

# **ANALISIS HUJAN ALIRAN MENGGUNAKAN MODEL IHACRES (Studi Kasus DAS Indragiri)**

**Ryan Ardhi Wibowo, Imam Suprayogi, Yohanna Lilis Handayani**

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau  
Kampus Bina Widya Jl. HR Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode Pos 28293  
email: ryan.wibowo@yahoo.com

## **ABSTRACT**

*Hydrological phenomena are very complex and difficult to be understood completely, so it needs a simplification in the form of model. IHACRES model is one of the well known rainfall-runoff model that have been successful in investigating the hydrological response of the various watersheds around the world. The existence of this success, it is necessary to research the reliability of the IHACRES model in Indonesia, namely in the Indragiri watershed. This model is calibrated, verified and simulated based on discharge data recording at Lubuk Ambacang station for 10 years (1995-2004) and then validated against discharge data at Pulau Berhalo station. This research was conducted by varying the length of data is grouped into scheme 1 until scheme 8. The research results show that the best scheme in calibration phase is scheme 3 (3 years calibration) with  $R^2$  value of 0,8140, while the verification phase, the best scheme is scheme 6 (6 years calibration) with  $R^2$  value of 0,5508. In the validation phase using the data in Pulau Berhalo station, scheme 7 (7 years calibration) showed better performance than scheme 3 and scheme 6 with  $R^2$  value 0.361 and bias 17.155 mm/year. Overall, the results of this research provide understanding that the success obtained in the calibration phase does not guarantee the success at verification phase.*

*Keywords: Indragiri, rainfall- runoff, IHACRES model*

## **PENDAHULUAN**

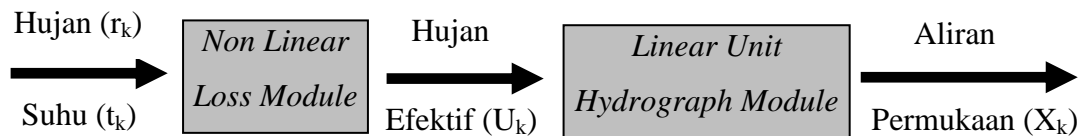
Ketersediaan air suatu Daerah Aliran Sungai (DAS), mencerminkan proses pergerakan air dari vegetasi, tanah dan sungai yang berlangsung secara tetap. Pergerakan air ini dapat dideteksi dan didekati dengan beberapa persamaan matematika. Persamaan tersebut mencerminkan proses pengalihragaman dari hujan menjadi aliran yang dapat ditiru dan disederhanakan serta diwujudkan dalam bentuk model, yang disebut dengan model hujan aliran.

Salah satu model hujan aliran yang cukup dikenal dan banyak diaplikasikan di beberapa negara di dunia oleh para praktisi dan peneliti adalah model IHACRES. IHACRES telah berhasil diterapkan untuk menyelidiki respon hidrologi di berbagai DAS di seluruh dunia seperti di Australia (Carlile, *et al*, 2004), Afrika Selatan (Dye dan Croke, 2003), Amerika Serikat (Anderson dan Goodall, 2006), Inggris (Croke dan Littlewood, 2005), Thailand (Sriwongsitanon dan Taesombat, 2011) dan Indonesia (Indarto, 2006).

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Indarto (2006), bahwa model IHACRES yang pada awalnya dikembangkan di Inggris, telah berhasil dalam menyelidiki respon hidrologi di DAS Bedadung, Jawa Timur. Dengan adanya keberhasilan tersebut, maka dirasa perlu untuk mencoba keandalan model IHACRES di daerah lain di Indonesia. Adapun lokasi penelitian ini berada pada DAS Indragiri yakni pada stasiun duga air Lubuk Ambacang dan Pulau Berhalo.

Tulisan ini menjelaskan hasil penelitian yang telah dilakukan untuk menganalisa keandalan model IHACRES dalam memodelkan hujan aliran pada DAS Indragiri dengan data debit dari pengukuran di stasiun Lubuk Ambacang dan stasiun Pulau Berhalo.

Model IHACRES (*Identification of Unit Hydrograph and Component Flows from Rainfall, Evaporation and Stream Flow Data*) menurut Croke dan Jakeman (Wheater, *et al*, 2008) merupakan gabungan dari model konseptual dan model matrik dengan melakukan penyederhanaan terhadap model matrik untuk mengurangi ketidakpastian parameter yang melekat dalam model hidrologi, sementara pada saat yang sama berusaha mewakili proses internal lebih detail dibandingkan dengan model matrik. Proses hidrologi menurut konsep IHACRES disederhanakan sebagai berikut :



Gambar 1 Deskripsi Proses Hujan Aliran Menurut IHACRES

Berdasarkan Gambar 1, siklus hidrologi menurut IHACRES dibedakan menjadi dua. Sub proses vertikal yang digambarkan oleh *Non Linear Loss Module* dan sub proses lateral yang diimplementasikan melalui *Linear Unit Hydrograph Module*. *Non linear loss module* berfungsi untuk mengkonversi hujan menjadi hujan efektif.

Proses non linear loss module merupakan proses perubahan hujan menjadi aliran permukaan pada skala DAS diasumsikan bersifat non linear. 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 :

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

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

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

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),  $\tau_k$  adalah laju pengeringan,  $t_k$  adalah 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 ( $^{\circ}\text{C}$ ).

IHACRES versi 2.1 lebih umum dibandingkan versi aslinya yaitu versi 1.0. Namun pengguna dapat beralih dari versi 2.1 ke versi 1.0 dengan mengganti parameter l dan p masing-masing menjadi nol dan satu.

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*). Kedua komponen tersebut dapat dihubungkan baik secara paralel maupun seri. Direkomendasikan menggunakan dua komponen tersebut secara paralel, kecuali untuk daerah semi kering ataupun sungai *ephemeral* dimana salah satu komponen biasanya memadai (Sriwongsitanon dan Taesombat, 2011).

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, dan  $\beta_s$  adalah respon puncak untuk aliran lambat.

Karakteristik respon dinamis (*Dynamic Response Characteristics, DRCs*) merupakan ukuran numerik yang berasal dari curah hujan, evapotranspirasi (ataupun suhu) dan debit sungai dari serangkaian DAS. 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) dan  $\tau_s$  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 dan  $v_s$  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.

## 1. Evaluasi Ketelitian Model

Evaluasi ketelitian model IHACRES dalam Croke *et al* (2004) menggunakan fungsi objektif yang terdiri dari :

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

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

dengan  $Q_o$  adalah debit terukur ( $m^3/detik$ ),  $Q_m$  adalah debit terhitung ( $m^3/detik$ ) dan  $n$  adalah jumlah sampel.

Dalam penelitian ini, indikator statistik yang paling utama dalam menentukan keandalan model adalah  $R^2$  dan bias. Kedua indikator statistik tersebut dirasa cukup dalam mengevaluasi kinerja model dalam hal membandingkan antara hasil model dengan data yang diamati. Nilai optimal untuk  $R^2$  mendekati satu dan bias mendekati nol. Perumusan persamaan  $R^2$  didasarkan pada indikator efisiensi model Nash-Sutcliffe (Croke, *et al*, 2005). NSE memiliki *range* antara  $-\infty$  sampai dengan 1. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Motovilov *et al* (1999), NSE memiliki beberapa kriteria seperti yang diperlihatkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1 Kriteria Nilai Nash-Sutcliffe *Efficiency* (NSE)

Nilai Nash-Sutcliffe <i>Efficiency</i> (NSE)	Interpretasi
$NSE > 0,75$	Baik
$0,36 < NSE < 0,75$	Memuaskan
$NSE < 0,36$	Tidak memuaskan

(Sumber : Motovilov, *et al*, 1999)

## 2. Kalibrasi Model

Kalibrasi model menurut Vase, *et al* (2011) merupakan suatu proses mengoptimalkan atau secara sistematis menyesuaikan nilai parameter model untuk mendapatkan satu set parameter yang memberikan estimasi terbaik dari debit sungai yang diamati.

Dalam penelitian ini, pada tahap kalibrasi dilakukan pemilihan periode kalibrasi dan periode *warm up*. Menurut Littlewood, *et al* (1999), pemilihan periode kalibrasi diawali dan diakhiri pada keadaan debit relatif kecil sehingga perubahan penyimpanan air di DAS selama periode kalibrasi dapat diasumsikan mendekati nol. *Warm-up* adalah periode untuk inisiasi dan dicari dengan coba-coba. Pemilihan periode *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 *rangennya* berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sriwongsitanon dan Taesombat (2011). Adapun *range* parameter tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 *Range* Parameter Model IHACRES

<b>Parameter Model</b>	<b>Range Parameter Model</b>
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)

### 3. Verifikasi Model

Verifikasi model menurut Pechlivanidis, *et al* (2011) merupakan suatu proses setelah tahap kalibrasi selesai dilakukan yang berfungsi untuk menguji kinerja model pada data diluar periode kalibrasi. Kinerja model biasanya lebih baik selama periode kalibrasi dibandingkan dengan verifikasi, fenomena seperti ini disebut dengan divergensi model.

### 4. Simulasi Model

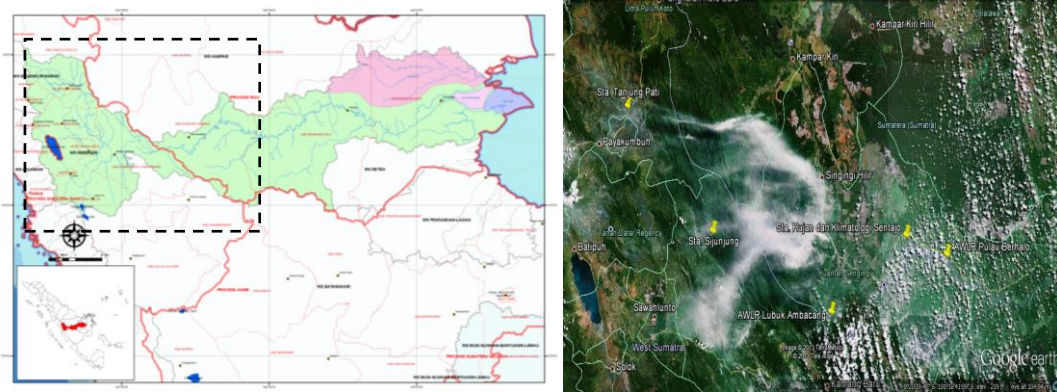
Simulasi model menurut Refsgaard (2000) merupakan upaya memvalidasi penggunaan model untuk memperoleh pengetahuan atau wawasan dari suatu realita dan untuk memperoleh perkiraan yang dapat digunakan oleh para pengelola sumberdaya air. Tahap simulasi merupakan proses terakhir setelah proses kalibrasi dan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

### 5. Validasi Model

Menurut Soemarno (2003), validasi model pada hakekatnya merupakan usaha untuk menyimpulkan apakah model sistem tersebut di atas merupakan perwakilan yang sah dari realitas yang dikaji sehingga dapat dihasilkan kesimpulan yang meyakinkan. Pada penelitian ini, validasi model dilakukan di stasiun Pulau Berhalo dengan panjang data selama 10 tahun (1994 – 2004).

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada DAS Indragiri dengan dua lokasi stasiun duga air yang berbeda yaitu stasiun Lubuk Ambacang dan stasiun Pulau Berhalo. Stasiun duga air Lubuk Ambacang memiliki memiliki luas daerah aliran sebesar 7467 km<sup>2</sup>. Stasiun duga air Pulau Berhalo memiliki luas daerah aliran sebesar 8526 km<sup>2</sup>. Adapun lokasi penelitian ditunjukkan pada Gambar 2 berikut :

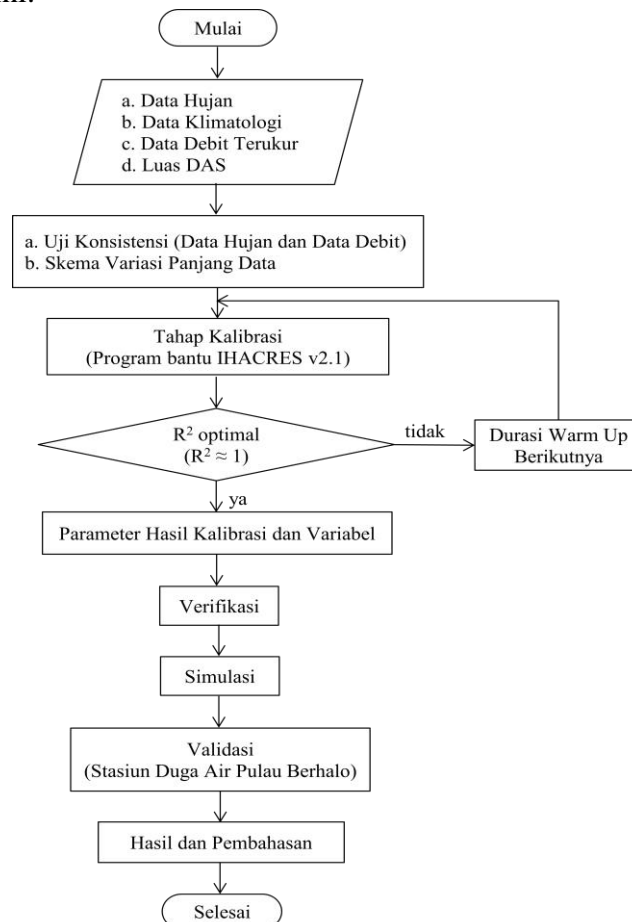


Gambar 2 Peta Lokasi Penelitian

Adapun data-data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- data curah hujan pada stasiun hujan Tanjung Pati, Sijunjung dan Sentajo periode 1995-2004.
- data klimatologi pada stasiun klimatologi Sentajo periode 1995-2004.
- data debit pada pos duga air Lubuk Ambacang dan Pulau Berhalo periode 1995-2004.

Adapun bagan penelitian tugas akhir dapat dilihat dalam bagan alir penelitian pada Gambar 3 berikut ini.



Gambar 3 Bagan Alir Penelitian

Berdasarkan bagan alir pada Gambar 3, secara garis besar tahapan analisis yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- a. melakukan uji konsistensi pada data hujan dan debit dengan metode RAPS.
- b. 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 Lubuk Ambacang. Adapun skema yang akan digunakan diperlihatkan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3 Skema Persentase Panjang Data Tahap Kalibrasi, Verifikasi dan Simulasi Stasiun Duga Air Lubuk Ambacang

Skema	Kalibrasi	Verifikasi	Simulasi
1	10,0192% (1-7-1995 – 1-7-1996)	84,9713% (2-7-1996 – 31-12-2004)	100% (1-1-1995 – 31-12-2004)
2	20,0110% (1-7-1995 – 1-7-1997)	74,9795% (2-7-1997 – 31-12-2004)	
3	30,0027% (1-7-1995 – 1-7-1998)	64,9877% (2-7-1998 – 31-12-2004)	
4	39,9945% (1-7-1995 – 1-7-1999)	54,9959% (2-7-1999 – 31-12-2004)	
5	50,0137% (1-7-1995 – 1-7-2000)	44,9763% (2-7-2000 – 31-12-2004)	
6	60,0055% (1-7-1995 – 1-7-2001)	34,9849% (2-7-2001 – 31-12-2004)	
7	69,9973% (1-7-1995 – 1-7-2002)	24,9932% (2-7-2002 – 31-12-2004)	
8	79,9891% (1-7-1995 – 1-7-2003)	15,0014% (2-7-2003 – 31-12-2004)	

- c. melakukan *input* data yang telah diuji konsistensinya ke program IHACRES v.2.1 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.
- d. 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.
- e. 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.
- f. mengulangi langkah nomor 5 hingga nomor 7 untuk skema 2 hingga 8.
- g. 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 biasanya.
- h. simulasi, yaitu proses terakhir setelah proses kalibrasi dan verifikasi dilaksanakan. 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 biasanya.
- i. proses validasi dilakukan dengan menggunakan variabel dan parameter yang dihasilkan masing – masing skema. Proses validasi ini dilakukan di stasiun duga air Pulau Berhalo. Selanjutnya hasil validasi dari masing – masing skema dihitung nilai  $R^2$  dan biasanya.
  - j. hasil dan pembahasan, yaitu membahas tentang hasil analisis data.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Uji Konsistensi Data

Data hujan yang akan diuji konsistensi datanya diambil dari tiga stasiun penakar hujan diantaranya stasiun Tanjung Pati, stasiun Sijunjung dan stasiun Sentajo dengan masing – masing stasiun memiliki panjang data selama 10 (sepuluh) tahun. Untuk kepercayaan 99%, stasiun Tanjung Pati menunjukkan  $Q_{hitung} < Q_{kritis} = 0,727 < 1,290$  dan  $R_{hitung} < R_{kritis} = 0,727 < 1,380$ . Hasil pengujian dengan metode RAPS menunjukkan untuk data dari ketiga stasiun hujan tersebut adalah pangah atau konsisten.

Data debit yang akan diuji konsistensi datanya diambil dari dua stasiun duga air diantaranya stasiun Lubuk Ambacang dan stasiun Pulau Berhalo dengan masing – masing stasiun memiliki panjang data selama 10 (sepuluh) tahun. Untuk kepercayaan 99%, stasiun Lubuk Ambacang menunjukkan  $Q_{hitung} < Q_{kritis} = 0,559 < 1,290$  dan  $R_{hitung} < R_{kritis} = 0,559 < 1,380$ . Hasil pengujian dengan metode RAPS menunjukkan untuk data dari kedua stasiun duga air tersebut adalah pangah atau konsisten.

### 2. Proses Pemodelan Debit dengan Metode IHACRES

Pada penelitian ini, proses kalibrasi dilakukan dengan program bantu 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 proses kalibrasi, verifikasi dan simulasi adalah sebagai berikut :

#### 1) Kalibrasi Model

Proses kalibrasi dilakukan dengan program bantu IHACRES v.2.1. Adapun hasil nilai  $R^2$  dan bias pada tahap kalibrasi dengan variasi *warm up* untuk masing - masing skema ditunjukkan pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4 Nilai  $R^2$  dan Bias dengan Variasi *Warm Up* Masing – Masing Skema

Uji Statistik	Skema 1	Skema 2	Skema 3	Skema 4	Skema 5	Skema 6	Skema 7	Skema 8
$R^2$	300	400	900	900	900	400	400	400
Bias	0,569	0,604	0,814	0,692	0,653	0,557	0,573	0,570
	-9,995	-22,686	0,246	16,730	9,295	0,224	2,496	19,336



Tabel 5 Parameter Hasil Kalibrasi Masing – Masing Skema

Parameter Hasil Kalibrasi	Skema 1	Skema 2	Skema 3	Skema 4	Skema 5	Skema 6	Skema 7	Skema 8	Range Parameter
<b>Non Linear Module</b>									
Keseimbangan massa (c)	0,003016	0,003070	0,003015	0,003081	0,003172	0,003169	0,003559	0,003220	0,003-0,011
Laju pengeringan pada saat suhu referensi ( $\tau_w$ )	8,000	8,500	8,500	9,000	9,000	9,000	9,000	9,000	1-9
Modulasi temperatur (f)	4,000	3,000	4,500	2,000	2,000	2,500	2,000	2,500	1-9
<b>Linear Module</b>									
Konstanta waktu respon lambat ( $\tau^{(s)}$ )	61,048	44,752	73,635	70,573	71,696	58,481	53,772	58,667	2-200
Konstanta waktu respon cepat ( $\tau^{(q)}$ )	3,007	2,855	4,060	3,558	4,515	4,655	4,518	4,728	0,5-15
Volume perbandingan untuk aliran lambat ( $v^{(s)}$ )	0,694	0,766	0,525	0,548	0,531	0,617	0,628	0,539	0,02-0,95

Tabel 6 Variabel Masing – Masing Skema

Variabel	Skema 1	Skema 2	Skema 3	Skema 4	Skema 5	Skema 6	Skema 7	Skema 8
Temperatur referensi ( $t_r$ )	32,000	32,000	31,000	32,000	32,000	32,000	32,000	32,000
Indeks ambang batas kelembaban tanah untuk menghasilkan aliran (l)	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 ( $\alpha^{(s)}$ )	-0,984	0,978	-0,987	-0,986	-0,986	-0,983	-0,982	-0,983
Angka resesi untuk aliran cepat ( $\alpha^{(q)}$ )	-0,717	-0,705	-0,782	-0,755	-0,801	-0,807	-0,801	-0,809
Respon puncak untuk aliran lambat ( $\beta^{(s)}$ )	0,011	0,017	0,007	0,008	0,007	0,010	0,012	0,009
Respon puncak untuk aliran cepat ( $\beta^{(q)}$ )	0,087	0,069	0,104	0,111	0,093	0,074	0,074	0,088
Volume perbandingan untuk aliran cepat ( $v^{(q)}$ )	0,306	0,234	0,475	0,452	0,469	0,383	0,372	0,461

Pada Tabel 4 memberikan pemahaman bahwa variasi *warm up* yang memberikan nilai  $R^2$  optimal untuk masing – masing skema tidaklah sama, sehingga dari *warm up* dengan  $R^2$  optimal tersebut memberikan parameter hasil kalibrasi dan variabel seperti yang ditampilkan pada Tabel 5 dan Tabel 6 berikut. Selanjutnya parameter hasil kalibrasi dan variabel tersebut digunakan untuk perhitungan debit harian dengan metode IHACRES untuk tahap verifikasi dan simulasi pada masing – masing skema.

## 2) Verifikasi Model

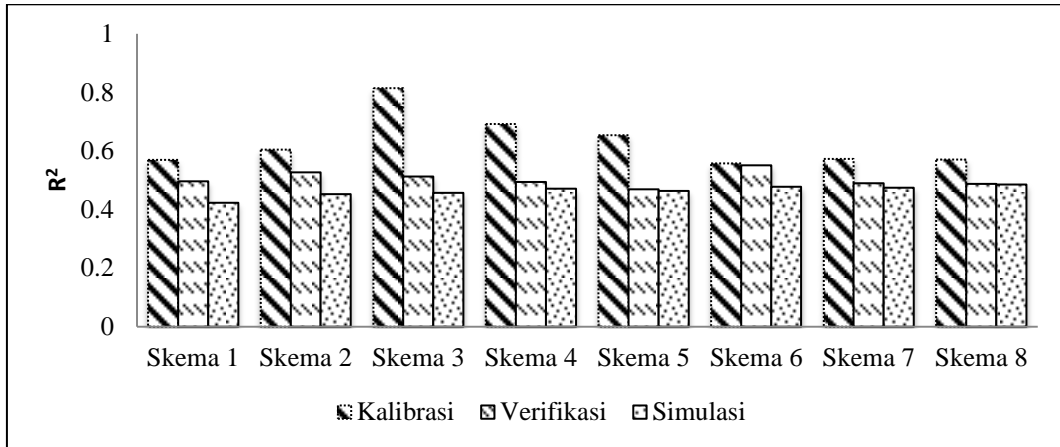
Setelah parameter hasil kalibrasi dan variabel diperoleh, selanjutnya dilakukan perhitungan debit harian untuk masing – masing skema dengan metode IHACRES. Adapun panjang data yang digunakan dalam tahap ini, disesuaikan dengan persentase panjang data pada tahap verifikasi untuk masing – masing skema.

## 3) Simulasi Model

Pada simulasi model, parameter dan variabel yang akan digunakan dalam perhitungan sama dengan parameter dan variabel yang digunakan dalam verifikasi masing – masing skema, namun dalam perhitungannya menggunakan keseluruhan data yang ada yaitu data dari tanggal 1 Januari 1995 sampai 31 Desember 2004.

### 3. Rekomendasi Penggunaan Model

Rekomendasi penggunaan model merupakan kelanjutan dari tahap kalibrasi, verifikasi dan simulasi, dengan membandingkan masing – masing skema sehingga diperoleh skema yang memberikan estimasi terbaik dalam memodelkan hujan aliran pada stasiun duga air Lubuk Ambacang. Adapun hasil uji statistik skema 1 hingga skema 8 ditunjukkan dalam Gambar 4 berikut.



Gambar 4 Rekomendasi Penggunaan Model

Berdasarkan Gambar 4, yang memberikan estimasi terbaik dalam memodelkan hujan aliran di stasiun Lubuk Ambacang pada tahap kalibrasi adalah skema 3 dengan nilai  $R^2$  0,8140 dan tahap verifikasi adalah skema 6 dengan nilai  $R^2$  0,5508. Selanjutnya untuk tahap validasi, menggunakan parameter dan variabel yang dihasilkan dalam skema 1 hingga skema 8.

### 4. Validasi Model

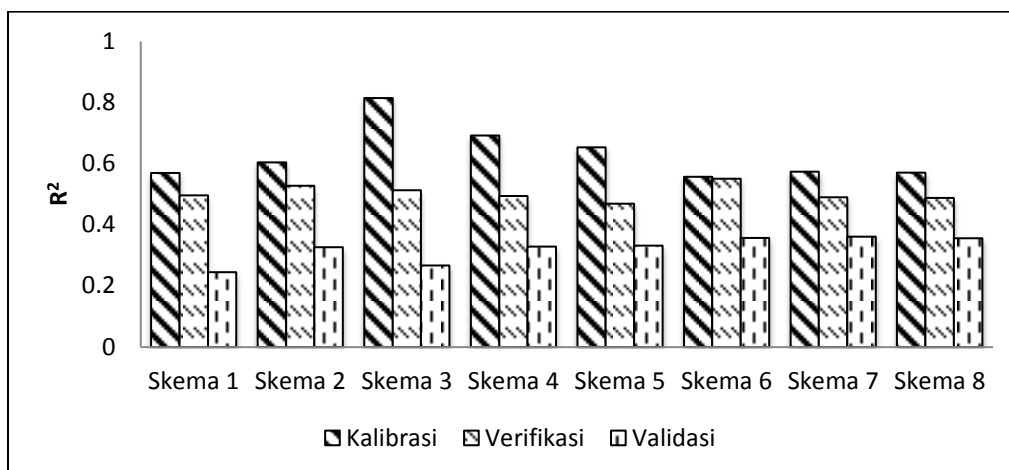
Validasi model bertujuan untuk mengetahui keandalan model apabila parameter yang telah diperoleh sebelumnya diterapkan pada stasiun duga air yang berbeda. Pada penelitian ini, validasi dilakukan pada pada stasiun duga air Pulau Berhalo yang memiliki luas daerah aliran 8526 km<sup>2</sup>.

#### 1) Validasi Model

Proses validasi model pada masing – masing skema dilakukan dengan menggunakan parameter dan variabel dari Tabel 5 dan Tabel 6 dan proses yang sama seperti simulasi model, untuk kemudian dilakukan analisis hujan aliran berdasarkan data debit dari pengukuran di stasiun duga air Pulau Berhalo dengan metode IHACRES.

#### 2) Hasil Uji Statistik Validasi Stasiun Pulau Berhalo

Adapun hasil uji statistik untuk masing – masing tahap (kalibrasi, verifikasi dan validasi) diperlihatkan pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5 Hasil Uji Statistik Validasi Stasiun Pulau Berhalo

Berdasarkan Gambar 5 terlihat bahwa nilai  $R^2$  optimal pada tahap validasi diberikan pada skema 7 yang menunjukkan kinerja model yang memenuhi ( $0,36 < R^2 < 0,75$ ) dalam memodelkan hujan aliran pada stasiun Pulau Berhalo.

Berbeda dengan hasil yang diberikan pada skema 3 ( $R^2$  tertinggi pada tahap kalibrasi), walaupun pada tahap kalibrasi dan verifikasi secara keseluruhan menunjukkan kinerja model yang memenuhi, namun hasil yang berbeda diperlihatkan ketika parameter dan variabel model divalidasi. Hasilnya menunjukkan bahwa kinerja model skema 3 tidak memenuhi ( $R^2 < 0,36$ ) apabila digunakan pada stasiun Pulau Berhalo. Hasil yang sama juga diberikan pada skema 6 ( $R^2$  tertinggi pada tahap verifikasi), walaupun nilai  $R^2$  yang dihasilkan pada tahap validasi lebih tinggi dibandingkan skema 3, namun nilai tersebut masih berada dalam rentang kinerja model tidak memenuhi ( $R^2 < 0,36$ ) apabila diterapkan di stasiun Pulau Berhalo.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan analisis dan pembahasan hasil penelitian yang berjudul Analisis Hujan Aliran Menggunakan Model IHACRES (Studi Kasus DAS Indragiri), maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- pada tahap kalibrasi, verifikasi dan simulasi di stasiun duga air Lubuk Ambacang, skema terbaik pada tahap kalibrasi dan verifikasi adalah skema 3 dan skema 6. Skema 3 memberikan nilai  $R^2$  tertinggi pada tahap kalibrasi yaitu sebesar 0,8140. Sedangkan skema 6 memberikan nilai  $R^2$  tertinggi pada tahap verifikasi yaitu sebesar 0,5508.
- pada tahap validasi di stasiun duga air Pulau Berhalo, skema 7 menunjukkan kinerja model yang lebih baik dibandingkan dengan skema 3 dan skema 6 yang merupakan skema terbaik pada tahap kalibrasi dan verifikasi. Skema 7 memberikan nilai  $R^2$  sebesar 0,361 dan bias 17,155 mm/tahun. Hal tersebut memberikan gambaran bahwa semakin panjang data yang digunakan, maka tingkat akurasi kinerja model yang dihasilkan akan semakin baik.
- model IHACRES yang diterapkan di stasiun duga air Lubuk Ambacang dan Pulau Berhalo dapat dikatakan masih kurang handal karena nilai  $R^2$  yang dihasilkan pada tahap simulasi dan validasi berkisar antara 0,245 – 0,485. Namun dalam hal

penggunaannya di lapangan masih dapat diaplikasikan selama pemodelan hujan aliran yang memberikan hasil yang lebih baik belum ditemukan.

- d. keberhasilan yang diperoleh tahap kalibrasi tidak menjamin keberhasilan pada tahap verifikasi.

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

- a. sebaiknya lebih berhati – hati dalam proses kalibrasi terutama pada saat penentuan durasi *warm up*. Hal ini didasarkan pada adanya perbedaan durasi *warm up* yang memberikan nilai  $R^2$  optimal untuk masing – masing skema.
- b. diperlukan penelitian yang berkelanjutan dalam hal regionalisasi parameter model sehingga diperoleh *range* parameter model yang sesuai untuk karakteristik kondisi hidrologi di Indonesia.
- c. kajian lebih lanjut mengenai analisis hujan aliran selain menggunakan model IHACRES dapat diterapkan untuk lokasi studi stasiun duga air Lubuk Ambacang dan Pulau Berhalo.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Balai Wilayah Sungai Sumatera III Provinsi Riau, Dinas Pemukiman dan Prasarana Wilayah Provinsi Riau Proyek Pengendalian Banjir dan Pengamanan Pantai Riau serta Balai Pengelolaan Sumber Daya Air Kuantan Indragiri Provinsi Sumatera Barat yang telah memberikan informasi dan data – data yang dibutuhkan dalam penelitian ini serta ucapan terima kasih kepada semua pihak yang terlibat dalam proses penelitian ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, R.M. & Goodall, J.L. 2006. Regionalization of IHACRES model parameters for integrated assessment across the Lake Erie, northern Ohio basin USA. *Proceedings of the 3rd Biennial Meeting of the International Environmental Modeling and Software Society (iEMSS)*. Burlington, Vermont, 2006.
- Carlile, P.W., Croke, B.F.W., Jakeman, A.J. & Lees, B.G. 2004. Development of a semidistributed catchment hydrology model for simulation of land-use change streamflow and groundwater recharge within the Little river catchment. *In I.C. Roach (ed.). Regolith*, 2004. CRC LEME : 54–56.
- Croke, B.F.W., Andrews, F., Spate, J. & Cuddy, S. 2004. *IHACRES User Guide, Software Version Classic Plus – V2.0*. Australia : ICAM Centre dan The Australian National University.
- Croke, B.F.W. & Littlewood, I.G. 2005. Comparison of Alternative Loss Modules in the IHACRES Model: An Application to 7 Catchments in Wales. *International Congress on Modeling and Simulation Society of Australia and New Zealand*. Melbourne, Australia 2005.
- Dye, P.J. & Croke, B.F.W. 2003. Evaluation of Streamflow Predictions by the IHACRES Rainfall-Runoff Model in Two South African Catchments. *Environ. Mod and Soft.* 18 : 705-712.
- Indarto, 2006. Kalibrasi Model IHACRES untuk Simulasi Neraca Air Harian di DAS Bedadung, Jawa Timur, Indonesia. *Media Teknik Sipil*. Juli 2006 : 111-122.

- 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.
- 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.
- Pechlivanidis, I.G., Jackson, B.M., McIntyre, N.R., & Wheater, H.S. 2011. Catchment Scale Hydrological Modelling : A Review of Model Types, Calibration Approaches and Uncertainty Analysis Methods in the Context Of Recent Developments in Technology and Applications. *Global Nest Journal*. 13: 193–214.
- 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.
- Soemarno. 2003. *Pendekatan dan Pemodelan Sistem*. Bahan Ajar. Malang : Program S2 Pemodelan.
- 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.
- Vase, J., Jordan, P., Beecham, R., Frost, A. & Summerell, G. 2011. *Guidelines for Rainfall-Runoff Modelling : Towards Best Practice Model Application*. Australia : eWater Cooperative Research Centre.
- Wheater, H., Sorooshian, S. & Sharma, K.D. 2008. *Hydrological Modelling in Arid and Semi – Arid Areas*. Cambridge : Cambridge University Press.