

**MODEL HIDROLOGI RUNTUN WAKTU UNTUK ANALISIS HUJAN-  
ALIRAN MENGGUNAKAN METODE GABUNGAN MODEL TRANSFORMASI  
WAVELET-IHACRES  
(Studi Kasus Sub DAS Lubuk Bendahara)**

**Andyca Putra.As<sup>1)</sup>, Imam Suprayogi<sup>2)</sup>, Manyuk Fauzi<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

<sup>2)</sup>Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

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

Email: andyca.putra06@gmail.com

*Abstract*

*The IHACRES model application has been successfully applied in Indonesia. The existence of this success, it is necessary to further develop an approach to improve the correlation coefficient at the phase of calibration, verification, and simulation by combining the wavelet transformation - IHACRES model by taking a case study in Siak Hulu sub-watershed, Riau Province. Wavelet transformation method in this research has the advantage to decomposed and reconstructed in processing a raw data of time series to increased model performance. The output of wavelet transformation model would be use as IHACRES model input. Wavelet family which suitable for modeling are Haar and Biorthogonal wavelet. This research used the variety of length data that grouped into scheme 1 until scheme 8. The results showed that the best scheme in calibration phase for IHACRES model is scheme 2 (two year calibration) with a correlation value of 0.549. Scheme 2 used for wavelet transformation - IHACRES combine analysis. At wavelet transformation – IHACRES phase, the best calibration value was the used of Haar wavelet level 1 for rainfall and temperature data with a correlation value of 0.561. The best verification and simulation phase used Haar wavelet level 1 to input the data of rainfall and discharge. The result of verication phase valued at 0.674 and simulation was 0.737 which categorized as strong correlation. According to result of reserch, the use of wavelet transformation – IHACRES provides increased performance model, if compared with the IHACRES model.*

*Keywords: Siak Hulu sub-watershed, Wavelet Transformation, IHACRES.*

## **A. PENDAHULUAN**

Sungai Siak adalah sebuah sungai besar yang berbentuk palung terdalam yang terletak di Provinsi Riau, Indonesia. Sungai Siak memiliki fungsi dan peranan yang sangat penting dalam perkembangan dan perekonomian wilayah. Daerah Aliran Sungai (DAS) Siak secara keseluruhan dari hulu hingga hilirnya melewati wilayah administrasi kabupaten/kota, yaitu Kabupaten Rokan Hulu, Kabupaten Kampar, Kota Pekanbaru, Kabupaten Bengkalis dan Kabupaten Siak. Kawasan DAS Siak rawan terhadap banjir yang disebabkan oleh perubahan tata guna lahan yang mengakibatkan curah hujan yang jatuh

ke permukaan akan langsung menjadi limpasan permukaan, sehingga perlu dilakukan pemodelan hidrologi untuk melihat respon dari suatu DAS.

Pemodelan hujan aliran yang cukup dikenal dan banyak diaplikasikan di beberapa negara di dunia oleh para praktisi dan peneliti adalah model IHACRES (Identification of Unit Hydrograph and Component Flow from Rainfall, Evaporation and Stream Flow Data). Model ini dikembangkan di Inggris, dengan mendeskripsikan hujan aliran menjadi dua sub proses yakni sub proses vertikal dan sub proses lateral (Indarto, 2010). Model IHACRES telah berhasil dilakukan oleh

Indarto (2006), dalam menyelidiki respon hidrologi di DAS Bedadung, Jawa Timur.

Aplikasi model IHACRES juga telah berhasil diterapkan di Provinsi Riau. Berdasarkan penelitian Ryan Ardi Wibowo (2013) pemodelan IHACRES dalam menyelidiki respon hidrologi di DAS Indragiri. Hasil penelitian tersebut pada tahap kalibrasi dan verifikasi dengan skema terbaik pada tahap kalibrasi dan verifikasi adalah skema 3 (1 Juli 1995 - 1 Juli 1998) dan skema 6 (2 Juli 2001 - 31 Desember 2004). Skema 3 memberikan nilai  $R^2$  tertinggi pada tahap kalibrasi yaitu sebesar 0,814. Sedangkan skema 6 memberikan nilai  $R^2$  tertinggi pada tahap verifikasi yaitu sebesar 0,550. Reza Ahmad Fadhli (2014) dalam rangka mengkalibrasi model IHACRES untuk perbandingan penggunaan data hujan dan data hujan satelit di DAS Lubuk Bendahara dengan nilai  $R^2$  tertinggi pada tahap kalibrasi adalah skema 1 (1 Januari 2003 - 31 Desember 2005) dengan nilai sebesar 0,642. Pada tahap verifikasi nilai  $R^2$  tertinggi adalah skema 1 (1 Januari 2006 - 31 Desember 2006) dengan nilai sebesar 0,243. Sedangkan nilai korelasi (R) yang dihasilkan dalam simulasi dikategorikan korelasi kuat dengan nilai sebesar 0,642.

Keberhasilan penelitian perihal penerapan metode IHACRES juga telah diikuti oleh Mashuri (2014) dalam rangka mengkalibrasi model IHACRES untuk menganalisis ketersediaan air di Sub DAS Siak Hulu. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa nilai  $R^2$  tertinggi pada tahap kalibrasi adalah 0,630 dengan periode kalibrasi mulai 30 Oktober 2003 sampai dengan 25 Maret 2005. Sedangkan untuk tahap verifikasi dilakukan pada periode 1 Januari 2006 sampai dengan 31 Desember 2012 dengan nilai  $R^2$  sebesar 0,030. Pada tahap simulasi dihasilkan korelasi sebesar 0,731 yang termasuk dalam kriteria koefisien korelasi kuat.

Metode transformasi *wavelet* dalam penelitian ini mempunyai keunggulan dapat melakukan dekomposisi dan rekonstruksi dalam mengolah data mentah runtun waktu

yang masih memiliki pola data tersembunyi akibat dipengaruhi oleh variabel waktu untuk meningkatkan kinerja model. Data yang telah mengalami dekomposisi dan rekonstruksi ini merupakan data yang telah dihilangkan *noise*-nya (*denoise*). Pada transformasi *wavelet*, *noise* dianggap merupakan suatu bentuk kesalahan dari suatu gelombang.

Merujuk pada keberhasilan penelitian model IHACRES sebelumnya, maka perlu dikembangkan lagi suatu pendekatan untuk meningkatkan koefisien korelasi pada tahap kalibrasi, verifikasi, maupun simulasi dengan menggabungkan transformasi *wavelet* - IHACRES. Adapun lokasi penelitian berada pada Sub DAS Siak Hulu yakni Stasiun duga Pantai Cermin.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sejauh mana peningkatan performa model gabungan transformasi *wavelet* - IHACRES terhadap nilai koefisien korelasi pada hasil peramalan debit aliran sungai di Sub DAS Siak Hulu yakni Stasiun duga Pantai Cermin.

## 1. Transformasi Wavelet

Transformasi *wavelet* merupakan sebuah fungsi konversi yang dapat digunakan untuk membagi suatu fungsi atau sinyal kedalam komponen frekuensi yang berbeda yang selanjutnya komponen-komponen tersebut dapat dipelajari sesuai dengan resolusi skalanya (Irwandinata, 2010).

Transformasi *wavelet* dibagi menjadi dua bagian, 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 ini disebut *mother wavelet* atau fungsi dasar *wavelet*. Menurut Reza (2013) dalam Edi (2015), Dalam penerapan transformasi *wavelet* diskrit (TWD) dianggap relatif lebih, dibandingkan dengan transformasi *wavelet*

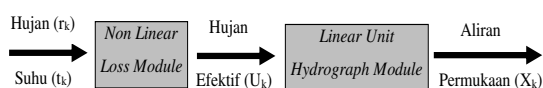
kontinu (TWK). Prinsip dasar dari TWD adalah bagaimana cara mendapatkan representasi waktu dan skala dari sebuah sinyal menggunakan teknik pemfilteran digital dan operasi *sub-sampling*.

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 *threshod* tertentu untuk melakukan filter terhadap data koefisien detail kemudian direkonstruksi kembali menjadi bentuk awal (polanya) (Edi, 2015).

## 2. IHACRES

Model IHACRES (*Identification of Unit Hydrograph and Component Flow from Rainfall, Evaporation and Stream Flow Data*) merupakan hasil kerja sama antara *Institute Hidrology* (HI) di Inggris dan *The Centre for Resource and Enviromental Studies* (CRES) di *Australian National University* (ANU), Canberra. Kemudian hasil kerja sama tersebut diwujudkan dalam bentuk PC-IHACRES, suatu paket program untuk memodelkan proses hidrologi. Selanjutnya, proyek IHACRES dikembangkan oleh CRC (*Catchment Research Centre*) di *Australian National University* (ANU), Australia (Indarto, 2010).

Pada prinsipnya model ini dapat diterapkan dengan interval data rentang waktu dari menit, jam sampai harian. Proses hidrologi menurut konsep IHACRES disederhanakan sebagai berikut:



Gambar 1. Siklus Hidrologi Menurut IHACRES

Sumber: Indarto (2010)

Berdasarkan Gambar 1 bahwa siklus hidrologi menurut IHACRES dapat

dibedakan menjadi dua bagian, yaitu: *Non Linear Loss Module* dan *Linear Unit Hydrograph Module*. *Non linear loss module* berfungsi untuk mengkonversi hujan menjadi hujan efektif. Hujan efektif yang dihasilkan *Non Linear Loss Module* akan di transfer secara lateral melalui *Linear Unit Hydrograph Module* untuk menjadi aliran permukaan. Kinerja non linear loss module ditentukan oleh kondisi DAS atau kadar air pada permukaan tanah. Perhitungan curah hujan efektif ( $u_k$ ) menurut Ye *et al* dalam Sriwongsitanon dan Taesombat (2011) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$u_k = [c(\phi_k - l)]^p r_k$$

$$\phi_k = r_k + \left(1 - \frac{l}{\tau_k}\right) \phi_{k-1}$$

$$\tau_k = \tau_w e^{(0,062 f(t_r - t_k))}$$

dengan  $u_k$  adalah curah hujan efektif (mm),  $r_k$  adalah curah hujan terukur (mm),  $c$  adalah keseimbangan massa ( $\text{mm}^{-1}$ ),  $l$  adalah indeks ambang batas kelembaban tanah untuk menghasilkan aliran,  $p$  adalah respon jangka waktu non linear. Parameter  $l$  dan  $p$  hanya digunakan untuk DAS yang bersifat sementara (*ephemeral*),  $\phi_k$  adalah kelembaban tanah (mm),  $\tau_k$  merupakan laju pengeringan,  $t_k$  merupakan temperatur terukur ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $\tau_w$  adalah laju pengeringan pada saat suhu referensi. Parameter ini mempengaruhi variasi drainase tanah dan laju infiltrasi,  $f$  adalah modulasi temperatur ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ). Parameter ini berkaitan dengan variasi evapotranspirasi musiman yang dipengaruhi oleh iklim, tata guna lahan dan penutup lahan, dan  $t_r$  adalah temperatur referensi ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Menurut Sriwongsitanon dan Taesombat (2011) dalam modul linear, curah hujan efektif diubah menjadi limpasan menggunakan hubungan linear. Ada dua komponen yang berpengaruh di dalam aliran yakni aliran cepat (*quick flow*) dan aliran lambat (*slow flow*).

Konfigurasi paralel dari kedua komponen dalam kondisi waktu  $k$  untuk aliran cepat ( $x_k^{(q)}$ ) dan aliran lambat ( $x_k^{(s)}$ )

yang dikombinasikan untuk menghasilkan limpasan ( $x_k$ ) disajikan dalam rumusan berikut (Sriwongsitanon dan Taesombat, 2011):

$$\begin{aligned}x_k &= x_k^{(q)} + x_k^{(s)} \\x_k^{(q)} &= -\alpha_q x_{k-1}^{(q)} + \beta_q u_k \\x_k^{(s)} &= -\alpha_s x_{k-1}^{(s)} + \beta_s u_k\end{aligned}$$

dengan  $x_k$  adalah limpasan atau debit (mm),  $x_k^{(q)}$  adalah aliran cepat (mm),  $x_k^{(s)}$  adalah aliran lambat (mm),  $\alpha_q$  adalah angka resesi untuk aliran cepat,  $\alpha_s$  adalah angka resesi untuk aliran lambat,  $\beta_q$  adalah respon puncak untuk aliran cepat,  $\beta_s$  adalah respon puncak untuk aliran lambat.

Adapun karakteristik respon dinamis untuk aliran cepat dan lambat dapat dihitung menggunakan rumus berikut (Sriwongsitanon dan Taesombat, 2011) :

$$\begin{aligned}\tau_q &= \frac{-\Delta}{\ln(-\alpha_q)} \\ \tau_s &= \frac{-\Delta}{\ln(-\alpha_s)}\end{aligned}$$

dengan  $\Delta$  adalah kurun waktu,  $\tau_q$  adalah konstanta waktu respon cepat (hari),  $\tau_s$  adalah konstanta waktu respon lambat (hari).

Volume perbandingan untuk aliran cepat dan aliran yang lambat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$v_q = \frac{\beta_q}{1 + \alpha_q} = 1 - v_s = 1 - \frac{\beta_s}{1 + \alpha_s}$$

dengan  $v_q$  adalah volume perbandingan untuk aliran cepat,  $v_s$  adalah volume perbandingan untuk aliran lambat.

Model IHACRES memiliki enam parameter model tiga diantaranya berkaitan dengan *non linear loss module* yaitu  $\tau_w$ ,  $f$  dan  $c$  serta tiga parameter berikutnya berkaitan dengan *linear unit hydrograph module* yaitu  $\tau_q$ ,  $\tau_s$  dan  $v_s$ . Keenam parameter model tersebut dianggap sebagai upaya karakterisasi yang unik dan efisien dari proses hidrologi pada sebuah DAS.

### 3. Kalibrasi Model

Kalibrasi model merupakan suatu proses pemilihan kombinasi parameter sebelum dilakukan pemodelan. Kalibrasi model hujan-aliran biasanya melibatkan proses menjalankan (*running*) model berkali-kali dengan melakukan uji coba nilai parameter yang berbeda dengan tujuan untuk meningkatkan kecocokan antara model dengan data kalibrasi.

Menurut Littlewood, *et al* (1999), pemilihan tahun kalibrasi diawali dan diakhiri pada keadaan debit relatif kecil sehingga perubahan penyimpanan air di DAS selama tahun kalibrasi dapat diasumsikan mendekati nol. *Warm-up* adalah tahun untuk inisiasi dan dicari dengan coba-coba. Pemilihan tahun *warm up* bertujuan untuk mengisi kondisi awal DAS. Selama proses kalibrasi dilakukan, perlu adanya pengecekan kriteria statistik yaitu  $R^2$  dan bias sebagai indikator bagus atau tidaknya hasil kalibrasi yang dihasilkan.

Selain melihat nilai  $R^2$  dan bias, untuk mengontrol nilai parameter yang dihasilkan pada tahap kalibrasi, maka parameter yang dihasilkan disesuaikan *range*nya berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sriwongsitanon dan Taesombat (2011). Adapun *range* parameter tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. *Range* Parameter Model IHACRES

Parameter Model	<i>Range</i> Parameter Model
Keseimbangan massa ( $c$ )	0,003 – 0,011
Modulasi temperatur ( $f$ )	1 – 9
Laju pengeringan pada saat suhu referensi ( $\tau_w$ )	1 – 9
Konstanta waktu respon cepat ( $\tau_q$ )	0,5 – 15
konstanta waktu respon lambat ( $\tau_s$ )	2 – 200
Volume perbandingan untuk aliran lambat ( $v_s$ )	0,02 – 0,95

Sumber: Sriwongsitanon dan Taesombat (2011)

#### 4. Verifikasi Model

Verifikasi model merupakan suatu proses yang dilakukan setelah tahap kalibrasi selesai. Tahap verifikasi berfungsi untuk menguji kinerja model pada data diluar tahun kalibrasi. Kinerja model biasanya lebih baik selama tahun kalibrasi dibandingkan dengan verifikasi, fenomena seperti ini disebut dengan divergensi model. Ketika tingkat divergensi tidak dapat diterima, maka pemodel harus memeriksa struktur model dan prosedur kalibrasi yang sesuai ataupun asumsi yang pantas kemudian merevisinya (Pechlivanidis, *et al*, 2011).

#### 5. Simulasi Model

Simulasi model merupakan upaya memvalidasi penggunaan model untuk untuk memperoleh perkiraan yang dapat digunakan oleh para pengelola sumberdaya air (Refsgaard, 2000). Tahap simulasi merupakan proses terakhir setelah proses kalibrasi dan verifikasi dilaksanakan. Dalam tahap ini keseluruhan data hujan dan temperatur digunakan sebagai data masukan untuk menghitung aliran.

#### 6. Evaluasi Ketelitian Model

Evaluasi ketelitian model IHACRES dalam Croke *et al* (2005) menggunakan fungsi objektif yang terdiri dari:

$$Bias = \frac{\sum (Q_o - Q_m)}{n}$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (Q_o - Q_m)^2}{\sum (Q_o - \bar{Q}_o)^2}$$

$$R = \frac{\sum (Qm_i - \bar{Q}_m)(Qo_i - \bar{Q}_o)}{\sqrt{\sum (Qm_i - \bar{Q}_m)^2 \times \sum (Qo_i - \bar{Q}_o)^2}}$$

dengan  $Q_o$  adalah debit observasi atau debit terukur ( $m^3/detik$ ),  $Q_m$  adalah debit termodelkan atau debit terhitung ( $m^3/detik$ ),  $\bar{Q}_o$  adalah rerata debit terukur atau observasi, dan  $\bar{Q}_m$  adalah rerata debit terhitung atau termodelkan. Koefisien korelasi menunjukkan kekuatan (*strenght*) hubungan linear dan arah hubungan dua

variabel acak. Untuk memudahkan melakukan interpretasi mengenai kekuatan hubungan antara dua variabel dibuat kriteria sebagai berikut (Suwarno, 2008). Koefisien korelasi memiliki beberapa kriteria seperti pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Kriteria Nilai Koefisien Korelasi

Nilai Koefisien Korelasi (R)	Interpretasi
0	Tidak ada korelasi
0 - 0,25	Sangat lemah
0,25 - 0,5	Sedang
0,5 - 0,75	Kuat
0,75 - 0,99	Sangat Kuat
1	Korelasi Sempurna

Sumber : Suwarno (2008)

Dalam penelitian ini, indikator statistik yang paling utama dalam menentukan keandalan model adalah  $R^2$ , korelasi (R), dan bias. Ketiga indikator statistik tersebut dirasa cukup dalam mengevaluasi kinerja model dalam hal membandingkan antara hasil model dengan data yang diamati. Nilai optimal untuk  $R^2$  dan R mendekati satu dan bias mendekati nol.

Perumusan persamaan  $R^2$  didasarkan pada indikator efisiensi model Nash-Sutcliffe (Croke, *et al*, 2005). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Motovilov *et al* (1999), NSE memiliki beberapa kriteria seperti yang diperlihatkan pada Tabel 3. berikut.

Tabel 3. Kriteria Nilai Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE)

Nilai Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE)	Interpretasi
$NSE > 0,75$	Baik
$0,36 < NSE < 0,75$	Memenuhi
$NSE < 0,36$	Tidak memenuhi

Sumber : Motovilov, *et al* (1999)

Selain ketiga parameter tersebut, dalam penelitian ini juga menggunakan parameter evaluasi ketelitian model tambahan, yakni selisih volume (VE) dan koefisien efisiensi (CE). Selisih volume atau *volume error* (VE) aliran adalah nilai yang menunjukkan perbedaan volume perhitungan dan volume terukur selama proses simulasi. Selisih

volume (VE) aliran dikatakan baik apabila dapat menunjukkan angka tidak lebih dari 5%.

$$VE = \left| \frac{\sum_{i=1}^N Q_{o_i} - \sum_{i=1}^N Q_{m_i}}{\sum_{i=1}^N Q_{o_i}} \right| \times 100\%$$

$$CE = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{o_i} - Q_{m_i})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{o_i} - \bar{Q}_o)^2} \right]$$

dengan  $Q_o$  adalah debit observasi atau debit terukur ( $m^3/detik$ ),  $Q_m$  adalah debit termodelkan atau debit terhitung ( $m^3/detik$ ), dan  $\bar{Q}_o$  adalah rerata debit terukur atau observasi. Koefisien efisiensi memiliki beberapa kriteria seperti terlihat pada Tabel 4. berikut ini:

Tabel 4. Kriteria Nilai Koefisien Efisiensi

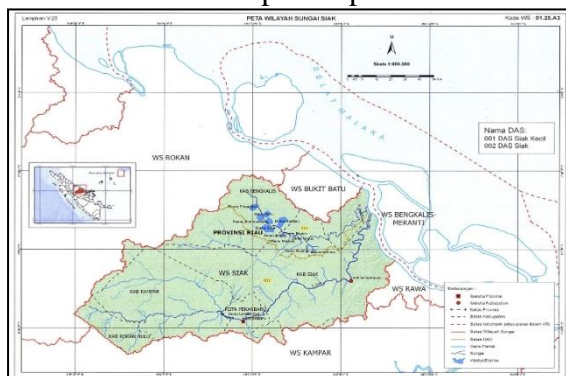
Nilai Koefisien Efisiensi (CE)	Interpretasi
$CE > 0,75$	Optimasi sangat efisien
$0,36 < CE < 0,75$	Optimasi cukup efisien
$CE < 0,36$	Optimasi tidak efisien

Sumber: Hambali (2008)

## A. METODE PENELITIAN

### 1. Lokasi Penelitian

Lokasi pada penelitian ini adalah Sungai Tapung Kiri Sub-DAS Siak Hulu Stasiun Pantai Cermin, Kabupaten Kampar, Provinsi Riau ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Peta DAS Siak

Sumber: <http://sda.pu.go.id>

Pengumpulan data pada penelitian ini berupa data sekunder yang diperoleh dari Balai Wilayah Sungai Sumatera (BWS) III kota Pekanbaru. Adapun data-data yang didapat antara lain:

1. Data curah hujan diperoleh dari Stasiun Petapahan Baru Tahun 2002 hingga 2012
2. Data klimatologi diperoleh dari Stasiun Pasar Kampar Tahun 2002 hingga 2012
3. Data debit diperoleh dari hasil pencatatan muka air sungai pada stasiun AWLR Pantai Cermin Tahun 2002 hingga 2012
4. Luas DAS Stasiun Pantai Cermin adalah  $1716 \text{ km}^2$ .

Secara garis besar tahapan analisis yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- a. mempersiapkan data – data yang dibutuhkan seperti data curah hujan, data temperatur, data debit serta luas DAS.
- b. melakukan pra pembangunan model dengan transformasi *wavelet*, data yang akan di input pada transformasi *wavelet* ini adalah data Curah Hujan, Suhu, Debit dari tahun 2002 s/d 2012.
- c. transformasi *wavelet* dilakukan menggunakan keluarga *wavelet* dari Haar, Daubechies, Coiflets, Symlets, Coiflets, Biorthogonal, ReversBior, Dmeyer.
- d. hasil keluaran dari transformasi *wavelet* akan dijadikan data input pada model IHACRES. Data *input* tranformasi *wavelet* yang akan dicoba ini adalah *wavelet* untuk input data curah hujan, kemudian curah hujan digabungkan dengan suhu yang di *wavelet*. yang terakhir gabungan ketiga dari curah hujan-suhu-debit yang telah di *wavelet*. Dari hasil tersebut dilihat keluarga *wavelet* yang bisa digunakan untuk analisis selanjutnya.
- e. menentukan skema yang berkaitan dengan pemilihan persentase panjang data yang akan digunakan dalam tahap kalibrasi, verifikasi dan simulasi. Ketiga tahap tersebut dilakukan di stasiun duga air Pantai Cermin. Adapun

- skema yang akan digunakan diperlihatkan pada Tabel 5 berikut.
- f. melakukan *input* data ke program IHACRES v.2.1.2 untuk selanjutnya dilakukan proses kalibrasi. Pada proses kalibrasi ini dilakukan pengisian periode kalibrasi dan durasi *warm up*. Pengisian periode kalibrasi disesuaikan dengan skema yang telah disusun sedangkan durasi *warm up* diisi secara bertingkat dengan kelipatan 100.
  - g. melakukan keseluruhan proses kalibrasi untuk skema 1 dan *warm up* percobaan pertama (durasi 100) hingga diperoleh parameter dengan nilai  $R^2$  dan bias yang paling optimal. Nilai optimal untuk  $R^2$  mendekati satu dan bias mendekati nol.
  - h. mengulangi keseluruhan proses kalibrasi skema 1 untuk durasi *warm up* berikutnya (200, 300, 400,... dst). Proses ini berakhir apabila nilai  $R^2$  yang dihasilkan telah mengalami penurunan dibandingkan dengan durasi *warm up* sebelumnya.
  - i. mengulangi langkah nomor 5 hingga nomor 7 untuk skema 2 hingga 3.
  - j. verifikasi, yaitu suatu proses untuk menguji kinerja model pada data diluar periode kalibrasi. Proses verifikasi dilakukan dengan menggunakan variabel dan parameter yang memberikan nilai  $R^2$  yang tertinggi dalam tahap kalibrasi untuk masing – masing skema. Selanjutnya hasil verifikasi masing – masing skema dihitung nilai  $R^2$  dan biasnya.
  - k. proses simulasi dilakukan dengan menggunakan variabel dan parameter yang sama yang digunakan dalam tahap verifikasi dan dihitung untuk masing – masing skema namun menggunakan keseluruhan data yang ada. Selanjutnya hasil simulasi masing – masing skema dihitung nilai  $R^2$  dan biasnya.
  - l. hasil dan pembahasan, yaitu membahas tentang hasil analisis data.

Tabel 5. Skema Persentase Panjang Data Tahap Kalibrasi, Verifikasi dan Simulasi Stasiun Duga Air Pantai Cermin

Skema	Kalibrasi	Verifikasi	Simulasi
1	3,65% (30 okt 2003– 25 mar 2004)	72,69% (1 jan 2005-31 des 2012)	100% (1 jan 2002-30 des 2012)
2	12,74% (30 okt 2003– 25 mar 2005)	63,61% (1 jan 2006-31 des 2012)	
3	21,82% (30 okt 2003– 25 mar 2006)	54,52% (1 jan 2007-31 des 2012)	
4	30,91% (30 okt 2003– 25 mar 2007)	45,44% (1 jan 2008-31 des 2012)	
5	40,02% (30 okt 2003– 25 mar 2008)	36,33% (1 jan 2009-31 des 2012)	
6	49,10% (30 okt 2003– 25 mar 2009)	27,25% (1 jan 2010-31 des 2012)	
7	58,18% (30 okt 2003– 25 mar 2010)	18,10% (1 jan 2011-31 des 2012)	
8	67,27% (30 okt 2003– 25 mar 2011)	9,08% (1 jan 2012-31 des 2012)	

## C. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Model Transformasi Wavelet-IHACRES

Pra-proses pembangunan model (Transformasi *Wavelet*) yang terdiri dari beberapa level dalam proses modifikasi dan

dekomposisinya. Pada penelitian ini menggunakan model transformasi *wavelet Haar* level 1 dan *Bior* 1.1 level 1. Adapun jenis model keluarga *wavelet* untuk *input* ke model IHACRES dapat dilihat pada Tabel 6: Dari skema jenis model *wavelet* dan

input data di atas, nanti dapat dilihat dan dibandingkan bahwa jenis model wavelet mana yang akan menghasilkan nilai

korelasi (R) yang bagus untuk proses pengujian hasil pemodelan.

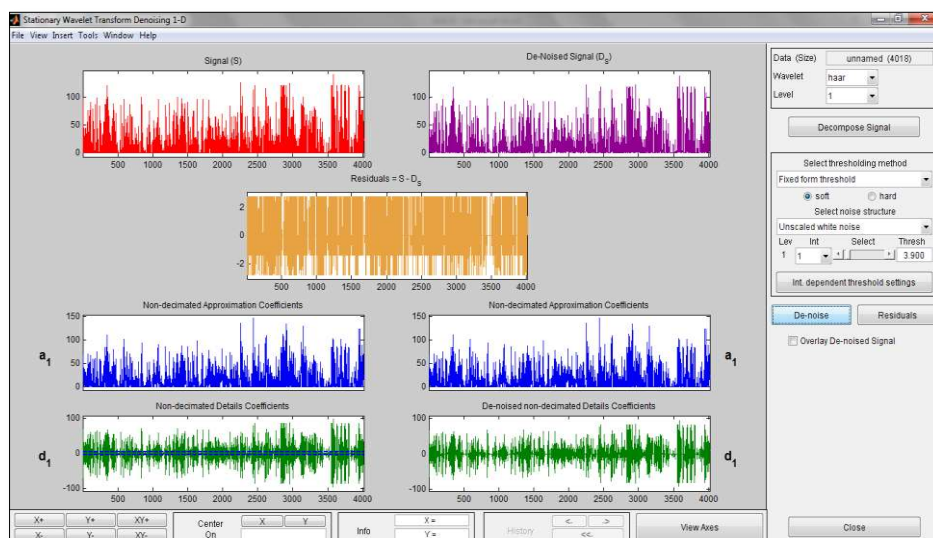
Tabel 6. Jenis Model *Wavelet* dan Input Data

No	Wavelet	Level	Input Data
1	Haar	1	Curah Hujan
2	Haar	1	Curah Hujan - Suhu
3	Haar	1	Curah Hujan – Debit
4	Haar	1	Curah Hujan – Suhu – Debit
5	Bior 1.1	1	Curah Hujan
6	Bior 1.1	1	Curah Hujan - Suhu
7	Bior 1.1	1	Curah Hujan– Debit
8	Bior 1.1	1	Curah Hujan – Suhu – Debit

## 2. Pra-proses Pembangunan Model (Transformasi Wavelet)

Sebelum membangun model data yang akan digunakan untuk proses pembangunan model IHACRES dilakukan proses dekomposisi dan rekonstruksi terlebih dahulu. 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). Hasil dari proses transformasi wavelet untuk input data curah hujan wavelet haar dapat dilihat pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Hasil Transformasi *Wavelet* Haar level 1

Sumber : Hasil Perhitungan (2015)

Pada Gambar 3 di atas menunjukkan data curah hujan yang mengalami proses penyederhanaan dengan model transformasi wavelet haar 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 treshold tertentu. Disini menggunakan nilai treshold default dari Matlab untuk level satu yaitu 3.900. Setelah nilai treshold ditentukan,

selanjutnya data kembali melakukan rekonstruksi yang ditunjukkan pada grafik a1 (kanan). Data pada grafik a1 (kanan) inilah yang akan digunakan pada input dan output target model IHACRES.

### 3. Proses Membangun Model IHACRES

Proses kalibrasi pada penelitian ini dilakukan dengan bantuan program IHACRES v.2.1 untuk mendapatkan

parameter dan variabel yang akan digunakan pada tahap selanjutnya (verifikasi, simulasi dan validasi). Proses verifikasi, simulasi dan validasi menggunakan bantuan *Microsoft Excel*. Adapun hasil dari kalibrasi, verifikasi, dan simulasi adalah sebagai berikut:

#### 1) Kalibrasi model

Hasil nilai R<sup>2</sup> dan bias pada tahap kalibrasi data hujan satelit dengan variasi warm up ditunjukkan pada Tabel 7 berikut:

Tabel 7. Nilai R<sup>2</sup> dan Bias dengan variasi *warm up* untuk masing-masing skema Model IHACRES

Uji Statistik	skema 1 600	skema 2 700	skema 3 700	skema 4 700	skema 5 700	skema 6 700	skema 7 700	skema 8 700
R squared	0.609	0.782	0.790	0.595	0.575	0.531	0.673	0.584
Bias	2.8560	2.0070	3.3400	-0.6930	9.9530	3.1380	37.143	37.143

Sumber : Hasil Perhitungan (2015)

Tabel 8. Hasil Kalibrasi Gabungan Transformasi *Wavelet* – IHACRES

Input data	Wavelet	warm up	100	200	300	400	500	600	700	800
Curah Hujan	Haar level 1	R squared	NaN	0.452	0.543	0.666	0.688	0.764	0.783	NaN
		Bias	NaN	30.796	7.774	20.443	25.757	2.260	1.958	NaN
	Bior 1.1 level 1	R squared	0.514	0.537	0.556	0.658	0.692	0.764	0.782	NaN
		Bias	25.915	23.928	14.409	22.236	14.751	2.273	2.004	NaN
Curah Hujan Debit	Haar level 1	R squared	NaN	0.231	0.564	0.642	0.685	0.767	0.787	NaN
		Bias	NaN	71.080	12.802	18.651	47.249	2.192	1.987	NaN
	Bior 1.1 level 1	R squared	0.486	0.537	0.556	0.677	0.670	0.764	0.782	NaN
		Bias	77.641	23.922	14.402	37.173	-1.887	2.262	1.993	NaN
Curah Hujan Suhu	Haar level 1	R squared	NaN	0.531	0.551	0.657	0.671	0.765	0.782	NaN
		Bias	NaN	20.617	10.258	7.091	-0.453	2.117	1.536	NaN
	Bior 1.1 level 1	R squared	NaN	NaN	NaN	0.676	0.673	0.763	0.781	NaN
		Bias	NaN	NaN	NaN	23.279	15.767	2.169	2.003	NaN
Curah Hujan suhu-Debit	Haar level 1	R squared	NaN	0.262	0.541	0.641	0.655	0.767	0.786	NaN
		Bias	NaN	85.268	15.939	1.749	13.974	2.348	1.706	NaN
	Bior 1.1 level 1	R squared	NaN	NaN	NaN	0.657	0.672	0.764	0.781	NaN
		Bias	NaN	NaN	NaN	12.459	-0.206	2.114	2.001	NaN

Sumber : Hasil Perhitungan (2015)

Tabel 9. Parameter Hasil Kalibrasi Masing – Masing *Input Data* Transformasi *Wavelet*-IHACRES

Parameter Hasil Kalibrasi	Curah Hujan		Curah Hujan - Suhu		Curah Hujan-Debit		Curah Hujan-Suhu-Debit		Range Param eter
	Haar 1	Bior level 1	Haar 1	Bior level 1	Haar 1	Bior level 1	Haar 1	Bior level 1	
<i>Non Linear Module</i>									
Keseimbangan massa (c)	0,000338	0,000356	0,000362	0,000383	0,000338	0,000356	0,000343	0,000338	0,003-0,011
Laju pengeringan pada saat suhu referensi ( $\tau_w$ )	9,000	8,500	8,000	7,500	9,000	8,500	8,500	7,500	1-9
Modulasi temperatur (f)	9,000	9,000	9,000	9,000	9,000	9,000	9,000	9,000	1-9
<i>Linear Module</i>									
Konstanta waktu respon lambat ( $\tau^{(s)}$ )	208,460	225,891	218,871	236,732	208,720	225,970	205,129	236,792	2-200
Konstanta waktu respon cepat ( $\tau^{(q)}$ )	15,133	15,325	14,902	15,019	15,144	15,327	14,859	15,020	0,5-15
Volume perbandingan aliran lambat ( $v^{(s)}$ )	0,505	0,499	0,508	0,504	0,505	0,499	0,513	0,504	0,02-0,95

Sumber : Hasil Perhitungan (2015)

Tabel 10. Variabel Masing – Masing *Input* Data Transformasi *Wavelet*-IHACRES

Variabel	Curah Hujan		Curah Hujan-Suhu		Curah Hujan-Debit		Cura Hujan-Suhu-Debit	
	Haar 1	Bior level 1	Haar 1	Bior level 1	Haar 1	Bior level 1	Haar 1	Bior level 1
Temperatur referensi ( $t_r$ )	35,000	35,000	35,000	35,000	35,000	35,000	35,000	35,000
Indeks ambang batas kelembaban tanah untuk menghasilkan aliran ( $I$ )	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Respon jangka waktu non linear ( $p$ )	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Angka resesi untuk aliran lambat ( $\alpha^{(s)}$ )	-0,995	-0,996	-0,995	-0,996	-0,995	-0,996	-0,995	-0,996
Angka resesi untuk aliran cepat ( $\alpha^{(q)}$ )	-0,936	-0,937	-0,935	-0,936	-0,936	-0,937	-0,935	-0,936
Respon puncak untuk aliran lambat ( $\beta^{(s)}$ )	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Respon puncak untuk aliran cepat ( $\beta^{(q)}$ )	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032
Volume perbandingan untuk aliran cepat ( $v^{(q)}$ )	0,495	0,501	0,492	0,496	0,495	0,501	0,487	0,496

Sumber : Hasil Perhitungan ( 2015)

Berdasarkan Tabel 7 menunjukkan bahwa pada skema 2 yang menghasilkan nilai  $R^2$  paling optimal dibandingkan dengan skema lainnya dengan nilai  $R^2$  sebesar 0,782 untuk durasi warm up 700 dan bias sebesar 2,007.

Skema 2 akan dijadikan skema untuk gabungan model transformasi wavelet-IHACRES. Skema kalibrasi yang digunakan untuk transformasi wavelet dengan data curah hujan menggunakan skema 2 dengan panjang periode data dari tahun 30 Oktober 2003 hingga 25 Maret 2005. Hasil nilai  $R^2$  dan bias pada tahap kalibrasi dengan variasi *warm up* untuk masing – masing kombinasi input data *wavelet* ditunjukkan pada Tabel 8.

Berdasarkan Tabel 8 menunjukkan bahwa hasil tahap kalibrasi pada *input* data curah hujan dengan debit untuk keluarga *wavelet Haar* level 1 yang menghasilkan nilai  $R^2$  paling optimal. Nilai  $R^2$  yang dihasilkan yaitu sebesar 0,787 yang termasuk dalam kriteria dan bias yang dihasilkan sebesar 1,987 mm/tahun dengan durasi *warm up* 700. Parameter hasil kalibrasi dan variabel *wavelet Haar* untuk *input* data curah hujan dan debit ini ditampilkan pada Tabel 9 dan Tabel 10. Selanjutnya parameter hasil kalibrasi dan variabel tersebut digunakan untuk perhitungan debit harian dengan metode gabungan transformasi *wavelet* - IHACRES untuk tahap verifikasi dan simulasi.

## 2) Verifikasi model

Setelah parameter hasil kalibrasi dan variabel diperoleh, selanjutnya dilakukan perhitungan debit harian untuk masing – masing jenis *wavelet* dan *input* data dengan metode IHACRES. Adapun panjang data yang digunakan dalam tahap ini menggunakan skema 2 (6 tahun verifikasi).

## 3) Simulasi Model

Pada simulasi model, parameter dan variabel yang akan Setelah parameter hasil kalibrasi dan variabel diperoleh, selanjutnya dilakukan perhitungan debit harian untuk masing – masing skema dengan metode IHACRES. Adapun panjang data yang digunakan dalam tahap ini, disesuaikan dengan persen.

## 4. Rekomendasi Penggunaan Model

Rekomendasi penggunaan model merupakan kelanjutan dari tahap kalibrasi, verifikasi dan simulasi, dengan membandingkan masing – masing skema *input* data *wavelet* sehingga diperoleh skema yang memberikan estimasi terbaik dalam memodelkan hujan aliran pada stasiun duga Pantai Cermin.

Berdasarkan Tabel 11, yang memberikan estimasi terbaik dalam memodelkan hujan aliran di stasiun Pantai Cermin pada tahap kalibrasi adalah *wavelet Haar* level 1 untuk input data curah hujan dan suhu dengan nilai korelasi 0,561. Tahap verifikasi terbaik adalah penggunaan *wavelet Haar* level 1 untuk *input* data curah hujan dan debit dengan nilai korelasi sebesar 0,674. Sedangkan untuk simulasi

yang memberikan estimasi terbaik adalah penggunaan model gabungan *wavelet Haar* level 1 untuk *input* data curah hujan dan debit dengan nilai korelasinya sebesar 0,737. Berdasarkan nilai koefisien korelasi yang dihasilkan dari gabungan model transformasi *wavelet Haar* level 1 – IHACRES untuk *input* data curah hujan dan

debit menunjukkan peningkatan performa kinerja model dibandingkan dengan model IHACRES. Kriteria koefisien korelasi pada tahap kalibrasi, verifikasi, dan simulasi dikategorikan korelasi kuat ( $0,5 < R < 0,75$ ).

Tabel 11. Hasil Uji Statistik Model Gabungan Transormasi *Wavelet* - IHACRES

Input Data	Wavelet	kalibrasi			verifikasi			Simulasi		
		Rsquared	bias	korelasi	Rsquared	bias	korelasi	Rsquared	bias	korelasi
IHACRES		0.782	2.007	0.549	0.212	-42.633	0.661	0.342	-406.495	0.732
Curah Hujan	Haar level 1	0.783	1.958	0.559	0.258	329.284	0.673	0.446	-37.130	0.736
Curah Hujan-Debit		0.787	1.987	0.560	0.259	329.281	0.674	0.447	-37.130	0.737
Curah Hujan-Suhu		0.782	1.536	0.561	0.252	285.834	0.666	0.418	-74.964	0.726
Curah Hujan-Suhu-Debit		0.786	1.706	0.560	0.250	299.858	0.667	0.416	-75.270	0.727
Curah Hujan	Bior 1.1 level 1	0.782	2.004	0.549	0.212	-42.617	0.661	0.342	-406.473	0.732
Curah Hujan-Debit		0.782	1.993	0.549	0.212	-42.610	0.662	0.342	-406.473	0.732
Curah Hujan-Suhu		0.781	2.003	0.551	0.199	-87.635	0.654	0.304	-443.232	0.722
Curah Hujan-Suhu-Debit		0.781	2.001	0.551	0.199	-87.628	0.654	0.304	-443.232	0.722

Sumber: Hasil Perhitungan (2015)

Tabel 12. Hasil Uji Statistik Model Gabungan Transormasi *Wavelet* - IHACRES

Input Data	Pemodelan Hujan-Aliran	Parameter Evaluasi			Penjelasan
		Korelasi (R)	Selisih Volume (VE)	Koefisien Efisiensi (CE)	
IHACRES Skema 2	IHACRES	0,732	12,199%	0,658	Kurang optimal karena nilai VE > 5% dan CE dikategorikan cukup efisien
CURAH HUJAN Haar level 1	TRANSFORMASI WAVELET - IHACRES	0,736	1,114%	0,554	Cukup optimal karena nilai VE < 5% dan CE dikategorikan cukup efisien
CURAH HUJAN - SUHU Haar level 1	TRANSFORMASI WAVELET - IHACRES	0,726	2,250%	0,582	Cukup optimal karena nilai VE < 5% dan CE dikategorikan cukup efisien
CURAH HUJAN - DEBIT Haar level 1	TRANSFORMASI WAVELET - IHACRES	0,737	1,114%	0,553	Cukup optimal karena nilai VE < 5% dan CE dikategorikan cukup efisien
CURAH HUJAN – SUHU - DEBIT Haar level 1	TRANSFORMASI WAVELET - IHACRE	0,727	2,259%	0,584	Cukup optimal karena nilai VE < 5% dan CE dikategorikan cukup efisien
CURAH HUJAN Bior 1.1 Level 1	TRANSFORMASI WAVELET - IHACRES	0,732	12,198%	0,658	Kurang optimal karena nilai VE > 5% dan CE dikategorikan cukup efisien
CURAH HUJAN - SUHU Bior 1.1Level 1	TRANSFORMASI WAVELET - IHACRES	0,722	13,301%	0,696	Kurang optimal karena nilai VE > 5% dan CE dikategorikan cukup efisien
CURAH HUJAN - DEBIT Bior 1.1Level 1	TRANSFORMASI WAVELET - IHACRES	0,732	12,198%	0,658	Kurang optimal karena nilai VE > 5% dan CE dikategorikan cukup efisien
CURAH HUJAN – SUHU – DEBIT Bior 1.1Level 1	TRANSFORMASI WAVELET - IHACRE	0,722	13,301%	0,696	Kurang optimal karena nilai VE > 5% dan CE dikategorikan cukup efisien

Sumber : Hasil Prhitungan (2015)

Berdasarkan Tabel 12 di atas menunjukkan hasil perbandingan evaluasi simulasi ketelitian pemodelan hujan-aliran model IHACRES dan gabungan model transformasi *wavelet* - IHACRES.

Nilai koefisien efisiensi (CE) yang memberikan nilai terbaik adalah penggunaan *wavelet Bior 1.1* level 1 dengan peningkatan pada input data curah hujan dan suhu kemudian peningkatan pada input data curah hujan, suhu, dan debit. Nilai CE yang dihasilkan yaitu sebesar 0,696 yang termasuk dalam kategori cukup efisien.

Berdasarkan nilai selisih *volume* (VE) yang dihasilkan dengan menggunakan *wavelet haar* level 1 memberikan nilai estimasi terbaik, karena nilai selisih *volume* (VE) sudah memenuhi kriteria kecil dari 5%. Sedangkan pada model IHACRES dan penggunaan *wavelet Bior 1.1* level 1 belum optimal karena nilai selisih *volume* (VE) lebih dari 5%. Nilai VE ini menunjukkan perbedaan *volume* dalam perhitungan dengan *volume* yang terukur selama proses simulasi.

#### D. Kesimpulan

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

1. pada tahap kalibrasi model IHACRES di stasiun duga air Pantai Cermin skema terbaik adalah skema 2 (30 Oktober 2003 – 25 Maret 2005). Hasil kalibrasi menunjukkan kriteria korelasi kuat dengan nilai korelasi (R) sebesar 0,549.
2. pada tahap penggabungan transformasi *wavelet* dengan IHACRES nilai kalibrasi terbaik adalah penggunaan data curah hujan dan suhu *wavelet Haar* level 1 dengan nilai korelasi sebesar 0,561. Sedangkan pada tahap verifikasi dan simulasi yang memberikan nilai korelasi terbaik adalah *wavelet Haar* untuk input data curah hujan dan debit dengan nilai

sebesar 0,674 dan simulasi sebesar 0,737.

3. model transformasi *wavelet* - IHACRES yang diterapkan di stasiun duga air Pantai Cermin memiliki derajat koefisien korelasi yang kuat. Berdasarkan uji parameter statistik koefisien korelasi (R), model transformasi *wavelet* - IHACRES menghasilkan peningkatan performa kinerja model, jika dibandingkan dengan model IHACRES.

#### E. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil perhitungan dan analisis pada pengerjaan tugas akhir ini antara lain sebagai berikut :

1. sebaiknya dalam penentuan nilai parameter kalibrasi IHACRES harus lebih teliti agar hasil yang diperoleh lebih optimal.
2. kajian lebih lanjut dapat dilakukan menggunakan periode data yang lebih panjang dan parameter transformasi *wavelet* tanpa menggunakan nilai *threshold default* untuk menghasilkan nilai *signal-to-noise ratio* (SNR) terbaik terhadap model hujan aliran

#### F. DAFTAR PUSTAKA

- Adiman, Y.E. 2015. *Model Hidrologi Runtun Waktu Untuk Peramalan Debit Sungai Menggunakan Metode Gabungan Transformasi Wavelet – Artificial Neural Network* (Studi Kasus : Sub DAS Siak Hulu). Skripsi S-1. Program Studi Teknik Sipil, FT- Universitas Riau.
- Christa, E. Bire. 2012. *Denoising Pada Citra Menggunakan Transformasi Wavelet*. Seminar Nasional Teknologi Informasi & Komunikasi Terapan. Semarang, 23 Juni 2012.
- Croke, B.F.W, Andrews, F., Jakeman, A.J., Cuddy, S. & Luddy, A. 2005. Redesign of the IHACRES Rainfall-Runoff. Makalah dalam 29<sup>th</sup> *Hydrology and Water Resources*

- Symposium*. Canberra, 21 – 23 Februari 2005.
- Croke, B.F.W., Andrews, F., Spate, J. & Cuddy, S. 2005. *IHACRES User Guide*. Australia : ICAM Centre dan The Australian National University.
- Fadly, R. A 2014. *Perbandingan Penggunaan Data Hujan Manual Dan Data Hujan Satelit Untuk Analisis Hujan-Aliran Menggunakan Model Ihacres ( Studi Kasus : Sub DAS Lubuk Bendahara)*. Skripsi S-1. Program Studi Teknik Sipil, FT- Universitas Riau.
- Indarto. 2006. *Kalibrasi Model IHACRES untuk Simulasi Neraca Air Harian di DAS Bedadung, Jawa Timur, Indonesia*. *Media Teknik Sipil*. Juli 2006 : 111-122.
- Indarto. 2010. *Hidrologi Dasar Teori dan Contoh Aplikasi Model Hidrologi*. Jakarta : Bumi Aksara
- Listyaningrum, R. 2007. Analisis Tekstur Menggunakan Metode Transformasi Paket Wavelet. *Makalah Seminar Tugas Akhir*. Semarang, Januari 2007
- Littlewood, I.G., Down, .K, Parker, J.R. & Post, D.A. 1999. *IHACRES V1.0 User Guide*. Australia : ICAM Centre dan The Australian National University.
- Mashuri. 2014. *Kajian Ketersediaan Dan Kebutuhan Air Baku Dengan Pemodelan IHACRES Didaerah Aliran Sungai Tapung Kiri* (Studi Kasus: Sub DAS Siak Hulu). Skripsi S-1. Program Studi Teknik Sipil, FT-Universitas Riau.
- Motovilov, Y.G., Gottschalk, L., Engeland, K. & Rodhe, A. 1999. Validation of a Distributed Hydrological Model Against Spatial Observations. *Elsevier Agricultural and Forest Meteorology*. 98 : 257-277.
- Refsgaard, J.C. 2000. Towards a Formal Approach to Calibration and Validation of Models Using Spatial Data, Dalam R. Grayson & G. Blöschl. *Spatial Patterns in Catchment Hydrology: Observations and Modelling*. Cambridge University Press, Cambridge, 329 – 354.
- Reza, C. 2013. Teknik Potensi Diferensial pada Transformator Daya Tiga Fasa dengan Menggunakan Transformasi Wavelet. Skripsi. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia.
- Sriwongsitanon, N. & Taesombat, W, 2011. Estimation of the IHACRES Model Parameters for Flood Estimation of Ungauged in the Upper Ping River Basin. *Kasetsart J (Nat. Sci.)* 45. Juni 2011 : 917-931.
- Suwarno. 2008. *Analisis Korelasi*. Sukoharjo: Universitas Veteran Bangun Nusantara.
- Wibowo, Ryan Ardhi. 2013. *Analisa Hujan Aliran Menggunakan Model Ihacres (Studi Kasus Das Indragiri)*. Tugas Akhir Teknik Sipil Universitas Riau.