

APLIKASI MODEL HIDROLOGI KONSEPTUAL UNTUK PENGALIH RAGAMAN HUJAN DEBIT MENGGUNAKAN PENDEKATAN GR4J

(Studi Kasus : Sub DAS Indragiri Bagian Hulu)

Safari Tri Septanto¹⁾, Imam Suprayogi²⁾, Manyuk Fauzi²⁾

¹⁾ Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, ²⁾ Dosen Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Riau, Pekanbaru 28293

E-mail: Safari_ts@ymail.com

ABSTRACT

On this study to review the rainfall-runoff modeling of GR4J (Ge'nie Rural a'4parame'tres Journalier) on Watershed (DAS) Indragiri Bagian Hulu. In this study using two methods: by modeling GR4J and length of the data elaboration method for calibration and verification. This GR4J models using input data including daily data of rainfall at the Lubuk Ramo station and daily data of evapotranspiration potential is the result of a program CropWat within input data is climatological data at Sentajo stations, modeling results is tested using daily data of discharge observations on the Pulau Berhala station. This modeling to optimize four free parameters such as Maximum Capacity Production Store (X_1) is 1200,00 mm, Coefficient Changes in Ground water (X_2) is 3,00 mm, Maximum Capacity Routing Store (X_3) is 20,00 mm, and Peak Time Ordinate unit hydrograph (X_4) 24,75 days. In the second method, performed of calibration in certainly year and verification in thereafter. As a determinant of the model's success is use dequation NashSutcliffe Coefficient (R^2) and the correlation coefficient method (R) to calculate the deviation occurs.

Keywords : GR4J, Calibration, Verification.

PENDAHULUAN

Beberapa pendekatan digunakan untuk membangun suatu pemodelan curah hujan menjadi debit aliran sungai, pendekatan ini sangat dipengaruhi oleh tujuan utama si pemodel dalam menentukan parameter yang akan dicari. Dalam suatu pemodelan, banyak parameter yang berpengaruh seperti input data, nilai dari parameter yang ditetapkan, struktur pemodelan dan lain-lain. Salah satu cara yang umum dari suatu pemodelan adalah mengembangkan model dari suatu

pemodelan yang telah ada kemudian memodifikasinya.

Model yang muncul saat ini kebanyakan adalah hasil pengembangan dari model terdahulu melalui proses yang panjang dan mengalami banyak penyempurnaan. Banyak model *rainfall-runoff* yang sudah dikembangkan diantaranya: *Tank model* (Sugawara, 1995), *IHACRES* (Ye, 1997), *HBV* (Lindstrom, 1997), *SMAR* (Tan dan O'Connor, 1996), *TOPMODEL* (Beven, 1986), *Xinanjiang* (Jayawardena dan Zhou, 2000) dan lain-lain.

Pemodelan *Génie Rural* menggunakan prinsip model tangki (*tank model*). Dasar pemikiran model tangki adalah meniru (*simulate*) sistem daerah aliran sungai dengan menggantinya oleh sejumlah tampungan yang digambarkan sebagai sederet tangki. Model tangki dikembangkan oleh Sugawara (1977).

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 *Génie Rural* diawali dari konsep model hujan-debit *Génie Rural à 2 Parametres*, GR2V1 hingga GR2V6 (Edijatno, 1989). *Génie Rural à 2 Parametres* berkembang menjadi GR3J. GR4J merupakan versi modifikasi terbaru. Secara berurutan yang bekerja pada model ini dimulai oleh Edijatno & Michel (1989), Nascimento (1995) dan Edijatno *et al.* (1999) dan Perrin (2000).

Model GR4J adalah pemodelan *rainfall-runoff* diukur berdasarkan 4 parameter bebas yang diperoleh dari data curah hujan harian. Model GR4J dikembangkan dari model sebelumnya yang dikembangkan dari metode aslinya yang ditemukan oleh Edijatno dan Michel (1989) kemudian disempurnakan oleh Nascimento (1995) dan Edijatno (1999). Model GR4J mengoptimasi empat parameter bebas yaitu :

X_1 : Kapasitas maksimum dari *production store* (mm)

X_2 : Koefisien perubahan *groundwater* (mm)

X_3 : Kapasitas maksimum *routing store* (mm)

X_4 : Waktu saat debit puncak unit hidrograf UHI (hari)

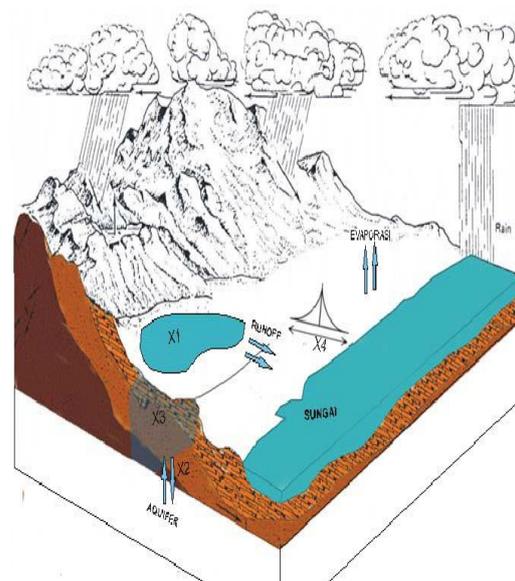
Production Store (X_1) adalah tampungan dipermukaan tanah yang bisa menampung air dari hujan yang terjadi.

Tampungan ini mengalami proses evapotranspirasi dan perkolasi. Besarnya tampungan ini sangat dipengaruhi oleh jenis tanah yang ada pada suatu DAS, semakin kecil porositas tanah maka semakin besar *production store* yang ada.

Koefisien Perubahan *Groundwater* (X_2) adalah fungsi dari perubahan air tanah yang mempengaruhi besarnya *routing store*. Ketika memiliki nilai negatif maka air masuk ke akuifer dalam dan ketika memiliki nilai positif maka air dari akuifer keluar dan masuk ke tampungan (*routing storage*).

Routing storage (X_3) adalah kapasitas air yang bisa ditampung dalam pori-pori tanah. Besarnya nilai *routing store* ini tergantung dari jenis dan kelembaban tanah.

Time Peak (X_4) adalah waktu saat puncak ordinat unit hidrograf banjir yang dihasilkan pada pemodelan GR4J. Ordinat unit hidrograf ini dihasilkan dari *runoff* yang terjadi, dimana 90% aliran merupakan aliran lambat yang masuk ke dalam tanah dan 10% aliran merupakan aliran cepat yang mengalir di permukaan tanah.



Gambar 1 Gambaran fisik model *rainfall-runoff* GR4J.

Langkah pertama kita masukan data curah hujan harian (P) dan evapotranspirasi potensial (E). Kemudian definisikan P menjadi Net rainfall Pn dan E menjadi Net evapotranspirasi En. Berikut adalah persamaan untuk memperoleh Pn dan En.

1. *Input* data curah hujan harian (P) dan evapotranspirasi potensial (E). Kemudian definisikan P menjadi Net rainfall Pn dan E menjadi Net evapotranspirasi En.

2. Memperoleh nilai Pn dan En.

Jika $P \geq E$ maka
 $P_n = P - E$ dan $E_n = 0$ (1)

Jika $P \leq E$ maka
 $E_n = E - P$ dan $P_n = 0$ (2)

3. Mencari nilai Ps dari Pn yaitu nilai Pn yang mengisi *production store*, dirumuskan sebagai berikut:

$$P_s = \frac{x_1 \left(1 - \left(\frac{s}{x_1}\right)^2\right) \tanh\left(\frac{P_n}{x_1}\right)}{1 + \frac{s}{x_1} \tanh\left(\frac{P_n}{x_1}\right)} \quad (3)$$

Kasus lain jika $P < E$ maka Es dirumuskan sebagai berikut:

$$E_s = \frac{s \left(2 - \frac{s}{x_1}\right) \tanh\left(\frac{E_n}{x_1}\right)}{1 + \left(1 - \frac{s}{x_1}\right) \tanh\left(\frac{E_n}{x_1}\right)} \quad (4)$$

4. En mengurangi jumlah *production store*, Dalam pemodelan ini *production store* S tidak pernah melebihi X1. sehingga *production store* dirumuskan sebagai berikut:

$$S = S - E_s + P_s \quad (5)$$

5. Di dalam *production store*, perkolasi dirumuskan sebagai berikut:

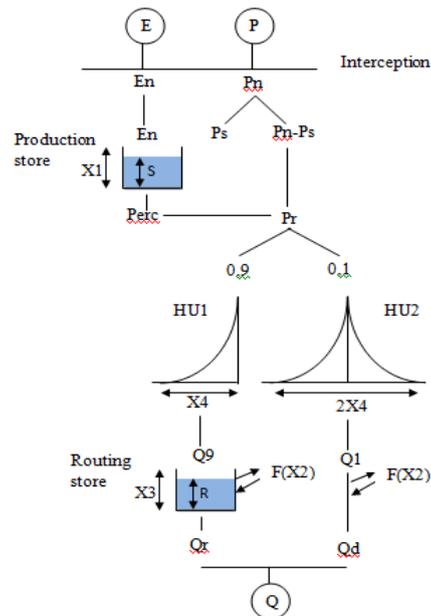
$$Perc = S \left\{ 1 - \left[1 + \left(\frac{4s}{9x_1} \right)^4 \right]^{-\frac{1}{4}} \right\} \quad (6)$$

6. Perc dianggap selalu lebih rendah dari S. Sehingga nilai tampungan bias dirumuskan sebagai berikut:

$$S = S - Perc \quad (7)$$

7. Sebagian $P_n - P_s$ dari Pn dan sebagian perkolasi dari *production store* bergabung dan mencapai *routing store*.

$$P_r = Perc + (P_n - P_s) \quad (8)$$



Gambar 2. Diagram model rainfall-runoff GR4J (Perrin, 2003)

8. Jumlah air yang mencapai routing store dibagi menjadi aliran cepat dan aliran lambat. Aliran cepat di routing dengan unit hidrograf UH1 dan aliran lambat dengan UH2. 90% dari Pr dirouting oleh unit hidrograf UH1 dan sisanya di routing dengan UH2. Koefisien ini bukanlah angka yang tidak bisa dirubah, menurut penelitian yang telah dilakukan Edijatno pada 144 das yang terdapat di Prancis memperlihatkan kerja model yang optimal dengan koefisien tersebut. UH1 didefinisikan berdasarkan waktu, t sebagai berikut:
 untuk $t \leq 0$, $SH1(t) = 0$ (9)
 untuk $0 < t < X_4$, $SH1(t) = \left(\frac{t}{X_4}\right)^{\frac{5}{2}}$ (10)
 untuk $t \geq X_4$, $SH1(t) = 1$ (11)
 Seperti SH1, SH2 dicari sebagai berikut:

$$t \leq 0, SH2(t) = 0 \quad (12)$$

$$0 < t < X_4, SH2(t) = \frac{1}{2} \left(\frac{t}{X_4} \right)^{\frac{5}{2}} \quad (13)$$

$0 < t < 2X_4$ maka :

$$SH2(t) = 1 - \frac{1}{2} \left(2 - \frac{t}{X_4} \right)^{\frac{5}{2}} \quad (14)$$

$$t \geq X_4, SH2(t) = 1 \quad (15)$$

UH1 dan UH2 dirumuskan sebagai berikut

$$UH1 = SH1_j - SH1_{j-1} \quad (16)$$

$$UH1 = SH1_j - SH1_{j-1} \quad (17)$$

9. Perubahan groundwater, F dirumuskan sebagai berikut:

$$F = X_2 \left(\frac{R}{X_2} \right)^{7/2} \quad (18)$$

10. Dimana R adalah ketinggian dari routing store, dengan catatan R tidak pernah melebihi X_3 , ketinggian routing store berubah seiring bertambahnya Q_9 dari UH1 dan F, sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$R = \max(0; R + Q_9 + F) \quad (19)$$

Debit Q_r dari tampungan dapat dihitung dengan persamaan:

$$Q_r = R \left\{ 1 - \left[1 + \left(\frac{R}{X_3} \right)^4 \right]^{\frac{1}{4}} \right\} \quad (20)$$

11. Dimana Q_r selalu lebih rendah dari R. Ketinggian tampungan kemudian dapat dihitung dengan persamaan $R = R - Q_r$ (21)

12. Air yang berasal dari routing (penelusuran) disebut Q_d dan dihitung dengan persamaan:

$$Q_d = \max(0; Q_1 + F) \quad (22)$$

13. Debit total, Q bisa dihitung dengan persamaan :

$$Q = Q_r + Q_d \quad (23)$$

14. Mengevaluasi model diperlukan data debit harian dari sungai untuk membandingkan dengan debit yang diperoleh dari model. Dalam menghitung penyimpangan yang terjadi metode *Nash-Sutcliffe Coefficient* (R^2) digunakan untuk

menghitung perbedaan jumlah kuadrat dari data observasi dengan data hasil pemodelan :

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{Si} - Q_{Mi})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{Mi} - Q_m)^2} \times 100\% \quad (24)$$

Dengan :

R^2 = Koefisien Nash-Sutcliffe

Q_{Si} = Nilai Simulasi Model

Q_{Mi} = Nilai observasi

Q_m = Rata-rata nilai observasi

N = Jumlah data

R^2 memiliki *range* antara $-\infty$ sampai dengan 100. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Motovilov *et al* (1999), R^2 memiliki beberapa kriteria seperti yang diperlihatkan pada Tabel 1 berikut.

Nilai R^2	Interpretasi
$R^2 > 0,75$	Baik
$0,36 < R^2 < 0,75$	Memenuhi
$R^2 < 0,36$	Tidak memenuhi

Sumber : Motovilov, *et al* (1999)

Selain kriteria performa model yang telah disebutkan sebelumnya yang dapat digunakan sebagai tolak ukur keberhasilan model adalah koefisien korelasi yang ditulis sebagai R, dengan bentuk persamaan :

$$R = \frac{\sum xy}{\sqrt{\sum x^2 y^2}} \quad (25)$$

Dimana

$$x = X - X_m \quad (26)$$

X = Debit observasi

X_m = Rata-rata nilai Debit observasi

$$y = Y - Y_m \quad (26)$$

Y = Debit kalkulasi

Y_m = Rata-rata nilai Debit kalkulasi

R memiliki *range* antara 0 sampai dengan 1. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sugiyono (2003:216), NSE memiliki beberapa kriteria seperti yang diperlihatkan pada Tabel 2.1 berikut.

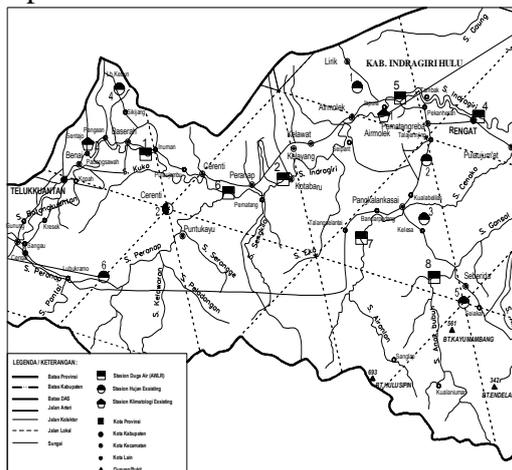
Tabel 2 Kriteria Nilai Koefisien Korelasi

Nilai (R)	Interpretasi
0 sampai dengan 0,19	Sangat Rendah
0,20 sampai dengan 0,39	Rendah
0,40 sampai dengan 0,59	Sedang
0,60 sampai dengan 0,79	Kuat
0,80 sampai dengan 1	Sangat Kuat

Sumber : Sugiyono (2003:216)

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, lokasi outlet yang diteliti adalah Sub DAS Indragiri Bagian Hulu yaitu Stasiun Pulau Berhala Kecamatan Kuantan Kabupaten Kuantan Singingi Provinsi Riau. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 3 seperti di bawah ini.

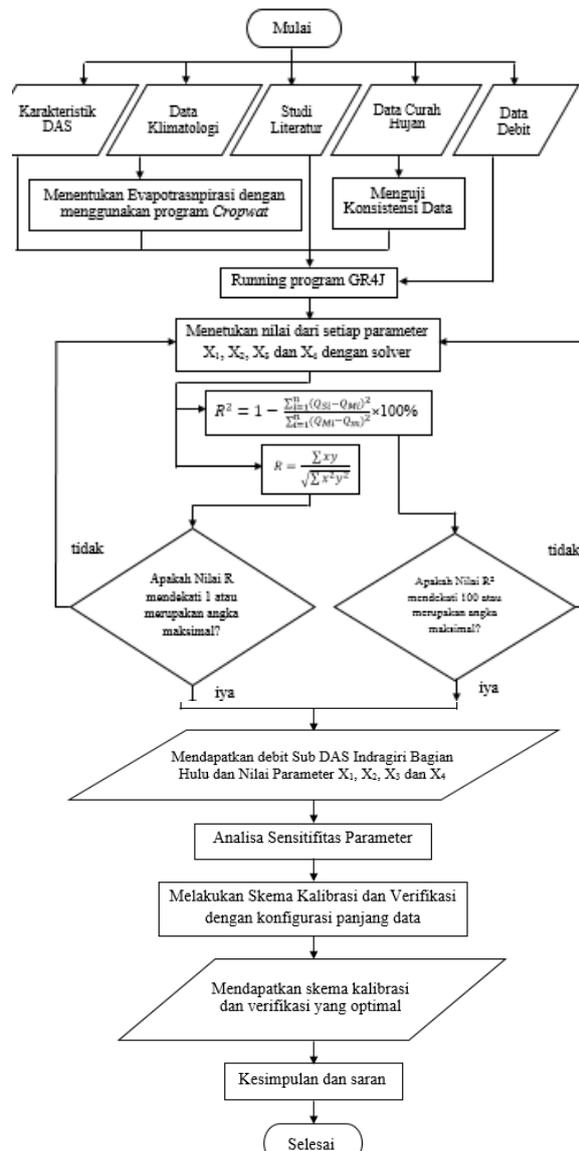


Gambar 3. Lokasi Stasiun AWLR Pulau Berhala

Analisis yang dimaksud adalah menganalisis perilaku dari tiap parameter dan memperhatikan perilaku kalibrasi dan verifikasi dari elaborasi panjang data. Evapotranspirasi menggunakan program Crowat, kemudian dimasukkan dalam program GR4J yang dibuat oleh Perrin tahun 2003. Input data yang diperlukan adalah curah hujan harian, evapotranspirasi, dan rainfall yang diperoleh dari data debit sungai yang sudah memiliki persamaan liku kalibrasi (*rating curve*). Melakukan input parameter X_1 , X_2 , X_3 , dan X_4 dengan cara coba-coba (*solver*) hingga

nilai *Nash-Sutcliffe* mendekati angka 100 atau mencapai nilai maksimal yang mungkin didapat dari *running* program tersebut.

Penelitian ini menganalisa sensitifitas pada setiap parameter dan menganalisa kalibrasi dan verifikasi (konfigurasi panjang tahun). Menguji kekuatan model dengan persamaan *Nash Sutcliffe* (R^2) dan koefisien korelasi (R). Tahap-tahap yang akan dilakukan dalam penyelesaian tugas akhir dapat dilihat pada Gambar 4



Gambar 4 Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

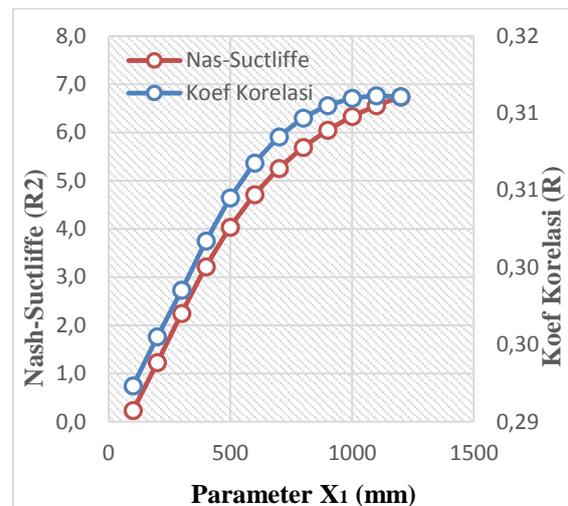
Model GR4J pada penelitian ini mencakup data curah hujan, debit, klimatologi (harian) tahun 2006 sampai tahun 2010. Untuk mendapatkan hasil yang paling optimum, tiap nilai parameter harus dievaluasi dengan memilih parameter yang menghasilkan nilai yang paling optimum, apabila didapat parameter baru dari hasil evaluasi yang menghasilkan nilai yang lebih baik, maka parameter terdahulu diganti dengan yang baru. Sehingga apabila tidak ada nilai parameter yang lebih baik lagi maka nilainya tidak akan berubah. Hasil dari solver untuk parameter X_1 sampai parameter X_4 dapat dilihat dalam tabel pada Tabel 3.

Tabel 3. Koefisien Parameter

Parameter	Nilai	Uji Ketelitian (%)	
		R^2	R
X_1	1200 mm	6,736	0,311
X_2	3 mm		
X_3	20 mm		
X_4	24,75 hari		

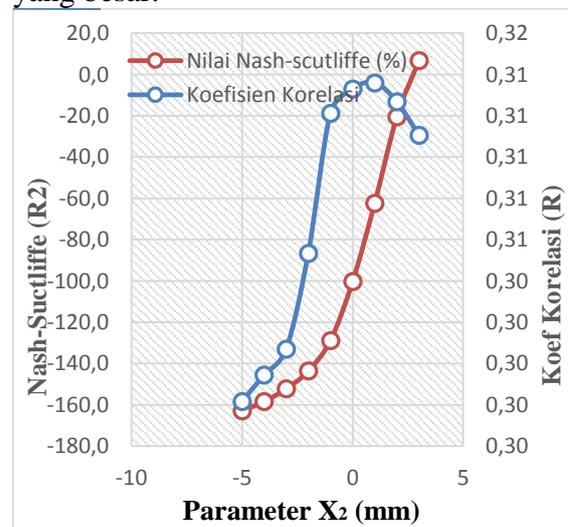
Sumber : hasil penelitian, 2015

Berdasarkan Tabel 3 terlihat bahwa nilai parameter X_1 berada pada range 100 s/d 1200, parameter X_1 menunjukkan angka 1200,00 mm. Nilai parameter X_2 berada pada range -5 s/d 3mm, parameter X_2 menunjukkan angka 3,00mm. Nilai parameter X_3 berada pada range 20 s/d 300, parameter X_3 menunjukkan angka 20,00 mm. Nilai parameter X_4 tidak berada pada range 1,1 s/d 2,9 hari, parameter X_4 menunjukkan angka tidak dalam range yaitu 24,75 hari. Perilaku dari setiap parameter X_1 dapat dilihat dalam grafik pada Gambar 5.



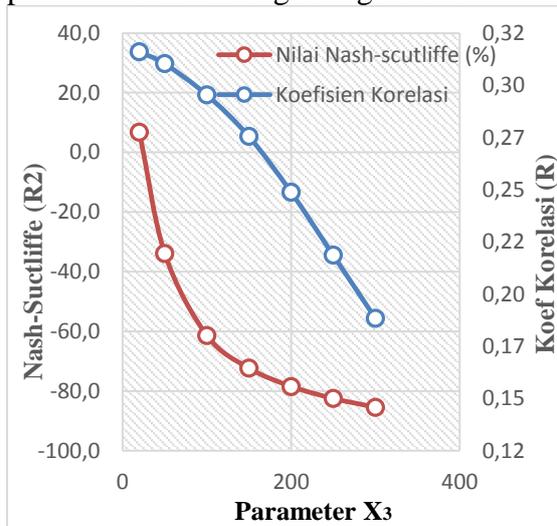
Gambar 5. Grafik perilaku parameter X_1

Grafik pada Gambar 5 terlihat nilai Nash Sutcliffe dan koefisien korelasi sedikit mengalami kenaikan di batas atas dari parameter X_1 dan mengalami penurunan dibagian batas bawah dari parameter X_1 , hal ini menunjukkan kapasitas tampungan disurface yang cukup untuk menampung air, kapasistas ini tergantung dari jenis tanah dan kelembapan tanah, hal ini juga dipengaruhi oleh besarnya curah hujan dan evapotranspirasi. Angka kapasitas tampungan yang cukup menunjukan bahwa jenis tanah pada Sub DAS Indragiri bagian hulu memiliki porositas yang besar.



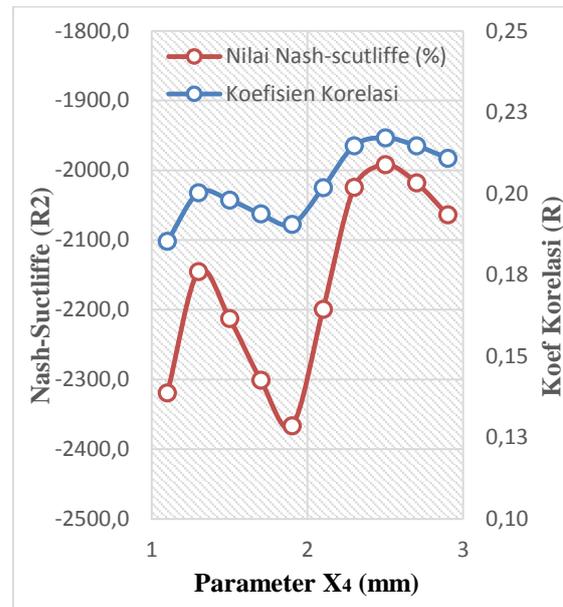
Gambar 6. Grafik perilaku parameter X_2

Grafik pada Gambar 6 Nilai R^2 dan R cenderung mengalami kenaikan pada batas atas dan mengalami penurunan pada batas bawah dari parameter X_2 , ini menunjukkan bahwa air yang terdapat pada lapisan tanah, akan keluar dari akuifer dan masuk ke tampungan (*storage*). Sehingga air yang keluar ini, memberikan kontribusi besarnya debit pada Sub DAS Indragiri bagian hulu.



Gambar 7. Grafik perilaku parameter X_3

Grafik pada Gambar 7 memperlihatkan nilai Nash Sutcliffe mengalami penurunan pada batas atas dan mengalami peningkatan pada batas bawah dari parameter X_3 , ini menunjukkan bahwa Sub DAS Indragiri bagian hulu memiliki *routing storage* yang besar, karena tanah mempunyai pori-pori yang cukup banyak. Kapasitas maksimum *routing storage* ini ditentukan oleh 90% dari total *runoff* yang terjadi pada aliran lambat, sehingga besarnya tampungan dari *runoff* yang masuk kedalam tanah ditentukan oleh jenis tanah.



Gambar 8. Grafik perilaku parameter X_4

Grafik pada Gambar 8 memperlihatkan tidak ada nilai R^2 yang dapat menunjukkan nilai performa model yang baik, oleh sebab itu dilakukan penelitian kembali dengan *range* tanpa batasan (random), hal ini dilakukan untuk mengetahui pada nilai parameter berapa nilai R^2 menunjukkan nilai yang bagus, hasil dari penelitian sensitifitas parameter X_4 tanpa batasan, oleh sebab itu pada penelitian ini parameter X_4 Waktu saat debit puncak unit hidrograf *UHI* (hari) tidak dilakukan, bercermin pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Dhemi Harlan (2009) membatasi X_4 tidak kurang dari 0,5.

Pada penelitian ini juga membahas kalibrasi dan verifikasi data dengan memanfaatkan panjang data, Skema dari banyak data dapat dilihat dalam tabel pada Tabel 4.

Tabel 4. Panjang Data Skema

Skema	Kalibrasi (tahun)	Verifikasi (tahun)
1-1	2006	2007
1-2	2006	2007-2008

1-3	2006	2007-2009
1-4	2006	2007-2010
2-1	2006-2007	2008
2-2	2006-2007	2008-2009
2-3	2006-2007	2008-2010
3-1	2006-2008	2009
3-2	2006-2008	2009-2010
4	2006-2009	2010

Sumber : hasil penelitian, 2014

Hasil kalibrasi dari setiap skema dengan panjang data yang dapat dilihat dalam tabel pada Tabel 5

Tabel 5. Hasil Kalibrasi

Skema	R ² (%)	R
1	-11,385	0,110
2	0,332	0,215
3	16,247	0,408
4	16,247	0,279

Sumber : hasil penelitian, 2014

Hasil Verifikasi dari setiap skema dapat dilihat dalam tabel pada Tabel 3 dapat dilihat pada tabel 6

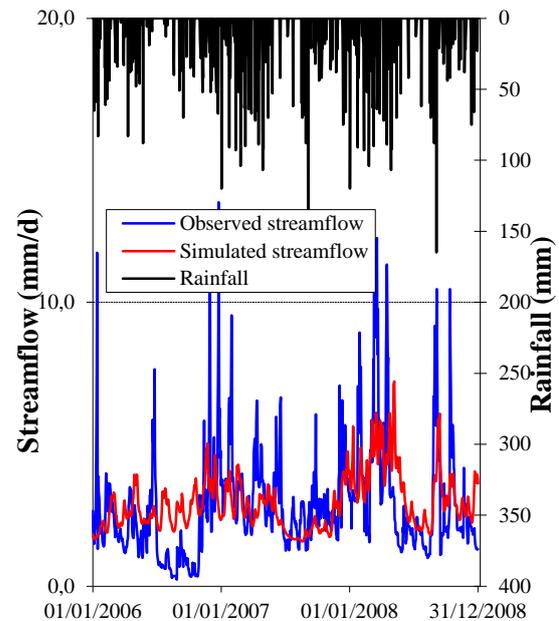
Tabel 6. Hasil Verifikasi

Skema	R ² (%)	R
1.1	2,530	0,448
1.2	21,506	0,476
1.3	2,423	0,281
1.4	6,736	0,311
2.1	26,381	0,521
2.2	2,355	0,296
2.3	6,639	0,294
3.1	-18,425	0,103
3.2	-0,088	0,214
4	-0,666	0,513

Sumber : hasil penelitian, 2014

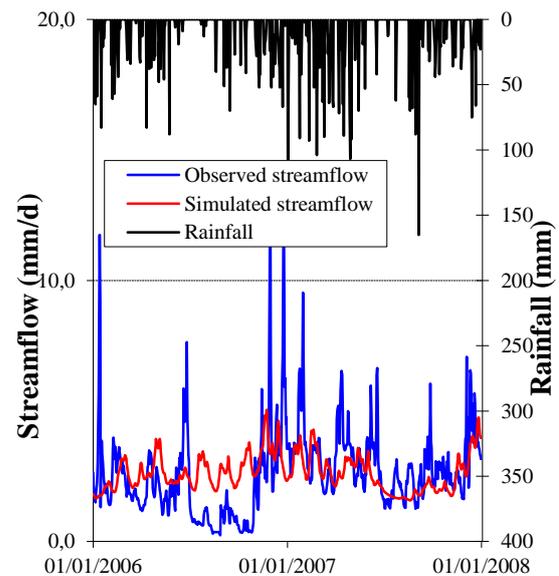
Tabel.6 memperlihatkan bahwa nilai R² tertinggi pada tahap kalibrasi terletak pada kalibrasi 3 tahun, sementara itu nilai R tertinggi juga terletak pada kalibrasi 3 tahun. Pada tahap verifikasi, nilai R² tertinggi terletak pada verifikasi 1 tahun dengan kalibrasi 2 tahun, sementara nilai R tertinggi juga

terletak pada verifikasi 1 tahun dengan kalibrasi 2 tahun. Hasil kalibrasi dari model GR4J yang memiliki nilai R² dan R tertinggi yaitu pada skema 3 dapat dilihat pada grafik hidograf pada Gambar 9.



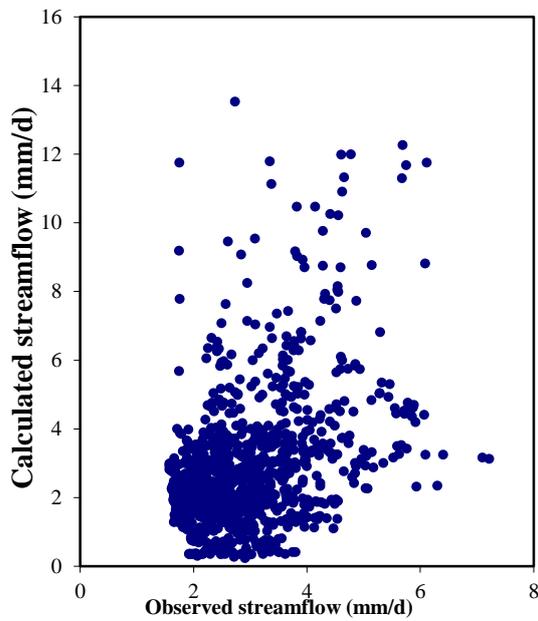
Gambar 9. Grafik hidograf kalibrasi skema 3

Hasil verifikasi yang memiliki nilai R² dan R tertinggi pada skema 2.1 dan dapat dilihat pada grafik hidograf pada Gambar 10.

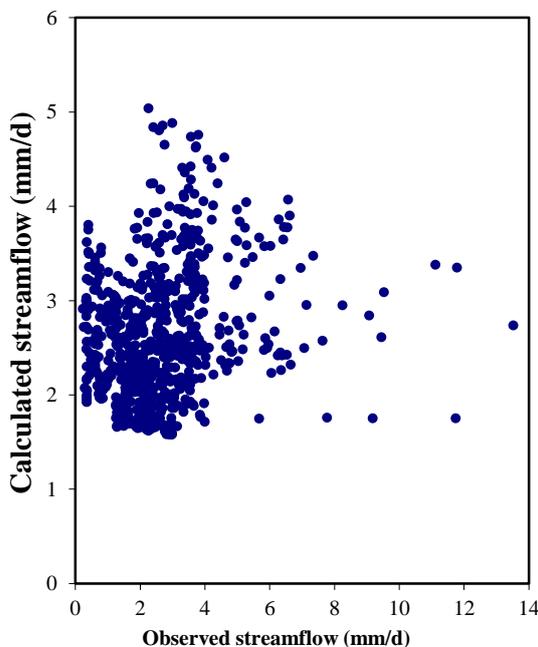


Gambar 10. Grafik hidograf verifikasi skema 2.a.

Hasil dari debit kalkulasi dan debit observasi ditampilkan dalam grafik, untuk melihat nilai sebaran titik yang mewakili setiap debit, setiap titik-titik tersebut dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Perbandingan debit kalkulasi dengan observasi kalibrasi skema 3



Gambar 12. Perbandingan debit kalkulasi dengan observasi kalibrasi skema 2.1

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan analisis dan pembahasan hasil penelitian yang berjudul Analisis Pengalih Ragaman Hujan Menjadi Debit dengan Pemodelan GR4J (*Genie Rural a 4 Parameters Journalier*) Studi Kasus DAS Siak hulu, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada tahap analisa GR4J dengan bantuan solver, hasil dengan pembatasan parameter-parameter, skema 1 tahun kalibrasi, dan 4 tahun verifikasi yaitu parameter X_1 sebesar 1200,00 mm, parameter X_2 sebesar 3,00 mm, parameter X_3 sebesar 20 mm, dan parameter X_4 sebesar 24,75 hari.
2. Pada tahap kalibrasi nilai tertinggi berdasarkan Nash-sutcliffe dan koefisien korelasi yang ditampilkan dari pemodelan GR4J terletak pada 3 tahun kalibrasi dengan nilai R^2 sebesar 16,247% dan R sebesar 0,408. Nilai yang didapatkan dikategori kan “memenuhi” sehingga model GR4J dapat dikatakan efektif.
3. Pada tahap verifikasi nilai tertinggi berdasarkan Nash-sutcliffe dan koefisien korelasi yang ditampilkan dari pemodelan GR4J terletak pada 1 tahun verifikasi dengan kalibrasi 2 tahun. R^2 sebesar 26,381% dan R sebesar 0,521. Nilai yang didapatkan dapat dikategori kan “memenuhi” sehingga model GR4J dapat dikatakan efektif.
4. Analisa parameter X_1 , parameter X_2 dan parameter X_3 memenuhi batasan yang diperoleh dari penelitian terdahulu, namun parameter X_4 tidak memenuhi batasan yang ada. Namun merujuk pada penelitian Dhemi Harlan dengan judul penelitian “Penentuan Debit Harian Menggunakan Pemodelan Rainfall Runoff GR4J untuk Analisa Unit

Hidrograf pada DAS Citarum Hulu” yang menyatakan bahwa nilai X_4 harus melebihi 0,5.

5. Parameter yang paling sensitif adalah parameter X_4 . Dapat terlihat dari perubahan yang signifikan dari nilai Nash-sutcliffe dan koefisien korelasi.
6. Keberhasilan yang diperoleh tahap kalibrasi tidak menjamin keberhasilan pada tahap verifikasi.

Berdasarkan hasil dan pembahasan dalam penelitian ini maka dapat diperoleh saran untuk rekan-rekan peneliti sebagai berikut :

apabila ada penelitian tentang GR4J yang lain agar peneliti dapat memperhatikan dengan teliti karakteristik suatu DAS yang akan diteliti seperti *catchment area* dan lain-lain, karena disamping parameter X_1 , X_2 , X_3 , dan X_4 , *catchment area* juga besar pengaruhnya terhadap hasil dari GR4J tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Dasanto, B.D.** 2000. *Penuntun Praktikum Model Hidrologi Daerah Aliran Sungai. Makalah Pelatihan Agroklimatologi. Jurusan Geofisika dan Meteorologi, FMIPA-IPB Bekerjasama Bagpro Peningkatan SDM Ditjen Dikti Depdiknas.* Bogor, 14-26 Agustus 2000.
- Edijatno.** 1999. *GR3J: A Daily Watershed Model with Three Free Parameters.* Journal of Hydrology.
- Harlan, Dhemi.** 2009. *Penentuan Debit Harian Menggunakan Pemodelan Rainfall Runoff GR4J untuk Analisa Unit Hidrograf pada DAS Citarum Hulu.* Jurnal Teknik Sipil ITB.
- Hidayat, Y.** 2001. *Aplikasi Model ANSWERS dalam Mempredikasi Erosi dan Aliran Permukaan di DTA Bodong Jaya dan DAS Way Besay Hulu, Lampung Barat.* Tesis Magister. Program Pascasarjana, IPB Bogor.

Indarto. 2010. *Hidrologi Dasar Teori dan Contoh Aplikasi Model Hidrologi,* Bumi Aksara, Jakarta.

Kheira, Medane. 2012. *Hydrologie et Modelisation Plue-Debit Cas Bassin Versant De L'oued Boumessaoud.* Faculte Sciences De La Nature Et De La Vie Et Des Sciences De La Terre Et De L'univers.

Michel, M. Claude. 2005. *Quantification des incertitudes des debit calculus par un modele pluie-debit empirique.*

Perrin, M., dan Andre'assian. 2003. *Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation,* Journal of Hydrology.

Science for a changing world. 2015, [online], (<http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycle.html>), diakses tanggal 20 Februari 2015.

Seyhan, Ersin. 1977. *Dasar-dasar Hidrologi.* Editor Soenardi Prawirohatmojo. Yogyakarta: UGM Press.

Sri Harto Br. 1993. *Analisis Hidrologi.* PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

Sugiyono. 2003:216, Kriteria Koefisien korelasi, [online], (<http://irwan.ndaru.scaff.gunadarma.ac.id/Downloads/files/16914/BAB+III+metodologi+Penelitian.doc>), diakses tanggal 20 Februari 2015.

Tovani, Ega Riana. 2015. *Analisis Efektifitas Model GR4J Guna Pengalihragaman Hujan Menjadi Debit (Studi Kasus DAS Siak Hulu).* Skripsi Teknik Sipil Universitas Riau.

Triatmodjo, Bambang. 2008. *Hidrologi Terapan.* Beta Offset, Yogyakarta.

Wibowo, Ryan Ardhi. 2013. *Analisa Hujan Aliran Menggunakan Model Ihacres (Studi Kasus Das Indragiri).* Tugas Akhir Teknik Sipil Universitas Riau.