
VARIABILITAS MUSIMAN CLOUD GROUND LIGHTNING DAN KAITANNYA DENGAN POLA HUJAN DI WILAYAH JAWA (SUDI KASUS BANDUNG DAN SEMARANG)

Deni Septiadi¹* Bayong Tjasyono²

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

²Departemen Meteorologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, ITB

*Email: zeptiadi@yahoo.co.id

Abstract

The objective of this paper is to describe the relationship between CG (Cloud Ground) lightning observation data to rainfall in Java region. CG lightning data obtained by using Lightning Detector that is able to track low frequency of radio signals from electrical processes lightning discharge and installed in Bandung Geophysics Station. For better resolution, data is limited within a radius of 10 km square of study area. The results showed a strong relationships between CG and rainfall ($r^2 = 0.9$) and the dominance of CG+ compared with CG- throughout the season with a peak in the MAM (March-April-May) for Bandung (40.6%) and DJF (December-January-February) for Semarang (48%). 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. Therefore, it is possible to utilize CG lightning as predictors for rainfall prediction.

Key words : CG, Lightning, MAM, DJF, predictor

1. Pendahuluan

Petir/kilat merupakan gejala listrik alami dalam atmosfer bumi yang tidak dapat dicegah (Pabla, 1981 dan Hidayat, 1991) yang terjadi akibat lepasnya muatan listrik yang terdapat di dalam awan baik positif maupun negatif. Menurut Pabla (1981) dan Price (2008), berdasarkan tempatnya, pelepasan muatan listrik dapat terjadi di dalam satu awan (Inter Cloud, IC), antara awan dengan awan ataupun dari awan ke bumi (Cloud Ground, CG).

Karena sifat fisiknya, petir dapat membahayakan objek dimuka bumi. Lidah petir akan bergerak ke bumi secara melompat (*stepped leader*) dan menyambar obyek yang terdekat dengan awan (Zoro, 1999). Fenomena petir sebagai peristiwa luahan (*discharge*) muatan elektrik melibatkan arus sangat besar dalam waktu sangat singkat, dengan jarak luahan antara antara satu pusat muatan ke pusat muatan lainnya ber-ordo kilometer (Goeritno, 2000).

Kajian aktivitas kilat diawali oleh mekanisme pemisahan muatan dan proses fisis dalam awan yang terepresentasi dalam tiga taraf pertumbuhan awan yaitu *cumulus*, *mature* dan *dissipasi* sebagaimana dalam Septiadi *et al.* (2010); Bayong dan Sriworo

(2006); 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.

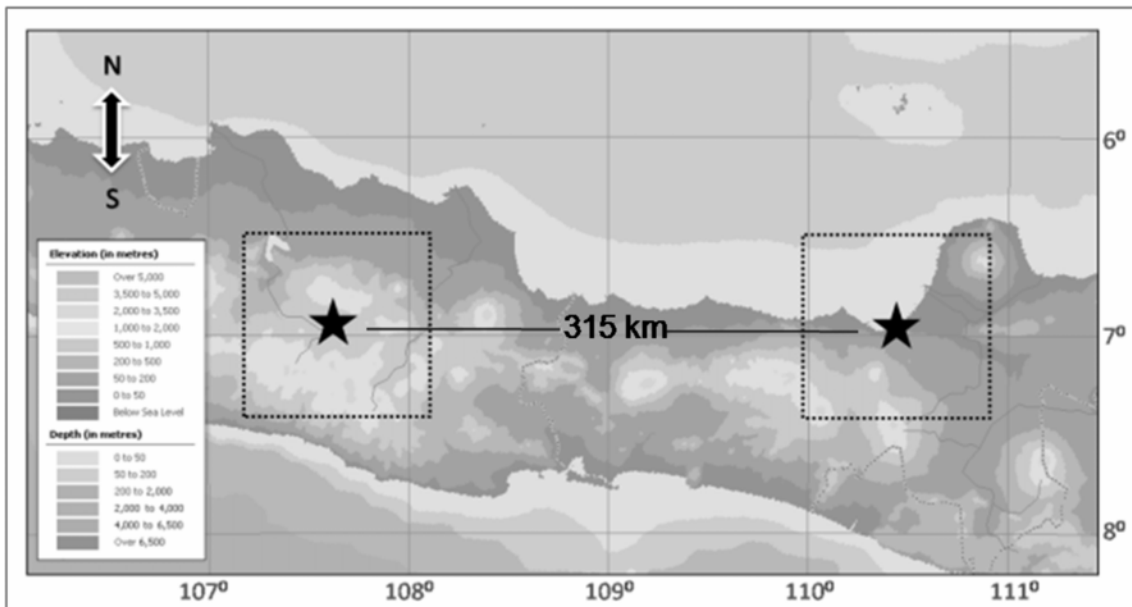
Proses pemisahan muatan listrik atmosfer dapat dijelaskan dengan *Teori Termoelektrik* dan *Teori Induksi* atau *Polarisasi* sebagaimana dalam Bayong (2008); Zoro (1999); Houghton (1985); Wallace dan Hobbs (1977). *Teori Termoelektrik* menganalogikan sebuah batang es dimana salah satu ujungnya dipanasi 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 kerystal-kerystal es. Permukaan batu es akan lebih panas dari permukaan kerystal es dikarenakan panas laten pembekuan yang dilepaskan sejumlah tetes awan kelewat dingin yang membentur batu es. Benturan antara kerystal 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 mengambil 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. *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 gravitasional maka terjadi pertumbuhan dua pusat muatan utama dalam awan guruh yaitu muatan positif di bagian atas awan dan muatan negatif pada bagian bawah awan.

Uman (1987); Marshall dan Radhakant (1978); Shackford (1960) telah mendokumentasikan dan

mengkaji kaitan antara kilat dengan curah hujan sebagaimana *dalam* Tapia dan Smith (1997), disebutkan juga tentang eksplorasi oleh Piepgrass dan Krider (1982); Buechler *et al.* (1990) tentang metode estimasi curah hujan konvektif yang coba dibangun dari observasi *lightning*.

Kajian keganjilan aktivitas kilat/petir masih menjadi hal baru terutama di daerah tropis khususnya Indonesia apalagi jika dikaitkan dengan benua maritim Indonesia dengan proses konveksinya yang sangat kuat dan kondisi lokal dengan topografi yang beragam. Kilat/petir merupakan bagian yang tidak dapat dipisahkan dari proses dinamika atmosfer terutama mikrofisika awan, sehingga dapat dijadikan sebagai bagian karakteristik maupun identifikasi dinamis kondisi cuaca. Identifikasi kejadian cuaca ekstrim di kawasan Indonesia sangat diperlukan mengingat dampak yang ditimbulkannya. 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. Pemahaman karakteristik kilat/petir pada awan guruh akan memberikan gambaran struktur maupun perkembangan awan sehingga dapat membantu dalam melakukan analisis kemungkinan cuaca ekstrim yang menyertai.



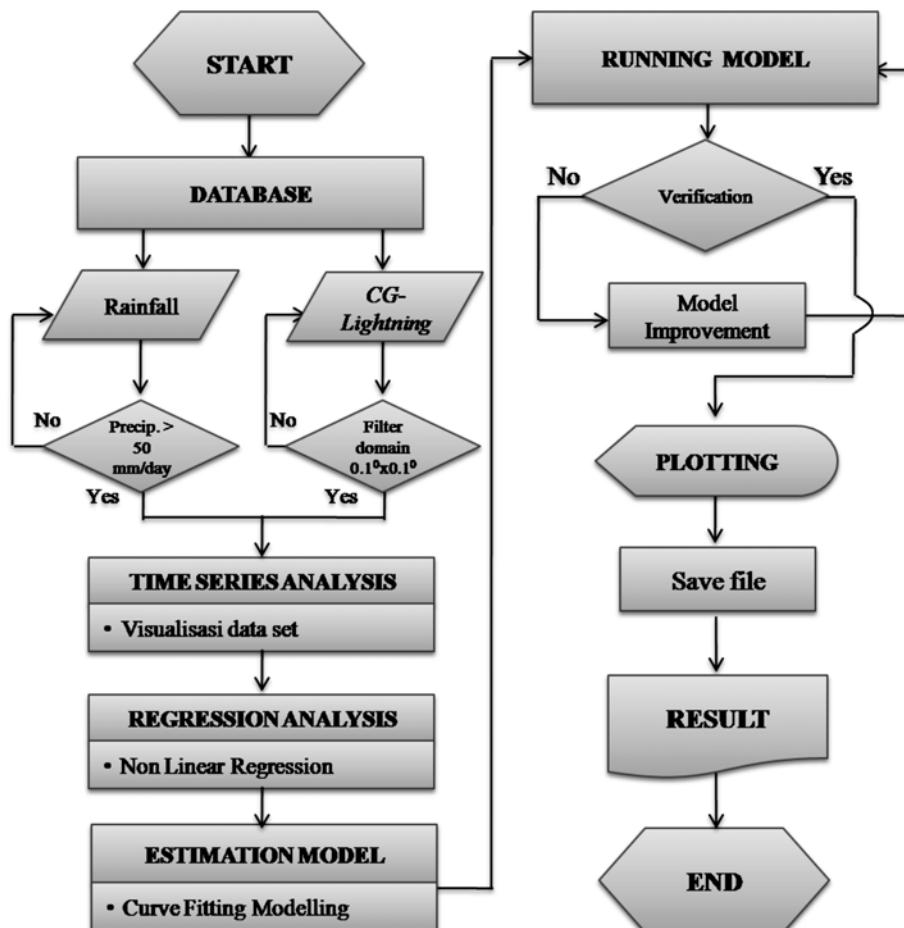
Gambar 1. Lokasi penelitian

2. Metodologi

Penelitian dilakukan di wilayah Bandung yang terletak pada 6.55 LS dan 107.36 BT serta Semarang yang terletak pada 6.58 LS dan 110.25 BT (Gambar 1). Data yang digunakan meliputi data kilat *near real time* selama 1 tahun (2009) dengan resolusi 15 menit menggunakan "Lightning Detector" dan terpasang di Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Stasiun Geofisika Bandung, yang nantinya akan diekstrak menjadi parameter CG. Data sekunder lain yang digunakan adalah data curah hujan 10 menit-an dari AWS (Automatic Weather System). Data kilat dibatasi dalam radius sekitar 10 km sekitar Bandung dan Semarang.

Lightning Detector dapat melacak sinyal radio frekuensi rendah dari proses elektrik kilat melalui antena lebih dari 600 km. Antena yang terpasang dalam arah Utara sebenarnya (true north) dapat

menentukan arah datangnya sinyal kilat dan melakukan kalkulasi jarak sinyal. Semakin kuat sinyal maka semakin dekat jarak kejadian kilat. 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 sejauhmana korelasi antar parameter secara kuantitatif. Gambaran alur kegiatan disajikan dalam Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Alur kegiatan penelitian

3. Hasil Dan Pembahasan

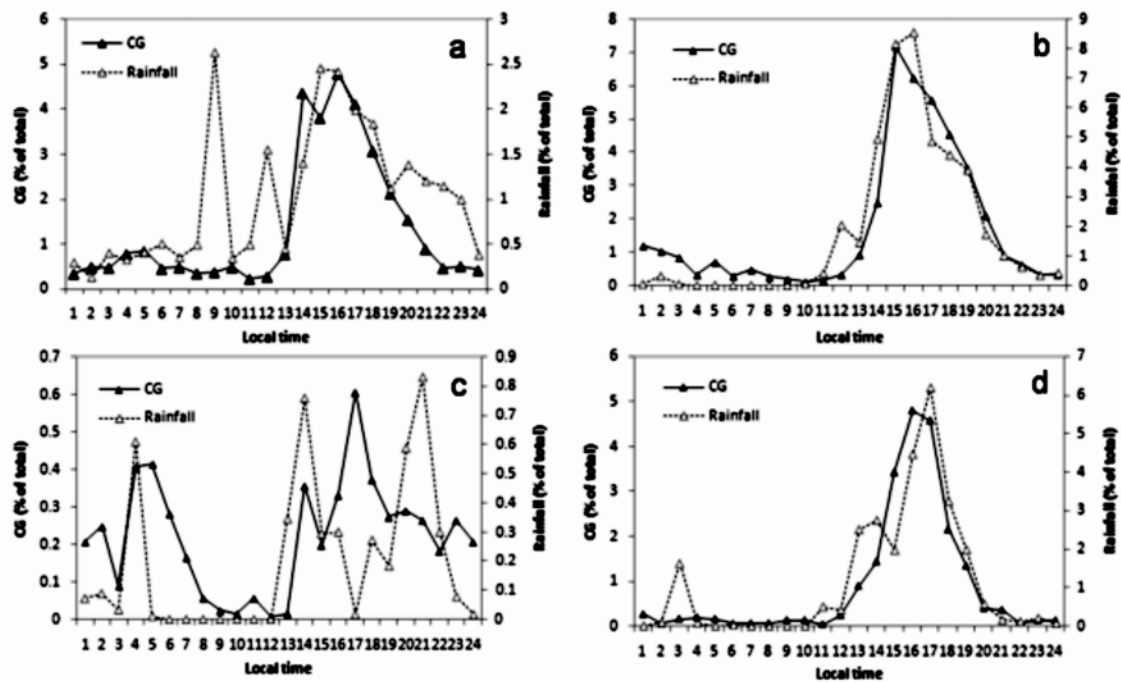
Pada Gambar 3 dan Gambar 4 masing-masing memperlihatkan gambaran komposit variasi musiman per-24 jam (sehari) *CG* dan curah hujan untuk wilayah Bandung dan Semarang yaitu : Desember-Januari-Februari (*DJF*), Maret-April-Mei (*MAM*), Juni-Juli-Agustus (*JJA*), dan September-Oktober-Nopember (*SON*).

Berdasarkan komposit variasi musiman *CG* dan curah hujan untuk wilayah Bandung Selama *DJF*, baik *CG* maupun curah hujan memperlihatkan pola yang hampir sama dengan puncak ($CG = \pm 5\%$; curah hujan = 2.7%) terjadi sekitar pukul 15.00-17.00 WIBA meskipun tidak jarang curahan terjadi sekitar pukul 09.00 dan 12.00 WIBA. *DJF* merupakan fase dimana terjadi penguatan Monsun Asia yang ditandai dengan posisi matahari yang berada di Selatan. Pada kondisi tersebut, Jawa berpotensi memperoleh massa udara lembab Asia. Meskipun demikian efek orografi mampu menimbulkan *time lag* antara curahan dan penguatan Monsun Asia, karena itu jumlah curahan yang terjadi pada *DJF* tidak terlalu besar (puncak curahan < 3% dari total curah hujan = 24.7%).

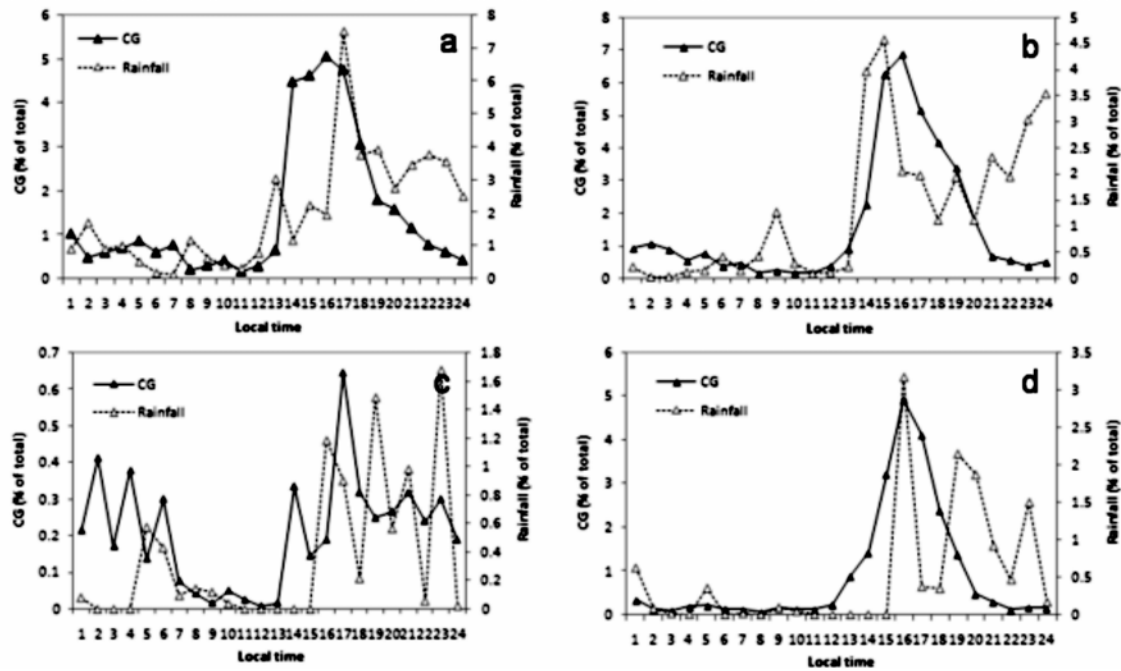
MAM merupakan fase transisi melemahnya Monsun Asia, matahari berada di sekitar equator. Labilitas wilayah Bandung dengan efek orografinya meningkat secara tajam sehingga memungkinkan terjadinya curahan yang besar (puncak curahan $\pm 9\%$ dari total curah hujan = 43.5%). Puncak *CG* dan curah hujan terjadi sekitar pukul 15.00-16.00 WIBA.

Pada *JJA* suplai massa udara lembab sangat minim, tidak ada aliran massa udara lembab ke atas akibat fluks radiasi yang minim. Meskipun terjadi pertumbuhan awan namun tidak sampai pada fase matang (mature). *CG* merupakan representasi awan yang matang, karena itu komposit deret waktu *CG* tidak menunjukkan adanya pola.

SON merupakan fase transisi menguatnya Monsun Asia dengan labilitas yang cukup kuat sehingga memungkinkan awan berada pada fase matang dengan kemungkinan terjadinya curahan yang besar (puncak curahan $\pm 7\%$ dari total curah hujan = 27.1%). Puncak *CG* dan curah hujan terjadi sekitar pukul 16.00-17.00 WIBA. Gambaran besaran kejadian *CG* dan curah hujan setiap musim untuk wilayah Bandung diperlihatkan dalam Tabel 1.



Gambar 3. Komposit variasi musiman *CG* dan curah hujan untuk wilayah Bandung, dimana: (a) *DJF*, (b) *MAM*, (c) *JJA*, dan (d) *SON*.



Gambar 4. Komposit variasi musiman CG dan curah hujan untuk wilayah Semarang, dimana: (a) DJF, (b) MAM, (c) JJA, dan (d) SON

Tabel 1. Prosentase kejadian CG (+/-) dan curah hujan

Parameter	Type	SEASON			
		DJF	MAM	JJA	SON
CG (%)	+	22.3	33.7	2.9	18.5
	-	10.4	6.9	2.5	2.8
	total	32.7	40.6	5.4	21.3
Rainfall (%)		24.7	43.5	4.8	27.1

Sementara itu komposit variasi musiman CG dan curah hujan untuk wilayah Semarang secara signifikan terjadi pada DJF. Selama DJF puncak CG ($\pm 9\%$ dari total 48%) terjadi pada pukul 16.00-17.00 WIBA. Sementara puncak curah hujan terjadi pada pukul 13.00 WIBA ($\pm 3.5\%$), pukul 18.00 WIBA ($\pm 6.5\%$), pukul 19.00 WIBA ($\pm 5\%$) dan pukul 22.00 WIBA ($\pm 3.8\%$). Hal ini terjadi karena Semarang sangat dipengaruhi oleh konveksi dari laut jika dilihat dari lokasi geografisnya. Selama terjadi gradien panas antara laut dan daratan maka proses pembentukan

awan potensial terjadi. Gambaran besaran kejadian CG dan curah hujan setiap musim untuk wilayah Semarang diperlihatkan dalam Tabel 2.

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

Parameter	Type	SEASON			
		DJF	MAM	JJA	SON
CG (%)	+	37.0	17.7	2.5	18.2
	-	11.0	7.2	2.6	3.0
	total	48.0	24.9	5.1	21.1
Rainfall (%)		50.9	27.9	7.3	13.9

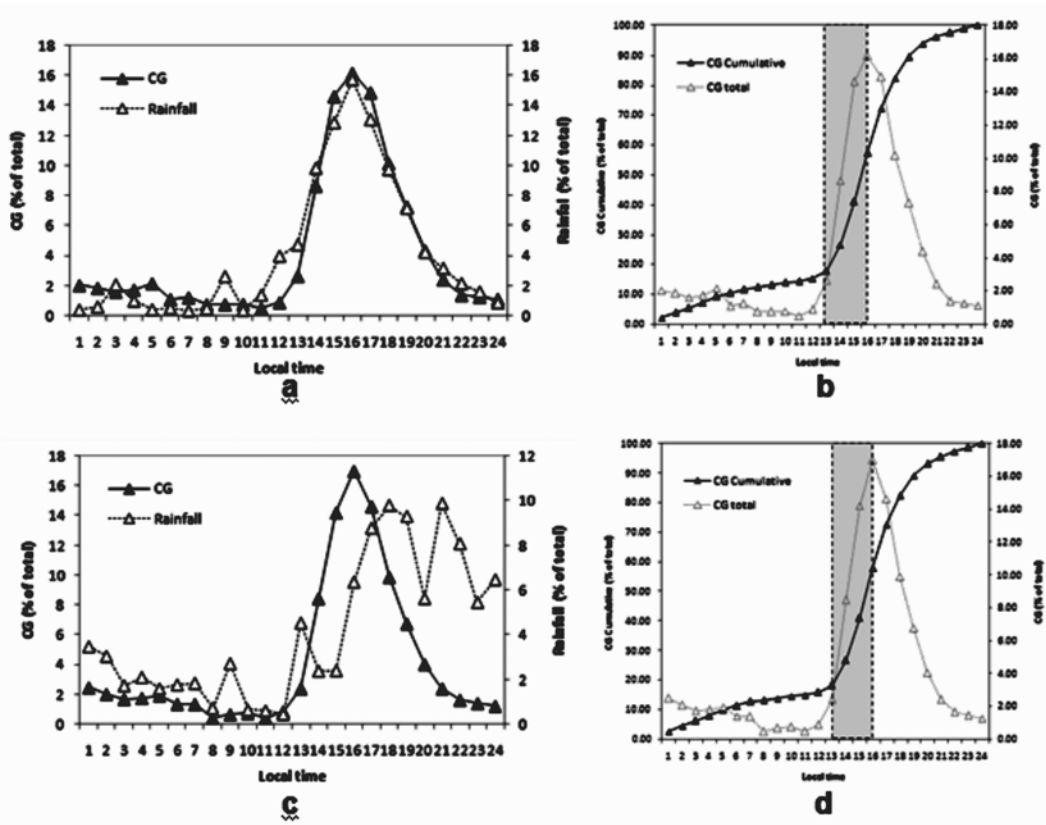
Distribusi harian wilayah Bandung dan Semarang ditunjukkan pada Gambar 5 yang memperlihatkan komposit luahan aktivitas kilat (CG) dan curah hujan serta analisis pertumbuhan awan berdasarkan data CG selama 24 jam. Selama setahun komposit CG baik Bandung maupun Semarang memperlihatkan puncak luahan terjadi pada pukul

16.00-17.00 WIB. Untuk mendapatkan analisis pertumbuhan awan dilakukan dengan *overlay CG* kumulatif dan *CG* total.

Kajian aktivitas kilat dapat dilihat dari analisis pertumbuhan awan dalam tiga *taraf pertumbuhan* yaitu *cumulus*, *mature* dan *dissipasi*. Terjadi proses *updraft* (aliran udara ke atas) dan *downdraft* (aliran udara ke bawah) dimana keganjilan aktivitas kilat terrepresentasi dalam masing-masing taraf tersebut. Taraf *cumulus* ditandai dengan frekuensi *CG* 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 awan mencapai kondisi jenuh ketika temperatur parcel udara telah mencapai level temperatur lingkungan yang ditandai melemahnya *updraft* dan dominasi *downdraft* sehingga terjadi penurunan kuantitas kejadian *CG* (Septiadi *et al.*, 2010).

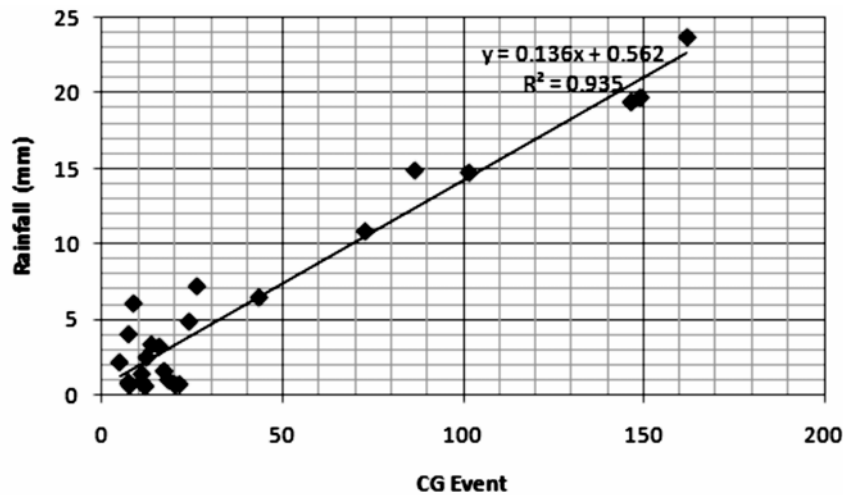
Peningkatan *CG* secara tajam menunjukkan awan berada pada fase matang sementara penurunan/titik balik *CG* menunjukkan fase disipasi dari awan. Secara komposit baik Bandung maupun Semarang, fase matang terjadi sekitar pukul 13.00-16.00 WIBA. Kemudian dilanjutkan dengan fase disipasi.



Gambar 5. Komposit luahan aktivitas kilat (*CG*) dan curah hujan serta analisis pertumbuhan awan berdasarkan *CG*, dimana: (a) Komposit *CG*-curah hujan wilayah Bandung; (b) Fase awan matang (kotak gelap) wilayah Bandung; (c) Komposit *CG*-curah hujan wilayah Semarang; dan (d) Fase awan matang (kotak gelap) wilayah Semarang.

Korelasi yang kuat antara *CG* dan curah hujan ($r^2=0.9$) menunjukkan bahwa *CG* secara nyata dapat menjelaskan terjadinya curah hujan (>81%). Bahkan menurut Septiadi *et.al.*, (2010) yang coba membandingkan parameter kilat, kelembaban, temperatur, dan tekanan; 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 ($r^2 = 0.374$). Dengan begitu sangat dimungkinkan sekali memanfaatkan *CG* sebagai *prediktor*.



Gambar 6. Scatter plot harian CG dan curah hujan Bandung (~10 km).

4. Simpulan dan Saran

4.1 Simpulan

Komposit data kilat harian memperlihatkan korelasi yang cukup tinggi dengan curah hujan ($r^2=0.9$). Kilat terepresentasi dalam tiga taraf pertumbuhan awan yaitu *cumulus*, *mature*, *dissipasi*. Analisis pertumbuhan awan ini dapat ditentukan dengan melakukan overlay *CG* cumulatife dan *CG* total. *MAM* merupakan fase transisi melemahnya Monsun Asia, matahari berada di sekitar equator. Labilitas wilayah Bandung dengan efek orografinya meningkat secara tajam sehingga memungkinkan terjadinya curahan yang besar (puncak curahan $\pm 9\%$ dari total curah hujan = 43.5%). Puncak *CG* dan curah hujan terjadi sekitar pukul 15.00-16.00 WIBA. Sementara itu untuk Semarang peningkatan *CG* dan

curah hujan secara signifikan terjadi pada *DJF* yang sejalan dengan penguatan Monsun Asia. Selama *DJF* puncak *CG* ($\pm 9\%$ dari total 48%) terjadi pada pukul 16.00-17.00 WIBA. Puncak curah hujan terjadi pada pukul 13.00 WIBA ($\pm 3.5\%$), pukul 18.00 WIBA ($\pm 6.5\%$), pukul 19.00 WIBA ($\pm 5\%$) dan pukul 22.00 WIBA ($\pm 3.8\%$). Hal ini terjadi karena Semarang sangat dipengaruhi oleh konveksi dari laut jika dilihat dari lokasi geografisnya. Selama terjadi gradien panas antara laut dan daratan maka proses pembentukan awan potensial terjadi.

4.2 Saran

Untuk kesinambungan domain penelitian perlu diperluas sekitar 50 km dan dikaji sejauhmana *CG lightning* dapat digunakan sebagai prediktor curah hujan.

Daftar Pustaka

- Bayong, T.H.K. 2008. *Mikrofisika Awan dan Hujan*. Penerbit Badan Meteorologi dan Geofisika, Jakarta.
- Bayong, T.H.K., dan B. Sriworo. 2006. *Meteorologi Indonesia 2. Awan dan Hujan Monsun*, Penerbit Badan Meteorologi dan Geofisika, Jakarta.
- Buechler, D. E., and 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.
- Byers, H. R., and R.R.Jr. Braham. 1979. *The Thunderstorm*. Govt. Printing Office. Washington, D.C.
- Goeritno, A. 2000. Karakteristik Petir Di Jawa Bagian Barat Diobservasi Dengan System Deteksi Petir Time Difference And Direction. *Tesis Magister*. Program Pasca Sarjana, Universitas Indonesia.
- Hidayat, S. 1991. Penentuan Harga Puncak Waktu Dahi Gelombang Arus Petir Dari Pengukuran Medan Elektrik Jarak Jauh. *Tesis Magister*. Program Pasca Sarjana, Institut Teknologi Bandung.
- Houghton, H.G. 1985. *Physical Meteorology*, The M.I.T Press, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, 361-407.
- Marshall, J. S., and S. Radhakant, 1978. “Radar precipitation maps as lightning indicators”. *J. Appl. Meteor.*, **17**: 206–212.
- Pabla, A.S. 1981. *Sistem Distribusi Daya Listrik*. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Piepgrass, M. V., and E. P. Krider, 1982. “Lightning and surface rainfall during Florida thunderstorms”. *J. Geophys. Res.*, **87**: 193–201.
- Price, C. 2008. “Lightning Sensors For Observing, Tracking and Nowcasting Severe Weather”. *Sensors* **8**: 157-170.
- Price, C. and B. Murphy. 2002. “Lightning Activity During The 1999 Superior Derecho”. *Geophys. Res.Lett.* **29**(23): 57.1-57.4.
- Septiadi, D., H. Safwan, and T.H.K. Bayong. 2010. “The Simulation of Weather Early Warning System Using Lightning Data in Anticipating of Extreme Weather Event in Bandung”. In *Proceedings of 5th Kentingan Physics and Its Applications, Environmentally Friendly Technology and Disaster*, pp. 235-238.
- Shackford, C.R., 1960. “Radar indications of a precipitation–lightning relationship in New England thunderstorms”. *J. Meteor.*, **17**: 15–19.
- Tapia, A. and A.J. Smith. 1997. “Estimation of Convective Rainfall from Lightning Observations”. *American Meteorology Society* **37**: 1497-1509.
- Uman, M. A., 1987. *The Lightning discharge*. Academic Press. San Diego, CA.
- Wallace, J.W., and P.V. Hobbs. 1997. *Atmospheric Science*, Academic press, New York-USA.
- Zoro, R. 1999. “Karakteristik Petir dan Elemen Cuaca Daerah Tropis, Kasus di Gn. Tangkuban Perahu”. *Disertasi*, Program Pasca Sarjana, Institut Teknologi Bandung.