

## Analisis dampak ENSO terhadap debit aliran DAS Cisangkuy Jawa Barat menggunakan model *Rainfall-Runoff*

### *Analysis of ENSO impact on streamflow of Cisangkuy watershed West Java using Rainfall-Runoff model*

Yopi Ilhamsyah

Jurusan Ilmu Kelautan, Koordinator Kelautan dan Perikanan Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh 23111. Email korespondensi: y.ilhamsyah@gmail.com

**Abstract.** A study of analysis of ENSO impact on streamflow of Cisangkuy watershed West Java using Rainfall-Runoff model was done. The study was analyzed by using GR4J model. Daily rainfall and potential evaporation are model initial data. The model was tested for 2 years running by applying least square error method provided by spreadsheet application to reduce the initial value problem. The model showed a good result with Nash-Sutcliffe Efficiency of 70.0. The model was then simulated for 5 years. Monthly streamflow which is model output was then analyzed. The ENSO impact was done by identifying SOI to the variability of rainfall and streamflow. The model result showed that during La-Niña year in 2000, streamflow decreased below normal. The situation remain question that need to be further investigated. During normal year from 2001 to 2004, streamflow was normal. However, during El-Niño year, the decreasing rainfall also have an effect on the decreasing of streamflow in Cisangkuy watershed. The result also showed that the correlation between climate anomaly Nino 3.4 and variability of rainfall and streamflow is significant with correlation coefficient of -0.69 and -0.30, respectively. The regression model was governed and was then utilized to predict the risk analysis in Cisangkuy watershed by using stochastic spreadsheet under Crystal Ball application.

**Keywords:** ENSO, GR4J, streamflow

**Abstrak.** Studi analisis dampak ENSO terhadap debit aliran DAS Cisangkuy Jawa Barat menggunakan model *Rainfall-Runoff* telah dilakukan. Model yang digunakan adalah GR4J. Data curah hujan harian dan evaporasi potensial adalah input model. Model ini diuji selama 2 tahun dengan menerapkan metode *least square error* yang tersedia pada aplikasi *spreadsheet* untuk mengatasi permasalahan nilai awal. Model ini menunjukkan hasil yang baik dengan efisiensi *Nash-Sutcliffe* 70,0. Model ini selanjutnya dijalankan selama 5 tahun. Debit aliran bulanan yang merupakan output model selanjutnya dianalisis. Pengaruh ENSO terhadap variabilitas curah hujan dan debit aliran diidentifikasi oleh SOI. Hasil model menunjukkan bahwa pada tahun 2000 yang terindikasi terjadi *La-Niña* debit aliran menurun di bawah normal. Kondisi ini menyisakan pertanyaan yang membutuhkan penelitian lanjut. Pada tahun normal 2001-2004, debit aliran di DAS Cisangkuy berada pada kondisi normal. Namun, pada tahun *El-Niño*, curah hujan mengalami penurunan di bawah normal dan berdampak terhadap menurunnya debit aliran di DAS Cisangkuy. Hasil juga menunjukkan bahwa korelasi antara anomali iklim Nino 3.4 terhadap variabilitas curah hujan dan debit aliran adalah nyata dengan koefisien korelasi masing-masing adalah -0,69 dan -0,30. Model regresi selanjutnya diperoleh dan digunakan untuk memprediksi analisis resiko di DAS Cisangkuy menggunakan stokastik *spreadsheet* melalui aplikasi *Crystal Ball*.

**Kata kunci:** ENSO, GR4J, debit aliran

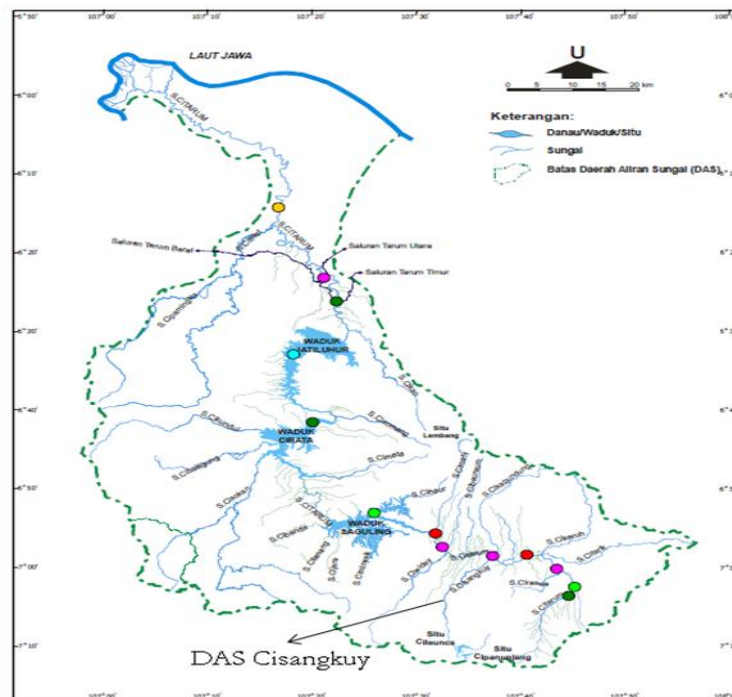
### Pendahuluan

Sebagian besar peneliti mengatakan bahwa serangkaian data variabel iklim dalam jangka waktu panjang sangat baik digunakan untuk melakukan simulasi *runoff* dalam sebuah Daerah Aliran Sungai (DAS). Hal ini, lebih memudahkan dalam kalibrasi model dengan data *runoff* yang ada dan model dapat dikalibrasi untuk menghitung *runoff* dari data *time series* iklim tersebut. Dengan cara yang sama, model dapat digunakan untuk melengkapi kesenjangan dalam rekaman *runoff*. Dengan demikian, model dapat digunakan untuk untuk mengontrol kualitas data agar hasil simulasi sesuai dengan hasil pengamatan (observasi) maka model simulasi harus harus didukung oleh beberapa periode data yang baik. Namun kebutuhan data dalam jangka waktu yang panjang tidak menjadi sesuatu yang mutlak dalam melakukan simulasi terhadap suatu DAS, penggunaan data dalam periode yang pendek juga dapat dilakukan untuk simulasi, tetapi harus memperhatikan karakteristik model yang digunakan menggunakan data yang tersedia. Apabila dalam hasil perbandingan antara simulasi dan pengamatan (observasi) kurang memberikan hasil yang baik maka terdapat beberapa kesalahan dalam pengukuran *runoff* atau variabel input.

Seibert (1999) mengatakan bahwa pengujian model *rainfall-runoff* tidak hanya sekedar berkisar pada analisis daerah tangkapan dan outlet tetapi juga ada dua hal yang penting untuk dilibatkan dalam masalah ini. Pertama, dalam sebuah DAS perlu dilibatkan aspek ekologi yang memiliki pengaruh terhadap karakteristik DAS hingga outlet. Kedua, yang harus dicermati adalah bahwa model yang digunakan dalam melakukan prediksi sering mengeksplorasi hal-hal lain diluar kondisi yang diuji, tentunya hal ini harus dipastikan bahwa model tidak hanya bekerja tetapi juga dapat memberikan gambaran yang pasti tentang aspek yang menjadi fokus pengujian. Dengan menggunakan pemodelan *rainfall-runoff* tidak menjamin bahwa semua komponen model yang diperlukan dapat teridentifikasi dengan baik. Oleh karena itu, yang menjadi pertimbangan adalah memastikan bahwa model tersebut tidak menghilangkan satu atau lebih proses hidrologi yang paling penting dalam

masalah tertentu (Wagner *et al.*, 2004). Model hidrologi yang dikembangkan oleh Perrin *et al.* (2003) yang berbasis pada empat parameter *rainfall-runoff* adalah model *Genie Rural a 4 parametres Journalier* (GR4J). Model GR4J adalah model sederhana karena hanya terfokus pada empat parameter *rainfall-runoff*, model ini disimulasikan menggunakan data curah hujan harian. Dengan kesederhanaan yang dimiliki oleh model ini, maka sangat cocok untuk aplikasi dalam permasalahan yang bersifat operasional. Model ini selanjutnya telah diaplikasikan pada berbagai DAS seperti DAS Rhine di Jerman oleh Lerat *et al.* (2006), DAS Rheraya di Maroko oleh Simonneaux *et al.* (2008) dan DAS di Prancis, Slovenia serta Australia oleh Mathevet *et al.* (2004). Selain itu, telah dilakukan improvisasi model dengan melakukan kopling untuk manajemen reservoir seperti dilakukan oleh Munier *et al.* (2008) serta pengakajian pengaruh hidrologi terhadap konservasi air dan tanah oleh Lacombe *et al.* (2008).

DAS Cisangkuy berada pada wilayah Kabupaten Bandung dan merupakan salah satu sub DAS Citarum ( $5^{\circ}50'-7^{\circ}10'$  LS dan  $107^{\circ}-108^{\circ}$  BT) di Jawa Barat seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Daerah aliran DAS Cisangkuy berada pada DAS Citarum hulu meliputi kecamatan Pangalengan, Banjaran, Baleendah dan Dayeuh Kolot. DAS ini memiliki luas  $252,98 \text{ km}^2$  dan panjang dari hulu ke muara di Dayeuh Kolot mencapai  $44,93 \text{ km}$ . DAS Cisangkuy termasuk ke dalam wilayah dengan pola iklim Monsun di mana awal waktu masuk dan akhir musim hujan sangat dipengaruhi oleh fenomena *El-Niño and Southern Oscillation* (ENSO) yang dapat diamati melalui kondisi anomali suhu muka laut (SML) di Pasifik (Boer dan Subbiah, 2005). Hal ini juga diperkuat oleh Tjasyono (1997) yang menjelaskan bahwa pengaruh ENSO kuat hanya pada wilayah yang memiliki pola iklim Monsun seperti Jawa namun lemah pada wilayah dengan pola Ekuatorial dan tidak jelas pada wilayah dengan pola iklim lokal. Pola iklim Monsun memiliki puncak musim hujan pada bulan Januari dan musim kemarau (Juni-Agustus) yang tegas.



Gambar 1. Lokasi geografis sub DAS Cisangkuy pada DAS Citarum bersumber dari Pusat Litbang SDA Jakarta.

Curah hujan merupakan salah satu parameter yang menjadi input pada model GR4J tentunya sangat erat kaitannya dengan fluktuasi iklim yang dikenal dengan ENSO dengan periode dua kejadian iklim yaitu *El-Niño* dan *La-Niña*. Kejadian *El-Niño* lebih identik dengan kemarau atau musim kering berkepanjangan yang ditandai dengan penurunan intensitas curah hujan di wilayah khatulistiwa. Sedangkan kejadian *La-Niña* lebih identik dengan musim hujan yang ditandai dengan tingginya intensitas curah hujan, sehingga sangat rentan terhadap kejadian banjir. Pada saat terjadinya fenomena ENSO yang berpengaruh pada variabilitas curah hujan akan berdampak pada jumlah debit pada suatu daerah tangkapan air. Ketika melakukan simulasi dengan model GR4J pada saat kondisi ENSO maka akan terlihat dengan jelas sensitivitas dari model tersebut jika data yang digunakan memiliki periode yang panjang, karena rentang waktu antara kejadian *La-Niña* ke *El-Niño* berlangsung antara 2-5 tahun, namun transisi *El-Niño* ke *La-Niña* lebih cepat yaitu  $\pm 1$  tahun. Sementara periode kejadian *La-Niña* sendiri cenderung lebih lama berikisar antara 1-3 tahun sebaliknya *El-Niño* kurang lebih 9-12 bulan. Model GR4J telah digunakan oleh Harlan *et al.* (2010) untuk menghitung debit aliran pada DAS Citarum Hulu Indonesia. Namun, sejauh ini belum dilakukan analisis mengenai dampak ENSO pada debit aliran DAS Citarum Hulu. Oleh karena itu dalam studi ini model GR4J digunakan untuk mengkaji pengaruh ENSO terhadap debit aliran DAS Cisangkuy yang merupakan salah satu sub DAS Citarum di Jawa barat.

## Bahan dan Metode

Untuk mensimulasi model hidrologi GR4J perlu di dukung oleh seperangkat data iklim di wilayah kajian. Model GR4J di gunakan untuk menilai kondisi eksisting hidrologi secara temporal yang dikaitkan dengan ENSO. Indikator ENSO menggunakan informasi anomali SML Nino 3.4 bersumber dari <http://www.cpc.noaa.gov/data/indices/sstoi.indices> dan informasi *Southern Oscillation Index* (SOI) yang dapat dapat diunduh melalui situs <http://www.bom.gov.au/climate/current/soi-2000-2007.shtml>. Model pada studi ini menggunakan data curah hujan harian (mm) selama 5 tahun pada periode 2000-2005 serta suhu minimum dan maksimum (°C) periode 2000-2005 yang digunakan untuk menghitung evaporasi potensial harian (mm). Curah hujan dan evaporasi potensial harian ini nantinya akan menjadi input untuk menjalankan model GR4J. Data curah hujan 2000-2005 bersumber dari stasiun penakar hujan Ciparay milik PLN yang merupakan stasiun terdekat dengan DAS Cisangkuy sementara itu data suhu udara maksimum minimum bersumber dari WorldClim Global Climate Data dengan resolusi spasial ~ 1 km<sup>2</sup> dan data debit aliran observasi DAS Cisangkuy diperoleh dari Center for Climate and Risk Opportunity Management (CCROM) IPB. Data debit aliran observasi ini digunakan untuk mengamati perbandingan hasil debit aliran simulasi dengan debit aliran observasi sekaligus sebagai penentu keberhasilan model. Model GR4J memiliki empat parameter yaitu:

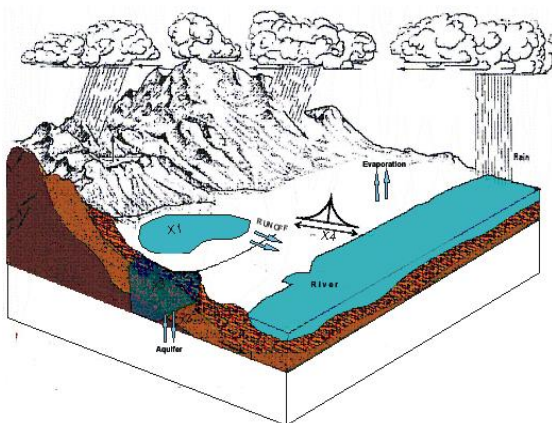
X<sub>1</sub> yaitu kapasitas maksimum dari simpanan produksi (*production store*)(mm).

X<sub>2</sub> yaitu koefisien pertukaran air tanah (mm).

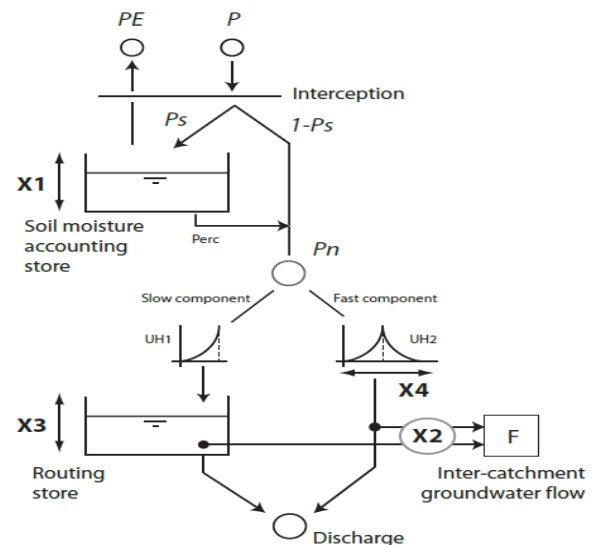
X<sub>3</sub> yaitu kapasitas maksimum dari *routing store* (mm).

X<sub>4</sub> yaitu waktu puncak dari unit hidrograf (UH) (hari).

Deskripsi fisis dan skema perhitungan model GR4J dari proses hujan hingga *runoff* yang direpresentasikan oleh X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, X<sub>3</sub>, dan X<sub>4</sub> ditunjukkan pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Deskripsi fisis model *rainfall-runoff* GR4J (Perrin *et al.*, 2003)



Gambar 3. Skema model *rainfall-runoff* GR4J (Perrin *et al.*, 2003)

Gambar 3 dapat dijelaskan bahwa model ini menggunakan input curah hujan harian dan evaporasi potensial. Curah hujan turun di permukaan dan mengisi kelembaban tanah, volume kelembaban tanah ditandai dengan parameter X<sub>1</sub>. Namun demikian, limpasan langsung dapat terjadi bila intensitas hujan tinggi. Simpanan pada X<sub>1</sub> mengalami perkolasi dan bertemu dengan limpasan langsung dan akhirnya 90% dari aliran tersebut merambat ke simpanan yang lebih dalam di mana volumenya ditandai dengan parameter X<sub>3</sub>. 10% sisanya menghasilkan limpasan yang mengalir ke outlet yang diatur dengan hidrograf satuan pada parameter X<sub>4</sub>. Simpanan dalam ini juga masih merambat dan menghasilkan limpasan tertunda. Kedua simpanan dan limpasan sungai ini rentan terhadap infiltrasi dalam di luar sistem melalui pertukaran pada parameter X<sub>2</sub>.

Kalibrasi dan pengujian model bertujuan agar output model hasilnya mendekati dengan output dari DAS yang diuji. Output yang dikalibrasi adalah hasil debit aliran, dengan cara membandingkan antara hasil prediksi dengan hasil observasi dengan menggunakan kriteria statistik. Metode statistik yang digunakan adalah dengan menghitung efisiensi *Nash-Sutcliffe* (ENS). Persamaan untuk ENS adalah sebagai berikut:

$$E_{NS} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{Si} - Q_{Mi})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{Si} - \bar{Q}_M)^2} \quad (1)$$

Dimana: E<sub>NS</sub> = Koefisien *Nash-Sutcliffe*.  
Q<sub>Si</sub> = Nilai simulasi model.  
Q<sub>Mi</sub> = Nilai observasi.  
 $\bar{Q}_M$  = Rata-rata nilai observasi.  
n = Jumlah data.

Hasil simulasi dikatakan baik jika  $E_{NS} \geq 75,0$ ; memuaskan jika  $75,0 > E_{NS} > 36,0$ ; kurang baik jika nilai  $E_{NS} < 36,0$  (Nash dan Sutcliffe, 1970). Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam studi ini adalah sebagai berikut:

- Identifikasi anomali iklim (ENSO) selama 5 tahun (periode 2000-2005) berdasarkan SOI.
- Uji *running* model GR4J selama 2 tahun (periode 2004-2005).
- Optimasi kalibrasi parameter model dengan metode *Least Square Error* (LSE) menggunakan teknik solver *spreadsheet* yang tersedia pada Microsoft *Excel*.
- Periksa  $E_{NS}$ .
- Uji *running* model GRMJ selama 5 tahun (periode 2000-2005).
- Optimasi kalibrasi parameter model dengan metode LSE menggunakan teknik solver *spreadsheet* yang tersedia pada Microsoft *Excel*.
- Periksa  $E_{NS}$ .
- Analisis resiko iklim menggunakan stokastik *spreadsheet* dengan menggunakan *software Crystal Ball*.

## Hasil dan Pembahasan

### Identifikasi ENSO berdasarkan SOI

Studi ini diawali dengan identifikasi anomali iklim (ENSO) berdasarkan SOI. Gambar 4 menunjukkan SOI yang merupakan salah satu indikator kejadian ENSO. Garis merah pada gambar 4 menunjukkan rata-rata terbobot untuk setiap lima bulanan. Nilai SOI negatif kurang dari -10 menyatakan *El-Niño* dan berdampak terhadap penurunan curah hujan dari normal terutama pada pola iklim Monsun seperti daerah di sekitar DAS Cisangkuy sementara nilai SOI positif lebih dari 10 menyatakan kondisi iklim basah (curah hujan di atas normal) pada pola iklim Monsun seperti daerah di sekitar DAS Cisangkuy. Di samping itu, rentang nilai SOI dengan kisaran antara -10–10 menyatakan kondisi normal yang tidak signifikan dalam menambah atau mengurangi curah hujan pada pola iklim Monsun. Dengan demikian dari Gambar 4 teramati bahwa tahun 2000 merupakan tahun *La-Niña* sementara tahun 2001 hingga 2003 merupakan tahun normal dan awal tahun 2005 merupakan tahun *El-Niño*.

### Analisis debit aliran simulasi dan observasi model GR4J

#### Uji simulasi 2 tahun

Studi ini selanjutnya menguji hasil *running* model GR4J selama 2 tahun (periode 2004-2005). Hasil *running* model selama 2 tahun ini ditunjukkan pada gambar 5. Satuan debit aliran keluaran model adalah mm sama seperti satuan pada curah hujan yang menjadi masukan pada model GR4J. Parameter model yang *dirunning* ini masih menggunakan parameter *default* yang belum dilakukan kalibrasi menggunakan teknik solver yang tersedia pada aplikasi *spreadsheet*. Dari Gambar 5 terlihat bahwa hasil simulasi menunjukkan debit aliran yang tinggi di awal waktu simulasi. Hal ini dikarenakan oleh permasalahan nilai awal sehingga mempengaruhi hasil simulasi. Namun permasalahan nilai awal ini dapat diatasi dengan menggunakan metode LSE pada paket aplikasi solver yang tersedia pada program *spreadsheet* Microsoft *Excel*. Dengan menggunakan teknik LSE solver ini maka kalibrasi parameter model dapat menjadi lebih mudah dilakukan sehingga mempengaruhi hasil simulasi debit aliran pada awal waktu menjadi lebih halus (*fitting*) seperti ditunjukkan pada Gambar 6.  $E_{NS}$  untuk hasil simulasi sebelum menggunakan teknik LSE solver adalah 70,3 dan untuk hasil simulasi sesudah menggunakan teknik LSE solver,  $E_{NS}$  bernilai 70,0. Dengan demikian teknik LSE solver ini dapat digunakan untuk memudahkan kalibrasi parameter model GR4J yang digunakan dalam studi ini.

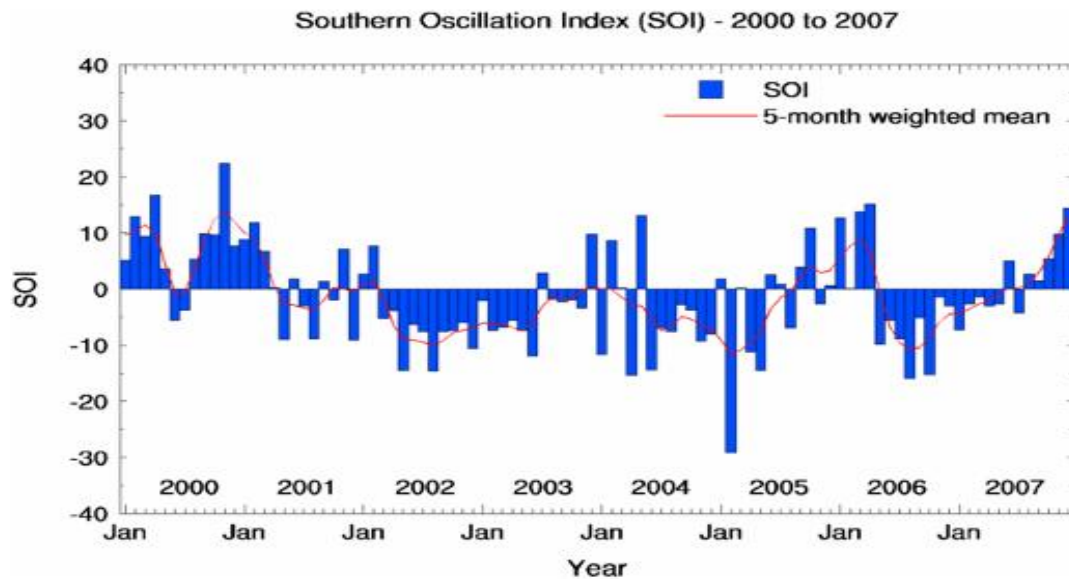
#### Simulasi 5 tahun

Setelah sukses *running* model GR4J selama 2 tahun dengan hasil  $E_{NS}$  yang memuaskan. Kemudian dilanjutkan dengan melakukan simulasi model GR4J selama 5 tahun pada periode 2000 – 2005 seperti ditunjukkan pada Gambar 7, bahwa hasil simulasi menunjukkan pola tahunan yang sesuai dengan data observasi. Hasil model secara umum baik karena model mampu memperlihatkan debit puncak aliran yang terjadi pada setiap tahun walaupun masih belum terlalu sesuai dengan data observasi. Kalibrasi parameter model GR4J juga telah menggunakan teknik LSE Solver dengan hasil yang baik. Hal ini dapat diamati dari debit aliran yang lebih halus diawal waktu simulasi.

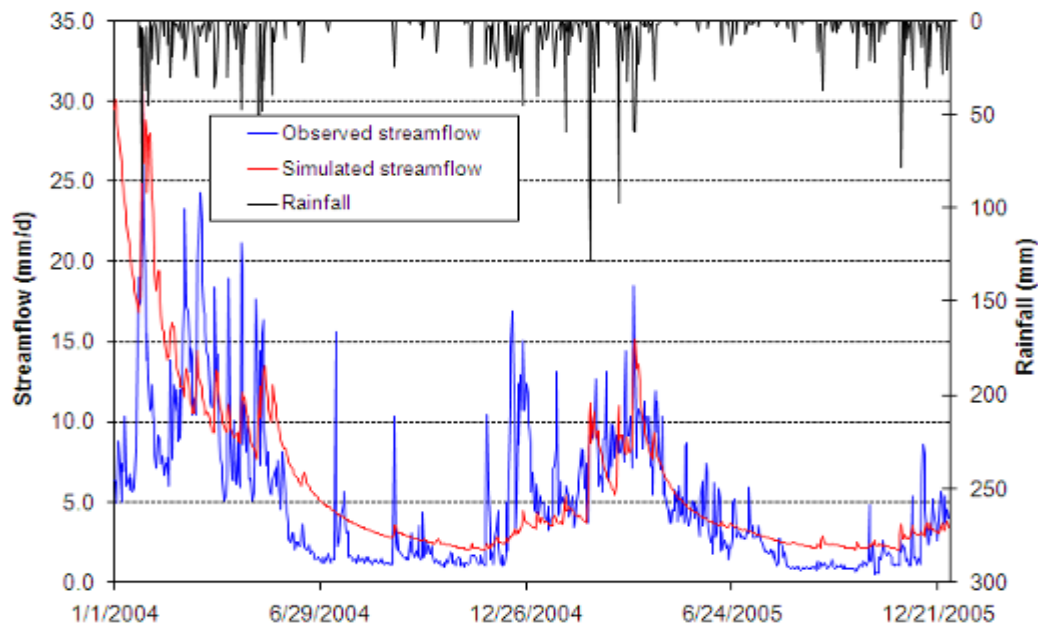
### Fenomena ENSO dan variabilitas curah hujan serta debit aliran DAS Cisangkuy

Fenomena ENSO dan variabilitas curah hujan dan debit aliran hasil model GR4J pada DAS Cisangkuy masing-masing ditunjukkan pada gambar 8 dan 9. Indikator anomali Nino 3.4 digunakan untuk membandingkan hasil simulasi debit aliran serta masukan curah hujan. Indikator Nino 3.4 dipilih karena berdasarkan pembagian anomali SML di wilayah Pasifik, Indonesia berada pada wilayah antara Nino-3 dan Nino-4 atau sering disebut dengan Nino 3.4. Curah hujan di Indonesia memiliki variabilitas yang berkorelasi tinggi dengan anomali SML di wilayah Nino 3.4 dan tentunya kondisi ini juga berdampak terhadap debit aliran pada DAS di Indonesia. Dari gambar 8 terlihat bahwa pada tahun 2000 yang terindikasi terjadi *La-Niña* berdasarkan anomali Nino 3.4, curah hujan justru mengalami penurunan di bawah normal. Kondisi ini tentunya juga menyebabkan menurunnya debit aliran pada DAS Cisangkuy pada tahun 2000 ini. Penurunan curah hujan pada tahun *La-Niña* masih menyisakan pertanyaan, mengingat pada tahun *La-Niña*, curah hujan seharusnya berada pada kondisi di atas normal. Oleh karenanya, penurunan curah hujan di DAS Cisangkuy masih memerlukan penelitian lebih lanjut. Anomali Nino 3.4 adalah indikator ENSO lainnya selain SOI. Anomali Nino 3.4 digunakan pada penelitian ini karena telah menghitung rata-rata terbobot dari anomali SML.

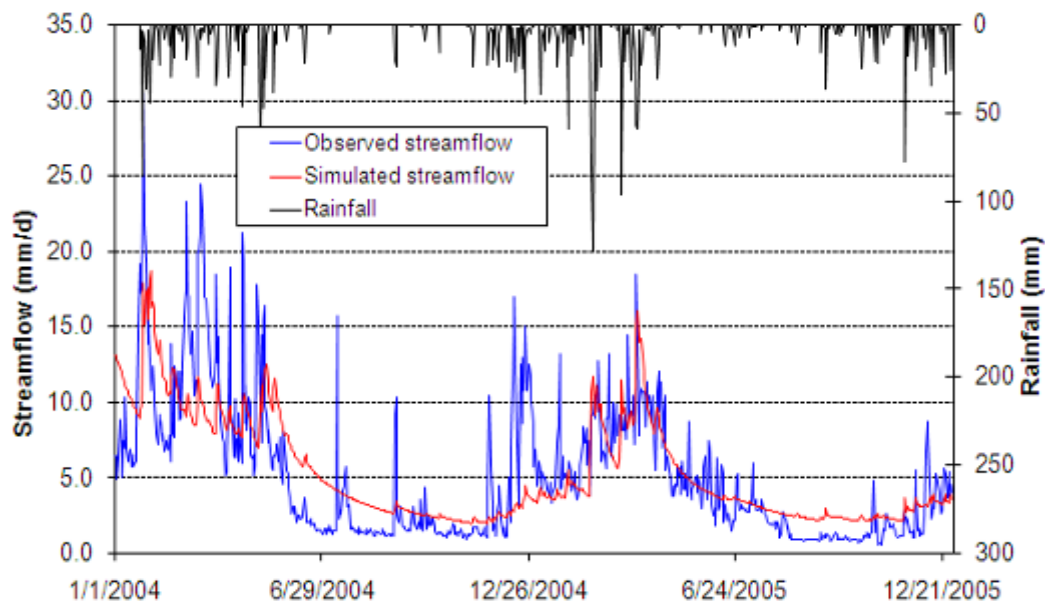
Dengan demikian dampak fenomena ENSO terhadap curah hujan dan debit aliran dapat teramati dengan baik. Sementara itu, pada tahun normal 2001-2004, curah hujan berada dalam kisaran normal demikian juga dengan debit aliran di DAS Cisangkuy yang berada pada kondisi normal. Sementara itu pada tahun *El-Niño*, curah hujan mengalami penurunan di bawah normal demikian juga dengan debit aliran di DAS Cisangkuy.



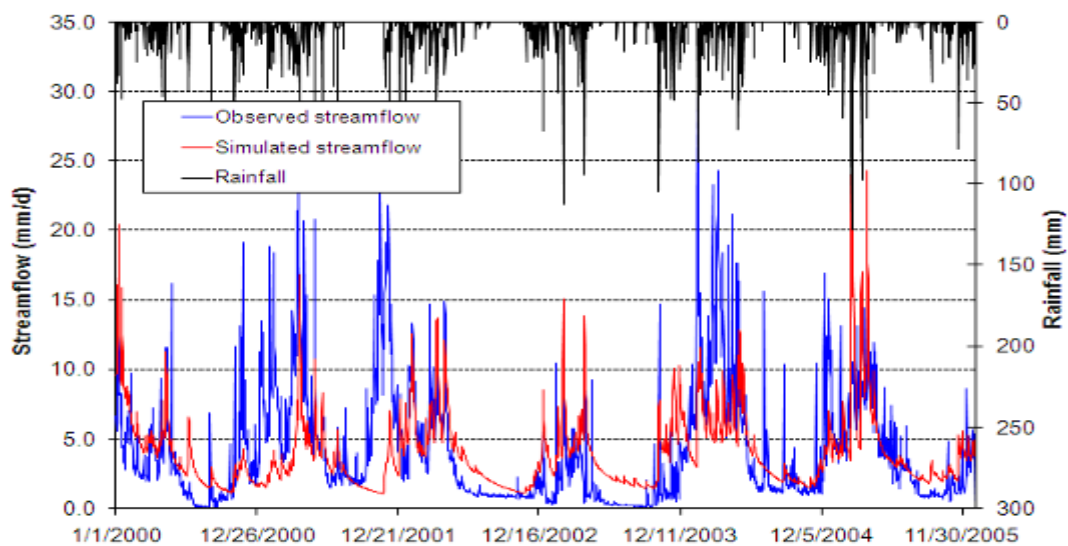
Gambar 4. Kondisi iklim berdasarkan SOI periode 2000-2007.



Gambar 5. Simulasi model hidrologi GR4J periode 2004 – 2005 (2 tahun) sebelum menggunakan teknik LSE solver.



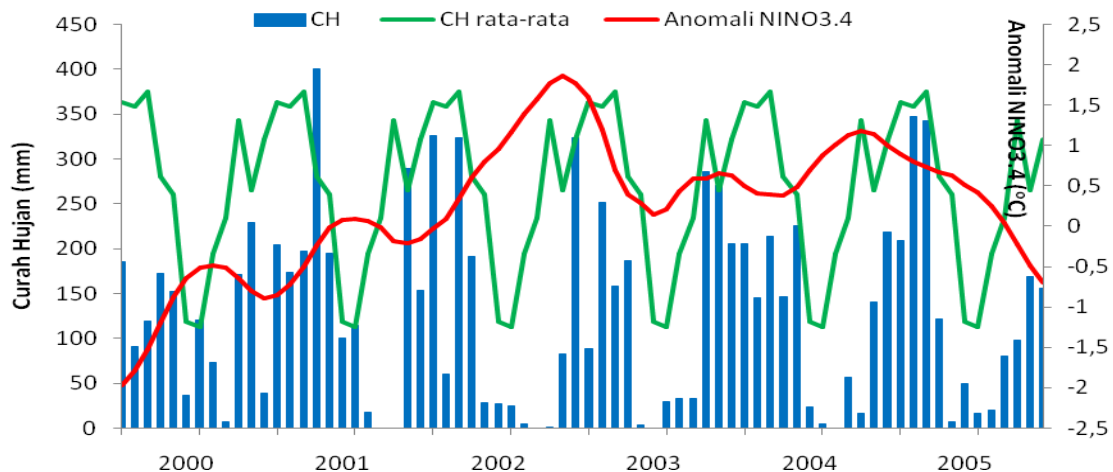
Gambar 6. Simulasi model hidrologi GR4J periode 2004 – 2005 (2 tahun) setelah menggunakan teknik LSE solver.



Gambar 7. Simulasi model hidrologi GR4J selama 5 tahun pada periode 2000 – 2005.

#### Hubungan anomali iklim Nino 3.4 terhadap variabilitas curah hujan dan debit aliran

Model GR4J menghasilkan data debit aliran harian. Untuk mengamati pengaruhnya terhadap iklim, maka debit aliran hasil simulasi serta curah hujan observasi perlu diakumulasikan untuk setiap bulan dan tahun. Pada studi ini data yang digunakan adalah data curah hujan 6 tahun periode 2000-2005 sehingga data debit aliran yang dihasilkan juga sebanyak 6 tahun. Dengan demikian, kita dapat mengamati besar curah hujan serta debit aliran yang terjadi selama 6 tahun. Enam koordinat pada Gambar 10 dan Gambar 11 juga merepresentasikan jumlah tahun pada studi ini. Sebaiknya untuk pengamatan klimatologi, data yang digunakan seharusnya tersedia untuk rentang waktu 30 tahunan. Untuk mengamati keterkaitannya dengan anomali iklim, maka kita perlu mengumpulkan data anomali Nino 3.4 pada bulan Juli untuk setiap tahunnya dan membuat hubungan antara anomali iklim Nino 3.4 terhadap besar curah hujan dan debit aliran pada periode September, Oktober dan November (SON) sehingga diperoleh pers. (2) dan (3).



Gambar 8. Hubungan anomali Nino 3.4 dengan curah hujan (mm) tahun 2000 – 2005 di DAS Cisangkuy.  
CH=curah hujan (mm).

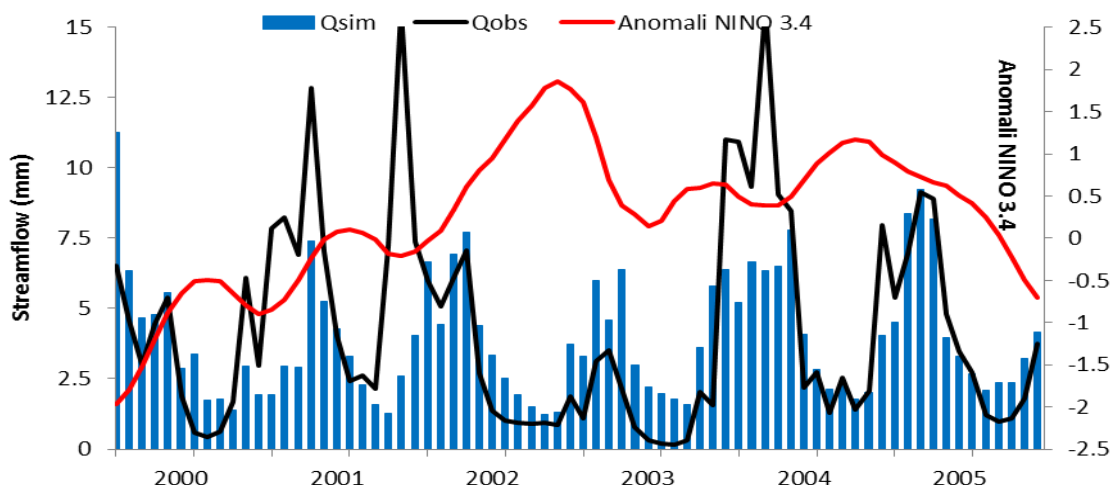
Periode Juni hingga Agustus, Indonesia memasuki musim kemarau ditandai dengan anomali Nino 3.4 negatif pada musim ini. Kondisi ini berdampak terhadap penurunan curah hujan di Indonesia. Sementara periode SON Indonesia telah memasuki periode transisi ke musim hujan ditandai dengan anomali Nino 3.4 positif dan peningkatan curah hujan. Dengan mengetahui keterkaitan curah hujan dengan anomali Nino 3.4 negatif di bulan Juli maka kita dapat membuat hubungan antara anomali Nino 3.4 bulan Juli dengan periode hujan bulan SON. Hubungan ini bermanfaat untuk mengamati besar curah hujan yang mungkin terjadi jika kondisi Nino 3.4 negatif ini tetap berlangsung dan tentunya berpengaruh terhadap fluktuasi debit aliran di DAS Cisangkuy. Hubungan antara data anomali Nino 3.4 bulan Juli dengan terhadap variabilitas curah hujan periode SON disajikan pada gambar 10. Persamaan regresi yang diperoleh dari hubungan keduanya adalah:

$$y = -199,3x + 396,5 \quad (2)$$

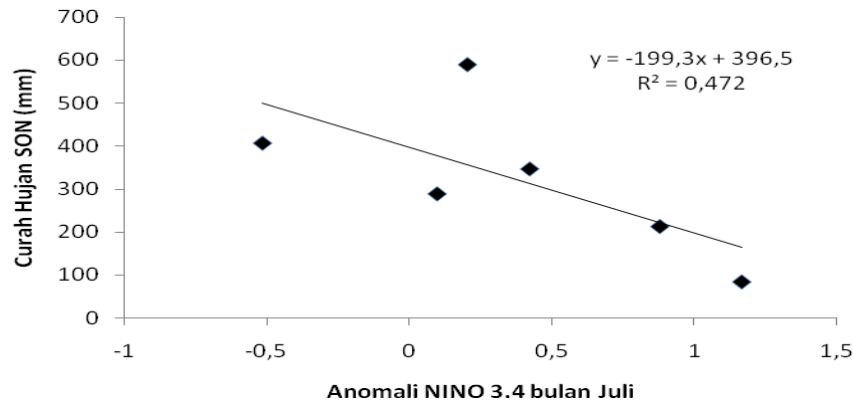
Koefisien korelasi ( $r$ ) pada pers. (2) adalah -0,69. Hal ini mengindikasikan bahwa hubungan antara keduanya adalah nyata. Peluang 30 % di dalam klimatologi sudah dapat dikatakan baik (Rizaldi Boer, komunikasi personal). Dengan menggunakan pers. (2) kita dapat memprediksi curah hujan periode SON dari data anomali Nino 3.4 bulan Juli. Setiap kenaikan atau penurunan  $1^{\circ}\text{C}$  anomali Nino 3.4 maka curah hujan akan bernilai 199 mm dari rata-rata sekitar 397 mm. Selanjutnya hubungan antara anomali Nino 3.4 bulan Juli terhadap debit aliran periode SON di DAS Cisangkuy disajikan pada Gambar 11. Persamaan regresi yang diperoleh dari hubungan keduanya adalah:

$$y = -1,219x + 7,217 \quad (3)$$

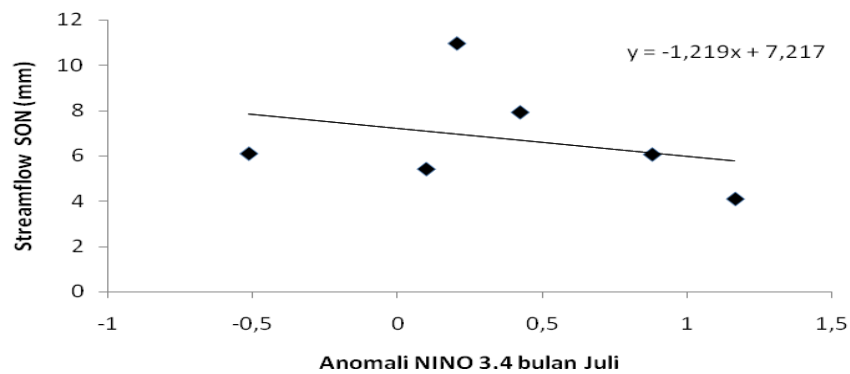
Koefisien korelasi pers. (3) adalah -0,30. Hal ini juga mengindikasikan bahwa terdapat hubungan nyata negatif antara keduanya. Dengan menggunakan pers. (3) kita dapat memprediksi debit aliran SON dari data anomali Nino 3.4 bulan Juli. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa setiap kenaikan atau penurunan  $1^{\circ}\text{C}$  anomali Nino 3.4 maka debit aliran akan bernilai 1,2 mm dari rata-rata sekitar 7,2 mm.



Gambar 9. Hubungan anomali Nino 3.4 dengan debit aliran (mm) tahun 2000 – 2005 di DAS Cisangkuy. Qsim = debit aliran simulasi (mm) dan Qobs = debit aliran observasi (mm).



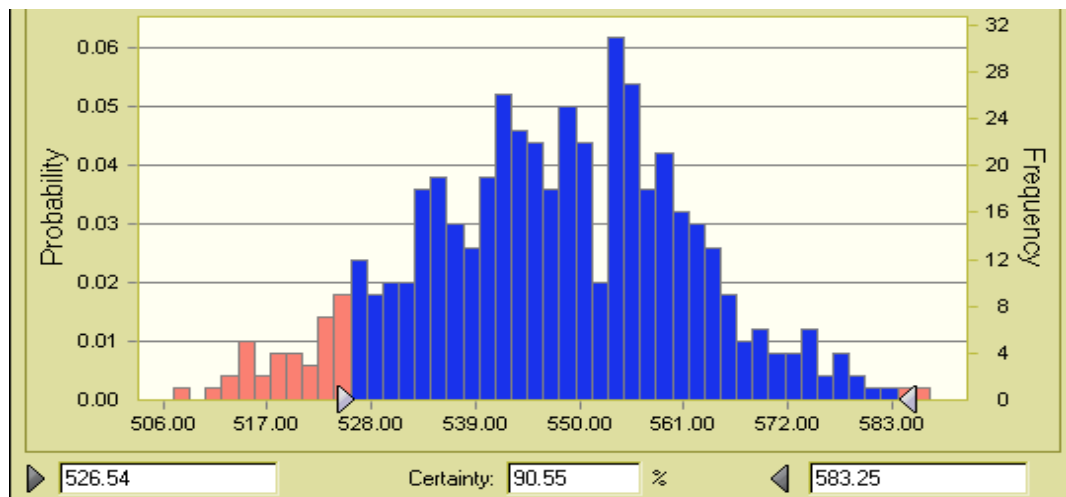
Gambar 10. Hubungan anomali Nino 3.4 dengan curah hujan periode SON tahun 2000 – 2005.



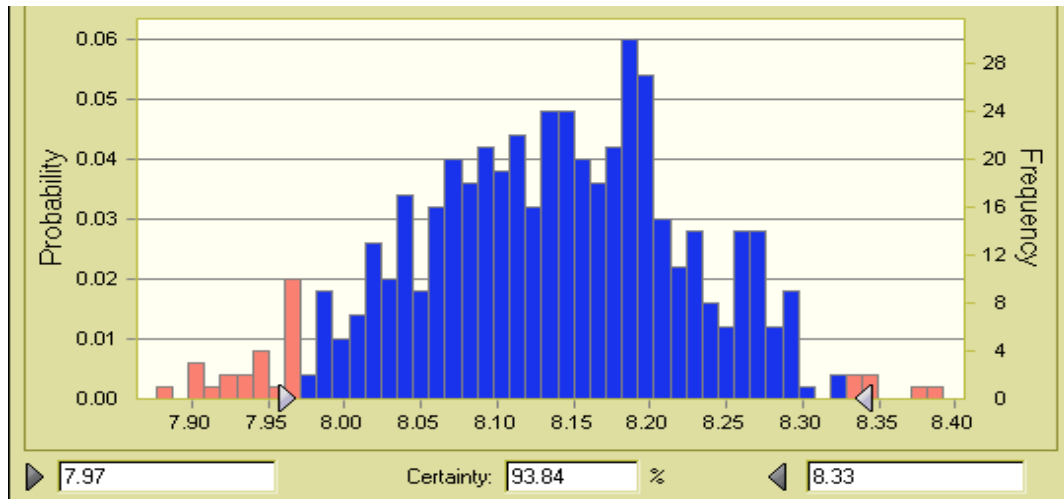
Gambar 11. Hubungan anomali Nino 3.4 dengan debit aliran periode SON tahun 2000-2005.

#### Analisis resiko iklim dengan stokastik *spreadsheet* menggunakan *software Crystal Ball*

Analisis resiko iklim dapat dilakukan dengan menggunakan stokastik *spreadsheet* yang tersedia pada program aplikasi *Crystal Ball*. Dengan menggunakan pers. (2) dan (3) kita dapat menentukan peluang terjadinya hujan dan debit aliran berdasarkan informasi prediksi anomali Nino 3.4 bulan Juli. Jika prediksi anomali Nino 3.4 pada bulan Juli tahun 2012 yang dikeluarkan oleh BMKG akan bernilai -0,76 maka dengan menggunakan stokastik *spreadsheet* akan diperoleh hasil seperti ditunjukkan pada Gambar 12 dan Gambar 13.



Gambar 12. Prediksi peluang dan frekuensi curah hujan periode SON berdasarkan anomali Nino 3.4 bulan Juli tahun 2012



Gambar 13. Prediksi peluang dan frekuensi debit aliran periode SON berdasarkan anomali Nino 3.4 bulan Juli tahun 2012

Gambar 12 menunjukkan prediksi peluang dan frekuensi curah hujan berdasarkan anomali Nino 3.4 bulan Juli tahun 2012. Dari Gambar 12 dapat disimpulkan bahwa prediksi curah hujan di DAS Cisangkuy pada periode SON akan terdistribusi normal dengan kisaran 506 mm – 583 mm. Curah hujan tertinggi berada pada kisaran 550 - 561 mm dengan frekuensi kejadian sebanyak 20 hingga 31 kali. Dengan mengacu pada kondisi curah hujan rata-rata pada pers. (2), secara umum kisaran curah hujan berada dalam kondisi normal sesuai dengan definisi BMKG. Gambar 13 menunjukkan prediksi peluang dan frekuensi debit aliran berdasarkan anomali Nino 3.4 bulan Juli tahun 2012 di DAS Cisangkuy. Dari gambar 13 dapat disimpulkan bahwa prediksi debit aliran di DAS Cisangkuy pada periode SON akan terdistribusi normal dengan kisaran 7,9 mm – 8,4 mm. Debit aliran tertinggi berada pada kisaran 8,15 – 8,20 mm dengan frekuensi kejadian sebanyak 28 kali.

## Kesimpulan

Simulasi model GR4J selama 2 tahun menghasilkan hasil model dengan nilai  $E_{NS} = 70$  yang tergolong memuaskan. Demikian juga dengan simulasi model GR4J selama 5 tahun. Pada studi ini fenomena ENSO terhadap curah hujan dapat teridentifikasi dengan baik. Demikian halnya dengan fenomena ENSO terhadap debit aliran juga dapat teridentifikasi dengan baik. Kejadian *La-Niña* pada tahun 2000 curah hujan justru berkurang di bawah normal. Kondisi ini berdampak terhadap menurunnya debit aliran DAS Cisangkuy di tahun ini. Namun sebaliknya pada periode normal 2001-2004 curah hujan juga berada dalam kisaran normal sehingga debit aliran di DAS Cisangkuy juga normal. Demikian juga pada tahun *El-Niño*, berkurangnya curah hujan berdampak terhadap berkurangnya laju debit aliran DAS Cisangkuy. Hal ini terlihat dari korelasi antara anomali Nino 3.4 di bulan Juli dengan curah hujan dan debit aliran pada periode SON. Analisis resiko iklim memungkinkan untuk dilakukan menggunakan stokastik *spreadsheet*. Namun demikian, untuk memperoleh analisis resiko iklim yang lebih baik masih membutuhkan data simulasi yang lebih panjang  $\pm 30$  tahun sehingga sehingga mampu mewakili dan memberikan gambaran menyeluruh mengenai kondisi iklim di DAS Cisangkuy sekaligus menghindari hilangnya informasi kondisi normal di suatu daerah akibat adanya penyimpangan iklim.

## Ucapan terima kasih

Penulis menghaturkan banyak terima kasih kepada bapak Prof. Dr. Hidayat Pawitan atas masukan, saran dan koreksi yang bermanfaat menuju kesempurnaan studi ini. Demikian juga kepada reviewer dan editor jurnal Depik. Sisi Febriyanti atas pemberian data curah hujan stasiun Ciparay. Penghargaan penulis berikan kepada DIKTI melalui beasiswa BPPS untuk kelangsungan studi dan publikasi ini.

## Daftar Pustaka

- Boer, R., A. R. Subbiah. 2005. Agriculture drought in Indonesia. Monitoring and Predicting Agricultural Drought, halaman 330-344 dalam V. S. Boken, A. P. Cracknell, R. L. Heathcote (ed), A Global Study. Oxford University Press, U.K.
- Harlan, D., M. Wangsadiyura, C.M. Munajat. 2010. Rainfall-Runoff Modeling of Citarum Hulu River Basin by Using GR4J, dalam Proceedings of the World Congress on Engineering 2010. London, U.K 30 Juni – 2 Juli 2010.
- Lacombe, G., B. Cappelaere, C. Leduc. 2008. Hydrological impact of water and soil conservation works in the Merguelli catchment of central Tunisia. Journal of Hydrology, 359: 210– 224.
- Lerat, J., B. Abadie, V. Andreassian, C. Perrin.. 2006. Catchment Domain Model: Part A. Focus on the Rhine basin What to expect from simple approaches in hydrological modelling?. Laporan NeWater project, European Commission.

- Mathevet, T., C. Michel, C. Perrin, V. Andréassian. 2004. Experimental design of a lumped hydrological model representing the Rainfall-Runoff transformation at the Hourly time-step, halaman 1-10 dalam hydrological modeling papers of BALWOIS 2004. Ohrid, Republic of Macedonia 25-29 Mei 2004.
- Munier, S., J. Lerat, G. Belaud, X. Litrico. 2008. A new compact model coupling rainfall-runoff and routing model to support reservoir releases management, dalam Complete Final Reports of IWRA 13th World Water Congress. Montpellier, France 1-4 September 2008.
- Nash, J. E., J. V. Sutcliffe. 1970. River flow forecasting through conceptual models-pt 1. *Journal of Hydrology*, 10(3): 282-290.
- Perrin, C., C. Michel, V. Andréassian. 2003. Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation. *Journal of Hydrology*, 279: 275-289.
- Seibert, J. 1999. Conceptual runoff models - fiction or representation of reality?. Thesis Ph.D Uppsala University, Swedia.
- Simonneaux, V., L. Hanich, G. Boulet, S. Thomas. 2008. Modelling runoff in the Rheraya Catchment (High Atlas, Morocco) using the simple daily model GR4J: Trends over the last decades, dalam Complete Final Reports of IWRA 13th World Water Congress. Montpellier, France 1-4 September 2008.
- Tjasyono, B. 1997. Mekanisme fisis pra, selama dan pasca El Niño. Paper disajikan pada Workshop Atmospheric Dynamic Research Group. Jakarta 13-14 Maret 2007.
- Wagener, T., H.S. Wheater, H.V. Gupta. 2004. Rainfall – Runoff modelling in gauged and ungauged catchments. Imperial College Press, London.