

PRAKIRAAN CURAH HUJAN DI WILAYAH SITU CILEUNGA KABUPATEN BANDUNG DENGAN METODE STATISTIK NON-LINEAR [RAINFALL PREDICTION OVER THE CILEUNGA LAKE AREA AT BANDUNG REGENCY WITH NON-LINEAR STATISTICAL METHOD]

Dadang Subarna^{*)}, M. Yanuar J. Purwanto^{**)}, Kukuh Murtlaksono^{**)}, Wwweka^{*)}

^{*)}Peneliti Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional

^{**)}Peneliti Institut Pertanian Bogor

e-mail: dangsub@yahoo.com

Diterima 25 September 2012; Disetujui 30 November 2012

ABSTRACT

The Cileunca Lake, which is part of Bandung Basin, plays an important role to supply raw water to Bandung Regency and Bandung City Residence. Rainfall over the Cileunca Lake area showed an asymmetrical logarithmic normal probability distribution with a negative kurtosis. According to the data characteristics, a suitable linear and non-linear time series analysis method were applied for descriptive statistics, probability, modelling and prediction based on monthly rainfall data over Cileunca Lake at Bandung Regency from 1993 to 2011. The monthly rainfall consisted of 230 data with variability coefficient of 78%, from which 200 data were applied to obtain optimal non-linear parameters first, the lag time was searched from whole data applied by using autocorrelation and mutual information method which produced a lag time of 2 then the embedding dimension was searched iteratively. The embedding dimension was found to be 23 with 0.6 correlation coefficient, which was highest from 30 embedding dimensions tried. The embedding dimension 23 were the upper limit of independent variables which was necessary to model the rainfall dynamic.

Key words: *Rainfall, Non-linear, Statistics, Cileunca Lake, Lag-time, Embedding dimension*

ABSTRAK

Sebagai bagian dari Cekungan Bandung, Situ Cileunca memegang peranan penting dalam memasok sumber air baku untuk penduduk Kabupaten dan Kota Bandung. Curah hujan di area Situ Cileunca memperlihatkan bentuk fungsi distribusi probabilitas logaritmik normal yang tak simetris dengan kurtosis berharga negatif. Sesuai dengan karakteristik data maka metode analisis deret waktu linear dan non-linear yang sesuai telah diterapkan untuk mendapatkan nilai statistik deskriptif, probabilitas, pemodelan dan prakiraan ke depan berbasis data curah hujan bulanan dari tahun 1993 sampai 2011 di atas Situ Cileunca Kabupaten Bandung. Data curah hujan bulanan terdiri dari 230 data dengan koefisien variabilitas sebesar 78%, sedangkan untuk pemodelan digunakan 200 data dalam rangka memperoleh parameter non-linear optimal. Langkah pertama, dicari waktu tunda dari keseluruhan data yang diterapkan dengan menggunakan metode autokorelasi dan informasi *mutual* yang menghasilkan waktu tunda 2, lalu dicari dimensi *embedding* secara iterasi. Diperoleh dimensi *embedding* 23 dengan koefisien korelasi 0,6 yang merupakan nilai paling besar dari 30 dimensi *embedding* yang dicoba. Dimensi *embedding* 23 merupakan batas atas dari jumlah variabel bebas yang cukup untuk pemodelan dinamika curah hujan.

Kata kunci: *Curah hujan, Non-linear, Statistik, Situ Cileunca Waktu tunda, Dimensi embedding*

1 PENDAHULUAN

Pengamatan dan penelitian curah hujan di Cekungan Bandung (Bandung Basin) terus berkembang seiring kebutuhan dalam upaya mitigasi bencana hidrometeorologi dan pengelolaan sumberdaya air. Tjasjono dan Gernowo (2008) telah mengkaji tentang curah hujan ekstrim pada musim basah yang menyebabkan banjir di kawasan tersebut dan mencoba melakukan prakiraan dengan metode ANFIS. Korelasi sebesar 0,7 antara pola distribusi curah hujan bulanan dengan fenomena iklim global yang diwakili oleh nilai indeks ENSO menunjukkan signifikansi antara fenomena iklim global dengan curah hujan lokal yang menjadi bagian penting dalam kajian pengelolaan sumberdaya air di kawasan Cekungan Bandung (Marganingrum et al., 2009). Variabilitas komponen hidrometeorologi di daerah aliran sungai Citarum Hulu dipengaruhi oleh fenomena global sebagai konsekuensi dari adanya korelasi signifikan antara komponen hidrometeorologi dengan beberapa fenomena global (Ruminta, 2006). Tjasjono et al. (2007) telah meneliti bahwa awan konvektif jenis cumulonimbus dapat menyebabkan bencana banjir lokal terutama saat zona konvergensi intertropis berada di atas wilayah Indonesia diperkuat dengan efek orografik di daerah monsun yang dapat meningkatkan jumlah curah hujan pada lereng dimana angin bergerak ke atas. Efek kumulatif antara pengaruh global dan lokal terhadap peningkatan curah hujan sangat signifikan yang jika diperparah dengan kondisi lingkungan yang rusak, dapat menyebabkan bencana. Oleh karena itu, efek kumulatif ini penting untuk dikaji kapan dan dimana terjadi melalui analisis spasial dan temporal. Periode curah hujan merupakan salah satu karakter curah hujan yang penting untuk diteliti dan keterkaitannya dengan topografi lokal dapat mempengaruhi intensitas dan periodenya (Juaeni et al., 2006). Penelitian-penelitian tersebut terkait erat dengan upaya memberikan masukan informasi bagi mitigasi bencana dan peningkatan pengelolaan sumberdaya air secara efektif di Cekungan Bandung.

Untuk mengetahui keadaan cuaca saat ini dapat dilakukan dengan pengamatan parameter-parameter cuaca secara langsung (*in situ*) maupun dengan alat-alat penginderaan jauh (*remote sensing*). Kesulitan muncul manakala memprakirakan cuaca atau iklim untuk waktu yang akan datang, karena sangat banyak elemen yang harus dilibatkan dalam suatu model dinamik. Curah hujan di kawasan Cekungan Bandung tercatat hampir 550 mm/bulan pada musim basah sebagai curah hujan tinggi yang dapat mengakibatkan bencana banjir dan longsor di beberapa lokasi di kawasan itu. Penelitian tentang karakterisasi statistik dan upaya-upaya prakiraannya sangat membantu dalam mitigasi bencana alam terutama banjir dan longsor pada saat musim basah. Situ Cileunca yang terletak pada ketinggian 1400 m di atas permukaan laut merupakan salah satu tandon penting dalam usaha pengelolaan sumberdaya air di Cekungan Bandung. Situ Cileunca dan aliran sungai Cisangkuy sangat berperan penting dalam memasok kebutuhan air baku untuk konsumsi penduduk kabupaten dan kota Bandung masing-masing sebesar 500 l/s dan 1800 l/s (UPTD, 2011). Kondisi pasokan tersebut tentunya sangat dipengaruhi oleh variabilitas curah hujan yang menjadi imbuhan utama dalam suatu daerah aliran sungai. Fase ekstrim variabilitas curah hujan pada musim basah akan menyebabkan kondisi hujan dan debit sungai yang berlebih di Cekungan Bandung dibandingkan kondisi logaritmik normal atau sebaliknya kondisi kemarau yang jauh lebih kering dari kondisi logaritmik normalnya.

Untuk memprakirakan curah hujan pada masa yang akan datang di suatu lokasi, terutama dengan metode statistik, maka terlebih dahulu harus dipahami keadaan dan sifat-sifat curah hujan itu pada masa lampau. Pada makalah ini akan diteliti sifat-sifat dan pola-pola statistik data curah hujan bulanan di wilayah Situ Cileunca selama sembilan belas tahun pada periode 1993-2011 yang diperoleh dari stasiun Hidrologi Dinas Pengelolaan Sumberdaya Air Provinsi Jawa Barat. Untuk lebih

memahami sifat dan karakternya dalam usaha pemodelan dan prakiraan maka penelitian ditekankan pada kajian statistik deskriptif, fungsi probabilitas dan statistik non-linear. Kemudian untuk melakukan upaya prakiraan diteliti pula dimensi korelasi atau *embedding* yang menunjukkan suatu ukuran korelasi ruang antara titik-titik yang terletak pada atraktor curah hujan dan merupakan pola deterministik tersembunyi dalam fungsi pengukuran deret waktu curah hujan (Setiawan, 1991).

Kebanyakan literatur membuat asumsi bahwa suatu sistem deret waktu cukup dapat diaproksimasi pada suatu *range of interest* dengan model linear yang mempunyai parameter tidak berubah dengan waktu. Sehingga deret yang teramati dapat digambarkan sebagai suatu fungsi linear dari nilai saat ini dan nilai masa lalu dari proses yang sesungguhnya murni acak, seperti model AR, MA, ARMA, ARIMA, SARIMA dan lain sebagainya.

Bila $y_1(t)$, $y_2(t)$ adalah keluaran yang bersesuaian dengan masing-masing masukan $x_1(t)$, $x_2(t)$, maka sistem dikatakan linear jika dan hanya jika suatu kombinasi dari masukan, katakanlah $\lambda_1 x_1(t) + \lambda_2 x_2(t)$ akan menghasilkan kombinasi linear yang sama dalam keluaran yaitu $\lambda_1 y_1(t) + \lambda_2 y_2(t)$ dimana λ_1 , λ_2 adalah konstanta. Sistem linear yang tak berubah terhadap waktu *time-invariant* adalah bila masukan $x(t)$ menghasilkan keluaran $y(t)$ lalu sistem dikatakan *time-invariant* jika pada waktu tunda τ dalam masukan, menghasilkan waktu tunda yang sama dalam keluaran. Dengan kata lain masukan $x(t-\tau)$ menghasilkan keluaran $y(t-\tau)$, sehingga hubungan masukan dan keluaran tidak berubah dengan waktu.

Akhir-akhir ini para peneliti mulai menerapkan model non-linear dengan parameter yang berubah terhadap waktu pada sistem yang teramati. Sebagai contoh tipe model non-linear yang diteliti oleh Granger dan Priestley (1978) dalam Chatfield (1980) yaitu tipe model non-linear yang disebut sebagai kelas bilinear yang dapat dipandang sebagai perluasan non-linear dari model ARMA. Model tersebut dikenal dengan model bi-linear orde pertama yaitu $x_t = ax_{t-1} + bz_t + cz_{t-1}x_{t-1}$ dimana z_t menunjukkan proses acak (*random*) murni dan a, b, c adalah parameter. Suku terakhir pada sisi kanan persamaan itu adalah suku non-linear. Dengan pendekatan metode non-linear maka pola dan struktur tertentu dalam data dapat diungkap.

Estimasi dimensi korelasi pada hasil pengukuran curah hujan sebagai fungsi waktu akan memegang peranan penting dan bermanfaat dalam pengembangan model dinamika dari fenomena cuaca dan iklim. Estimasi dimensi ini akan melengkapi batasan untuk jumlah variabel-variabel bebas yang perlu untuk pemodelan sistem serta membantu dalam penentuan kelayakan suatu model. Terdapat sejumlah upaya untuk menentukan dimensi korelasi cuaca dan iklim seperti telah dilakukan oleh Lorenz (1963), Nicolis and Nicolis (1984), Grassberger and Procaccia (1986), Fraedrich (1990), Melvin (1993), namun untuk sistem cuaca dan iklim ekuatorial dirasa masih sedikit yang melakukan analisis secara cermat.

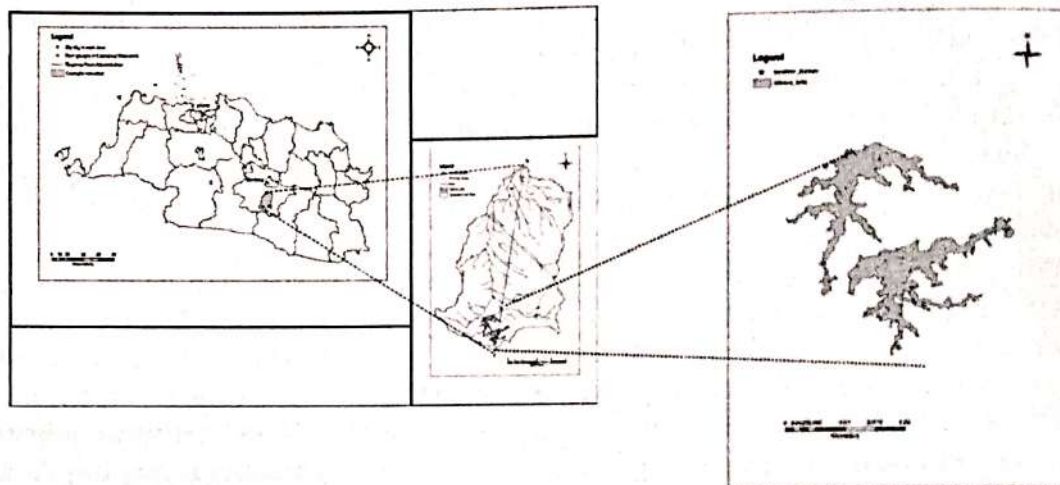
Makalah ini bertujuan untuk meneliti dan memahami karakteristik statistik dan perilaku *chaotic* curah hujan dengan menggunakan metode analisis statistik dan analisis deret waktu non-linear. Perilaku kegalauan (*chaos*) dan estimasi dimensi korelasi atau *embedding* curah hujan akan diteliti. Estimasi waktu tunda, dimensi korelasi dan dimensi *embedding* merupakan langkah awal dalam penerapan analisis deret waktu non-linear untuk memahami iregularitas dalam data curah hujan.

2 DATA DAN METODE

2.1 Lokasi Penelitian dan Data

Lokasi yang diteliti meliputi Daerah Aliran Sungai (DAS) Cisangkuy yang merupakan Sub-DAS Citarum Hulu terletak antara $06^{\circ} 59'24'' - 07^{\circ} 13'51''$ LS dan $107^{\circ} 28'55'' - 107^{\circ} 39'84''$ BT. Topografi DAS Cisangkuy bervariasi dari ketinggian

2.054 m dari permukaan laut di puncak Gunung Malabar, hingga 658 m di pertemuannya dengan sungai induk, yaitu Sungai Citarum. Kondisi sebaran curah hujan tahunan pada DAS Cisangkuy bervariasi dari 3.500 mm/tahun hingga 2.000 mm/tahun. Di dalam DAS tersebut terdapat Situ Cileunca yang merupakan danau buatan untuk pemenuhan kebutuhan listrik perkebunan pada masa kolonial. Situ Cileunca dibangun pada tahun 1924 dengan kapasitas tampung sebesar 11,3 juta m³ (PLN PLENGAN, 2010). Di sebelah selatan Situ Cileunca terdapat Situ Cipanunjang yang mendapat air dari kali Cilaki, Cibolang, Cihurangan, Cikuningan dan Citambaga. Situ Cileunca mendapat air dari situ Cipanunjang, Sungai Cilaki Beet dan Sungai Cibuniayu, ditunjukkan pada Gambar 2-1. Beberapa data deret waktu dalam klimatologi, khususnya curah hujan, secara statistik memperlihatkan perilaku yang non-stasioner dan sinyal ini berubah baik amplitudo maupun frekuensinya, serta ada juga kemungkinan mengandung sinyal periodik tersembunyi yang dominan.

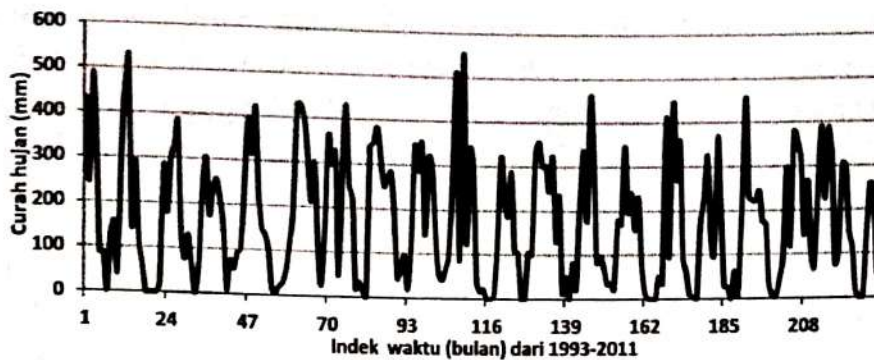


Gambar 2-1: Lokasi penelitian yang merupakan bagian dari daerah Cekungan Bandung bagian Selatan

Data curah hujan bulanan diperoleh dari stasiun hidrologi Dinas Pengelolaan Sumber Daya Air Provinsi Jawa Barat antara tahun 1993 sampai tahun 2011, ditunjukkan pada Gambar 2-2. Terdiri dari 230 data, yang mana sebanyak 200 data digunakan untuk mencari parameter persamaan non-linear dan 30 data untuk mengetahui kinerja prakiraan dari model yang dibuat. Data tersebut dicari nilai rata-ratanya, standar deviasi dan nilai statistik lainnya.

2.2 Metode Penelitian

Prinsip dasar dalam memahami dinamika non-linear adalah karena adanya interaksi non-linear dalam sistem, maka deret waktu $x(t)$ yang didapat dari pengukuran perubahan variabel fisis, dalam hal ini curah hujan, mengandung informasi variabel lain dimana informasi ini dapat diperoleh dari deret waktunya. Untuk mendapatkan informasi itu diperlukan suatu metode yang dapat menguraikan informasi yang terkandung dalam data deret waktu tersebut. Metode untuk maksud tersebut adalah analisis deret waktu non-linear. Landasan utama untuk merumuskan algoritma deret waktu non-linear dari teori galau adalah ruang keadaan atau fasa (*state/phase space*) multi-dimensi analisis tidak hanya dilakukan dalam domain waktu atau frekuensi semata.



Gambar 2-2: Data deret waktu curah hujan bulanan di stasiun Hidrologi Cileunca dari tahun 1993-2011

Kemudian dilakukan analisis pada *phase space* domain untuk mengetahui non-linearitas, lalu dilakukan perhitungan untuk estimasi dan prakiraan dengan metode statistik non-linear. Proses non-linear dan estimasi atau prakiraan secara lokal dari deret waktu dapat diterangkan sebagai berikut: suatu deret waktu $x(t)$ dapat di *embedded* dalam *state space* dengan pendekatan dari Teori Taken dalam Huke (2006), seperti yang telah dilakukan oleh Farmer and Sidorowich (1987) bahwa suatu deret waktu dapat diungkapkan sebagai:

$$x(t) = [x(t), (x(t-T)), \dots, x(t-(N-1)\tau)] \quad (2-1)$$

T , N , dan τ masing-masing adalah *lag interval*, dimensi *embedding* dan waktu tunda (*delay/lag time*), $N \geq D$, dimana D adalah dimensi sistem.

Hubungan prediktif antara keadaan sekarang $x(t)$ dan keadaan yang akan datang dari deret waktu diuraikan oleh Farmer and Sidorowich (1987) sebagai,

$$x(t+T) = f_T^o(x(t)) \quad (2-2)$$

Permasalahan dalam pemodelan prediktif adalah menemukan pemetaan

$$f_T^o : \mathcal{R}^N \Rightarrow \mathcal{R}^1 \quad (2-3)$$

\mathcal{R} adalah ruang keadaan sistem dinamik.

Suatu prediktor lokal dapat dibuat berdasarkan tetangga dekat dari $x(t)$, yaitu *fitting* suatu *polynomial* terhadap pasangan-pasangan:

$$(x(t_i), (x(t_i+T))) \quad (2-4)$$

dimana $x(t_i)$ tetangga terdekat dari $x(t)$ untuk $t_i < t$.

Sinyal awal dapat juga dipandang sebagai evolusi dari keadaan $x(t)$ dari suatu relasi dinamik dalam \mathcal{R}^N

$$x(t+T) = f_T(x(t)) \quad (2-5)$$

f_T adalah pemetaan prediktif dari $\mathcal{R}^N \Rightarrow \mathcal{R}^N$.

Ilustrasi dari metode prakiraan pada *state space* atau pada ruang keadaan ditunjukkan pada Gambar 2-3.

$x(t_i)$ tetangga dekat dan evolusi masa depannya $x(t_i+T)$, dimana $t_i < t$.



Gambar 2-3: Ilustrasi titik-titik data dan evolusinya pada ruang keadaan (*state space*)

Singer *et al.* (1992) mengungkapkan bahwa dari sudut pandang pengolahan sinyal dalam waktu diskrit untuk proses non-linear digambarkan dengan Orde N^{th} persamaan diferensial dengan bentuk

$$x(k+1) = f(\bar{x}(k)) + u(k) \tag{2-6}$$

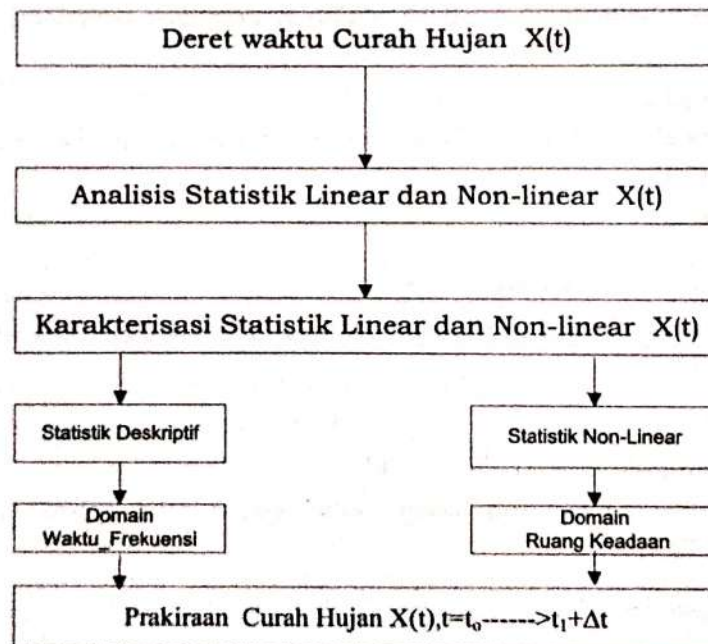
k adalah indeks waktu diskrit, dimana $\bar{x}(k) = [x(k), x(k-1), \dots, x(k-N+1)]^T$
 $f(x)$ menggambarkan pemetaan non-linear dari $\mathcal{R}^N \Rightarrow \mathcal{R}^1$ dan $u(k)$ adalah derau. Dinamika $f(x)$ dapat diamati dari bentuk

$$x(k+1) = f(\bar{x}(k)) + u(k) \tag{2-7}$$

Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah bahwa curah hujan memenuhi fungsi distribusi probabilitas logaritmik normal. Distribusi probabilitas logaritmik normal merupakan distribusi yang menggambarkan distribusi variabel acak yang sering muncul dalam kehidupan nyata yang berharga positif. Variabel acak seperti curah hujan misalnya x , akan mengikuti distribusi logaritma normal jika fungsi densitas probabilitasnya memenuhi persamaan

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \mu}{\sigma}\right)^2}, x > 0 \tag{2-8}$$

dimana μ adalah rata-rata dan σ adalah standar deviasi. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak MINITAB 14, TISEAN (Hegger *et al.*, 1999) dan EXCELL dengan diagram alir seperti dijelaskan pada Gambar 2-4



Gambar 2-4: Diagram alir pengolahan dan prakiraan data curah hujan di area Situ Cileunca

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Variabilitas curah hujan bulanan di daerah aliran sungai Cisangkuy sangat tinggi di atas 50%, di area Cileunca terhitung sebesar 78% (lihat Tabel 3-1) yang berarti bawah konsistensi curah hujan sangat rendah. Hasil ini menunjukkan bahwa keadaan variasi yang sangat tajam dan relatif sangat jauh simpangan dari keadaan rata-ratanya yang dimungkinkan pada munculnya kejadian ekstrim.

Tabel 3-1: KOEFISIEN VARIASI UNTUK DATA CURAH HUJAN DI DAERAH ALIRAN SUNGAI CISANGKUY

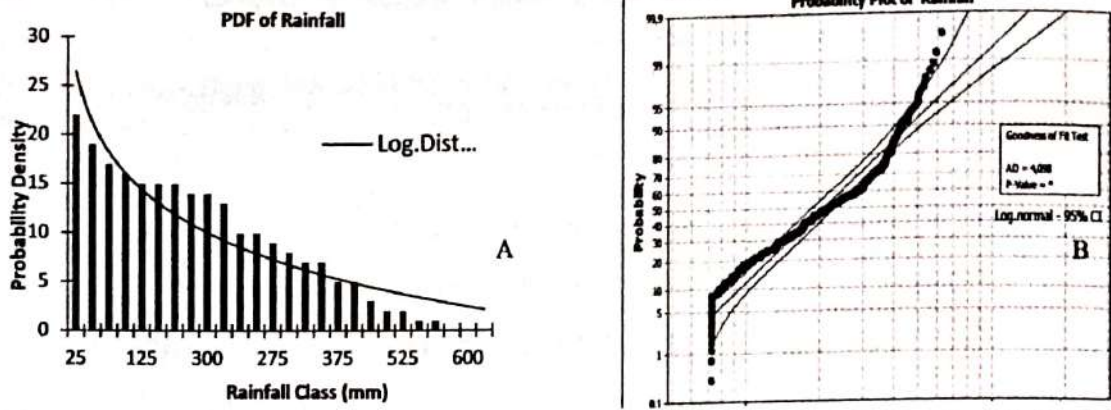
Nama Stasiun Curah Hujan	Lokasi (LS, BT)	Koefisien variasi (CV)
Cileunca	07°11'35", 107° 32'41"	78%
Kertamanah	06° 11'25", 107° 36'38"	82%
Cipanas	06° 49'15", 107° 37'59"	84%
Ciherang	07° 2'13", 107° 34'49"	70%

Data curah hujan dicari statistik deskriptifnya dan fungsi probabilitasnya. Statistik deskriptif data curah hujan bulanan di area Situ Cileunca dapat diringkas seperti ditunjukkan dalam Tabel 3-2. Terdapat beberapa nilai yang perlu mendapat perhatian yaitu Keragaman (*Variance*), *Skew* dan Kurtosis. Keragaman dapat dihitung dengan merata-ratakan kuadrat dari perbedaan terhadap nilai rata-rata. Keragaman merupakan ukuran seberapa jauh data curah hujan menyebar dari nilai rata-ratanya.

Tabel 3-2: RINGKASAN STATISTIK DESKRIPTIF CURAH HUJAN BULANAN DI STASIUN HIDROLOGI SITU CILEUNCA KABUPATEN BANDUNG

Statistik	Keterangan Data Curah Hujan
Jumlah Data	230
Maksimum	553
Terdapat pada baris	109
Minimum	0
Terdapat pada baris awal	7
Rata-rata	175,97
Deviasi rata-rata	119,92
Standar Deviasi	138,40
Keragaman (<i>Variance</i>)	19155,04
<i>Skew</i>	0,47
Kurtosis	-0,83

Di dalam Tabel 3-2 terdapat satu nilai berharga negatif yaitu nilai kurtosis sebesar -0,83. Kurtosis merupakan ukuran yang menunjukkan fungsi probabilitas berbentuk lonjong atau datar relatif terhadap bentuk distribusi logaritmik normal. Kurtosis berharga negatif berarti bahwa bentuk fungsi probabilitas curah hujan di sekitar Situ Cileunca relatif lebih datar bila dibandingkan dengan bentuk distribusi logaritma normal seperti ditunjukkan dalam Gambar 3-1(A) beserta grafik perbandingan dan kecocokannya dengan fungsi distribusi logaritmik normal pada Gambar 3-1 (B). Nilai skew berkisar pada nilai 0,47 berarti bahwa bentuk distribusi curah hujan tidak simetris yaitu probabilitas lebih banyak ke arah kiri dari nilai rata-ratanya. Nampak dari fungsi distribusi probabilitasnya juga bahwa data curah hujan mempunyai densitas probabilitas lebih menyebar ke arah kiri dari nilai rata-rata 176 mm/bulan.

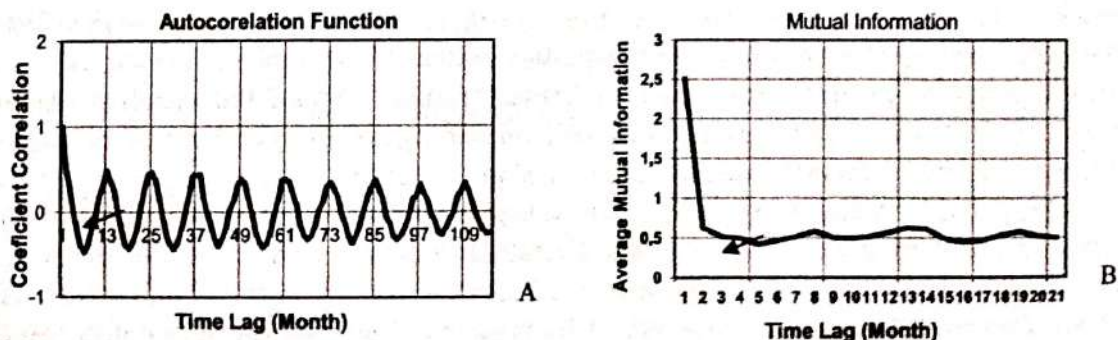


Gambar 3-1: Fungsi densitas probabilitas curah hujan dan perbandingan dengan fungsi distribusi logaritma-logaritma normal (A) serta kecocokan fungsi densitas curah hujan terhadap distribusi logaritmik normal (B)

Distribusi ini merupakan salah satu yang paling penting dan banyak digunakan. Distribusi probabilitas logaritmik normal sangat dipengaruhi oleh nilai rata-rata hitung (μ) curah hujan yaitu 176 mm/bulan dan standar deviasinya (σ) yaitu 138 mm/bulan. Makin besar nilai standar deviasinya maka kurva makin landai dan makin kecil nilai standar deviasinya maka kurva makin runcing. Bila dibandingkan antara nilai rata-rata dengan standar deviasinya yang relatif tidak berbeda jauh maka kurva densitas probabilitas curah hujan dikarakterisasi sebagai kurva dengan puncak yang agak landai mendatar atau disebut juga platikurtik.

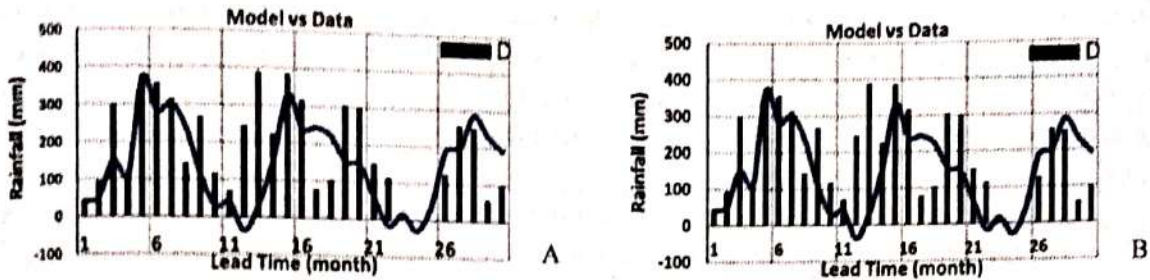
Dengan menggunakan metode autokorelasi dan informasi mutual secara statistik maka didapat hasil autokorelasi dan rata-rata informasi mutual data curah hujan seperti pada Gambar (3-2).

Jika fungsi korelasi (Gambar 3-5 A) dan informasi *mutual* (Gambar 3-5 B) cepat jatuh ke nol maka data deret waktu itu kemungkinan stokastik murni dan tidak ada *determinism* dalam deret itu, yaitu tiap-tiap nilai dalam data curah hujan saling bebas satu sama lain. Terdapat undulasi, namun dengan riak yang sangat kecil menunjukkan hubungan *causality* yang sangat lemah seperti ditunjukkan pada Gambar 3-2 B. Untuk mendapatkan parameter non-linear optimal dalam rangka pemodelan maupun prakiraan, maka pertama kali dicari *lag time/delay time* yang mempunyai nilai autokorelasi atau informasi *mutual* menuju nol dari keseluruhan data. Dengan menggunakan metode autokorelasi dan mutual informasi di atas didapat nilai waktu tunda τ sebesar 2. Kemudian dicari nilai *embedding* secara iterasi dan didapat nilai *embedding* sebesar 23 untuk nilai koefisien korelasi 0,6 yang merupakan nilai terbesar dari 30 nilai *embedding* yang dicoba. Hasil iterasi dengan nilai *embedding* dari 21 sampai 30 diperlihatkan pada Gambar (3-3) sampai Gambar (3-7).

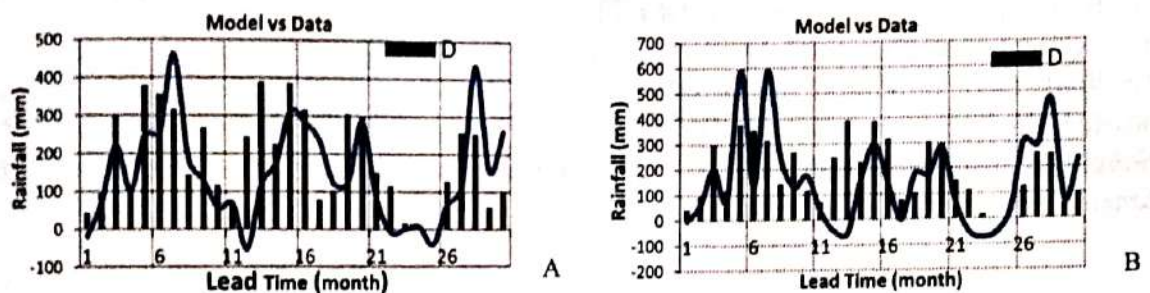


Gambar 3-2: Fungsi Autokorelasi (A) dan Informasi mutual (B) untuk data curah hujan bulanan untuk mencari waktu tunda (*lag time*) saat jatuh mendekati 0

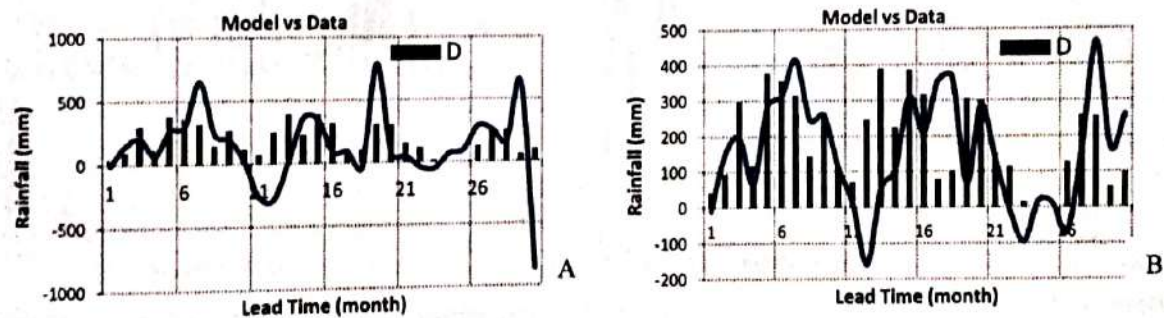
Prakiraan adalah suatu proses pendugaan secara sistematis tentang apa yang paling mungkin terjadi di masa yang akan datang berdasarkan informasi masa lalu dan masa sekarang yang dimiliki agar kesalahannya (selisih antara apa yang terjadi dengan hasil prakiraan) dapat diperkecil.



Gambar 3-3: Perbandingan hasil prakiraan (model) dan pengamatan (data) dengan nilai dimensi *embedding* 21 dan korelasi 0,52 (A) dan nilai dimensi *embedding* 22 dan korelasi 0,56 (B)

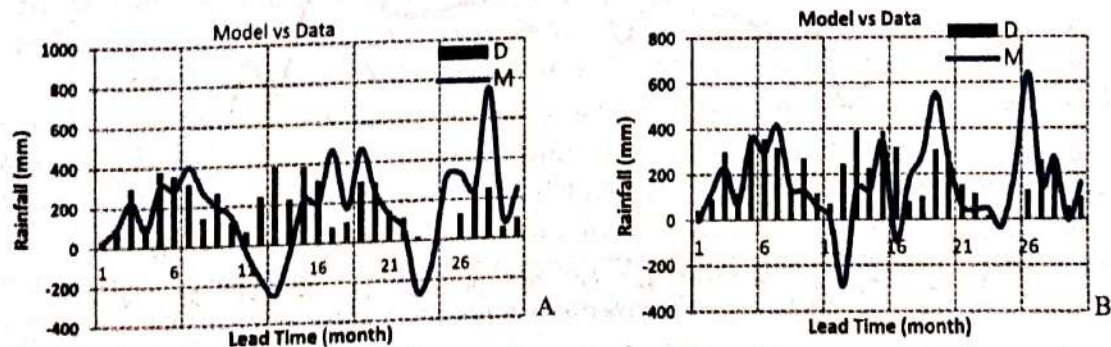


Gambar 3-4: Perbandingan hasil prakiraan (model) dan pengamatan (data) dengan nilai dimensi *embedding* 23 dan korelasi 0,60 (A) dan nilai dimensi *embedding* 24 dan korelasi 0,52 (B)



Gambar 3-5: Perbandingan hasil prakiraan (model) dan pengamatan (data) dengan nilai dimensi *embedding* 25 dan korelasi 0,36 (A) dan nilai dimensi *embedding* 26 dan korelasi 0,42 (B)

Prakiraan dapat juga diartikan sebagai usaha pendugaan suatu perubahan. Agar tidak disalahpahami bahwa prakiraan tidak memberi jawaban pasti baik secara kuantitas maupun kualitas tentang berapa dan apa yang akan terjadi, melainkan berusaha mencari yang sedekat mungkin dengan yang akan terjadi sebenarnya.

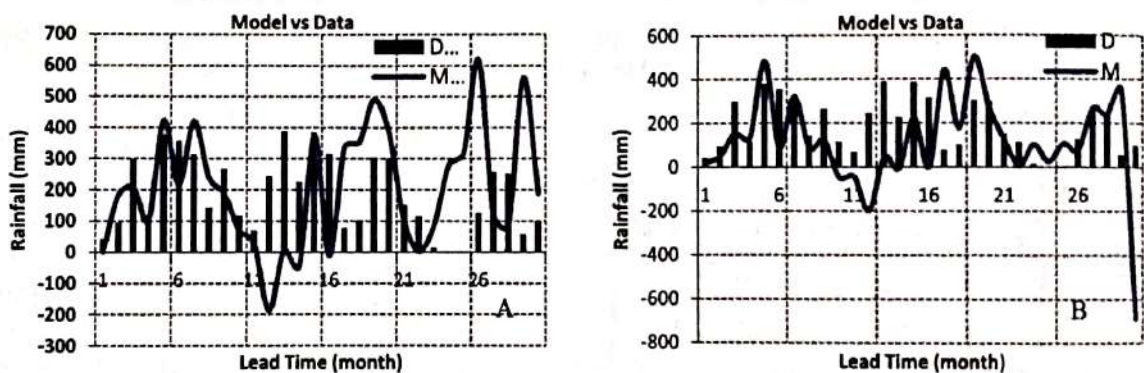


Gambar 3-6: Perbandingan hasil prakiraan (model) dan pengamatan (data) dengan nilai dimensi *embedding* 27 dan korelasi 0,25 (A) dan nilai dimensi *embedding* 28 dan korelasi 0,34 (B)

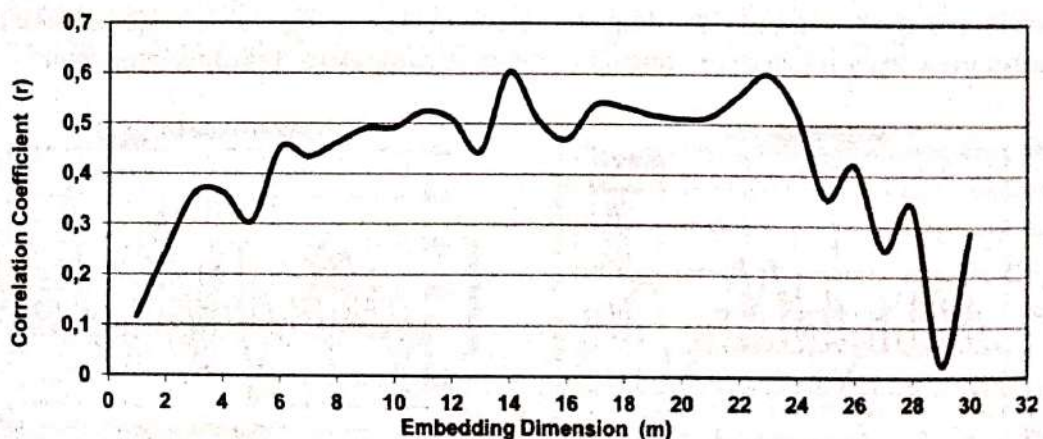
Meneliti kemampuan prakiraan secara statistik dalam data deret waktu curah hujan sangat bermanfaat dalam usaha mendapatkan informasi besaran curah hujan ke masa depan. Kemampuan mendapatkan unsur-unsur penduga adalah salah satu cara untuk menjawab bagaimana korelasi antar data curah hujan. Bila langkah ganda prakiraan digunakan untuk memprakirakan ke masa depan maka ada dua pilihan yaitu secara langsung memprakirakan x_{t+n} dari data tersampel atau secara iterasi yaitu memprakirakan x_{t+1} dulu, lalu satu langkah lagi x_{t+2} dan seterusnya. Sesuai dengan diagram alir pada Gambar 2-4, maka pilihan pertama digunakan untuk data bulanan curah hujan pada makalah ini.

Cara yang paling signifikan dan kuantitatif dalam validasi model adalah mengiterasi model dan sekaligus membandingkan deret waktu sintetik (model) dengan data pengamatan (data) seperti terlihat pada Gambar (3-4) sampai (3-7).

Validasi model prediksi non-linear ini dilakukan dengan mengambil $x(t)$ dari hasil observasi dan $x(t+n)$ dari hasil keluaran model beserta prakiraannya. Deret waktu curah hujan $x(t)$ yang dikaji mula-mula adalah rentang waktu dari t_0 hingga t_1 , sedangkan hasil keluaran model non-linear dalam rentang waktu dari t_0 hingga t_1+n , termasuk hasil prakiraan dalam selang waktu selebar n , lihat Gambar 2-3. Tingkat akurasi dalam bentuk koefisien korelasi dengan menggunakan dimensi *embedding* 23 didapat koefisien korelasi sebesar 0,60. Hubungan antara koefisien korelasi dengan dimensi *embedding* didapat Gambar 3-8.



Gambar 3-7: Perbandingan hasil prakiraan (model) dan pengamatan (data) dengan nilai dimensi *embedding* 29 dan korelasi 0,025 (A) dan nilai dimensi *embedding* 30 dan korelasi 0,29 (B)



Gambar 3-8: Grafik hubungan antara koefisien korelasi dengan dimensi *embedding* pada data curah hujan area Situ Cileunca

Dari Gambar 3-8 dapat dilihat bahwa terdapat nilai *embedding* optimal dengan memberikan nilai koefisien korelasi paling besar di antara nilai *embedding* yang dicoba. Dengan demikian maka dalam suatu deret waktu curah hujan pada lokasi tertentu selain mempunyai nilai-nilai statistik deskriptif tertentu yang khas juga mempunyai waktu tunda, nilai *embedding* dan atraktor yang unik. Dimensi *embedding* tersebut akan melengkapi batasan untuk jumlah variabel-variabel bebas yang perlu untuk pemodelan sistem serta membantu dalam penentuan kelayakan suatu model. Dengan demikian, syarat cukup untuk memodelkan curah hujan di kawasan Situ Cileunca agar memberikan nilai keakuratan perbandingan model terhadap observasi sebesar 0,6 adalah 23 variabel bebas, baik global maupun lokal. Formula matematika untuk menggambarkan persamaan curah hujan cukup melibatkan 23 variabel bebas untuk mengakomodasi aspek yang berpengaruh pada curah hujan seperti antara lain angin, temperatur, kelembaban, radiasi, albedo, topografi, vegetasi dan lain-lain. Diperlukan kajian dengan metode lain untuk memperoleh gambaran yang lebih rinci tentang 23 variabel tersebut. Salah satu metode yang telah digunakan untuk mengidentifikasi variabel-variabel tersebut, adalah analisis spektrum (Torrence dan Compo, 1998). Dari metode ini dapat ditentukan periode curah hujan dominan. Langkah selanjutnya, kemudian mencocokkan periode dominan tersebut dengan periode variabel yang sudah diketahui.

4 KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Analisis deret waktu secara statistik linear dan non-linear telah digunakan untuk pemodelan dan prakiraan pada data bulanan curah hujan wilayah Situ Cileunca Kabupaten Bandung yang didasarkan pada data pengamatan dari tahun 1933 sampai 2011. Situ Cileunca dan aliran sungainya sangat berperan penting dalam memasok kebutuhan air baku untuk konsumsi penduduk Kabupaten dan Kota Bandung yang berada pada kesatuan Cekungan Bandung.

Metode analisis statistik linear didasarkan pada statistik deskriptif, sedangkan analisis statistik non-linear didasarkan fungsi probabilitas dan atraktor pada ruang keadaan dengan paradigma *deterministic Chaos*. Metode ini sangat bermanfaat untuk mempelajari dinamika yang rumit dari suatu data pengukuran atau pengamatan. Adanya kenyataan bahwa sistem *deterministic* sederhana memperlihatkan perilaku temporal yang rumit dalam keadaan non-linearitas yang tinggi. Dasar ilmiah dalam memformulasikan algoritma analisis atraktor ruang keadaan dari teori galau (*Chaos Theory*) adalah ruang keadaan multi dimensi, dimana analisis tidak hanya dilakukan pada domain waktu, frekuensi atau bilangan gelombang dalam statistik linear, tetapi melibatkan ruang keadaan atau ruang fasa multi dimensi.

Data curah hujan bulanan terdiri dari 230 data dengan variabilitas 78%, yang mana untuk pemodelan digunakan 200 data, sehingga didapat parameter non-linear optimal untuk pemodelan maupun prakiraan. Langkah pertama adalah mencari *lag time/delay time* dari keseluruhan data dengan menggunakan metode autokorelasi dan informasi *mutual*, yang menghasilkan nilai *lag time* 2, lalu dicari nilai *embedding* secara iterasi yang menghasilkan nilai *embedding* 23 untuk nilai koefisien korelasi sebesar 0,60 yang merupakan nilai terbesar dari 30 nilai *embedding* yang dicoba. Diperlukan 23 variabel bebas untuk merumuskan persamaan matematika curah hujan agar mengakomodasi aspek yang berpengaruh pada curah hujan, baik global maupun lokal.

4.2 Saran

Tersedianya data dengan penyuplikan (sampling) tinggi melalui standar kontrol kualitas, maka metode multi dimensi ini sangat disarankan digunakan untuk pemodelan dan prakiraan karena *deterministic chaos* pada sistem dinamik mudah ditentukan.

DAFTAR RUJUKAN

- Chatfield, C., 1980. *The Analysis of Time Series: An Introduction*. London, Chapman & Hall Ltd.
- Farmer, J.D and Sidorowich, J.J, 1987. *Predicting Chaotic Time Series*, Physical Review Letter Vol.59 (8):856.
- Fraedrich, K. 1990. *Estimating the Dimension of Weather and Climate Attractor*. Journal of Atmospheric Sciences, Vol.43 No.5, 419-432.
- Grassberger, P and I. Procaccia, 1986. *Measuring the strangeness of Strange Attractors*. Physica Vol. 9D, 189-208.
- Hegger, R, H. Kantz, and T. Schreiber, 1999. *Practical Implementation Of non-linear Time Series Methods: The TISEAN package*, Max Plank Institute for Physics Of Complex Systems.
- Huke, J.P, 2006. *Embedding Non-linear Dynamical System: A Guide To Taken Theorem*, The University of Manchester Available at <http://www.manchester.ac.uk/mims/eprints>, diunduh pada 20 Januari 2013.
- Juaeni, I; B. Tjasyono. Hk; M. A.Ratag, 2006. *Periodisitas Curah Hujan Domian dan Hubungannya dengan Topografi*, Jurnal Sains dan Teknologi Modifikasi Cuaca, UPT Hujan Buatan BPPT, 7, No. 2.
- Lorenz, E., 1963. *Deterministic non-Periodic Flow*, Journal of Atmospheric Sciences, Vol. 20, 130-146.
- Marganingrum, D; R. Maria, Rizka; S.Y Cahyarini; and I. Narulita, 2009. *Studi Korelasi Pola Distribusi Curah Hujan dan Indeks ENSO di Cekungan Bandung*, Prosiding Pemaparan Hasil Penelitian, Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI.
- Melvin, L.B.T, 1993, *Estimating the Attractor Dimension of the Equatorial Weather System*, Acta Physica A, Vol. 85 - Supplement, 27-35.
- Nicolis, C and G. Nicolis, 1984. *Is there a Climatic Attractor*, Nature, vol. 311, 594-534.
- Ruminta, 2006. *Persistensi dan Variabilitas Hidrometeorologi Daerah Aliran Sungai Citarum*. Proseeding Seminar Tahunan Himpunan Ahli Geofisika Indonesia, pp 581-594.
- Setiawan. S. 1991. *Chaos Gelora Sains Baru*, Penerbit Andi Offset Yogyakarta.
- Singer, A.C.; G.W. Wornell, and A.V. Oppenheim, 1992. *Acoustics, Speech, and Signal Processing*, ICASSP-92., 1992 IEEE International Conference on Volume 5
- Torrence, C. and G.P. Compo.1998. *A Practical Guide to Wavelet Analysis*. Bulletin. American Meteorology Society. Vol.79, 61-78.
- Tjasjono, B. HK. dan R. Gernowo, 2008. *Curah Hujan Ekstrim di Area Monsun Basin Bandung*, Jurnal Meteorologi dan Geofisika, Vol. 9 No.2, 65 -77.
- Tjasjono, B. HK; I. Juaeni; dan S.W.B. Harijono, 2007. *Proses Meteorologis Bencana Banjir di Indonesia*, Jurnal Meteorologi dan Geofisika Vol. 8 No. 2.
- UPTD [Unit Pelaksanaan teknis Daerah] sub DAS Cisangkuy, 2011. PEMDA Kabupaten Bandung.
- PLN PLENGAN [Perusahaan Listrik Negara PLENGAN], 2010. *Sejarah Cileunca*. PLN