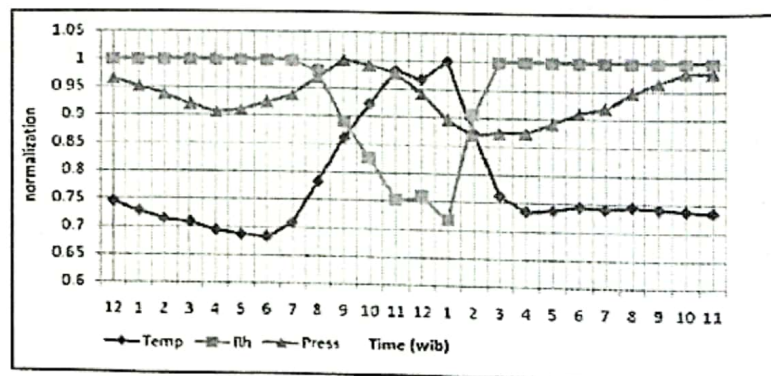
Gambar 3.2. Distribusi OLR 13 Mei 2010.



Gambar 3.3. Asosiasi kilat dan curah hujan tanggal 13 Mei 2010

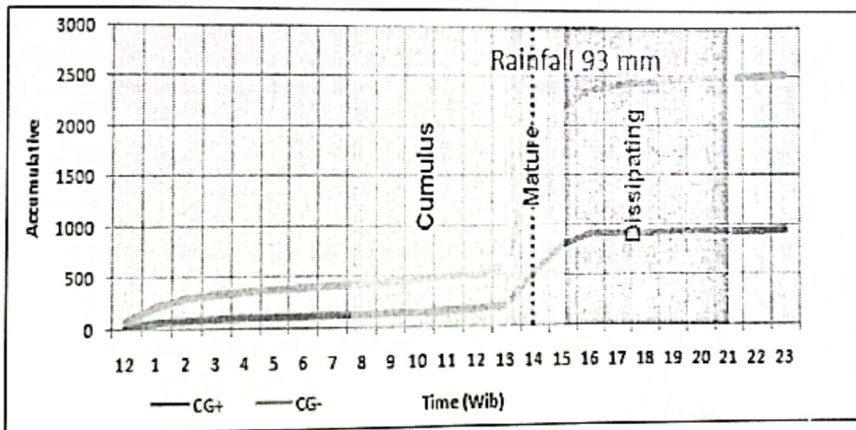
Gambar 3.3. memperlihatkan kejadian hujan tanggal 13 Mei 2010 yang berasosiasi dengan keganjilan aktivitas kilat. Curahan terjadi setelah insolasi optimum yaitu di atas jam 12.00 Wib, dengan curahan awal 40.5 mm dari total curah hujan 93 mm.

Berdasarkan analisis data observasi permukaan sinoptik jam-jaman menggunakan AWS (Gambar 3.4) terjadi peningkatan suhu permukaan secara signifikan pada jam 08.00 Wib, ini sejalan dengan peningkatan tekanan, dan berbanding terbalik dengan kelembaban udara. Pada jam 08.00 wib dimungkinkan telah terjadi pengangkatan masa udara ke atas (*updraft*) sebagai fase awal pertumbuhan awan (*cumulus*).



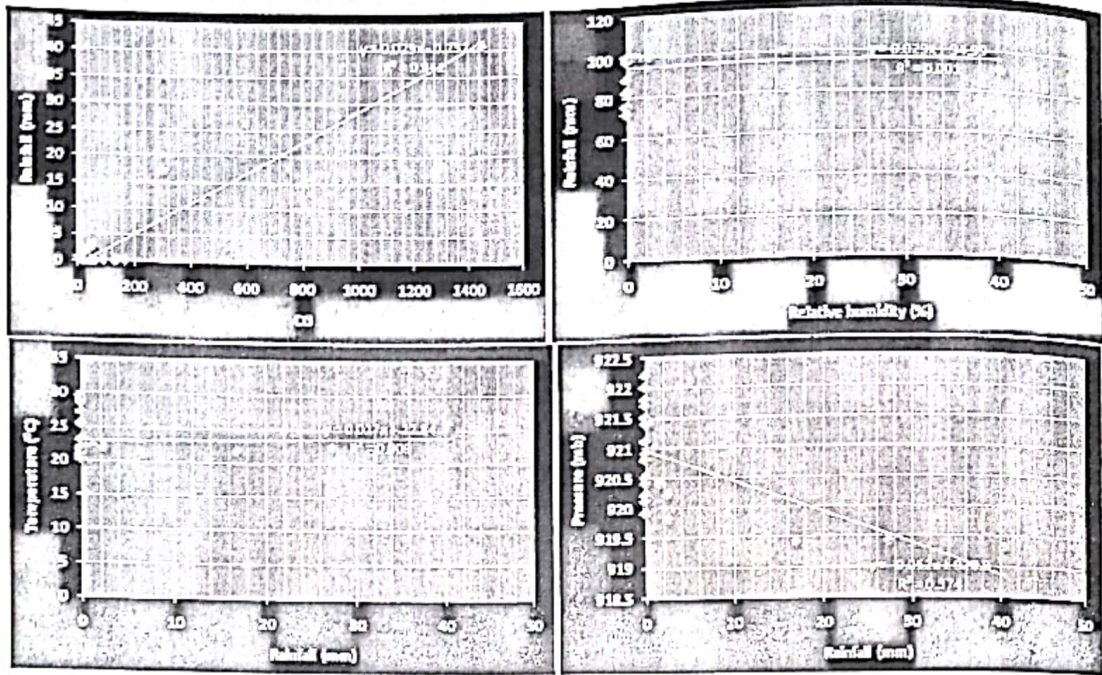
Gambar 3.4. Distribusi suhu udara, kelembaban dan tekanan tanggal 13 Mei 2010.

Kajian aktivitas kilat dapat dilihat dari analisis pertumbuhan awan dalam tiga taraf pertumbuhan yaitu *cumulus*, *mature* dan *dissipasi* sebagaimana dalam Bayong (2006b); Zoro (1999); Byers dan Braham (1949), terjadi proses *updraft* (aliran udara ke atas) dan *downdraft* (aliran udara ke bawah) dimana keganjilan aktivitas kilat terepresentasi dalam masing-masing taraf tersebut (Gambar 3.5). Taraf *cumulus* ditandai dengan frekuensi CG yang minim, sejalan dengan dominasi proses konveksi oleh *updraft*. Dalam kondisi tumbukan dalam awan semakin kuat sehingga akan memicu terjadinya peningkatan CG secara cepat sebagai representasi awan yang matang (*mature*) dan tak jarang disertai dengan curahan yang lebat/sangat lebat. Proses elektrifikasi awan mencapai kondisi jenuh ketika temperatur parsel udara telah mencapai level temperatur lingkungan yang ditandai melemahnya *updraft* dan dominasi *downdraft* sehingga terjadi penurunan kuantitas kejadian CG. Benturan antara kristal es yang naik karena arus udara ke atas dan batu es hujan yang turun akibat gravitasi akan menimbulkan elektrifikasi di dalam awan. Dalam benturan tersebut batu es yang relatif lebih panas mendapat muatan negatif dan kristal es yang relatif lebih dingin mendapat muatan positif. Kristal-kristal es yang lebih kecil akan mengambang ke atas dengan membawa muatan positif ($updraft > \text{kecepatan terminal jatuh}$). Sebaliknya batu es akan turun dengan membawa muatan negatif ($updraft < \text{kecepatan terminal jatuh}$). Dengan demikian bagian atas awan kovektif berisi kristal-kristal es kecil yang bermuatan positif dan bawah awan bermuatan negatif.



Gambar 3.5. Taraf pertumbuhan awan dilihat dari aktivitas kilat

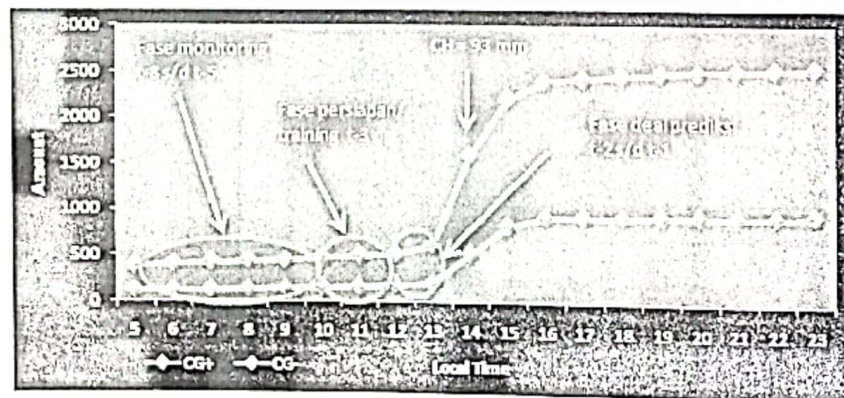
Untuk analisis lanjutan maka dilakukan uji korelasi menggunakan persamaan linier dan diperlihatkan dalam *scatter plot* (Gambar 3.6) untuk melihat sejauhmana parameter cuaca berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai *prediktor*.



Gambar 3.6. Scatter plot antara parameter prediktor terhadap prediktan (curah hujan); a. CG, b. Kelembaban, c. Temperatur udara, d. Tekanan udara.

Parameter kilat memiliki korelasi yang cukup besar ($r^2 = 0.9$) terhadap parameter prediktan yaitu curah hujan, jika dibandingkan dengan parameter lain seperti kelembaban ($r^2 = 0.001$); suhu ($r^2 = 0.009$); dan tekanan ($r^2 = 0.374$).

Dari analisis diatas dapat dimungkinkan untuk dilakukan proses prakiraan berdasarkan keganjilan aktivitas kilat/petir (sekitar 1 -3jam sebelumnya) dimulai pada fase cumulus. Berikut contoh pengambilan keputusan menggunakan data kilat tanggal 13 Mei 2010 sebagaimana pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7. Acuan kasus pengambilan keputusan warning tanggal 13 Mei 2010

Menggunakan persamaan Polynomial :

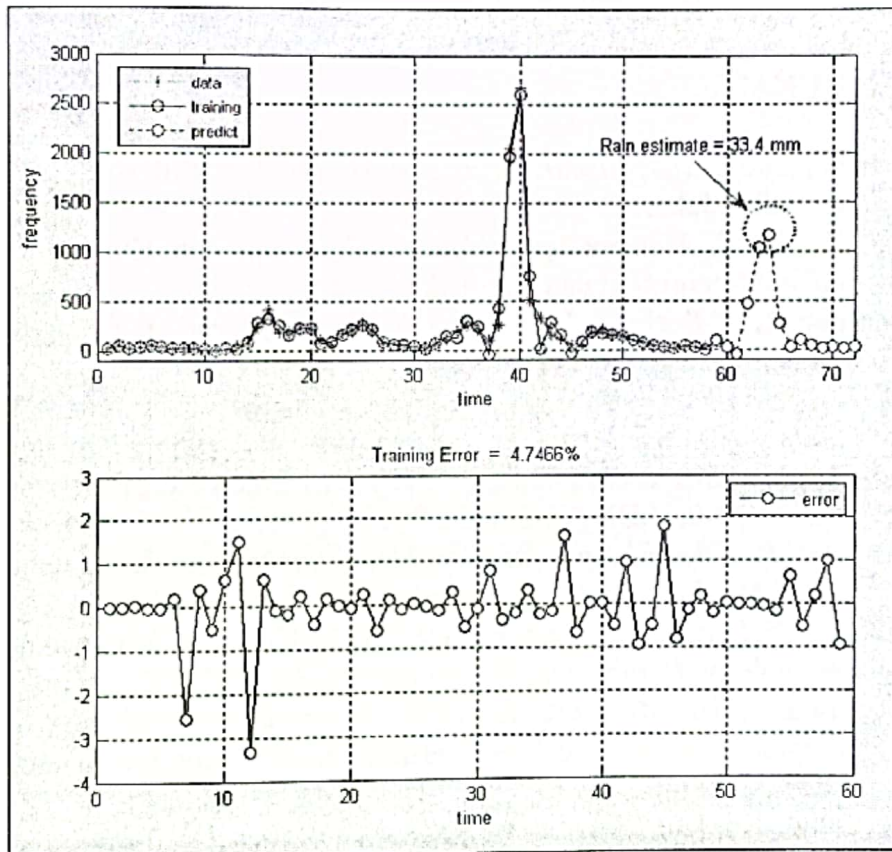
$$f(x) = a \cdot x + b \quad \dots\dots\dots(3.1)$$

dimana :
 $a = 0.029$
 $b = -0.732$

Didapat estimasi curah hujan (mm) dengan $f(x)$ merupakan fungsi dari data kilat (CG) sebagaimana tercantum dalam Tabel 3.1 dan Gambar 3.8. Kuatnya hubungan antara prediktor dan prediktan $r=0.9$ dengan RMSE: 0.4526.

Tabel 3.1. Estimasi Curah Hujan tanggal 13 Mei 2010

Waktu (WIB)	Prediksi (CG)	Curah hujan (mm)
9-10	969	2.1
10-11	22.9	0.1
11-12	46	2.1
12-1	471	12.9
1-2	1035.3	29.3
2-3	1175.8	33.4
3-4	270.1	7.1



Gambar 3.8. Hasil prediksi sebagai simulasi curah hujan ekstrim menggunakan *Soft Computing*.

Kajian simulasi yang melibatkan parameter kilat dan data dukung observasi sinoptik permukaan sebagai acuan memperlihatkan hasil *inisiasi* curah hujan dengan jumlah 33.4 mm. Sementara hasil real curah hujan tercatat di *AWS* adalah 40.5 mm.

4. KESIMPULAN

Curah hujan 93 mm yang terjadi tanggal 13 Mei 2010 digunakan sebagai *sample* representasi cuaca ekstrim untuk dibuat simulasinya. Parameter kilat (CG) berpotensi

untuk dimanfaatkan sebagai *prediktor* hal ini ditunjukkan hubungannya yang cukup kuat terhadap *prediktan* (curah hujan) dengan nilai korelasi $r^2 = 0.9$ dibandingkan parameter lain seperti kelembaban ($r^2 = 0.001$); suhu ($r^2 = 0.009$); dan tekanan ($r^2 = 0.374$). Kilat terepresentasi dalam tiga taraf pertumbuhan awan; *cumulus*, *mature*, *dissipating*. Taraf *cumulus*, taraf *mature* serta taraf *dissipasi* teridentifikasi dalam parameter kilat/petir. Taraf *cumulus* ditandai dengan dominasi *updraft* (minimal *CG*). Dalam kondisi yang labil Taraf *cumulus* akan meningkat sebagai representasi awan yang matang (*mature*) dengan intensitas *CG* akan meningkat sebagai representasi awan yang matang (*mature*) dengan kemungkinan curahan yang lebat/ekstrim. Hal ini dimungkinkan karena tumbukan yang intens akibat proses *updraft* dan *downdraft* yang cenderung berimbang dan sangat kuat pada taraf tersebut. Taraf *dissipasi* ditandai dengan dominasi *downdraft* yang menunjukkan konveksi yang semakin lemah.

Peringatan dini cuaca (*Weather Early Warning System*) dimulai dengan langkah monitoring, persiapan atau training serta simulasi prediksi. Proses ini dapat dilakukan antara 1-3 jam sebelum kejadian (dalam hal ini hujan). Hasil simulasi *inisiasi* awal curah hujan memperlihatkan hasil akurasi cukup baik yaitu 82% (*real* = 33.4 mm; *observasi* = 40.5 mm).

DAFTAR RUJUKAN

- Bayong, T.H.K., 2008, *Mikrofisika Awan dan Hujan*, Penerbit Badan Meteorologi dan Geofisika, Jakarta.
- Bayong, T.H.K., 2006, *Meteorologi Indonesia 2, Awan dan Hujan Monsun*, Penerbit Badan Meteorologi dan Geofisika, Jakarta.
- Byers, H. R., dan R. R. Braham, Jr., 1979, *The Thunderstorm*, Washington, D. C., Govt. Printing Office, Hal.287.
- Dotzek, N. dan Price, C., 2008, Lightning Characteristics Of Extreme Weather Events, dalam *Lightning: Principles, Instruments and Applications Review of Modern Lightning Research*, Publisher Springer Netherlands, DOI 10.1007/978-1-4020-9079-0, ISBN978-1-4020-9078-3.
- Dupe Z. L., 1999, *Prediksi El Nino-La Nina Menggunakan Logika Samar dan Harmonik*. Thesis Magister OSA, ITB, Bandung.
- Houghton, H.G., 1985, *Physical Meteorology*, The M.I.T Press, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, 361-407.
- Jang, J.S.R., Sun, C.T., Mizutani, E, 1997, *Neuro-Fuzzy and Soft Computing*, A computational Approach to Learning and Machine Intelligence, Prentice-Hall International, Inc. USA.
- Mcbean, G., 2004, Climate Change and Extreme Weather: A Basis for Action, *Natural Hazards* 31: 177–190, Academic Publishers. Printed in the Netherlands.
- Motell, C.E., and Weare, B.C, 1994, *Estimating Tropical Pacific Rainfall Using Digital Satellite Data*, J. Climate Appl.Meteor.,41, 604-613.
- Murakami, Takio and Matsumoto. J, 1994, *Summer Monsoon over the Asian Continent and Western North Pacific*, Journal of the Meteorological Society of Japan, Vol. 72, No. 5, pp. 719-745.
- Price, C., 2008, Lightning Sensors For Observing, Tracking and Nowcasting Severe Weather, *Sensors* 2008, 8, 157-170, Department of Geophysics and Planetary Sciences, Tel Aviv University, 69978 Israel.
- Rosyid (2002) : Penggunaan Model Anfis Untuk Prediksi Iklim di Permukaan Laut, *Tesis Magister*, Departemen Geofisika dan Meteorologi, Fakultas Ilmu Kebumihan dan Teknologi Mineral, Institut Teknologi Bandung.

- Ruminta, 2001, Pendugaan Curah Hujan di Wilayah Sumatera dengan Menggunakan ANFIS, *Tesis Magister*, Departemen Geofisika dan Meteorologi, Fakultas Ilmu Kebumihan dan Teknologi Mineral, Institut Teknologi Bandung.
- Septiadi, D., 2008, Aplikasi Soft Computing pada Prediksi Curah Hujan di Kalimantan, *Tesis Magister*, Program Studi Sains Kebumihan, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung.
- Wallace, J.W., dan P.V. Hobbs, 1997, *Atmospheric Science*, Academic press, New York, 202-205.
- Zoro, R., 1999, Karakteristik Petir dan Elemen Cuaca Daerah Tropis, Kasus di Gn. Tangkuban Perahu, *Disertasi*, Program Pasca Sarjana, Institut Teknologi Bandung.