

PEMODELAN HIDROLOGI HUJAN-ALIRAN DENGAN MENGUNAKAN DATA SATELIT HASIL PENGINDERAAN JAUH (Studi Kasus DAS Tapung Kiri)

Hamiduddin, Sigit Sutikno, Manyuk Fauzi

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Bina Widya Jl. HR Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode Pos 28293
email: hamiduddin87@gmail.com

ABSTRACT

Hydrological modeling is a simplification or approximation from an actual reality of hydrological phenomena. Data's availability for modeling is often become a problem because of incompleteness and imprecision data. Advancement of remote sensing technology makes it possible to overcome these problems by using data derived from satellites. To use satellite's data for hydrological modeling needed a special software, one of it is the Integrated Flood Analysis System (IFAS). IFAS was be used to model the rainfall-runoff in Riau Province, Tapung Kiri watershed. This model was simulated and calibrated with period from 1 January until 31 December 2006 and then was validated with period 1 January until 31 December 2005. Modeling become optimal after the calibration process with the correlation (R) value of 0,776, volume error (VE) of 0,574%, and the coefficient of efficiency (CE) of 0,75. This showed that the model has a high degree of association with the measured data ($0,7 < R < 1,0$), the difference of volume is still tolerable ($VE < 5\%$), and the efficiency of model to the measured discharge is quite efficient ($0,36 < CE < 0,75$).

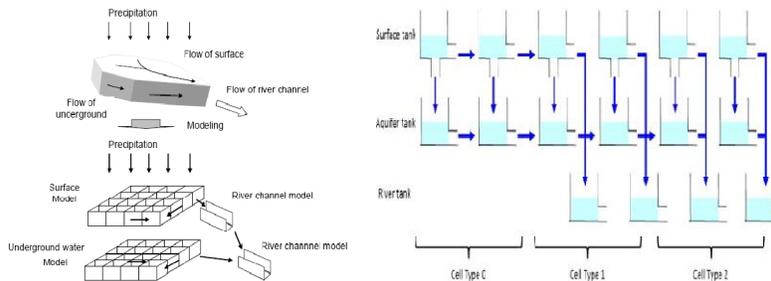
Keywords: rainfall-runoff modeling, satellite data, IFAS model.

PENDAHULUAN

DAS memiliki beberapa permasalahan seperti masih belum terkendalinya banjir di musim hujan, terjadinya kekeringan di musim kemarau, dan menurunnya kualitas air yang menunjukkan usaha-usaha pengelolaan wilayah DAS pada saat ini dirasakan kurang efektif dan kurang efisien. Terjadinya beberapa permasalahan tersebut menuntut diperlukannya suatu usaha pengelolaan wilayah DAS yang efektif dan efisien. Untuk itulah dilakukan suatu pemodelan hidrologi pada DAS agar perencanaan usaha-usaha mengatasi permasalahan DAS tersebut bisa lebih efektif dan efisien.

Ketersediaan data untuk pemodelan sering kali menjadi permasalahan karena ketidak-lengkapan dan ketidak-akuratan data. Kemajuan teknologi bidang penginderaan jauh memungkinkan untuk mengatasi permasalahan tersebut dengan menggunakan data-data yang bersumber dari satelit. Tersedianya banyak program penginderaan jauh yang terhubung langsung ke satelit mempercepat proses pengumpulan data-data yang diperlukan untuk pemodelan suatu Daerah Aliran Sungai. Hal ini juga mempermudah dan mempercepat proses analisa permasalahan di DAS tersebut di masa mendatang. Pada penelitian ini akan dilakukan pemodelan hujan-aliran menggunakan data-data satelit dengan alat bantu *software*, yaitu *Integrated Flood Analysis System* (IFAS). Penelitian ini mengambil studi kasus pada DAS Tapung Kiri di Provinsi Riau.

IFAS merupakan salah satu program penginderaan jauh yang dikembangkan oleh *Public Work Research Institute (PWRI)* dari Jepang yang bernama *International Centre for Water Hazard and Risk Management (ICHARM)*. IFAS dikembangkan seperti fungsi SIG untuk membuat jaringan saluran sungai dan mengestimasi parameter-parameter standar dalam analisis limpasan sehingga hasilnya bisa ditampilkan berdasarkan data-data satelit dan data-data curah hujan yang ada di lapangan. Perhitungan simulasi model dalam IFAS dilakukan dengan menggunakan *The Distributed Model of PWRI*, seperti model tangki yang dimodifikasi berdasarkan beberapa penelitian yang dilakukan *Public Works Research Institute (PWRI)* dari Jepang. Model ini dibagi menjadi tiga bagian, yaitu *surface model*, *underground water model*, dan *river channel model*. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 1.



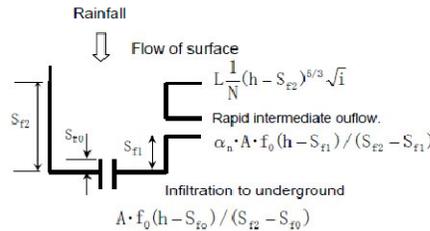
Gambar 1 Skema Model IFAS

Sumber: Fukami, 2009

Dalam Fukami (2009) dijelaskan tiga bagian model PWRI, yaitu :

1. *Surface Model*

Surface Model merupakan tangki yang membagi curah hujan menjadi aliran permukaan (*flow of surface*), aliran intermediet (*rapid intermediate outflow*), dan aliran infiltrasi (*ground infiltration flows*). Aliran permukaan dan intermediet dihitung berdasarkan Hukum Manning. Aliran infiltrasi dihitung berdasarkan Hukum Darcy.

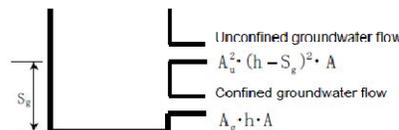


Gambar 2 Konsep *Surface Model*

Sumber : Fukami, 2009

2. *Underground Water Model*

Tangki pada model ini dibagi menjadi aliran *unconfined* dan *confined*.

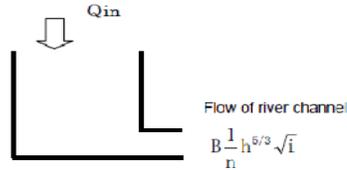


Gambar 3 Konsep *Underground Water Model*

Sumber : Fukami, 2009

3. *River Channel Model*

Model ini dihitung berdasarkan persamaan Manning.



Gambar 4 Konsep *River Channel Model*
Sumber : Fukami, 2009

1. Evaluasi Ketelitian Model

Dalam penelitian ini, simulasi model IFAS akan dilakukan dengan periode dari 1 Januari 2006 sampai 31 Desember 2006. Keandalan hasil model IFAS dievaluasi dengan menggunakan indikator statistik dalam Hambali (2008) seperti :

1. koefisien korelasi (R) adalah harga yang menunjukkan besarnya keterkaitan antara nilai observasi dengan nilai simulasi. Perhitungan koefisien korelasi dari excel menggunakan persamaan berikut :

$$R = \frac{\sum (Qcal - Qcal_{rerata})(Qobs - Qobs_{rerata})}{\sqrt{\sum (Qcal - Qcal_{rerata})^2 \times \sum (Qobs - Qobs_{rerata})^2}}$$

dengan R adalah koefisien korelasi, Qcal adalah debit terhitung (m³/detik), Q cal_{rerata} adalah debit terhitung rerata (m³/detik), Qobs adalah debit terukur (m³/detik), dan Q obs_{rerata} adalah debit terukur rerata (m³/detik).

Dimana dalam Hambali (2008) koefisien korelasi memiliki beberapa kriteria seperti pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1 Kriteria Nilai Koefisien Korelasi

Nilai Koefisien Korelasi (R)	Interpretasi
0.7 < R < 1.0	Derajat asosiasi tinggi
0.4 < R < 0.7	Hubungan substansial
0.2 < R < 0.4	Korelasi rendah
R < 0.2	Diabaikan

(Sumber : Hambali, 2008)

2. 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%. Perhitungan selisih volume (VE) dirumuskan sebagai berikut :

$$VE = \left| \frac{\sum_{i=1}^N Qobs_i - \sum_{i=1}^N Qcal_i}{\sum_{i=1}^N Qobs_i} \right| \times 100\%$$

dengan VE adalah selisih volume, Qcal_i adalah debit terhitung (m³/detik), dan Qobs_i adalah debit terukur (m³/detik).

3. koefisien Efisiensi (CE) adalah nilai yang menunjukkan efisiensi model terhadap debit terukur, cara objektif yang paling baik dalam mencerminkan kecocokan hidrograf secara keseluruhan. Perhitungan Koefisien Efisiensi (CE) dirumuskan sebagai berikut :

$$CE = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs_i} - Q_{cal_i})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{obs_i} - Q_{obs_{rerata}})^2} \right]$$

dengan CE adalah koefisien efisiensi, Q_{cal_i} adalah debit terhitung ($m^3/detik$), Q_{obs_i} adalah debit terukur ($m^3/detik$), dan $Q_{obs_{rerata}}$ adalah debit terukur rerata ($m^3/detik$).

Dimana dalam Hambali (2008) koefisien efisiensi memiliki beberapa kriteria seperti terlihat pada Tabel 2.3 berikut ini :

Tabel 2 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)

2. Kalibrasi Model

Bloschl and Grayson dalam Indarto (2010) mengemukakan kalibrasi terhadap suatu model adalah proses pemilihan kombinasi parameter. Dengan kata lain, proses optimalisasi nilai parameter untuk meningkatkan koherensi antara respons hidrologi DAS yang teramati dan tersimulasi. 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, sistem IFAS memiliki beberapa parameter yang dapat dikalibrasikan dengan menggunakan referensi dari data hidrologi daerah yang diamati (data terukur). Jika tidak memiliki data terukur maka harus menggunakan nilai parameter standar. Pada Tabel 3 berikut ini terdapat penjelasan mengenai cara memilih parameter yang akan dikalibrasi berdasarkan ketersediaan data terukur.

Tabel 3 Pengaturan Parameter IFAS Berdasarkan Ketersediaan Data Terukur

		Data Hidrologi Terukur	
		Ada	Tidak Ada
Data Sungai Terukur	Ada	<ol style="list-style-type: none"> Kalibrasi bisa dilakukan pada parameter <i>surface</i> dan <i>groundwater</i> Parameter <i>river course</i> bisa disesuaikan 	<ol style="list-style-type: none"> Parameter <i>river course</i> bisa disesuaikan Menggunakan nilai standar parameter <i>surface</i> dan <i>groundwater</i>
	Tidak Ada	<ol style="list-style-type: none"> Kalibrasi bisa dilakukan pada parameter <i>surface</i> dan <i>groundwater</i> Menggunakan nilai standar parameter <i>river course</i> 	<ol style="list-style-type: none"> Menggunakan nilai standar semua parameter model

(Sumber : Fukami, 2009)

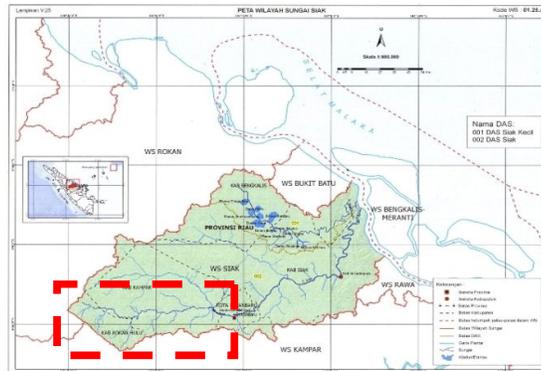
3. Validasi Model

Validasi adalah proses evaluasi terhadap model untuk mendapatkan gambaran tentang tingkat ketidakpastian yang dimiliki oleh suatu model dalam memprediksi proses

hidrologi. Pada umumnya, validasi dilakukan dengan menggunakan data di luar periode data yang digunakan untuk kalibrasi (Indarto, 2010). Pada penelitian ini, validasi model dilakukan dengan periode dari 1 Januari 2005 sampai 31 Desember 2005.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada sub-DAS Tapung Kiri dengan stasiun AWLR Pantai Cermin. Stasiun Pantai Cermin secara administrasi terletak di Provinsi Riau, Kabupaten Kampar, Kecamatan Tapung dengan letak geografis $00^{\circ} 35' 24''$ LS dan $101^{\circ} 11' 46''$ BT. Stasiun ini memiliki memiliki luas daerah aliran sebesar 1716 km^2 . Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 5.

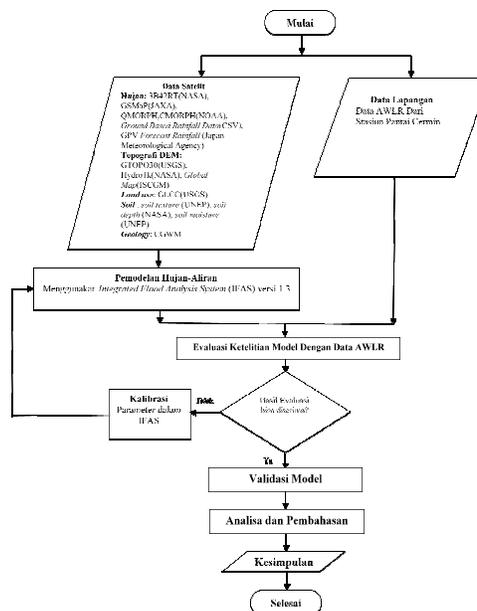


Gambar 5 Peta Lokasi Penelitian

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

- Data satelit berupa data curah hujan, elevasi, tata guna lahan, dan data tanah.
- Data hidrologi pada DAS Tapung Kiri yang berupa data debit harian dari *Automatic Water Level Recorder* (AWLR) Stasiun Pantai Cermin tahun 2006 dan 2005. Dan data curah hujan harian tahun 2006 dan 2005 dari dua stasiun, yaitu Stasiun Ujung Batu dan Stasiun Petapahan Baru.

Adapun bagan penelitian tugas akhir dapat dilihat dalam bagan alir penelitian pada Gambar 6 berikut ini.



Gambar 6 Bagan Alir Penelitian

Berdasarkan bagan alir pada Gambar 6, secara garis besar tahapan analisis yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Persiapan data satelit

Data-data satelit yang diunduh dan digunakan dalam studi ini adalah sebagai berikut :

- a. Data curah hujan yang digunakan yaitu GsMaP_MVK+ periode 1 Januari 2006 – 31 Desember 2006 dan untuk validasi periode 1 Januari 2005 – 31 Desember 2005.
- b. Data elevasi yang digunakan yaitu GTOPO30.
- c. Data tata guna lahan yang digunakan adalah GLCC.
- d. Data tanah yang digunakan adalah GNV25 Soil Water (UNEP). GNV25 merupakan data tanah yang berisi kapasitas kemampuan tanah menyimpan air (*soil water holding capacity*).

2. Simulasi model

Simulasi model dilakukan dengan bantuan program IFAS. Data-data satelit yang telah diunduh disimulasikan dengan parameter-parameter awal yang ditentukan oleh IFAS. Hasil simulasi tersebut dievaluasi ketelitiannya berdasarkan data terukur (data AWLR) dengan menghitung nilai koefisien korelasi, selisih volume, dan koefisien efisiensi. Data yang digunakan dalam evaluasi ketelitian model adalah data debit sungai harian dari AWLR periode 1 Januari – 31 Desember tahun 2006.

3. Kalibrasi model

Kalibrasi parameter dilakukan dengan cara kombinasi, yang kemudian dilakukan simulasi kembali. Sehingga hasil simulasi dapat mewakili kondisi hujan-aliran yang sebenarnya berdasarkan data terukur dilapangan. Adapun parameter-parameter yang dikalibrasi ditentukan berdasarkan ketentuan Tabel 3 dan hasil simulasi yang dilakukan dengan nilai awal parameter dari IFAS (tanpa kalibrasi). Keseluruhan proses kalibrasi dan simulasi diulangi hingga diperoleh hasil simulasi yang optimal, yaitu nilai evaluasi ketelitian model seperti nilai koefisien R , VE , dan CE memenuhi batasan-batasan evaluasi ketelitian model yang telah ditentukan.

4. Validasi model

Validasi dilakukan terhadap parameter-parameter yang memenuhi nilai evaluasi ketelitian model dalam kalibrasi. Parameter-parameter tersebut disimulasikan dengan periode tahun yang berbeda. Pada penelitian ini digunakan periode tahun 2005.

5. Korelasi data curah hujan

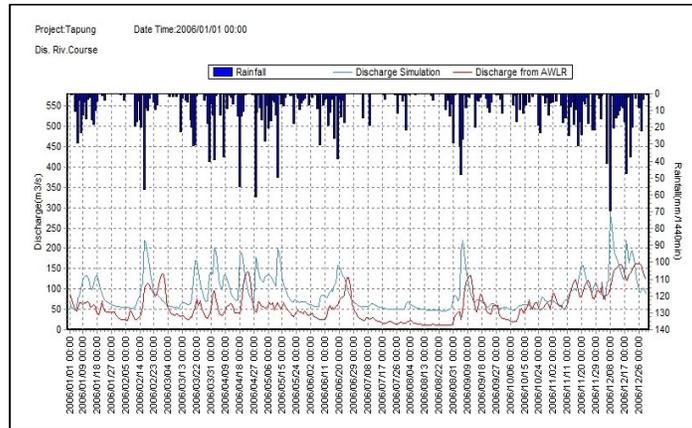
Analisa korelasi terhadap data curah hujan hasil pencatatan satelit dengan data curah hujan terukur dilakukan agar diketahui hubungan keterkaitan data antara hujan satelit dengan data hujan observasi. Data curah hujan yang digunakan adalah data hujan satelit dan data hujan terukur tahun 2006 dan 2005 sesuai dengan periode simulasi penelitian.

6. Pembahasan hasil analisis data dari setiap langkah-langkah pemodelan hujan-aliran.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Simulasi Model

Pada simulasi ini, digunakan nilai parameter-parameter awal yang ditentukan oleh IFAS (tanpa kalibrasi). Dengan memasukkan periode simulasi satu tahun, yaitu dari 1 Januari 2006 jam 00.00 sampai dengan 31 Desember 2006 jam 23.00, didapat hasil simulasi berupa hidrograf hujan aliran yang dapat dilihat pada Gambar 7



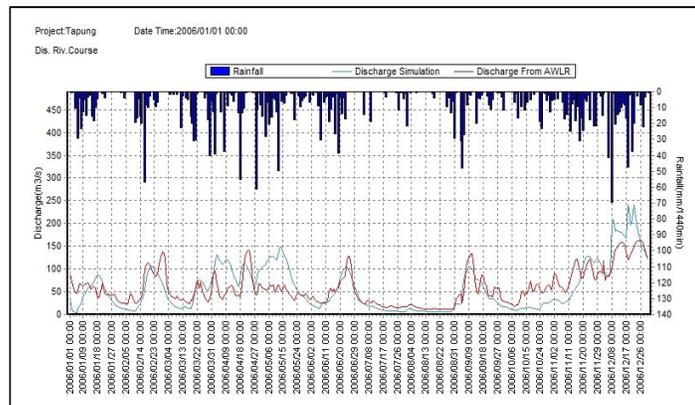
Gambar 7 Grafik Hasil Simulasi Tanpa Kalibrasi

Berdasarkan Gambar 7, bisa dilihat bahwa debit hasil simulasi sudah mengikuti bentuk *trend* dari debit terukur di lapangan. Namun besar nilainya masih terlalu besar, sehingga perlu dilakukan proses kalibrasi untuk memperkecil volume debitnya.

2. Proses Kalibrasi

Pada tahap ini, akan digunakan nilai parameter-parameter yang dikalibrasi dengan cara kombinasi. Dari ketentuan Tabel 3, ditentukan bahwa parameter-parameter yang dikalibrasi adalah parameter-parameter dari *surface tank* dan *underground water tank*. Hal ini karena data terukur yang tersedia hanya data AWLR tanpa data penampang sungai dilapangan.

Setelah dilakukan beberapa pengulangan simulasi dengan parameter-parameter berbeda, maka diperoleh nilai parameter-parameter yang optimal untuk kalibrasi pada penelitian ini. Nilai-nilai setiap parameter tersebut dapat dilihat pada tabel 4. Dari parameter-parameter yang telah dikalibrasi tersebut, maka diperoleh hasil simulasi berupa hidrograf hujan aliran yang dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8 Grafik Hasil Kalibrasi

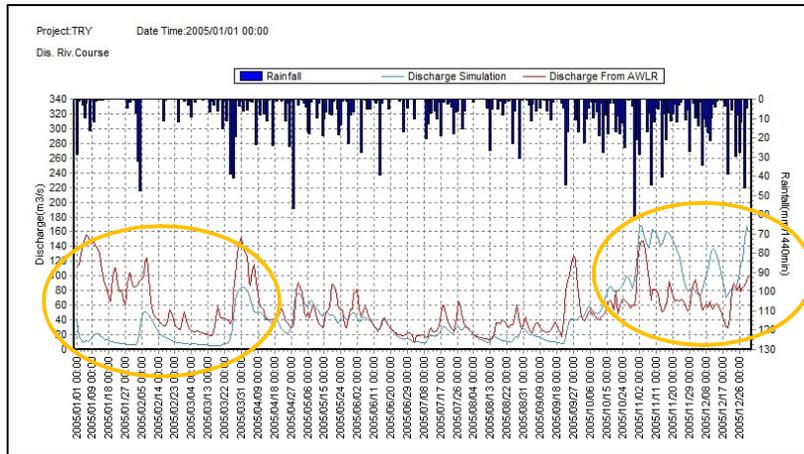
Gambar 8 menunjukkan bahwa debit hasil kalibrasi sudah mendekati bentuk *trend* dari debit terukur, dan besar nilainya juga sudah mendekati besar debit terukur. Maka dilanjutkan dengan proses validasi untuk mendapatkan tingkat kepastian parameter modelnya.

Tabel 4 Parameter-Parameter yang Dikalibrasi

Parameter	Nilai Awal	Nilai Kalibrasi	Penjelasan	
Surface Tank	SKF	0,0005	0,00001	Berdasarkan Tabel 2.5 untuk areal persawahan dan perumahan penduduk, diambil yang terkecil.
	HFMXD	0,1	0,1	Tidak diubah karena nilainya sudah cukup besar untuk memperkecil volume aliran puncak.
	HFMND	0.01	0.01	Tidak diubah karena nilainya sudah cukup besar untuk memperkecil sebagian bentuk gelombang.
	HFOD	0,005	0,005	Tidak diubah karena nilainya sudah cukup besar untuk memperkecil bentuk seluruh gelombang.
	SNF	0,7	0,1	Berdasarkan Tabel 2.4 untuk areal yang sebagian beraspal dan sebagian tanah serta memiliki jaringan drainase.
	FALFX	0,8	0,65	<i>Trial and error</i> antara 0,5 dan 0,65 berdasarkan Tabel 2.5.
	HIFD	0	0	Tidak diubah karena ketentuan dari IFAS.
Underground Water Tank	AUD	0,1	0,1	Tidak diubah karena nilainya sudah cukup kecil untuk memperkecil sebagian bentuk gelombang.
	AGD	0,003	0,001	<i>Trial and error</i> dengan memperkecil nilainya agar volume <i>base flow</i> menjadi kecil.
	HCGD	2	0,5	<i>Trial and error</i> diperkecil agar nilai volumenya bisa menyesuaikan dengan hasil dari parameter lain yang telah diubah.
	HIGD	2	0,5	<i>Trial and error</i> dengan memperkecil nilainya agar volume <i>base flow</i> menjadi kecil.

3. Validasi Model

Validasi pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan parameter pada kalibrasi yang hasilnya optimal. Parameter tersebut akan digunakan untuk mensimulasikan data periode tahun 2005 pada Sub-DAS Tapung Kiri. Adapun grafik hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Grafik Hasil Validasi dengan Tahun 2005

Berdasarkan Gambar 9 dapat terlihat bahwa pada awal dan akhir simulasi terdapat perbedaan nilai debit yang cukup besar. Ini menunjukkan bahwa parameter pada IFAS yang disimulasikan dengan periode yang pendek perlu dilakukan kalibrasi ulang.

4. Keandalan Model Hujan Aliran IFAS

Hasil keseluruhan evaluasi proses pemodelan hujan aliran dengan program IFAS pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 5 berikut.

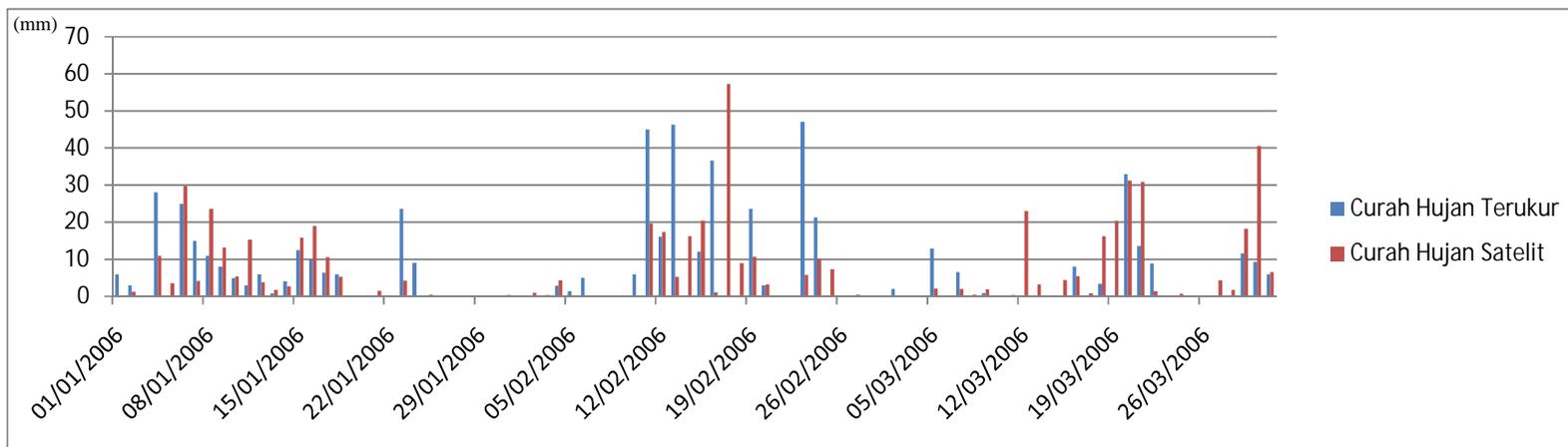
Tabel 5 Hasil evaluasi pemodelan hujan-aliran program IFAS

Pemodelan Hujan-Aliran	Parameter Evaluasi			Penjelasan
	Korelasi (R)	Selisih Volume (VE)	Koefisien Efisiensi (CE)	
Kondisi Awal	0,576	52,58%	1,653	Kurang optimal karena nilai R < 0,7 dan VE > 5%
Kalibrasi	0,776	0,574%	0,75	Memenuhi semua syarat optimal evaluasi
Validasi	0,463	20,9%	1,30	Kurang optimal karena nilai R < 0,7 dan VE > 5%

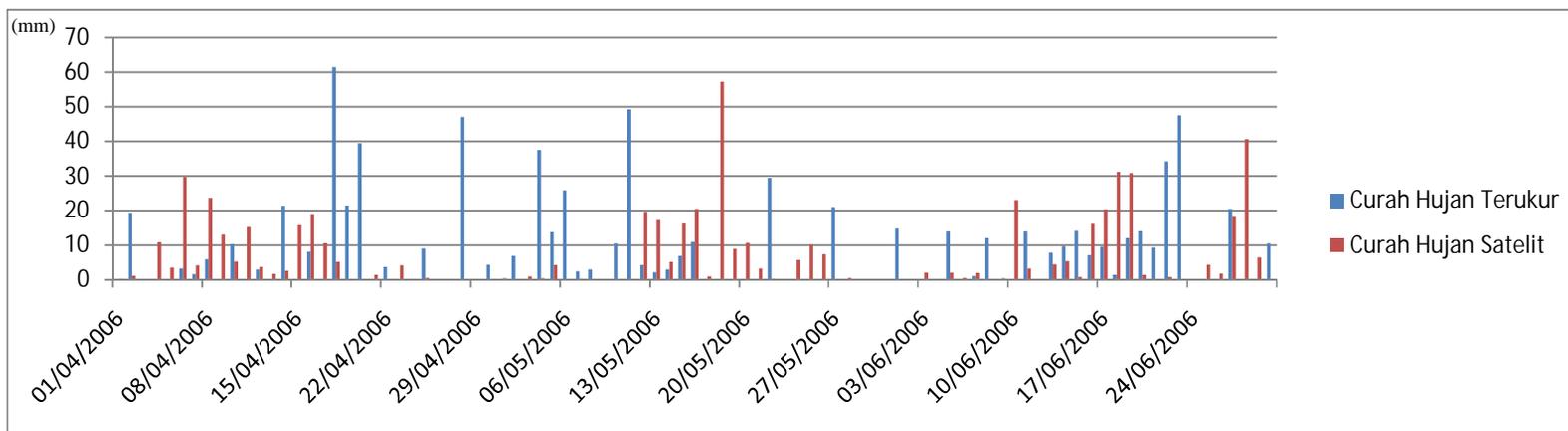
Dari Tabel 5 dapat disimpulkan bahwa pemodelan hujan-aliran dengan program IFAS cukup handal jika parameter-parameter dalam IFAS telah dikalibrasikan. Nilai parameter-parameter tersebut tergantung dari kondisi dan tata guna lahan dari hasil pencatatan satelit yang selalu berubah setiap tahunnya

5. Korelasi Data Curah Hujan

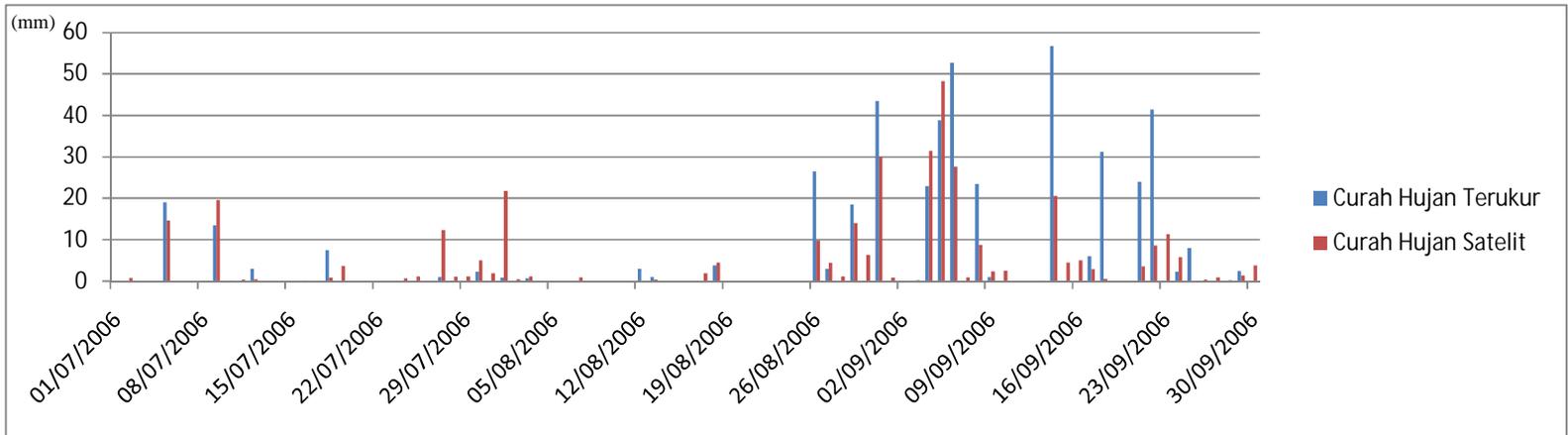
Korelasi data curah hujan dimaksudkan untuk mengetahui hubungan keterkaitan antara data curah hujan satelit dengan data curah hujan terukur. Rata-rata hujan harian terukur dengan data hujan hasil pencatatan satelit digambarkan dalam bentuk grafik pertiga bulan.



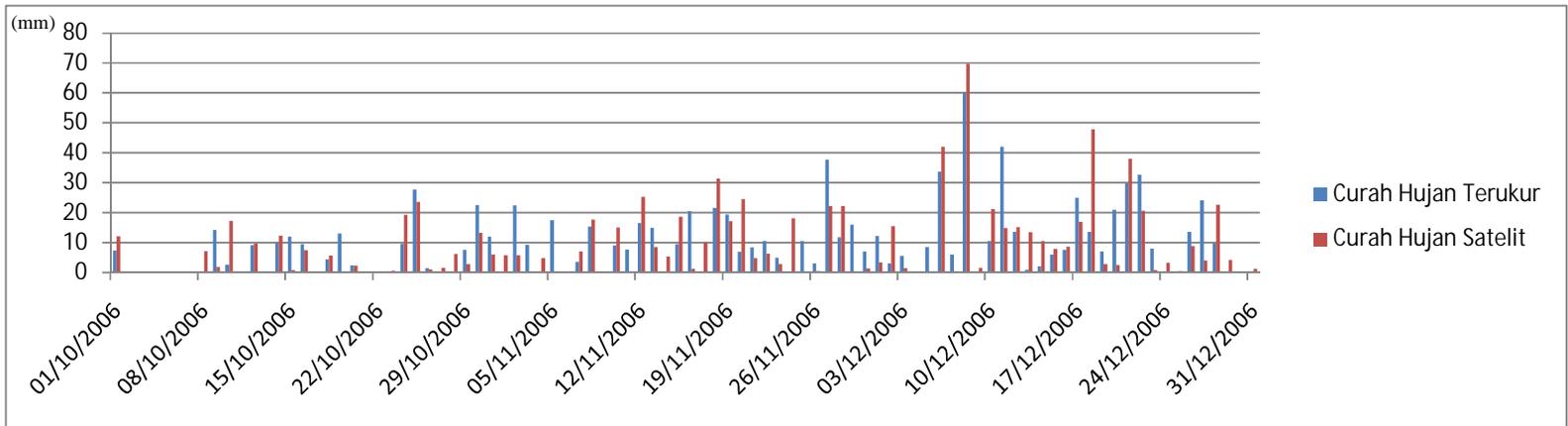
Gambar 10 Grafik Curah Hujan Terukur dan Curah Hujan Satelit Bulan Januari – Maret 2006



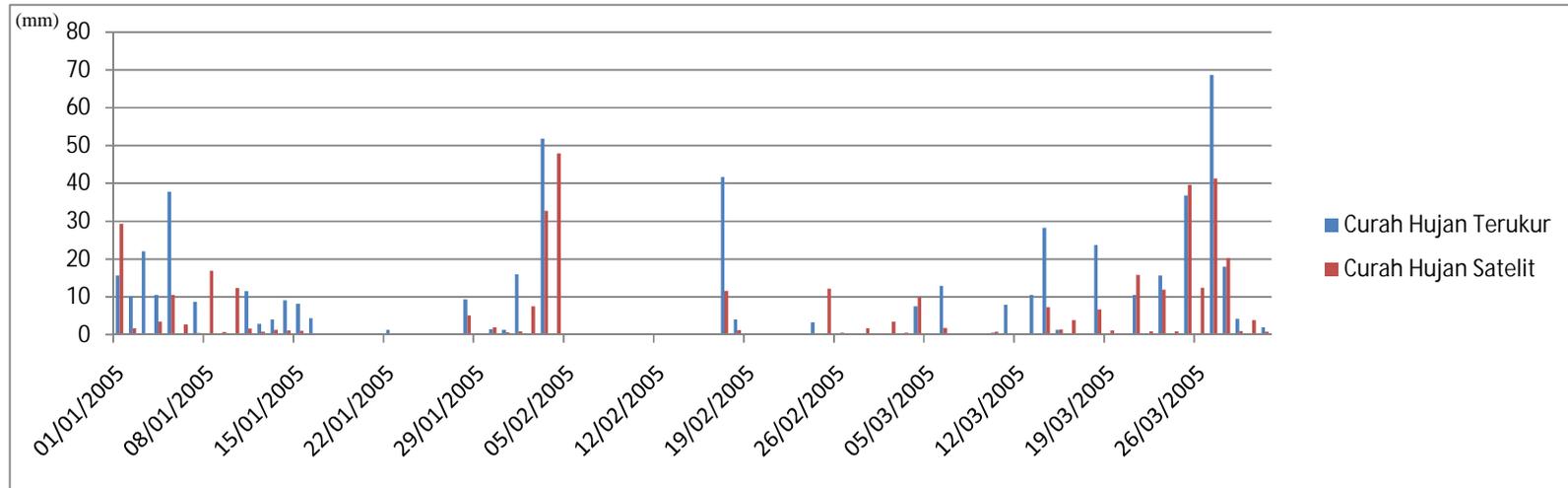
Gambar 11 Grafik Curah Hujan Terukur dan Curah Hujan Satelit Bulan April – Juni 2006



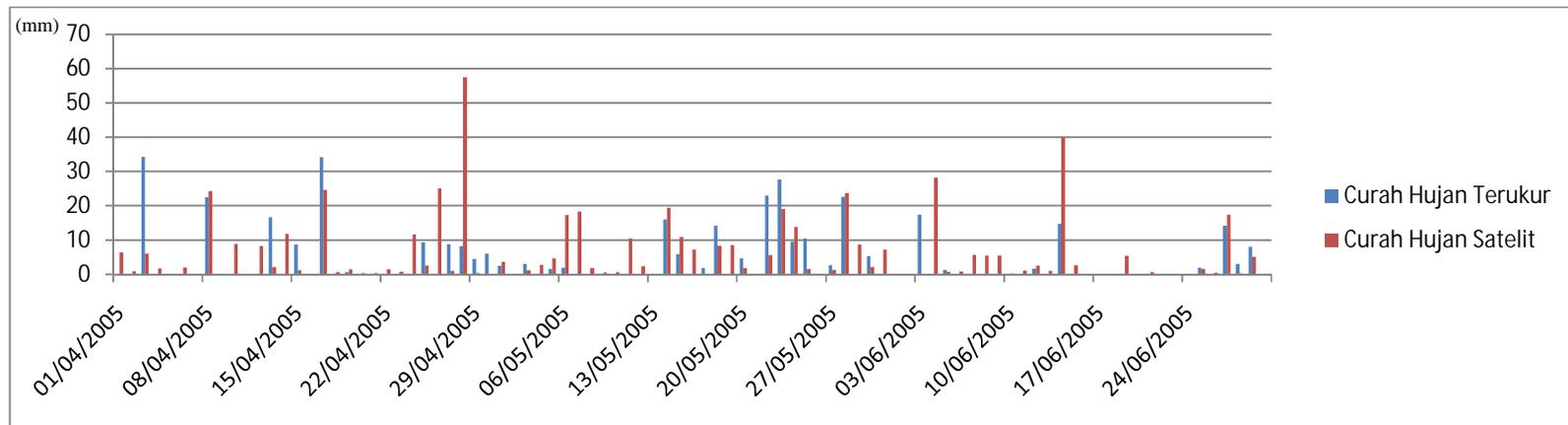
Gambar 12 Grafik Curah Hujan Terukur dan Curah Hujan Satelit Bulan Juli – September 2006



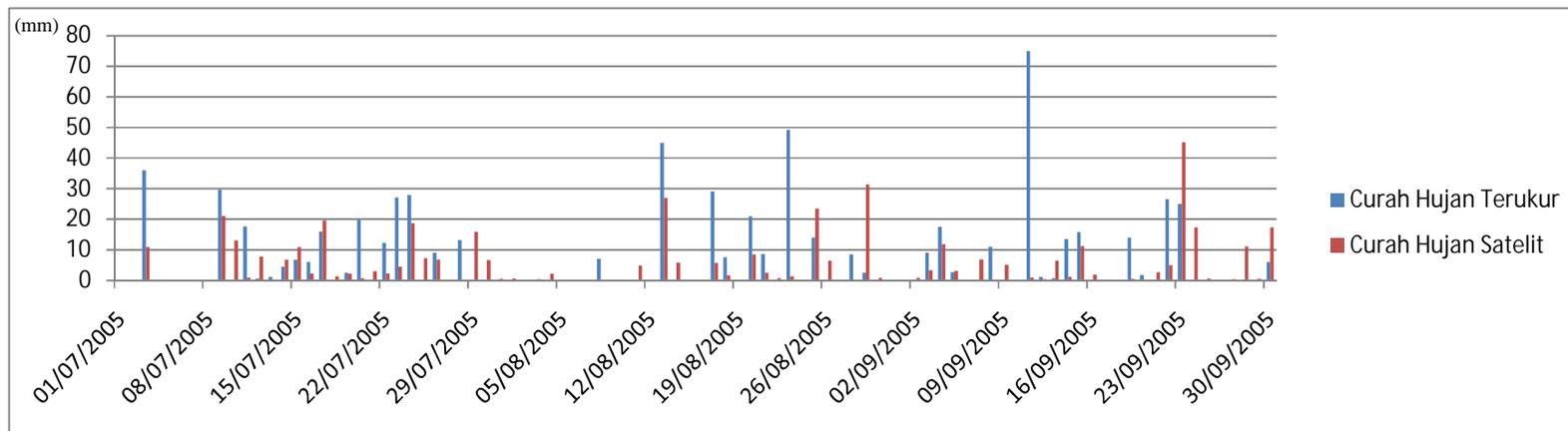
Gambar 13 Grafik Curah Hujan Terukur dan Curah Hujan Satelit Bulan Oktober – Desember 2006



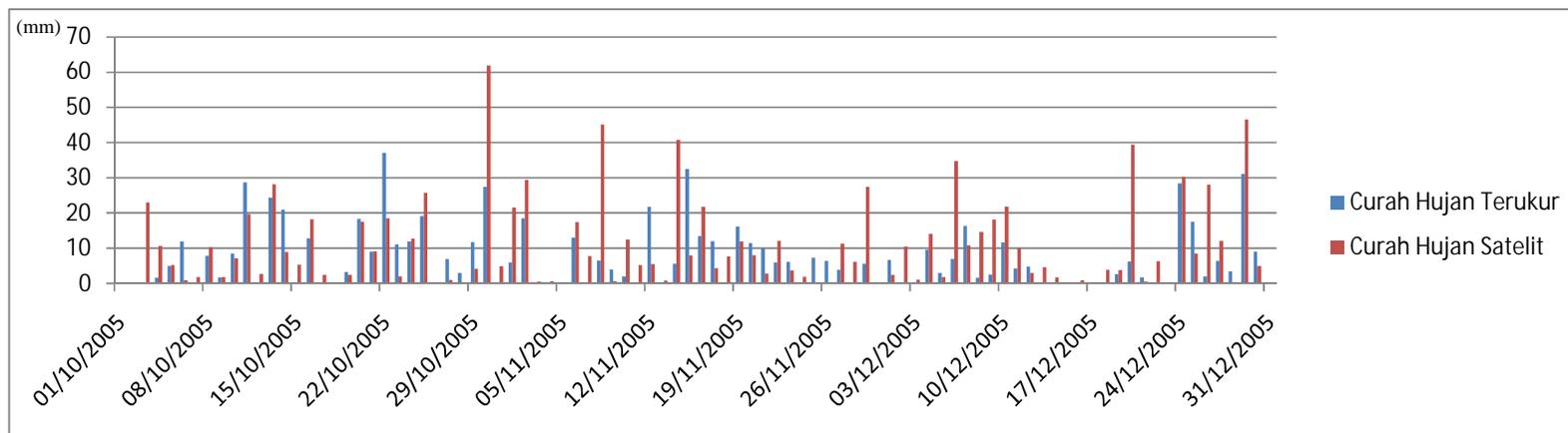
Gambar 14 Grafik Curah Hujan Terukur dan Curah Hujan Satelit Bulan Januari – Maret 2005



Gambar 15 Grafik Curah Hujan Terukur dan Curah Hujan Satelit Bulan April – Juni 2005



Gambar 16 Grafik Curah Hujan Terukur dan Curah Hujan Satelit Bulan Juli – September 2005



Gambar 17 Grafik Curah Hujan Terukur dan Curah Hujan Satelit Bulan Oktober – Desember 2005

Dari grafik-grafik tersebut dapat dilihat bahwa terdapat beberapa perbedaan yang cukup besar antara data hasil pengamatan satelit dengan data terukur di lapangan. Dengan bantuan Microsoft Excel, diperoleh hubungan keterkaitan kedua data tersebut yang dinyatakan dengan koefisien korelasi (R), yaitu $R = 0,576$ untuk tahun 2006 dan $R = 0,451$ untuk tahun 2005. Berdasarkan Tabel 1, nilai $R = 0,576$ dan $R = 0,451$ berarti kedua data tersebut memiliki hubungan substansial ($0,4 < R < 0,7$).

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan penelitian yang berjudul “Pemodelan Hidrologi Hujan-Aliran dengan Menggunakan Data Satelit Hasil Penginderaan Jauh (Studi Kasus DAS Tapung Kiri)”, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Pemodelan hujan-aliran menggunakan data satelit dengan bantuan program IFAS cukup handal setelah dikalibrasikan dengan nilai $R = 0,776$, $VE = 0,574\%$, dan $CE = 0,75$.
2. Data hujan satelit dan data hujan terukur pada penelitian ini memiliki hubungan keterkaitan sebesar $R = 0,576$ untuk tahun 2006 dan $R = 0,451$ untuk tahun 2005, yang berarti memiliki hubungan substansial.

Adapun saran yang dapat diberikan penulis yaitu sebaiknya periode simulasi diperpanjang agar diperoleh hasil pemodelan yang lebih bagus dan akurat. Bagi mahasiswa yang ingin mengembangkan penelitian menggunakan program IFAS dapat dicoba dengan cara menggunakan analisis jangka panjang (*long term analysis*) dengan *3 layer tank engine* dan lokasi studi kasus penelitian yang memiliki dam.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Balai Wilayah Sungai Sumatera III Provinsi Riau 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

- Fukami, K., Sugiura, T., Magome, J. & Kawakami, T. 2009. *Integrated Flood Analysis System (IFAS Version 1.2) User's Manual*. Jepang: ICHARM.
- Hambali, R. 2008. *Analisis Ketersediaan Air dengan Model Mock*. Bahan Ajar. Yogyakarta : Universitas Gadjah Mada.
- Indarto. 2010. *Hidrologi Dasar Teori dan Contoh Aplikasi Model Hidrologi*, Bumi Aksara, Jakarta.
- 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.