

**KOMPARASI MODEL HIDROLOGI RUNTUN WAKTU
UNTUK ANALISIS HUJAN – DEBIT MENGGUNAKAN
GR4J DAN TRANSFORMASI WAVELET – GR4J
(Studi Kasus : DAS Indragiri bagian Hulu)**

Rony Rahmad Riady¹⁾, Manyuk Fauzi²⁾, Imam Suprayogi²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

²⁾Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya Jln. HR Soebrantas KM 12.5 Pekanbaru, Kode Pos 28293

Email: rony189yaron@gmail.com

ABSTRACT

GR4J model is one of the well known rainfall-debit model analysis and have been successful in investigating the hydrology response of the various watersheds, especially in Indonesia. In this research is used as a case study locations are on Watershed (DAS) Indragiri Hulu section. This study used two methods, they are GR4J model and Wavelet-GR4J transformation combining method. This Wavelet-GR4J transformation Combining method is expected can increase the Nash -Sutcliffe Coefficient and the Correlation Coefficient. GR4J model used input data including daily rainfall data and at Lubuk Ramo station and daily potential evapotranspiration data which is the result of the CropWat program with climatology input data at Sentajo station. The result of this model watershed by using debit data of daily observation at Pulau Berhalo station. In the next stage, calibration will be done in the certain year, verification in the next year, and simulation which is the combination of calibration and verification. Simulation of Wavelet-GR4J Transformation resulted value equation Nash-Sutcliffe Coefficient of 12,740% and the Correlation Coefficient (R) of 0,378. In the process of Wavelet-GR4J Transformation combining method produced a better result than GR4J model based on the value of Nash-Sutcliffe Coefficient and Correlation Coefficient. The simulation of Wavelet-GR4J Transformation method resulted value equation Nash-Sutcliffe Coefficient of 12,805% and the Correlation Coefficient (R) of 0,380, it can be categorized "not sufficient" and "low" which mean that the GR4J model and the Wavelet-GR4J Transformation combining method can be said "not effective"

Keywords: wavelet transformation, GR4J, calibration, verification, simulation.

A. PENDAHULUAN

Model hidrologi merupakan gambaran sederhana dari suatu sistem hidrologi yang aktual (Brook *et al*, 1991), untuk keperluan analisis tentang keberadaan air menurut aspek jumlah, waktu, tempat, probabilitas dan runtun waktu (*time series*). Model hidrologi memiliki banyak manfaat, salah satunya dapat digunakan untuk prediksi / peramalan debit. Prediksi debit dari model hidrologi pada suatu DAS bisa menjadi Sistem Peringatan Dini (*Early Warning System*) terhadap terjadinya peristiwa bencana alam.

Peramalan aliran sungai dalam suatu proses hidrologis memiliki peran yang penting agar dapat menghasilkan manajemen, perencanaan, dan penggunaan sumber daya air secara akurat dan berkelanjutan. Untuk keperluan analisa hidrologi diperlukan data hidrologi yang panjang, tetapi sering dijumpai data yang tersedia tidak lengkap atau bahkan tidak ada sama sekali. Sesuai dengan karakteristik fenomena hidrologi suatu daerah pengaliran sungai, aliran sungai berubah-ubah tidak beraturan, oleh karena itu sulit untuk

meramalkan besarnya debit yang melintasi penampang sungai secara pasti pada suatu saat tertentu. Untuk mendekati fenomena tersebut maka perlu dikembangkan suatu analisa sistem hidrologi dengan menggunakan model yang merupakan penyederhanaan kenyataan alam yang sebenarnya (Hadihardaja dkk, 2005).

Beberapa pendekatan digunakan untuk membangun suatu permodelan curah hujan menjadi debit aliran sungai. Dalam suatu permodelan, banyak parameter yang berpengaruh seperti input data, nilai dari parameter yang ditetapkan, struktur permodelan dan lain-lain. Salah satu cara yang umum dari suatu permodelan adalah mengembangkan model dari suatu permodelan 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 (Harlan dkk, 2009).

Model yang akan dikaji pada studi ini adalah jenis pemodelan *rainfall-runoff* harian adalah *GR4J* (*Genie Rural a 4 parametres Journalier*) yang dikembangkan oleh Perrin (2003) dan sudah terbukti memiliki dasar yang kuat dan terbukti efisien dalam pemodelan. Pemodelan *GR4J* ini merupakan pengembangan dari model sebelumnya yaitu *GR3J* yang pertama kali dikenalkan oleh Edijatno dan Mitchel (1989) kemudian disempurnakan oleh Nascimento (1995) dan Edijatno (1999) (Harlan dkk, 2009).

Model *GR4J* telah diaplikasikan Safari (2015) di kawasan Riau pada DAS Indragiri bagian Hulu pada Stasiun Pulau Berhalo dengan nilai *Nash-Sutcliffe* dapat dikategori kan “tidak memenuhi” dan nilai R dapat dikategori kan “sedang” sehingga model *GR4J* dapat dikatakan “tidak

efektif”. Zacky Ilham (2016) mengaplikasikan model pendekatan dengan menggunakan metode gabungan Transformasi Wavelet-*GR4J* di kawasan Riau pada DAS Siak Hulu Stasiun Pantai Cermin dan menghasilkan peningkatan performa model dengan nilai *Nash-Sutcliffe* dan koefisien korelasi yang dapat dikatagorikan “efektif”.

Lokasi yang penulis jadikan studi kasus, sebelumnya telah dilakukan penelitian oleh Safari (2015) dengan kesimpulan permodelan *GR4J* yang dikategorikan “tidak efektif”. Pada penelitian kali ini penulis melakukan komparasi data dengan tujuan untuk mengetahui kecocokan data dengan hasil dari permodelan dengan studi kasus yang sama dengan Safari (2015), dan juga penulis mengaplikasikan model pendekatan dengan menggunakan metode gabungan Transformasi Wavelet-*GR4J* yang diharapkan dapat meningkatkan *Nash-Sutcliffe* dan koefisien korelasi pada DAS Indragiri bagian hulu dengan titik *outlet* yang dijadikan penelitian adalah stasiun Pulau Berhalo.

1. Transformasi Wavelet

Menurut Irwandinata (2010), transformasi wavelet adalah pengubahan suatu fungsi matematika menjadi bentuk yang lebih sederhana yang membagi data menjadi beberapa komponen frekuensi yang berbeda-beda dan menganalisis setiap komponen tersebut dengan menggunakan resolusi yang sesuai dengan skalanya. Seperti halnya Transformasi Fourier yang memberitahu informasi frekuensi dari sebuah sinyal, Transformasi Wavelet juga dapat mempresentasikan informasi waktu. Oleh karena itu Transformasi Wavelet mempunyai keuntungan apabila dibandingkan dengan Transformasi Fourier dalam menganalisis suatu sinyal yang non-stasioner (sinyal yang informasi frekuensinya berubah menurut waktu). Transformasi wavelet dibagi menjadi dua bagian besar, yaitu transformasi wavelet kontinu (TWK) dan transformasi wavelet

diskrit (TWD). Transformasi Wavelet Kontinu (TWK) mempunyai cara kerja dengan menghitung konvolusi sebuah sinyal dengan sebuah jendela modulasi pada setiap waktu dengan setiap skala yang diinginkan. Jendela modulasi yang mempunyai skala fleksibel inilah yang biasa disebut induk wavelet atau fungsi dasar wavelet. Menurut Reza (2013), dibandingkan dengan TWK, Transformasi Wavelet Diskrit (TWD) dianggap relatif lebih mudah dalam pengimplementasiannya. Prinsip dasar dari TWD adalah bagaimana cara mendapatkan representasi waktu dan skala dari sebuah sinyal menggunakan teknik pemfilteran digital dan operasi *sub-sampling*. Bentuk dari TWD dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$\text{TWD}(m,n) = \sum (a_0^m)^{-0.5} f(k) \left[\frac{\psi(n-ka_0^m)}{a_0^m} \right]$$

dengan :

- $\psi(k)$ = fungsi wavelet (wavelet induk),
- $f(k)$ = sinyal asli,
- a_0^m = konstanta skala,
- ka_0^m = konstanta translasi,
- k,m = variabel integer.

Sutarno (2010) dan Listyaningrum (2007) menjelaskan, pada proses *sub-sampling* sinyal pertama-tama dilewatkan pada rangkaian filter *high-pass* dan *low-pass*, kemudian setengah dari masing-masing keluaran diambil sebagai sample melalui operasi *sub-sampling*. Proses ini disebut sebagai proses dekomposisi satu tingkat. Keluaran dari filter *low-pass* digunakan sebagai masukan di proses dekomposisi tingkat berikutnya. Proses ini diulang sampai tingkat proses dekomposisi yang diinginkan. Gabungan dari keluaran-keluaran filter *high-pass* dan satu keluaran filter *low-pass* yang terakhir, disebut sebagai koefisien wavelet, yang berisi informasi sinyal hasil transformasi yang telah terkompresi. Pasangan filter *high-pass* dan *low-pass* yang digunakan harus memenuhi persamaan berikut:

$$h(L-1-n) = (-1)^n \cdot g(n)$$

Dengan :

- $h[n]$ = filter *high-pass*,
- $g[n]$ = filter *low-pass*,
- L = panjang masing-masing filter.

Teknik pemfilteran TWD memiliki persamaan dengan pendekatan klasik untuk *denoising time series* yang berasal dari analisis Fourier yang mengasumsikan bahwa *noise* merupakan bentuk lain dari getaran pada frekuensi tinggi (Irwandinata, 2010). Dengan pemikiran ini, suatu *time series* pada dasarnya dapat didekomposisi kedalam bentuk gelombang sinus dari frekuensi berbeda dan apabila dilakukan proses penghilangan *noise*, maka hanya data frekuensi rendah yang akan ditinggalkan dalam pola *time series*. Transformasi Wavelet untuk penghilangan *noise* (*denoising*) mengasumsikan bahwa analisis *time series* pada resolusi yang berbeda mungkin dapat memisahkan antara bentuk sinyal asli (pola data sebenarnya) dengan *noise*-nya. Proses penghilangan *noise* (*denoised*) pada Transformasi Wavelet dapat dilakukan dengan cara menggunakan nilai *threshold* tertentu untuk melakukan filter terhadap data koefisien detail kemudian direkonstruksi kembali menjadi bentuk awal (polanya).

Ada beberapa keluarga dari Transformasi Wavelet Diskrit diantaranya Haar, Daubechies, Symlets, Coiflets. Wavelet Daubechies merupakan salah satu jenis Transformasi Wavelet Diskrit yang paling terkenal dan banyak dipergunakan dalam bidang citra digital, audio, kelistrikan dan hal-hal lain yang berhubungan dengan penggunaan sinyal. Wavelet Daubechies merupakan penyempurnaan dari Wavelet Haar yang memiliki panjang Wavelet dua kali dari ordenya (2N). Wavelet Daubechies disingkat dengan db diikuti dengan jumlah ordenya, misalnya db5 untuk wavelet daubechies yang mempunyai orde 5. Dalam setiap orde, wavelet daubechies memiliki level dalam tingkatan dekomposisinya.

Angka level dari wavelet daubechies menunjukkan berapa kali sinyal akan melakukan proses dekomposisi.

2. Model GR4J

Pemodelan hujan-debit (*rainfall-runoff modelling*) memiliki sejarah yang panjang dan merupakan usaha pertama dari ahli hidrologi untuk meramalkan aliran (*flows*) yang diharapkan terjadi dari suatu kejadian hujan. Telah banyak dilakukan pengembangan-pengembangan pengalih ragaman hujan menjadi debit, seperti yang telah dilakukan oleh ahli hidrologi terdahulu, *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 (Genie Rural a 4 parametres Journalier)* diukur berdasarkan 4 parameter bebas yang diperoleh dari data curah hujan harian. Model *GR4J* dikembangkan dari model sebelumnya yaitu *GR3J (Genie Rural a 3 parametres*

Journalier) 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:

- X1* : Kapasitas maksimum dari *production store* (mm)
- X2* : Koefisien perubahan *groundwater* (mm)
- X3* : Kapasitas maksimum *routing store* (mm)
- X4* : Waktu saat debit puncak unit hidrograf *UHI* (hari)

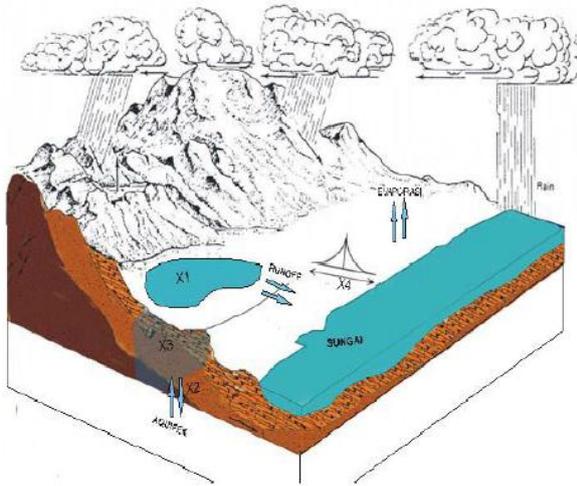
Production Store (X1) adalah tampungan dipermukaan tanah yang bisa menampung air dari hujan yang terjadi. Tampungan ini mengalami proses evapotranspirasi dan perkolasi. Besarnya tampungan ini sangat dipengaruhi oleh jenis tanah yang ada pada suatu DAS, semakin kecil porositas tanah maka semakin besar *production store* yang ada.

Koefisien Perubahan *Groundwater (X2)* adalah fungsi dari perubahan air tanah yang mempengaruhi besarnya *routing store*. Ketika memiliki nilai negatif maka air masuk ke *aquifer* dalam dan ketika memiliki nilai positif maka air dari *aquifer* keluar dan masuk ke tampungan (*routing storage*).

Routing storage (X3) adalah kapasitas air yang bias ditampung dalam pori-pori tanah. Besarnya nilai *routing store* ini tergantung dari jenis dan kelembaban tanah.

Time Peak (X4) 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. Berikut adalah gambaran fisik dari pemodelan *GR4J* dari mulai proses turunnya hujan sampai dengan debit yang terkumpul di sungai.

Berikut adalah gambar fisik dari permodelan GR4J dari mulai proses turunnya hujan sampai debit yang terukur di sungai.



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

Sumber : Jurnal Dhemi Harlan (2009)

Menurut Hydrologie Et Modelisation Plur-Debit tahun 2012, parameter – parameter yang tersedia pada model GR4J telah memiliki batas tertentu dalam melakukan *trial and error*, batasan – batasan inilah yang menjadi landasan dalam penelitian ini. Batasan dari parameter X1 sampai dengan X4 dapat dilihat dalam tabel pada Tabel 1.

Tabel 1. *Range* Parameter Model GR4J

Parameter Model	Range Parameter Model
X1 (mm)	100 – 1200
X2 (-)	-5 – 3
X3 (mm)	20 – 300
X4 (hari)	1,1 - 2,9

Sumber : Kheira (2012)

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. 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)

Langkah selanjutnya adalah mencari nilai Ps dari Pn yaitu nilai Pn yang mengisi *production store*, dirumuskan sebagai berikut:

$$P_s = \frac{X_1 \left(1 - \left(\frac{S}{X_1}\right)^2\right) \tanh\left(\frac{P_n}{X_1}\right)}{1 + \frac{S}{X_1} \tanh\left(\frac{P_n}{X_1}\right)} \quad (3)$$

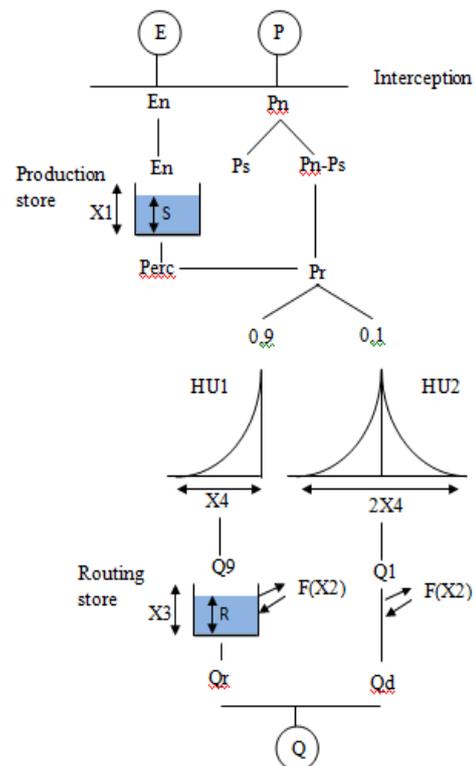
Kasus lain jika $P < E$ maka Es dirumuskan sebagai berikut:

$$E_s = \frac{S \left(2 - \frac{S}{X_1}\right) \tanh\left(\frac{E_n}{X_1}\right)}{1 + \left(1 - \frac{S}{X_1}\right) \tanh\left(\frac{E_n}{X_1}\right)} \quad (4)$$

Es merupakan evapotranspirasi yang masih bisa terjadi pada tampungan *production store*. Nilai dari Es dipengaruhi oleh perbandingan dari volume kosong dari tampungan serta perbandingan dari evapotranspirasi netto dan tinggi tampungan. Dalam pemodelan ini *production store* S tidak pernah melebihi X1. sehingga *production store* dirumuskan sebagai berikut:

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

Gambar 2. Diagram model *rainfall-runoff*



GR4J (Perrin, 2003)

Sumber : Jurnal Dhemi Harlan (2009)

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

$$Perc = S \left\{ 1 - \left[1 + \left(\frac{4S}{9X_1} \right)^4 \right]^{-\frac{1}{4}} \right\} \quad (6)$$

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

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

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

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

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:

$$\text{untuk } t \leq 0, SH1(t) = 0 \quad (9)$$

$$0 < t < X_4, SH1(t) = \left(\frac{t}{X_4} \right)^{\frac{5}{2}} \quad (10)$$

$$\text{untuk } t \geq X_4, SH1(t) = 1 \quad (11)$$

Seperti $SH1$, $SH2$ dicari sebagai berikut:

$$\text{untuk } t \leq 0, SH2(t) = 0 \quad (12)$$

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

$$\text{Untuk } 0 < t < 2X_4, SH2(t) = 1 -$$

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

$$\text{untuk } t \geq X_4, SH2(t) = 1 \quad (15)$$

UH1 dan UH2 dirumuskan sebagai berikut

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

$$UH2 = SH2_j - SH2_{j-1} \quad (17)$$

Perubahan groundwater, F dirumuskan sebagai berikut:

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

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:

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

Debit Q_r dari tampungan dapat dihitung dengan persamaan:

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

Dimana Q_r selalu lebih rendah dari R . Ketinggian tampungan kemudian dapat dihitung dengan persamaan:

$$R = R - Q_r \quad (21)$$

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

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

Debit total, Q bisa dihitung dengan persamaan :

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

3. Evaluasi Ketelitian Model

Untuk 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 dan koefisien korelasi (R).

Persamaan umum *Nash-Sutcliffe Coefficient* adalah sebagai berikut.

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

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Motovilov *et al* (1999), R^2 memiliki beberapa kriteria seperti yang diperlihatkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Kriteria Nilai *Nash-Sutcliffe* (R^2)

Nilai R^2	Interpretasi
$R^2 > 75$	Baik
$36 < R^2 < 75$	Memenuhi
$R^2 < 36$	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

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

$$y = Y - Y_m \quad (27)$$

R memiliki *range* antara 0 sampai dengan 1. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sugiyono (2003:216), R memiliki beberapa kriteria seperti yang diperlihatkan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Kriteria Nilai Koefisien Korelasi (R)

Nilai Koefisien Korelasi (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)

4. Konfigurasi Panjang Data

Konfigurasi panjang data merupakan persentase data yang akan digunakan dalam tahap kalibrasi, verifikasi dan simulasi. Konfigurasi ini digunakan untuk memberikan gambaran konfigurasi yang memiliki hasil yang paling baik pada tahap kalibrasi, verifikasi dan simulasi didasarkan pada evaluasi ketelitian model. Skema kalibrasi, verifikasi dan simulasi yang merupakan berapa panjang data yang digunakan untuk kalibrasi dan berapa panjang data yang digunakan untuk tahapan verifikasi dan pemakaian data untuk tahapan simulasi yaitu jumlah data yang digunakan untuk kalibrasi ditambah jumlah data yang digunakan untuk tahapan verifikasi. Pada penelitian ini, skema kalibrasi, verifikasi dan simulasi yang dilakukan adalah sebagai berikut.

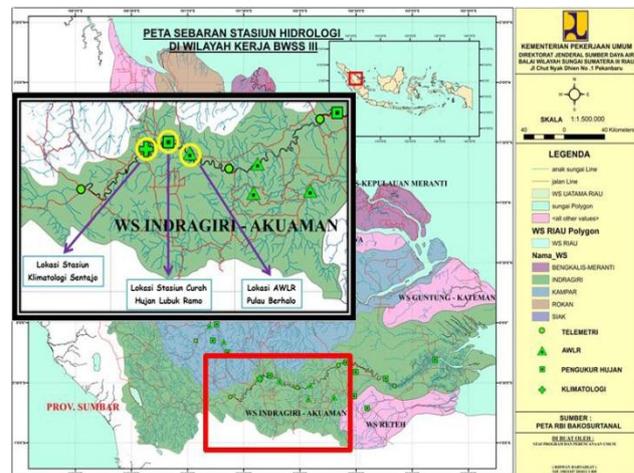
Tabel 4. Skema Kalibrasi, Verifikasi dan Simulasi

No.	Skema	Kalibrasi (tahun)	Verifikasi (tahun)	Simulasi (tahun)
1	1 – 1	2005	2006	2005-2006
2	1 – 2	2005	2006-2007	2005-2007
3	1 – 3	2005	2006-2008	2005-2008
4	1 – 4	2005	2006-2009	2005-2009
5	2 – 1	2005-2006	2007	2005-2007
6	2 – 2	2005-2006	2007-2008	2005-2008
7	2 – 3	2005-2006	2007-2009	2005-2009
8	3 – 1	2005-2007	2008	2005-2008
9	3 – 2	2005-2007	2008-2009	2005-2009
10	4 – 1	2005-2008	2009	2005-2009

B. METODOLOGI PENELITIAN

1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada Sub-DAS Indragiri bagian Hulu dengan stasiun AWLR Pulau Berhalo. Lokasi wilayah penelitian terlihat pada Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Lokasi Penelitian

2. Pengumpulan dan Pengelompokan Data

Data – data yang dipergunakan dalam penelitian ini diperoleh dari Badan Wilayah Sungai III, data-data yang diperlukan dalam penelitian berupa data curah hujan harian, data klimatologi dan data debit DAS Siak Hulu.

Data yang telah diperoleh sebagai berikut:

1. Data curah hujan DAS Indragiri bagian Hulu Stasiun Lubuk Ramo tahun 2005-2009.
2. Data debit DAS Indragiri bagian Hulu Stasiun Pulau Berhalo tahun 2005-2009.
3. Data Klimatologi Stasiun Sentajo tahun 2005-2009.

Metode Transformasi Wavelet dikerjakan terlebih dahulu karena hasil data yang dikeluarkannya digunakan untuk data masukkan pada model GR4J. Metode dari Transformasi Wavelet ini berfungsi untuk menghilangkan *noise* (*denoise*) pada data yang akan menghasilkan pola data yang lebih sederhana.

Setelah data dimodifikasi oleh Transformasi Wavelet, data yang dihasilkannya digunakan sebagai *input* dan target pada model GR4J.

Secara garis besar tahapan analisis yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- a. *Input* data yang diperlukan adalah curah hujan harian, data evapotranspirasi dihitung dengan menggunakan program *cropwat 8.0*, input dari program *cropwat 8.0* ini adalah data klimatologi, dan input terakhir adalah *rainfall* yang diperoleh dari data debit sungai yang sudah memiliki persamaan liku kalibrasi (*rating curve*).
- b. 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.
- c. Melakukan analisa sensitivitas pada setiap parameter.
- d. Melakukan uji kekuatan model dengan persamaan *Nash-Suctliffe* (R^2) dan koefisien korelasi (R).
- e. Melakukan kalibrasi, verifikasi dan simulasi (konfigurasi panjang tahun).

- f. Menentukan nilai setiap parameter dan konfigurasi panjang tahun yang menampilkan performa yang paling handal.
- g. Memberikan kesimpulan dan saran.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pembangunan Model

Metode Transformasi Wavelet dikerjakan terlebih dahulu karena hasil data yang digunakan untuk model GR4J.

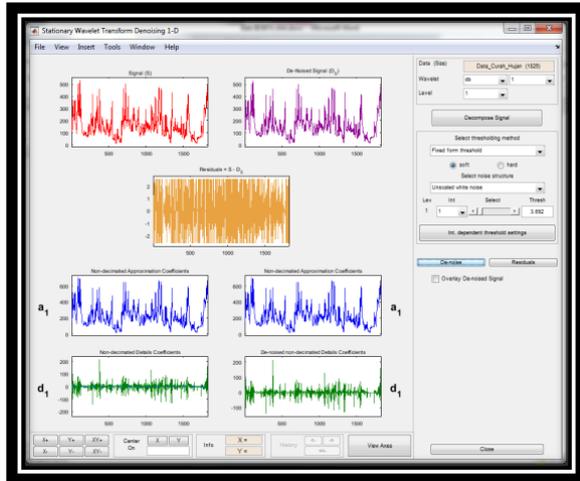
Dalam penelitian ini menggunakan metode *Transformasi Wavelet Daubechies 1 Level 1* karena hanya *output* data yang dihasilkan dari wavelet ini yang bisa digunakan sebagai *input* permodelan GR4J.

2. Pra-Proses Pembangunan Metode Transformasi Wavelet

Sebelum membangun model data yang akan digunakan untuk proses pembangunan model GR4J dilakukan proses dekomposisi dan rekonstruksi terlebih dahulu. Adapun penggunaan proses dekomposisi dan rekonstruksi tersebut diharapkan dapat membangun model yang lebih baik daripada dengan yang tidak menggunakannya. Transformasi wavelet dapat memodifikasi data menjadi bentuk yang lebih sederhana, dengan cara menghilangkan *noise* (*denoise*) pada data kemudian membangun kembali menjadi bentuk semula (pola data sebenarnya).

Metode Transformasi Wavelet yang digunakan yaitu Transformasi Wavelet Daubechies 1 level 1. Transformasi Wavelet Daubechies ini terdiri dari beberapa level dimana pada setiap level menggunakan tahapan penyederhanaan sesuai dengan angka levelnya. Misalnya Transformasi Wavelet Daubechies 1 level 1 menggunakan 1 kali proses penyederhanaan, untuk level 2 menggunakan 2 kali proses penyederhanaan, begitu seterusnya. Pada penelitian ini, data yang akan digunakan hanya bisa dilakukan penyederhanaan sampai level 1.

Proses Transformasi Wavelet menggunakan *software* Matlab. Berikut ini adalah contoh hasil dari Transformasi Wavelet db1 level 1 dengan menggunakan data debit tahun 2005 - 2009).



Gambar 4. Hasil Transformasi Wavelet db1 Level 1

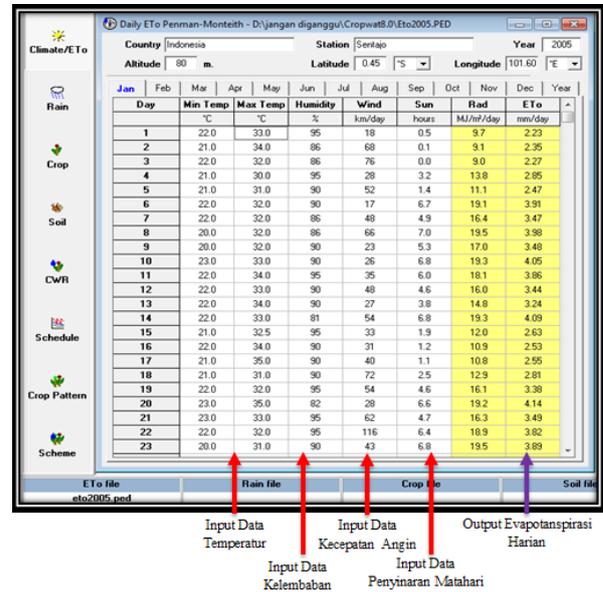
Sumber: Hasil Perhitungan (2016)

Pada Gambar 4 di atas menunjukkan data yang mengalami proses penyederhanaan dengan metode Transformasi Wavelet db1 level 1 menggunakan *software* Matlab. Pada grafik berwarna merah adalah grafik dari data asli. Proses penyederhanaan (dekomposisi) dilakukan satu kali yang nilainya ditunjukkan pada grafik d1 (kiri). Setelah nilai dekomposisi ditentukan, data akan dibangun kembali (rekonstruksi) seperti pola awalnya yang ditunjukkan pada grafik a1 (kiri). Untuk proses *denoise* pada data, digunakan suatu nilai *threshold* tertentu. Disini menggunakan nilai *threshold default* dari Matlab untuk level satu yaitu 3.741. Setelah nilai *threshold* ditentukan, selanjutnya data kembali melakukan rekonstruksi yang ditunjukkan pada grafik a1 (kanan). Data pada grafik a1 (kanan) inilah yang akan digunakan pada input model GR4J.

3. Proses Pembangunan Model GR4J

Sebelum membangun model data-data harus disiapkan terlebih dahulu agar memudahkan dalam pembangunan model.

Kemudian tentukan nilai evapotranspirasi dengan bantuan program *Cropwat* yang menggunakan metode *Penman Monthieith* yang diperlihatkan pada Gambar 5 sebagai berikut.



Gambar 5. Proses Input Data Klimatologi
Sumber: Hasil Perhitungan (2016)

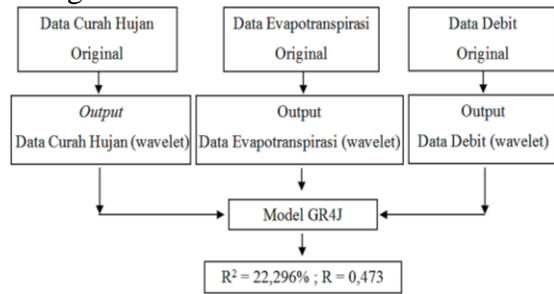
Tahap selanjutnya, membandingkan data menggunakan metode Transformasi Wavelet dengan data original, pada tahapan pra-proses pembangunan model ini dilakukan uji coba dengan menggunakan 5 skema yang dapat dilihat pada Tabel 5 dibawah ini.

Tabel 5. Penentuan Skema GR4J dan WGR4J

No	Skema	Data Yang Digunakan		
		Curah Hujan	Debit	Eto
1	Skema 1	O	O	O
2	Skema 2	W	O	O
3	Skema 3	W	O	W
4	Skema 4	W	W	O
5	Skema 5	W	W	W

Dalam proses ini, data curah hujan, evapotranspirasi dan debit mengalami proses (Transformasi Wevelet). Dan nilai *Nash-Suctliffe* (R^2) dan koefisien korelasi (R) yang diperoleh dari hasil permodelan GR4J yaitu R^2 sebesar 29,269% dan R sebesar 0,473. Hasil yang diperoleh pada proses ini adalah nilai R^2 dan R yang

paling optimal dalam membangun model GR4J yang diperlihatkan pada Gambar 6 sebagai berikut.



Gambar 6 Diagram model GR4J yang Mengalami Transformasi Wavelet
Sumber: Hasil Perhitungan (2016)

Rekapitulasi hasil pembangunan model GR4J dan WGR4J dengan menggunakan 5 skema dapat dilihat pada Tabel 5 dibawah ini.

Tabel 5. Rekapitulasi Pembangunan Model GR4J dan WGR4J Menggunakan 5 Skema

Keterangan	<i>Nash-Sutcliffe</i> (R^2)	Koefisien Korelasi (R)
Skema 1	22,247	0,472
Skema 2	22,171	0,471
Skema 3	22,176	0,471
Skema 4	22,292	0,473
Skema 5	22,296	0,473

Sumber: Hasil Perhitungan (2016)

Tabel 7. Skema percobaan kalibrasi, verifikasi dan simulasi menggunakan WGR4J (Skema 5)

No.	Skema	Kalibrasi (tahun)	Verifikasi (tahun)	Simulasi (tahun)	R^2 (%)			R		
					Kalibrasi	Verifikasi	Simulasi	Kalibrasi	Verifikasi	Simulasi
1	1-1	2005	2006	2005-2006	29,854	5,405		0,615		0,368
2	1-2	2005	2006-2007	2005-2007		12,132	-2,456		0,392	0,245
3	1-3	2005	2006-2008	2005-2008	-29,110	19,236	5,888	0,076	0,448	0,326
4	1-4	2005	2006-2009	2005-2009		22,296	12,805		0,473	0,380
5	2-1	2005-2006	2007	2005-2007		-53,479	-2,456		0,079	0,245
6	2-2	2005-2006	2007-2008	2005-2008	5,405	6,239	5,888	0,368	0,352	0,326
7	2-3	2005-2006	2007-2009	2005-2009		18,494	12,805		0,438	0,380
8	3-1	2005-2007	2008	2005-2008		28,018	5,888		0,535	0,326
9	3-2	2005-2007	2008-2009	2005-2009	-2,456	27,843	12,805	0,245	0,540	0,380
10	4-1	2005-2008	2009	2005-2009	5,888	25,255	12,805	0,326	0,535	0,380

Sumber: Hasil Perhitungan (2016)

4. Hasil Program GR4J

Permodelan GR4J ini dilakukan dengan menggunakan aplikasi *Microsoft Excel*. Penentuan nilai setiap parameter dengan menggunakan bantuan *solver* untuk mendapatkan nilai parameter yang optimum dengan nilai *Nash* yang maksimum. Hasil dari *solver* untuk parameter X1 sampai X4 dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Koefisien Parameter

Koefisien Parameter	R^2 (%)	R
X1 190,60 mm		
X2 2,78 mm	29,269	0,473
X3 20 mm		
X4 41,12 hari		

Sumber: Hasil Perhitungan (2016)

5. Analisa Konfigurasi Panjang Data

Setelah melakukan tahapan kalibrasi, verifikasi dan simulasi dari skema yang telah ditentukan, hasil dari perhitungan kalibrasi, verifikasi dan simulasi dapat dilihat pada Tabel 7 berikut.

Nilai R^2 tertinggi pada tahap kalibrasi terletak pada kalibrasi 4 tahun, sementara itu nilai R tertinggi terletak pada kalibrasi 2 tahun. Pada tahap verifikasi, nilai R^2 tertinggi terletak pada verifikasi 1 tahun dengan kalibrasi 1 tahun, sementara itu nilai R tertinggi juga terletak pada verifikasi 1 tahun dengan kalibrasi 1 tahun, dan pada tahap simulasi, nilai R^2 dan R tertinggi terletak pada penggunaan seluruh data.

Pada Tabel 8 dapat dilihat hasil kalibrasi, verifikasi dan simulasi dari setiap skema. Transformasi Wavelet - GR4J

(Skema 5) menghasilkan nilai *Nash-Sutcliffe* (R^2) dan koefisien korelasi (R) yang paling optimal jika dibandingkan dengan penggunaan skema yang lain. Pada tahap kalibrasi menghasilkan nilai R^2 sebesar 5,405, nilai bias sebesar 111,073 dan nilai R sebesar 0,368. Pada tahap verifikasi menghasilkan nilai R^2 sebesar 29,854, nilai bias sebesar 11,038 dan nilai R sebesar 0,615. Pada tahap simulasi menghasilkan nilai R^2 sebesar 12,805, nilai bias sebesar 43,036 dan nilai R sebesar 0,380.

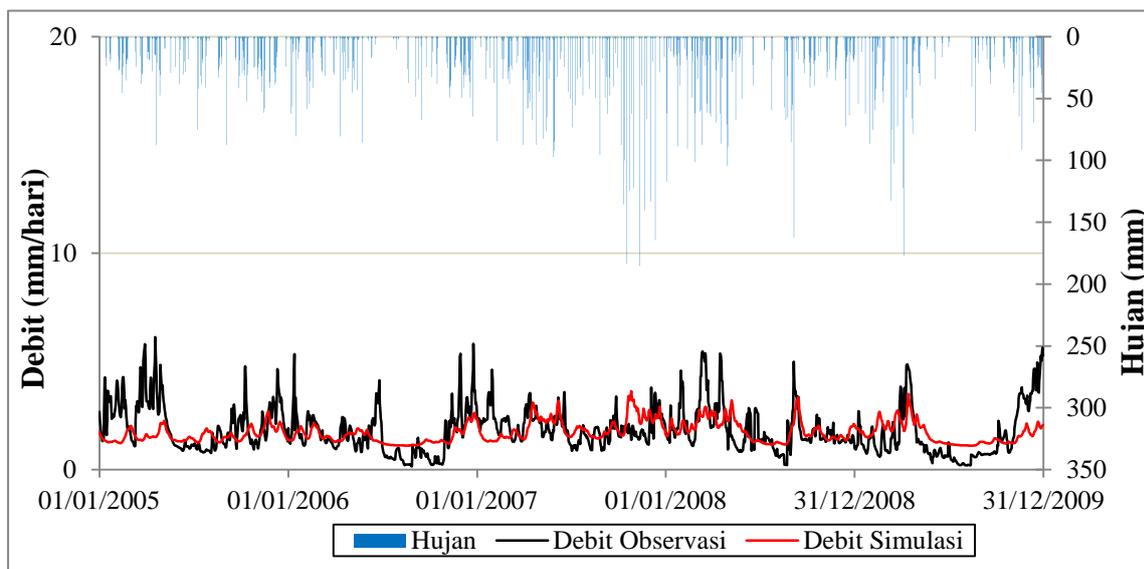
Tabel 8. Perbandingan Hasil Kalibrasi, Verifikasi dan Simulasi Semua Skema

No	Input Data	Transformasi Wavelet	Kalibrasi			Verifikasi			Simulasi		
			R^2	Bias	R	R^2	Bias	R	R^2	Bias	R
1	GR4J		5,384	111,073	0,367	29,680	11,068	0,613	12,740	43,036	0,378
2	Curah Hujan		5,384	111,073	0,367	29,680	11,068	0,613	12,740	43,036	0,378
3	Curah Hujan, Eto dan Suhu		5,384	111,073	0,367	29,680	11,068	0,613	12,740	43,036	0,378
4	Curah Hujan dan Debit	Db 1 Lvl 1	5,405	111,074	0,368	29,854	11,038	0,615	12,805	43,036	0,380
5	Curah Hujan, Eto, Suhu dan Debit		5,405	111,074	0,368	29,854	11,038	0,615	12,805	43,036	0,380

Sumber : Hasil Perhitungan (2016)

Hasil simulasi model GR4J yang memiliki nilai R^2 dan R tertinggi dapat dilihat pada grafik hidrogaf pada Gambar 7. Pada Gambar 7 terdapat grafik dengan garis hitam yang merupakan garis untuk menandakan debit observasi dari data debit

pada Stasiun Pulau Berhalo, sementara itu garis yang berwarna merah yang merupakan debit simulasi dari pemodelan GR4J dan garis biru yang merupakan hujan harian dari data hujan harian Stasiun Lubuk Ramo.



Gambar 7. Grafik Hidrograf Simulasi (Semua Data)

Sumber : Hasil Penelitian (2016)

Hasil simulasi Transformasi Wavelet-GR4J menghasilkan nilai *Nash-Sucliffe* (R^2) dan koefisien korelasi (R) yang paling optimal yaitu R^2 sebesar 12,805% dan R sebesar 0,380.

Proses penggabungan metode Transformasi Wavelet-GR4J menghasilkan kinerja model yang lebih baik dari model GR4J berdasarkan nilai *Nash-Sucliffe* (R^2) dan koefisien korelasi (R).

D. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan pembahasan hasil penelitian, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil penelitian pada tahap kalibrasi nilai tertinggi berdasarkan *Nash-Sucliffe* (R^2) nilai R^2 tertinggi pada tahap kalibrasi terletak pada kalibrasi 4 tahun yaitu sebesar 5,888 %, sementara itu nilai R tertinggi terletak pada kalibrasi 2 tahun yaitu sebesar 0,368, Pada tahap verifikasi, nilai R^2 tertinggi terletak pada verifikasi 1 tahun dengan kalibrasi 1 tahun yaitu sebesar 29,854%, sementara itu nilai R tertinggi juga terletak pada verifikasi 1 tahun dengan kalibrasi 1 tahun yaitu sebesar 0,615. Nilai yang didapatkan dikategori kan “kurang memenuhi” dan “kuat” sehingga model GR4J dapat dikatakan tidak efektif, nilai R^2 dan R yang didapatkan merupakan nilai tertinggi dengan menggunakan penggabungan metode Transformasi Wavelet-GR4J .
2. Pada tahap simulasi nilai tertinggi berdasarkan *Nash-Sucliffe* (R^2) dan koefisien korelasi (R) yang ditampilkan dari penggabungan metode Transformasi Wavelet-GR4J terletak pada penggunaan semua data yang menghasilkan nilai R^2 sebesar 12,805% dan R sebesar 0,380. Nilai yang didapatkan dapat dikategori kan “tidak memenuhi” dan “rendah” sehingga model GR4J dapat dikatakan tidak efektif.
3. Proses penggabungan menggunakan metode Transformasi Wavelet-GR4J

menghasilkan kinerja model yang lebih baik jika dibandingkan dengan hanya menggunakan model GR4J berdasarkan nilai *Nash-Sucliffe* (R^2) dan koefisien korelasi (R) yang didapat.

E. SARAN

Adapun saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil analisis dan perhitungan pada pengerjaan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pada tahap awal pengerjaan penelitian sebaiknya memiliki jumlah tahun data yang banyak (> 5 tahun), sehingga dapat menghasilkan variasi hasil yang memuaskan dari setiap skema.
2. Diperlukan pengembangan penelitian dengan menggunakan *catchment area* yang kecil untuk mengukur peningkatan kinerja model.

F. DAFTAR PUSTAKA

- Harlan, Dhemi.** 2009. *Penentuan Debit Harian Menggunakan Pemodelan Rainfall Runoff GR4J untuk Analisa Unit Hidrograf pada DAS Citarum Hulu*. Jurnal Teknik Sipil ITB.
- Harto, S.** 1993. *Analisis Hidrologi*. Jakarta : PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Ilhami, Zacky.** 2016. *Analisis Efektivitas Penggabungan Metode Transformasi Wavelet-GR4J Guna Pengalihragaman Hujan Menjadi Debit (Studi Kasus DAS Siak Hulu)*. Skripsi Teknik Sipil Universitas Riau.
- Indarto.** 2010. *Hidrologi Dasar Teori dan Contoh Aplikasi Model Hidrologi*. Jakarta : Bumi Aksara.
- Irwindinata.** 2010. *Teory Wavelet*. Available at: <URL: <http://irwindinata.wordpress.com/2010/07/08/teori-wavelet.html>> [Accessed 10 Juni 2016].
- 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.

- Marta, J. dan Adidarma, W.** 1997. *Mengenal Dasar-dasar Hidrologi*. Bandung: Nova.
- Perrin, M dan Andre'assian.** 2003. *Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation*. Journal of Hydrology.
- Sugiyono,** 2003:216, Kriterion Koefisien Korelasi, [online], (<http://irwan.ndaru.staff.gunadarma.ac.id/Download/files/16914/BAB+III+metodologi+Penelitian.doc>), diakses tanggal 09 Juli 2016.
- Soemarto, CD.** 1987. *Hidrologi Teknik*. Surabaya : Usaha Nasional
- Triatmodjo, B.** 2008. *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta : Beta Offset.
- Tri, Safari Septanto.** 2015. *Analisis Efektivitas Model GR4J Guna Pengalihragaman Hujan Menjadi Debit (Studi Kasus DAS Indragiri Bagian Hulu)*. Skripsi Teknik Sipil Universitas Riau.