

**KARAKTERISTIK PETIR TERKAIT CURAH HUJAN LEBAT
DI WILAYAH BANDUNG, JAWA BARAT**
*LIGHTNING CHARACTERISTICS RELATED TO THE HEAVY RAINFALL EVENT IN
BANDUNG, WEST OF JAVA*

Deni Septiadi¹, Safwan Hadi²

¹*Program Doktor Sains Kebumihan FITB-ITB, Jl. Ganesha No.10 Bandung 40132*

²*Prodi Oseanografi, FITB-ITB, Jl Ganesha 10, Bandung 40132*

Email: zeptiadi@yahoo.co.id

ABSTRAK

Tulisan ini mencoba untuk menganalisis aktivitas petir menggunakan Lightning Detector sepanjang tahun 2009 dengan radius sekitar 10 km sekitar Bandung. Tujuan analisis adalah untuk identifikasi potensi hubungan antara parameter petir yaitu Cloud-to-Ground (CG) dengan curah hujan lebat di atas 50 mm/hari. Hasil analisis menunjukkan hubungan yang kuat antara CG dan curah hujan lebat serta dominasi CG- (66.1%) sepanjang musim dengan puncak aktivitas pada MAM (43.6%). Pemahaman akan keganjilan aktivitas kilat akan memberikan informasi penting dalam struktur, pertumbuhan awan, labilitas atmosfer ataupun sebagai warning (peringatan) cuaca ekstrim.

Kata kunci : Lightning Detector, CG, curah hujan, MAM.

ABSTRACT

The objective of this paper is to analyze the lightning activities using Lightning Detector during the year 2009 with a radius about 10 km around Bandung. The purpose of this analysis is to identify potential relationships between lightning parameters i.e Cloud-to-Ground (CG) with torrential rainfall more than 50 mm/day. The results showed a strong relationships between CG and torrential rainfall and dominance of CG- (66.1%) throughout the season with a peak at MAM (43.6%). 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 Detector, CG, rainfall, MAM.

Naskah masuk : 24 Mei 2011

Naskah diterima : 13 September 2011

I. PENDAHULUAN

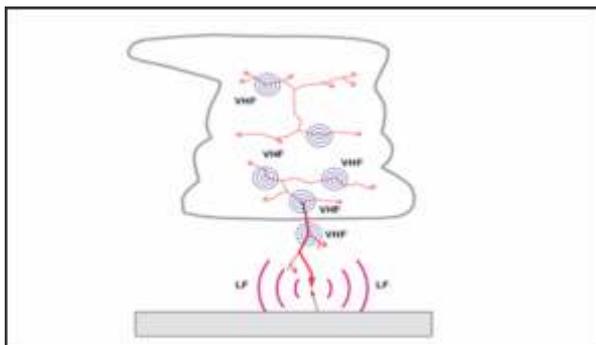
Petir merupakan gejala listrik alami dalam atmosfer bumi yang tidak dapat dicegah¹⁾ yang terjadi akibat lepasnya muatan listrik baik positif maupun negatif yang terdapat di dalam awan. Menurut Pabla¹⁾ dan Price²⁾ berdasarkan tempatnya, pelepasan muatan listrik dapat terjadi di dalam satu awan (Inter Cloud, IC), antara awan dengan awan (Cloud-to-Cloud, CC) ataupun dari

awan ke bumi (Cloud-to-Ground, CG).

Mayoritas petir di atmosfer berasosiasi dengan badai guruh konvektif^{3),4)}. Petir dapat dideteksi dari permukaan dan angkasa menggunakan sensor optik, gelombang radio elektrik ataupun gelombang magnetik yang dihasilkan oleh proses luah listrik dalam frekuensi tertentu³⁾, seperti *Low Frequency* (LF, 30-300 kHz), *Very Low Frequency* (VLF, 3-30 kHz), *Extremely Low*

Frequency (ELF, 30-300 Hz), dan *Very High Frequency* (VHF, 30-300 MHz) sebagaimana dalam Schumann dan Huntrieser⁵⁾.

Petir *CG* menghasilkan emisi yang kuat di dekat permukaan pada gelombang radio frekuensi rendah (LF); sementara itu *IC* mengemisikan sinyal gelombang radio frekuensi tinggi (VHF) dari dalam awan^{6),7)}. Hubungan antara curah hujan dan petir telah banyak ditunjukkan oleh para peneliti^{8),9),10),11)}. Buechler dan Goodman¹²⁾ membahas metode estimasi curah hujan konvektif yang dibangun dari observasi *lightning*. Bahkan telah terbangun fungsi empirik antara parameter petir dan curah hujan¹³⁾. Fenomena badai juga telah diobservasi dengan petir¹⁴⁾, ataupun tornado^{15),16)}. Septiadi¹⁷⁾ juga telah membuat simulasi untuk peringatan dini cuaca memanfaatkan observasi petir dengan menggunakan teknik *Curve Fitting* dan aplikasi *Softcomputing*.



Gambar 1. Skematika radiasi petir dalam awan¹⁸⁾.

Carey dan Rutledge¹⁹⁾ juga menemukan nilai *IC* dan *CG* yang sangat ekstrim ($IC/CG \sim 20-70$) dan sebagian besar adalah *CG+* ($> 74\%$) yaitu ketika badai menghasilkan hujan yang lebat dan tornado yang lemah. Hasil ini sedikit berbeda dengan Price dan Murphy²⁰⁾ serta Zoro²¹⁾ yang menyatakan bahwa *CG-* mendominasi ketika proses presipitasi terjadi.

Deteksi petir juga memiliki peranan yang sangat penting untuk melacak badai secara *real time*, *warning* (peringatan) dan *nowcasting*^{22, 23)}. Petir merupakan bagian yang tidak dapat dipisahkan dari proses dinamika atmosfer terutama mikrofisika awan, sehingga dapat dijadikan sebagai bagian karakteristik maupun identifikasi kondisi cuaca.

Pemahaman karakteristik kilat pada awan guruh akan memberikan gambaran struktur

maupun perkembangan awan sehingga dapat membantu dalam melakukan analisis cuaca ekstrim yang menyertai. Fenomena kelistrikan di atmosfer dalam hal ini petir dapat diamati dengan banyak cara diantaranya menggunakan *visible light* dan *audible thunder*.

Luah listrik merubah medan listrik statis dan mengemisikan radiasi elektromagnetik dalam banyak spektrum dari Hz sampai GHz. Menurut Steiger²⁴⁾, pemisahan muatan diperlukan awan untuk aktif secara kelistrikan (menghasilkan petir). Meskipun masih banyak pertanyaan terjadinya proses pemisahan sampai pada titik batas terjadinya loncatan listrik dari dalam awan²⁵⁾.

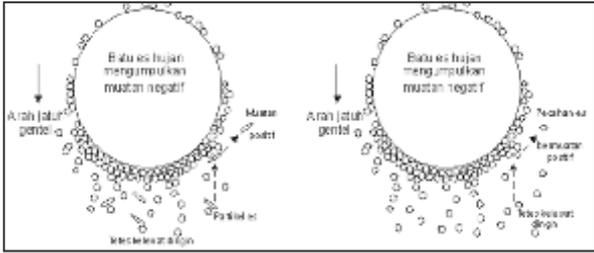
Menurut Bayong²⁶⁾ maupun Zoro²¹⁾ disebutkan bahwa proses pemisahan muatan listrik dapat dijelaskan dengan *Teori Termoelektrik* dan *Teori Induksi* atau *Polarisasi*. Sementara itu penelitian terkini mengemukakan tentang partikel kosmik yang menginduksi petir di awan^{27,28)}.

1.1 Teori Termoelektrik

Teori Termoelektrik menganalogikan sebuah batang es dimana salah satu ujungnya dipanasi sementara ujung yang lain dibiarkan dingin. Akibatnya ujung yang dipanasi akan bermuatan listrik negatif sementara ujung lainnya bermuatan positif. Ketika ditinjau hujan es batu (*hail*) yang jatuh dalam awan campuran dan mengandung tetes-tetes awan kelewat dingin serta kristal-kristal es.

Permukaan batu es akan lebih panas dari permukaan kristal es dikarenakan panas laten pembekuan yang dilepaskan sejumlah tetes awan kelewat dingin yang membentur batu es. 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* $>$ kecepatan terminal jatuh). Sebaliknya batu es akan turun dengan membawa muatan negatif (*updraft* $<$ kecepatan terminal jatuh). Dengan demikian bagian atas awan kovektif berisi kristal-kristal es kecil yang bermuatan positif dan bawah awan bermuatan negatif.



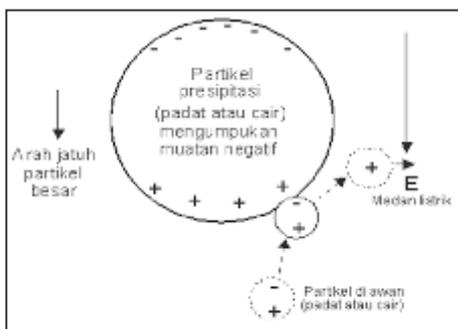
Gambar 2. Diagram skematik teori termoelektrik ²¹⁾.

1.2. Teori Induksi

Teori Induksi atau *Polarisasi* menggambarkan dengan adanya medan listrik cuaca cerah yang terarah ke bawah, maka partikel-partikel awan dan presipitasi (padat atau cair) akan dipolarisasi sehingga permukaan bagian atas partikel akan bermuatan negatif dan permukaan bagian bawah bermuatan positif.

Jika partikel awan bertumbukan dengan partikel presipitasi yang bergerak ke bawah, maka muatan negatif partikel awan dialihkan ke partikel presipitasi. Sehingga partikel presipitasi bermuatan negatif dan partikel awan bermuatan positif.

Karena partikel-partikel awan mengambang oleh arus udara ke atas (*updraft*) dan partikel-partikel presipitasi bergerak ke bawah oleh efek gravitasi maka terjadi pertumbuhan dua pusat muatan utama dalam awan guruh yaitu muatan positif di bagian atas awan dan muatan negatif pada bagian bawah awan.



Gambar 3. Diagram skematik teori Induksi ²¹⁾.

II. METODE PENELITIAN

2.1 Data

Penelitian dilakukan di wilayah Bandung yang terletak pada 6.55 LS dan 107.36 BT. Data yang digunakan meliputi data kilat *near real time* selama 1 tahun (2009) dengan resolusi 15 menit-an menggunakan "lightning detector" yang nantinya akan diekstrak menjadi parameter *CG*.

Data petir dibatasi dalam radius sekitar 10 km sekitar Bandung. Data sekunder lain yang digunakan adalah data curah hujan 10 menit-an dari *AWS (Automatic Weather System)*. Data hujan selama setahun di pilih dengan jumlah curah hujan > 50 mm/hari.



Gambar 4. Lokasi penelitian

2.2 Metode Analisis

Petir dideteksi menggunakan *Storm Tracker Lightning Detector* yang terdiri atas antena dan dihubungkan dengan *PCI card* yang terinstal dengan personal komputer. *Storm Tracker* mendeteksi sinyal radio frekuensi rendah (*low frequency*) yang dihasilkan oleh luahan kilat (10 kHz sampai 200 kHz) dan menggunakan *Direction Finding* antena untuk menentukan arah darimana kilat datang²⁹⁾.

Setiap antena memiliki radius jangkauan potensial dengan radius sekitar 540 km (~300 mil). Bersamaan dengan itu dilakukan analisis terhadap karakteristik frekuensi yang diemisikan oleh kilat. Efisiensi deteksi *LD* telah diestimasi dengan sejumlah pengukuran pada kejadian badai, dimana efisiensi masing-masing parameter petir untuk *CG* dan *IC* adalah $85\% \pm 6\%$ dan $20\% \pm 6\%$ ²⁹⁾.

Data diolah menggunakan *Lightning/2000* dengan ekstensi *.ldc*, selanjutnya dilakukan konversi ke dalam *Google Earth* untuk mendapatkan ekstensi *.kml*. Hasil konversi berikutnya dapat diterjemahkan oleh Excel 2007 untuk dibuat *database*. Proses data selanjutnya dilakukan menggunakan Matlab 2008.

Secara garis besar, penelitian dilakukan berdasarkan pembuatan *database*, analisis *time series* dan analisis regresi. 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 regresi menguji sejauh mana korelasi antar parameter secara kuantitatif.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sepanjang tahun 2009 diperoleh beberapa kejadian hujan > 50 mm/hari dengan jumlah sambaran (CG), sebagaimana dipaparkan dalam tabel 4.1. Sepanjang musim variabilitas luah listrik wilayah Bandung didominasi oleh CG. Puncak CG terjadi pada MAM (Maret-April-Mei) dengan total 43,6%, yang merupakan fase transisi pelemahan Monsun Asia.

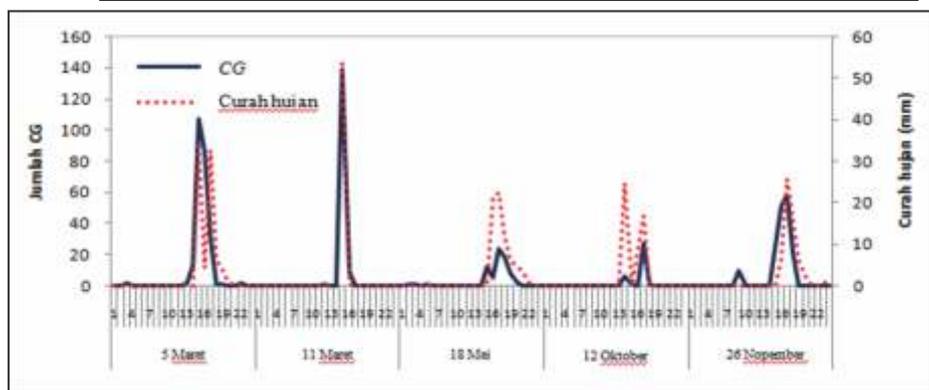
Sebagai daerah cekungan yang dikelilingi pengunungan dengan ketinggian bervariasi antara 600 meter hingga 1000 meter di atas permukaan laut, pola musonal yang biasanya terjadi pada DJF (Desember-Februari-Maret) tidak langsung bersinergi dengan peningkatan CG ataupun curah

hujan di wilayah Bandung dan sekitarnya. Pada MAM terjadi proses pemaksaan massa udara, kejenuhan massa udara lebih dipengaruhi efek orografi karena itu labilitas udara sangat terasa pada bulan-bulan tersebut.

Dari lima kejadian CG dan curah hujan sepanjang 2009 telah dibuat komposit selama 24 jam (*diurnal*) yang diperlihatkan dalam Gambar 4.1 di bawah ini. Pola sebaran CG diikuti oleh pola curah hujan > 50 mm/hari baik waktu maupun jumlah puncak aktivitas. Ini merupakan potensi positif pengembangan analisis petir terutama untuk analisis curah hujan lebat (>50 mm/hari) ataupun untuk analisis curah hujan ekstrim (>100 mm/hari). Komposit harian (24 jam) CG dan curah hujan diperlihatkan pada Gambar 4.2 di bawah (sebelah kiri). Sementara itu untuk melihat fase dewasa (*mature*) awan berdasarkan aktivitas CG juga diperlihatkan dalam Gambar 4.2 (sebelah kanan).

Tabel 1. Kejadian CG dan hujan > 50 mm/hari sepanjang tahun 2009

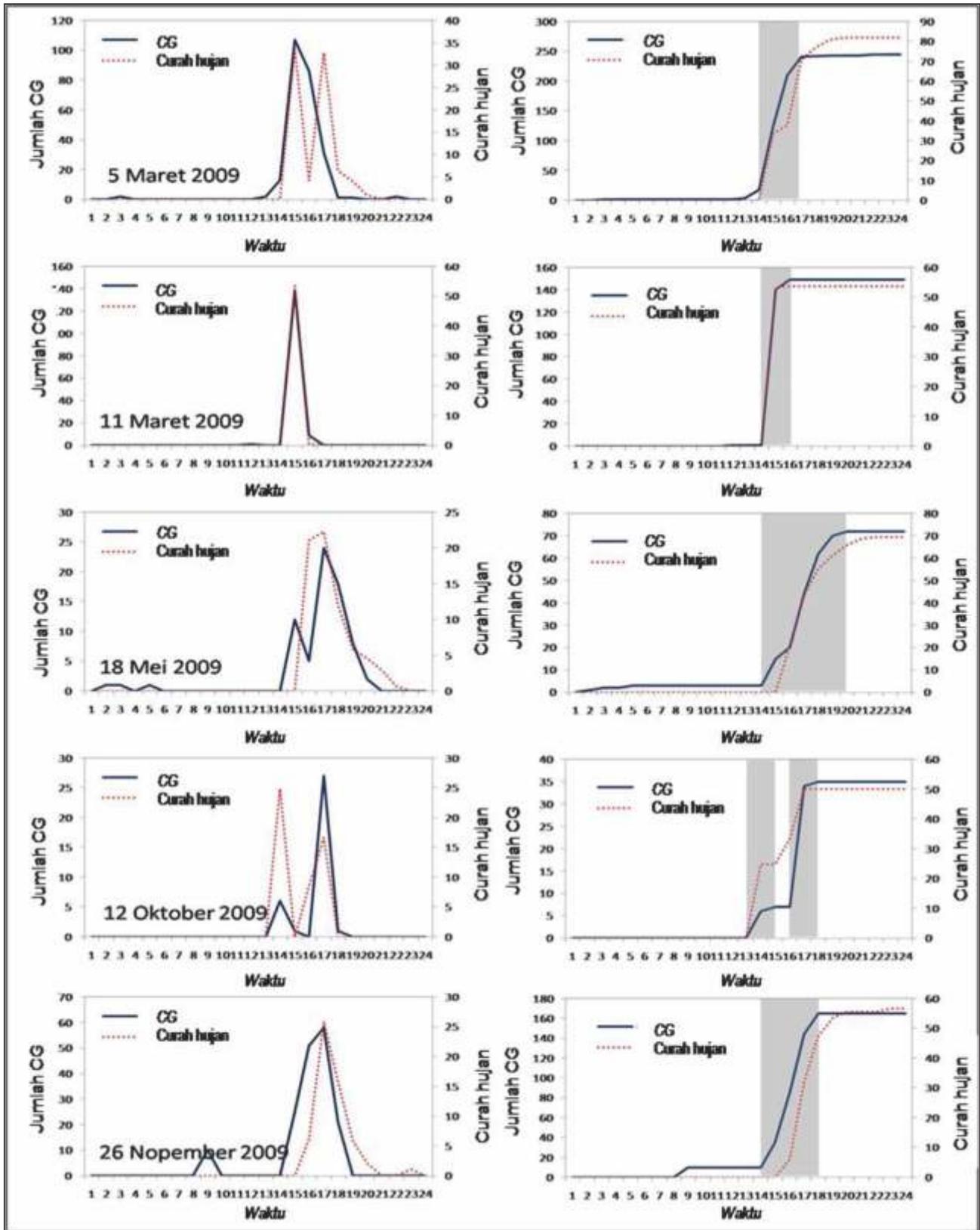
No.	Tanggal	Curah hujan (mm)	CG
1	5 Mar	82	214
2	11 Mar	53,7	131
3	18 Mei	69,5	72
4	12 Okt	50	35
5	26 Nop	56,7	165



Gambar 5. Komposit data CG dan curah hujan lebat (> 50 mm/hari).

Tabel 2. Prosentase kejadian CG (+/-) dan curah hujan

Parameter	Jenis	Musim			
		DJF	MAM	JJA	SON
CG (%)	+	8,8	16,3	1,3	7,5
	-	20,9	27,3	2,7	15,2
	total	29,6	43,6	4,0	22,8
Curah hujan (%)		24,7	43,5	4,8	27,0



Gambar 6. Variasi harian CG dan curah hujan > 50 mm/hari sepanjang tahun 2009. Gambar sebelah kiri menunjukkan kumulatif CG dan curah hujan. Gambar sebelah kanan memperlihatkan fase awan dewasa (*mature*) ditunjukkan oleh kotak gelap di sebelah kanan.

Pada tanggal 5 Maret 2009 peningkatan *CG* yang diikuti dengan peningkatan curah hujan secara signifikan terjadi mulai pukul 14.00 WIB yang merupakan awal fase dewasa awan. Pola hujan (garis titik-titik berwarna merah) memiliki dua puncak sebagai indikasi hujan disebabkan lebih dari satu sel awan. Fase dewasa ini berlangsung sekitar tiga jam (kotak gelap pada gambar sebelah kanan) dengan korelasi antara *CG* dan curah hujan $r=0,703$. Selanjutnya awan memasuki fase disipasi (lenyap) sekitar pukul 17.00 WIB.

Pada tanggal 11 Maret 2009 peningkatan *CG* secara signifikan terjadi mulai pukul 14.00 WIB, dengan satu puncak curah hujan dan panjang fase dewasa sekitar dua jam. Dengan durasi dewasa yang cukup singkat tersebut korelasi antara *CG* dan curah hujan $r=0,998$. Pada tanggal 18 Mei 2009 meski terdapat dua puncak *CG*, namun hanya satu sel awan yang terindikasi menghasilkan curahan. Awal fase dewasa juga terjadi pada pukul 14.00 WIB dengan panjang fase dewasa sekitar enam jam dan korelasi antara *CG* dan curah hujan $r=0,752$.

Sementara itu tanggal 12 Oktober 2009 terdapat dua puncak baik *CG* maupun curah hujan. Ini mengindikasikan curahan terjadi lebih dari satu sel awan. Awal fase dewasa terjadi pada pukul 13.00 WIB dengan panjang fase dewasa sekitar empat jam dan korelasi antara *CG* dan curah hujan $r=0,671$.

Tanggal 26 Oktober 2009 terjadi dua puncak *CG* namun hanya satu sel awan yang menghasilkan curahan. Fase dewasa dimulai pada pukul 14.00 WIB dengan durasi sekitar empat jam dan korelasi antara *CG* dan curah hujan $r=0,771$.

Proses konvektif yang cukup kuat ditambah sinergi faktor orografi di Bandung, puncak aktivitas petir lebih banyak terjadi setelah insolasi optimum yaitu di atas pukul 13.00 WIB.

Semakin tinggi labilitas udara maka semakin banyak kemungkinan jumlah sel awan yang terbentuk sehingga berdampak pada jumlah puncak aktivitas petir yang dapat terjadi yaitu lebih dari satu kali, sebagaimana pada kejadian 5 Maret 2009; 18 Mei 2009 dan 12 Oktober 2009.

Lamanya aktivitas petir yang mencirikan fase dewasa awan berkaitan dengan semakin banyaknya frekuensi jumlah sambaran petir. Semakin singkat durasi dewasa awan, maka potensi jumlah petir akan semakin meningkat. Berikut dalam tabel 4.3

disajikan secara lebih lengkap hasil analisis kejadian *CG* dan curah hujan yang sepanjang tahun 2009.

Tabel 3. Karakteristik *CG* dan curah hujan

No.	Kejadian	Jumlah puncak		Mature		Kor. (r)
		CG	CH	Awal*	Durasi**	
1	5-Mar	1	2	14.00	3	0,703
2	11-Mar	1	1	14.00	2	0,998
3	18-Mei	2	1	14.00	6	0,752
4	12-Okt	2	2	13.00	4	0,671
5	26-Nop	2	1	14.00	4	0,771

* WIB

** Dalam jam

V. KESIMPULAN

Lima kejadian curah hujan > 50 mm/hari sepanjang tahun 2009 dianalisis dengan kejadian petir. Analisis diurnal antara *CG* dan curah hujan memperlihatkan pola yang mirip baik waktu maupun jumlah puncak aktivitas.

Aktivitas puncak *CG* terjadi setelah terjadi insolasi optimum. Dua puncak aktivitas baik *CG* maupun curah hujan terjadi pada 5 Maret 2009; 18 Mei 2009 dan 12 Oktober 2009. Ini menunjukkan labilitas udara yang tinggi sehingga memungkinkan terjadinya pertumbuhan awan lebih dari satu sel.

Fase dewasa awan (*mature*) dicirikan oleh terjadinya peningkatan tajam frekuensi *CG* 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. Semakin singkat durasi dewasa awan, maka potensi jumlah petir akan semakin meningkat.

Korelasi terbesar antara *CG* dan curah hujan terjadi pada tanggal 11 Maret 2009 dengan $r = 0.998$ dengan durasi fase dewasa awan 2 jam.

Untuk *seasonal analysis*, sepanjang tahun 2009 luah listrik didominasi oleh petir negatif ($CG = 66.1\%$) dimana *MAM* merupakan puncak aktivitas *CG* (43,6%) yang merupakan fase transisi melemahnya Monsun Asia yang juga diikuti oleh puncak curah hujan (43.5%). Potensi pengembangan analisis petir untuk keperluan cuaca ekstrim cukup menjanjikan jika dilihat dari hasil analisis antara pola *CG* dan curah hujan.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- 1) Pabla, A.S. (1981). *Sistem Distribusi Daya Listrik*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- 2) Price, C. (2008). Lightning Sensors For Observing, Tracking and Nowcasting Severe Weather, *Sensors* 2008, 8, 157-170.
- 3) MacGorman, D. and W. Rust (1998). *The Electrical Nature of Storms*. Oxford University Press, New York.
- 4) Rakov, V. A. dan Uman, M. A. (2003). *Lightning, Physics and Effects*, Department of Electrical and Computer Engineering, University of Florida.
- 5) Schumann, U., & Huntrieser, H. (2007). The global lightning-induced nitrogen oxides source, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 3823-3907.
- 6) Suszcynsky, D. M., Kirkland, M. W., Jacobson, A. R., Franz, R. C., Knox, S. O., Guillen, J. L. L., & Green, J. L. (2000). FORTE observations of simultaneous VHF and optical emissions from lightning: Basic phenomenology, *J. Geophys. Res.*, 105, Hal. 2191-2202, doi:10.1029/1999JD900993.
- 7) Thomas, R. J., Krehbiel, P. R., Rison, W., Hamlin, T., Boccippio, D. J., Goodman, S. J., dan Christian, H. J. (2000). Comparison of ground-based 3-dimensional lightning mapping observations with satellite-based LIS observations in Oklahoma, *Geophys. Res. Lett.*, 27, 1703-1706, doi:10.1029/1999GL010845.
- 8) Uman, M. A. (1987). *The Lightning Discharge*. International Geophysics Series, Vol. 39, Academic Press.
- 9) Anderson, K. (2000). Predicting convective rainfall amounts from lightning flash density. In *20th Conference on Severe Local Storms*, September 11-15, Orlando, 166-168. American Meteorological Society, Boston.
- 10) Soriano, L. R., F. de Pablo, & E. G. Diez (2001). Relationship between convective precipitation and cloud-to-ground lightning in the Iberian peninsula. *Mon. Weather Rev.* 129, 2998-3003
- 11) Soula, S. & S. Chauzy (2001). Some aspects of the correlation between lightning and rain activities in thunderstorms. *Atmospheric Research*, 56, 355-373.
- 12) Buechler, D. E., & S. J. Goodman (1990). Echo size and asymmetry: Impact on NEXRAD storm identification. Preprint, *Space Science Laboratory Preprint Series*, No. 90-108, Huntsville, AL, NASA/George C. Marshall Space Flight Center, 1-28.
- 13) Takayabu, Y. N. (2006). Rain-yield per flash calculated from TRMM PR and LIS data and its relationship to the contribution of tall convective rain, *Geophysical Research Letters*, 33, 1-4. L18705, doi:10.1029/2006GL027531.
- 14) Hohl, R. dan Schiesser, H.H. (2001). Cloud-to-ground lightning activity in relation to the radar derived hail kinetic energy in Switzerland. *Atmos. Res.* 56, 375-396.
- 15) Buechler, D. E., K. T. Driscoll, S. J. Goodman, & H. J. Christian (2000). Lightning activity within a tornadic thunderstorm observed by the Optical Transient Detector (otd). *Geophys. Res. Lett.* 27, 2253-2256.
- 16) McCaul, E. W., D. Buechler, S. Hodanish, & S. J. Goodman (2002). The Almena, Kansas, tornadic storm of 3 June 1999: A long-lived supercell with very little cloud-to-ground lightning. *Mon. Weather Rev.* 130.
- 17) Septiadi, D., Safwan, H. & Bayong, T.H.K. (2010). The Simulation of Weather Early Warning System Using Lightning Data in Anticipating of Extreme Weather Event in Bandung, *Proceedings ISBN : 979-978-3456-68-5 at 5th Kentingan Physics and Its Applications, Environmentally Friendly Technology and Disaster*, 235-238.
- 18) Finke, U. dan Kreyer, O. (2002). Detect and Locate Lightning Events from Geostationary Satellite Observations, Report Part I, Review of existing lightning location systems, Institute für Meteorologie und Klimatologie, Universität Hannover.
- 19) Carey, L.A dan Rutledge, S.A. (1998). Electrical And Multiparameter Radar Observations Of A Severe Hailstorm. *J. Geophys. Res.*, 103 (D12), 13979-14000.
- 20) Price, C. dan Murphy, B. (2002). Lightning Activity During The 1999 Superior Derecho. *Geophys. Res. Lett.*, 29(23), 57.1-57.4.
- 21) Zoro, R. (1999). Karakteristik Petir dan Elemen Cuaca Daerah Tropis, Kasus di Gn. Tangkuban Perahu, Disertasi, Program

- Pasca Sarjana, Institut Teknologi Bandung.
- ²²⁾ Demetriades, N. W. S., dan R. L. Holle. (2005). Long-range lightning applications for hurricane intensity. Preprints, Conf. on Meteorological Applications of Lightning Data, San Diego, CA, Amer. Meteor. Soc., P2.8.
- ²³⁾ Squires, K., dan S. Businger (2008). The morphology of eyewall lightning outbreaks in two category 5 hurricanes. *Mon. Wea. Rev.*, 136, 1706-1726.
- ²⁴⁾ Steiger, S.M. (2001). Cloud-To-Ground Lightning Characteristics Over Houston, Texas. Thesis of Graduate Studies of Texas A&M University, Atmospheric Sciences.
- ²⁵⁾ Pruppacher, H. R., dan J. D. Klett (1997). *Microphysics of Clouds and Precipitation*. Atmospheric and Oceanographic Sciences Library, 18, Kluwer Academic Publishers, Hal. 954.
- ²⁶⁾ Bayong, T.H.K. (2008). *Mikrofisika Awan dan Hujan*, Jakarta: Penerbit Badan Meteorologi dan Geofisika.
- ²⁷⁾ Gurevich, A.V. dan Zybin, P. (2005). Runaway Breakdown and The Mysteries of Lightning, *Physics Today*. American institute of Physics, S-0031-9228-0505-010-6, 37-43.
- ²⁸⁾ Dwyer, J. R. (2005). The initiation of lightning by runaway air breakdown, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L20808, doi:10. 1029/2005GL023975.
- ²⁹⁾ Tinmaker, M. I. R & Ali, K. (2010). Association Of Lightning With Rainfall And Surface Air Temperature Over A Tropical Inland Station, Pune, India, 747-1 - 747-4.