

## **Model Hidrologi Berbasis Data Satelit Untuk Analisis Banjir Studi Kasus Sub-Das Rokan Stasiun Pasir Pengaraian**

**Fitriani<sup>1)</sup>, Sigit Sutikno<sup>2)</sup>, Yohanna Lilis Handayani<sup>3)</sup>**

<sup>1)</sup> Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, <sup>2)</sup> dan <sup>3)</sup> Dosen Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik, Universitas Riau  
Kampus Bina Widya Jl. HR. Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru 28293  
email : fitrianibensueb@yahoo.com

### **ABSTRACT**

*Lubuh River which is located in the stems of Rokan Hulu Riau Province is one of the rivers that often have overflow water. Hydrology analysis is necessary to help the process of flood mitigation in Rokan Hulu. The advancement of technology in remote sensing has provide an alternative solution of data availability in hydrological modeling by using data obtained from the satellite. This research took the case study of AWLR station of Pasir Pengaraian in Rokan watershed with the length of the data in two conditions at the stage of no calibration. One condition for fourteen days (February 13, 2012 00:00 to February 26, 2012 period) and two conditions for six days (01 may 2012 00:00 to 06 may 2012 23:00 period). Based on the results at the beginning and the calibration process simulation, wave shape error after calibration is smaller than the initial simulation. While the value of the volume error and peak discharge error in the initial simulation is smaller than the calibrated value. The value of each parameter of the wave shape error, error and peak discharge volume error are 33.6176%, 8.6025%, and 5.8720% respectively at beginning of simulation in condition two and 0.0169%, 15.4120% and 28.7533% in the calibration process.*

*Keywords : hydrological modeling, flood analysis, satellite data, IFAS*

### **PENDAHULUAN**

Sungai Batang Lubuh yang terletak di Kabupaten Rokan Hulu Provinsi Riau merupakan salah satu sungai yang sering mengalami luapan air disetiap tahunnya yang menyebabkan banjir. Menurut Anonim (2013), ribuan rumah di sejumlah wilayah di Kabupaten Rokan Hulu, Provinsi Riau, terendam banjir akibat hujan turun terus menerus. Berkaitan dengan mitigasi bencana banjir di Kabupaten Rokan Hulu, maka perlu dilakukan

analisis hidrologi. Permasalahan umum yang seringkali dihadapi daerah-daerah di Indonesia adalah ketersediaan data yang sangat terbatas. Seiring dengan kemajuan teknologi dibidang penginderaan jauh permasalahan tersebut dapat diatasi dengan menggunakan data-data yang bersumber dari satelit, sehingga dapat mempercepat proses pengumpulan data-data yang diperlukan untuk pemodelan. Penggunaan *software* IFAS (*Integrated Flood Analysis System*)

sudah memfasilitasi analisis banjir dalam penggunaan data satelit yang telah diaplikasikan di beberapa negara. Aziz dan Tanaka (2011) menggunakan IFAS untuk menghitung debit puncak dan durasi banjir yang terjadi di Sungai Indus, Pakistan. Data hujan satelit yang digunakan berasal dari GSMaP\_NRT asli, GSMaP\_NRT terkoreksi, dan 3B42RT. Setelah dilakukan simulasi data satelit GSMaP\_NRT terkoreksi menunjukkan hasil perhitungan terbaik untuk menganalisis banjir di Sungai Indus, Pakistan.

Penelitian yang menggunakan IFAS di Provinsi Riau sudah banyak dilakukan namun baru sebatas untuk analisis ketersediaan air (Hamiduddin, 2013; Isnaini, 2013; Hasan, 2013; Mardhotillah; 2014; dan Sutikno, 2014). Dari beberapa penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa penggunaan data satelit cukup handal untuk pemodelan hidrologi setelah dilakukan kalibrasi ulang dan dapat dijadikan salah satu alternatif untuk analisis hidrologi pada daerah yang tidak terdapat data pencatatan dari stasiun hidrologi.

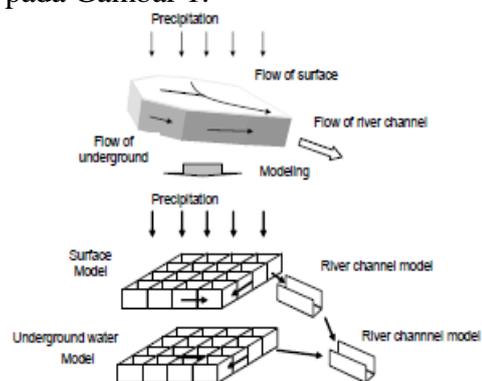
Pada penelitian ini dilakukan pemodelan hidrologi untuk analisis banjir menggunakan data satelit dengan alat bantu *software*, yaitu *Integrated Flood Analysis System* (IFAS) dengan menggunakan data hujan GSMaP\_NRT yang memiliki resolusi 1 jam dengan grid  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ . Stasiun AWLR yang digunakan adalah Stasiun Pasir Pengaraian yang terdapat di Sub-DAS Rokan Hulu. Aplikasi metode ini sudah mulai diterapkan di beberapa Sub-DAS di Provinsi Riau (Handayani, 2015).

IFAS merupakan salah satu program penginderaan jauh yang

dikembangkan oleh suatu institusi penelitian pekerjaan umum 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.

Salah satu model hidrologi yang dapat digunakan untuk menganalisis karakteristik aliran sungai adalah model tangki. Model tangki ini menggunakan berbagai data seperti data harian hujan, debit sungai, dan evapotranspirasi sebagai salah satu parameternya.

Skema distribusi model tangki pada aplikasi IFAS, dapat dilihat pada Gambar 1.



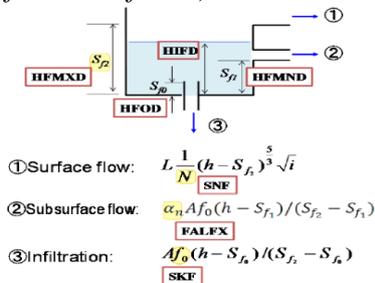
Gambar 1. Skema Distribusi Model Tangki Aplikasi IFAS

*Distributed Model of PWRI* terdiri dari tiga model. Fitur dari masing-masing model dapat digambarkan sebagai berikut:

1. *Surface Model*

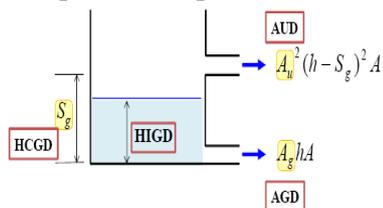
*Surface Model* adalah model yang digunakan untuk membagi curah hujan menjadi aliran permukaan (*flow of*

surface), aliran intermediet (*rapid intermediate outflow*), dan aliran infiltrasi (*ground infiltration flows*).



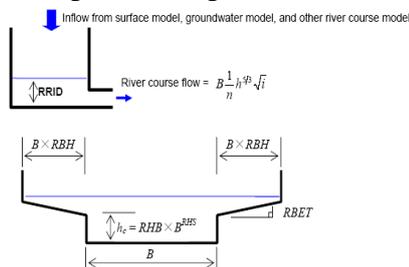
Gambar 2. Konsep *Surface Model*

2. *Underground Water Model*  
 Tangki pada model ini dibagi menjadi aliran *unconfined* dan *confined*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Konsep *Underground Water Model*

3. *River Channel Model*  
 Model ini dihitung berdasarkan persamaan Manning. Konfigurasi dari model ini dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Konsep *River Channel Model*

Tahap kalibrasi merupakan tahap yang digunakan untuk menentukan nilai parameter DAS yang belum diketahui. Dalam proses kalibrasi,

nilai-nilai awalnya dianggap berlaku untuk semua parameter dan periode alirannya disimulasikan serta dibandingkan dengan debit-debit terukur. sistem IFAS memiliki beberapa parameter yang dapat dikalibrasikan dengan menggunakan referensi dari data hidrologi daerah yang diamati (data terukur) (sutikno, 2014).

Tabel 1. Pengaturan Parameter IFAS Berdasarkan Ketersediaan Data Terukur

		Data Hidrologi Terukur	
		Ada	Tidak Ada
Data Sungai Terukur	Ada	1. Kalibrasi bisa dilakukan pada parameter <i>surface</i> dan <i>groundwater</i>	1. Parameter <i>river course</i> bisa disesuaikan 2. Menggunakan nilai standar parameter <i>surface</i> dan <i>groundwater</i>
	Tidak Ada	1. Kalibrasi bisa dilakukan pada parameter <i>surface</i> dan <i>groundwater</i>	1. Menggunakan nilai standar semua parameter model
	Ada	2. Menggunakan nilai standar parameter <i>river course</i>	

(Sumber : Fukami, 2009)

Krause (Krause et al, 2005) dalam Aziz dan Tanaka (2011) menyebutkan alasan evaluasi model adalah untuk menyediakan sarana mengevaluasi perbaikan pemodelan, pendekatan melalui penyesuaian model dengan nilai parameter, modifikasi struktur model, masuknya informasi pengamatan tambahan, dan representasi karakteristik spasial dan temporal yang penting pada DAS.

Simulasi model IFAS dapat dievaluasi oleh tiga indikator yaitu, kesalahan bentuk gelombang (*wave shape error*,  $E_w$ ), kesalahan volume (*volume error*,  $E_v$ ), dan kesalahan debit puncak (*peak discharge error*,  $E_p$ ) yang didefinisikan oleh *Jepang Institute of Construction Engineering*

(JICE). Setiap indikator dapat dirumuskan pada Tabel 2.

Tabel 2. Indikator kesalahan untuk analisis program IFAS

Wave Shape Error	Volume error	Peak Discharge Error
$E_w = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{Q_{o(i)} - Q_{c(i)}}{Q_{o(i)}} \right)^2$	$E_v = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{c(i)} - \sum_{i=1}^n Q_{o(i)}}{\sum_{i=1}^n Q_{o(i)}}$	$E_p = \frac{Q_{cp} - Q_{op}}{(Q_{op})}$

Sumber : Jepang Institute of Construction Engineering (JICE).

dengan :

$E_w$  = kesalahan bentuk gelombang (*wave shape error*),

$E_v$  = kesalahan volume (*volume error*),

$E_p$  = kesalahan debit puncak (*peak discharge error*),

$Q_{c(i)}$  = debit terhitung ( $m^3/detik$ ),

$Q_{o(i)}$  = debit terukur ( $m^3/detik$ ),

$Q_{op}$  = debit terhitung maksimum ( $m^3/detik$ ),

$Q_{cp}$  = debit terukur maksimum ( $m^3/detik$ ).

## METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada DAS Rokan di Sub-DAS Rokan Stasiun Pasir Pengaraian. Stasiun Pasir Pengaraian secara administrasi terletak di Provinsi Riau, Kabupaten Rokan Hulu, Kecamatan Rambah. Stasiun AWLR Pasir Pengaraian memiliki koordinat stasiun  $00^{\circ}35'24''$  LS dan  $101^{\circ}11'46''$  BT.

### 1. Pengumpulan Data Lapangan

Data yang digunakan pada penelitian ini berupa data lapangan dan data satelit. Data-data yang didapat data yang didapat dari lapangan adalah data AWLR (*Automatic Water Level Recorder*), data debit yang didapat dari Balai

Wilayah Sungai Sumatera III Provinsi Riau Bagian Hidrologi, sedangkan data lapangan lainnya yaitu posisi AWLR dan data sekunder kejadian banjir.

### 2. Pengumpulan Data Satelit

Program IFAS menggunakan data-data yang disediakan satelit sebagai masukan (*input*) datanya. Data-data tersebut dapat diunduh melalui jaringan internet pada situs-situs resmi penyedia data. Dimana situs-situs resmi tersebut sudah otomatis tercatat dalam program IFAS. Data-data tersebut yaitu:

- data hujan yang digunakan dalam penelitian ini adalah data hujan satelit GSMaP\_NRT tahun 2012,
- data topografi DEM (*Digital Elevation Model*) Data topografi GTOPO30 yang diunduh adalah data tahun 2012,
- data tata guna lahan (*Land Use*) GLCC tahun 2012,
- data tanah yang digunakan adalah GNV25 Soil Water (UNEP).

### 3. Kalibrasi Model

Kalibrasi parameter dilakukan dengan cara coba-coba (*trial and error*) agar diperoleh ketelitian model yang optimal (memenuhi batasan-batasan evaluasi ketelitian model yang telah ditentukan), dan kemudian dilakukan simulasi kembali. Sehingga hasil dari simulasi dapat mewakili kondisi hujan aliran yang sebenarnya berdasarkan data terukur dilapangan. Mengulangi keseluruhan proses kalibrasi dan simulasi hingga diperoleh hasil simulasi yang optimal, yaitu nilai

evaluasi ketelitian model seperti nilai koefisien  $E_v$ ,  $E_p$  dan  $E_w$  yang memenuhi batasan-batasan yang telah ditentukan.

#### 4. Simulasi Model

Simulasi model dilakukan dengan bantuan program IFAS. Data-data satelit yang telah diunduh dikelola dan disimulasikan dengan parameter-parameter yang sudah dikalibrasi pada tahun 2012.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

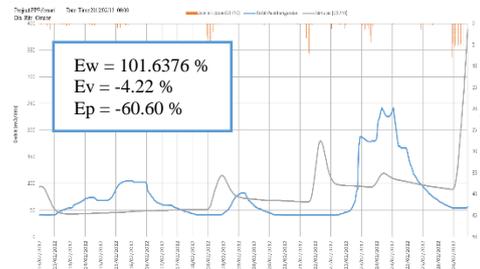
Pemodelan Hidrologi dalam analisis banjir yang diolah oleh IFAS menggunakan data hujan satelit GSMaP\_NRT dengan panjang data dalam dua kondisi pada tahap tanpa kalibrasi. Kondisi satu selama empat belas hari (periode 13 Februari 2012 pukul 00:00 sampai dengan 26 Februari 2012) dan kondisi dua selama enam hari (periode 01 Mei 2012 pukul 00:00 sampai dengan 06 Mei 2012 pukul 23:00).

#### a. Simulasi Awal Kondisi Satu (13 Februari 2012 – 26 Februari 2012)

Simulasi awal menggunakan nilai parameter-parameter yang telah ditentukan oleh IFAS atau tanpa kalibrasi berdasarkan data-data satelit hasil unduhan. Pada Gambar 6 disajikan perbandingan antara hidrograf terukur dilapangan dengan hidrograf hasil pemodelan untuk kondisi parameter tanpa kalibrasi. Evaluasi model dilakukan dengan mencari nilai-nilai kesalahan bentuk gelombang, kesalahan volume dan kesalahan debit puncak seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Parameter Evaluasi Simulasi Awal Kondisi Satu

$E_w$ (%)	$E_v$ (%)	$E_p$ (%)
101.638	-4.2	-60.6



Gambar 6. Perbandingan Grafik Hidrograf Hasil Simulasi dengan Data Terukur (13 Februari 2012 – 26 Februari 2012)

#### b. Proses Kalibrasi Kondisi Satu (13 Februari 2012 – 26 Februari 2012)

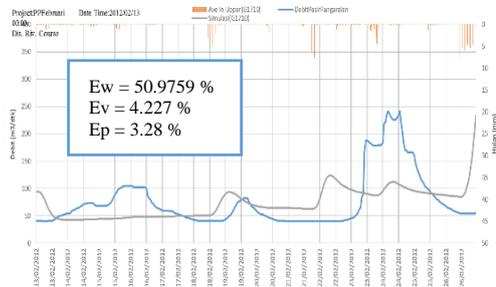
Parameter-parameter kalibrasi diperoleh dengan cara coba-coba. Nilai-nilai setiap parameter pada tahap dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Parameter-parameter Yang Dikalibrasi Pada Kondisi Satu (13 Februari 2012 – 26 Februari 2012)

Parameter	Awal	kalibrasi	Penjelasan
SKF	0.0005	0.0001	Nilai ditentukan berdasarkan tata guna lahan yang tercantum pada Tabel 2.2 untuk areal persawahan dan perumahan penduduk.
HFMXD	0.1	0.1	Dilakukan perubahan nilai menjadi lebih kecil untuk memperbaiki volume aliran puncak.
HFMND	0.01	0.01	Dilakukan perubahan nilai menjadi lebih kecil untuk memperbaiki bentuk seluruh gelombang.
HFOD	0.005	0.005	Tidak diubah karena nilainya sudah cukup besar untuk memperbaiki bentuk seluruh gelombang.
SNF	0.7	0.5	Berdasarkan Tabel 2.1 untuk areal bukit, padang rumput, taman, lapangan golf, lahan pertanian.
FSLFX	0.8	0.65	Trial and error antara 0.5 dan 0.65 berdasarkan Tabel 2.2.
HIFD	0	0	Tidak dilakukan perubahan nilai sesuai dengan ketentuan dari IFAS.
AUD	0.1	0.1	Tidak diubah karena nilainya sudah cukup kecil untuk memperbaiki sebagian bentuk gelombang.
AGD	0.003	0.003	Trial and error dengan memperbaiki nilainya agar volume base flow menjadi kecil.
HCGD	2	2	Trial and error dengan memperbaiki nilainya agar volume bisa menyesuaikan dengan hasil dari parameter lain yang telah diubah.
HIGD	2	2	Trial and error dengan memperbaiki nilainya karena menyesuaikan dengan hasil dari parameter lain yang telah diubah.

Dari parameter-parameter tersebut, maka diperoleh hasil simulasi berupa grafik hidrograf data terhitung dengan data terukur setelah

dikalibrasi yang dapat dilihat pada Gambar 7.



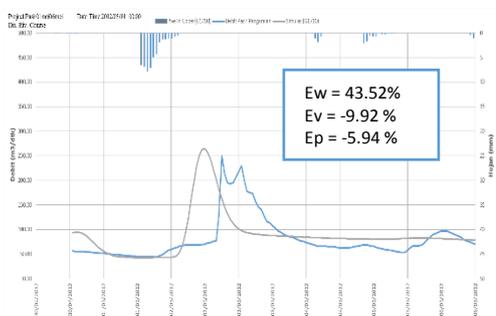
Gambar 7. Perbandingan Grafik Hidrograf Data Terhitung dengan Data Terukur Setelah Dikalibrasi (13 Februari 2012 – 26 february 2012)

a. Simulasi Awal Kondisi Dua (01 Mei 2012 – 06 Mei 2012)

Pada Gambar 8 disajikan perbandingan antara hidrograf terukur di lapangan dengan hidrograf hasil pemodelan untuk kondisi parameter tanpa kalibrasi. Evaluasi model dilakukan dengan mencari nilai-nilai kesalahan bentuk gelombang, kesalahan volume dan kesalahan debit puncak seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Parameter Evaluasi Simulasi Awal Kondisi Satu

Ew (%)	Ev (%)	Ep (%)
43.52	-9.92	-5.94



Gambar 8 Perbandingan Grafik Hidrograf Hasil Simulasi dengan Data Terukur (01 Mei - 06 Mei 2012)

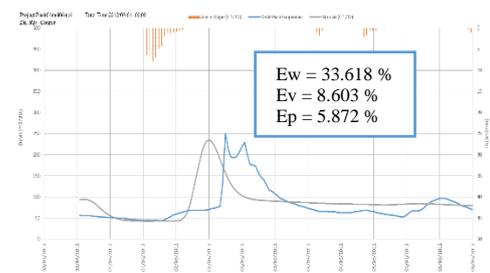
b. Proses Kalibrasi Kondisi Dua (01 Mei 2012 – 06 Mei 2012)

Parameter-parameter kalibrasi diperoleh dengan cara coba-coba. Nilai-nilai setiap parameter pada tahap dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Parameter-parameter Yang Dikalibrasi pada GSMaP\_NRT

Parameter	Awal kalibrasi	Penjelasan	
SKF	0.0005	0.0005	Nilai ditentukan berdasarkan tata guna lahan yang tercantum pada Tabel 2.2 untuk areal persawahan dan perumahan penduduk.
HFMXD	0.1	0.1	Dilakukan perubahan nilai menjadi lebih kecil untuk memperkecil volume aliran puncak.
HFMND	0.01	0.01	Dilakukan perubahan nilai menjadi lebih kecil untuk memperkecil bentuk seluruh gelombang.
HFOOD	0.005	0.005	Tidak diubah karena nilainya sudah cukup besar untuk memperkecil bentuk seluruh gelombang.
SNF	0.7	0.7	Berdasarkan Tabel 2.1 untuk areal bukit, padang rumput, taman, lapangan golf, lahan pertanian.
FSLFX	0.8	0.65	Trial and error antara 0.5 dan 0.65 berdasarkan Tabel 2.2.
HIFD	0	0	Tidak dilakukan perubahan nilai sesuai dengan ketentuan dari IFAS.
AUD	0.1	0.1	Tidak diubah karena nilainya sudah cukup kecil untuk memperkecil sebagian bentuk gelombang.
AGD	0.003	0.003	Trial and error dengan memperkecil nilainya agar volume base flow menjadi kecil.
HCGD	2	2	Trial and error dengan memperkecil nilainya agar volume bisa menyesuaikan dengan hasil dari parameter lain yang telah diubah.
HIGD	2	2	Trial and error dengan memperkecil nilainya karena menyesuaikan dengan hasil dari parameter lain yang telah diubah.

Dari parameter-parameter tersebut, maka diperoleh hasil simulasi berupa grafik hidrograf data terhitung dengan data terukur setelah dikalibrasi yang dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Perbandingan Grafik Hidrograf Data Terhitung dengan Data Terukur Setelah Dikalibrasi (01 Mei - 06 Mei 2012)

3. Analisis Pengaruh Parameter Pada Pemodelan

Analisis dilakukan menggunakan data hujan satelit GSMaP\_NRT dengan perbandingan antara data

kondisi satu dan kondisi dua. Analisis untuk melihat parameter mana yang mempunyai pengaruh terhadap pemodelan.

Berdasarkan Tabel 7 ada beberapa parameter yang mengalami perubahan nilai saat kalibrasi yaitu SKF, HMXD, HFOD, SNF, dan FALFX. Adapun penjelasannya sebagai berikut.

Tabel 7. Hasil evaluasi pemodelan hidrologi program IFAS

Parameter	Awal	Kalibrasi	
Surface tank	SKF	0.0005	0.0005
	HFMXD	0.1	0.1
	HFMND	0.01	0.01
	HFOD	0.005	0.005
	SNF	0.7	0.7
	FSLFX	0.8	0.65
underground water tank	HIFD	0	0
	AUD	0.1	0.1
	AGD	0.003	0.003
	HCGD	2	2
	HIGD	2	2
	Ew	%	33.6176
Ev	%	8.6025	
Ep	%	5.8720	

1. SKF ( $f0$ )  
Nilai ini ditentukan berdasarkan tata guna lahan, koefisien ini mengatur aliran air infiltrasi dari permukaan ke bawah tanah. Semakin rendah koefisien ini maka semakin rendah ketinggian penyimpanan tangki akuifer dan menaikkan aliran permukaan yang berarti tanah merupakan tanah tidak jenuh.
2. HFMXD ( $Sf2$ )  
HFMXD merupakan tinggi penyimpanan maksimum (*Maximum storage Height*) atau tinggi penyimpanan ketika aliran permukaan terjadi. Perubahan nilai yang menjadi kecil untuk memperkecil volume aliran puncaknya. Koefisien ini berpengaruh kepada tata guna

lahan. Limpasan permukaan untuk hutan dapat mudah terjadi dengan nilai tinggi dibandingkan dengan lahan perkotaan dimana aliran permukaan sulit terjadi.

3. HFOD ( $Sf0$ )  
HFOD atau tinggi infiltrasi tanah (*Height Where Ground Infiltration Occurs*) merupakan ketinggian ketika infiltrasi tanah terjadi. Air penyimpanan tidak akan mengalir jika tingginya kecil dari ( $Sf0$ ).
4. SNF (N)  
SNF atau Koefisien Kekasaran Permukaan (*Surface Roughness Coefficient*) nilai ini masuk kedalam kategori jalan sebagian beraspal, banyak tanah kosong yang tersisa dan jaringan drainase selesai. koefisien mempengaruhi kekasaran permukaan, semakin kecil nilainya maka semakin kasar permukaan.
5. FALFX ( $\sigma$ )  
Parameter terakhir yang mengalami perubahan adalah FALFX, koefisien ini merupakan pengaturan aliran cepat *intermediate* (menengah), dan nilai ini dipengaruhi oleh tingkat kejenuhan tanah

## KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang berjudul “Model Hidrologi Berbasis Data Satelit Untuk Analisis Banjir Studi Kasus Sub-DAS Rokan Stasiun Pasir Pengaraian”, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut ini.

1. Berkaitan dengan tujuan untuk mengaplikasikan data satelit, program *Integrated Flood Analysis System* (IFAS) 1.3.0

dapat digunakan untuk analisis banjir dengan produk hujan satelit GSMaP\_NRT.

2. Pemodelan dilakukan pada dua kondisi dengan panjang data yang berbeda, kondisi satu (periode 13 Februari 2012 pukul 00:00 - 26 Februari 2012 pukul 23:00) dan kondisi dua (periode 01 Mei 2012 pukul 00:00 - 06 Mei 2012 pukul 23:00).
3. Berdasarkan hasil pada simulasi awal dan proses kalibrasi, nilai *wave shape error* setelah kalibrasi lebih kecil dibandingkan simulasi awal. Sedangkan nilai *volume error* dan *peak discharge error* simulasi awal memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan setelah dikalibrasi. Dengan nilai  $E_w = 101.637\%$ ,  $E_v = -4.22\%$ , dan  $E_p = -60.6\%$  pada saat simulasi awal dan pada proses kalibrasi memiliki nilai  $E_w = 50.98\%$ ,  $E_v = 4.23\%$  dan  $E_p = 3.28\%$  untuk kondisi satu. Sedangkan pada kondisi dua nilai  $E_w = 33.6176\%$ ,  $E_v = 8.6025\%$ , dan  $E_p = 5.8720$  pada saat simulasi awal dan pada proses kalibrasi memiliki nilai  $E_w = 0.0169\%$ ,  $E_v = 15.4120\%$  dan  $E_p = 28.7533\%$ .

## SARAN

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

1. Dapat dicoba dengan perbandingan data hujan lapangan yang berada di dalam batasan DAS.
2. Bagi mahasiswa maupun pihak

lain yang ingin mengembangkan penelitian tentang pemodelan hidrologi dengan pemanfaatan data hujan satelit dengan menggunakan program IFAS dapat dicoba dengan cara menggunakan produk data hujan yang lain sehingga dapat membandingkan hasil dengan penelitian ini.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan Terima kasih disampaikan kepada Dirjen DIKTI atas dukungan dana penelitian pada skim Hibah Bersaing sehingga penelitian ini bisa dilakukan dengan baik serta ucapan terima kasih kepada semua pihak yang terlibat dalam proses penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2013. *Ribuan Rumah di Rokan Hulu, Terendam*. (regional.kompas.com) diakses pada tanggal September 2015, pukul 00.47 WIB.
- Aziz, A & Tanaka, S. 2011. *Regional Parameterization and Applicability of Integrated Flood Analysis System (IFAS) for Flood Forecasting of Upper-Middle Indus River*. Pakistan Journal of Meteorology, vol 8. Issue 15.
- Fukami, Kazuhiko and etc. 2009. *Integrated Flood Analysis System (IFAS Version 1.2) User's Manual*. Jepang: ICHARM.
- Hamiduddin. 2013. *Pemodelan Hidrologi Hujan-Aliran Dengan Menggunakan Data Satelit Hasil Pengindraan Jauh (Studi Kasus DAS*

- Tapung Kiri*). Skripsi, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Riau, Pekanbaru.
- Handayani, Y. 2015. *Model Hidrologi Untuk Analisis Banjir Berbasis Data Satelit. Annual Civil Engineering Seminar 2015, Pekanbaru.*
- Hasan, H. 2013. *Penggunaan Data Hujan Satelit untuk Pemodelan Hidrologi DAS Indragiri*. Skripsi, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Riau, Pekanbaru.
- Isnaini, Y., 2013. *Kajian Pemanfaatan Data Hujan Satelit untuk Pemodelan Hidrologi (Studi Kasus DAS Pulau Berhalo)*. Skripsi, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Riau, Pekanbaru.
- Mardhotillah, M. 2014. *Pemodelan Hujan-Aliran Daerah Aliran Sungai Rokan dengan Menggunakan Data Pengindraan Jauh*. Skripsi, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Riau, Pekanbaru.
- Sutikno, S., Fauzi, M., Hamiddudin. 2014. *Pemodelan Hidrologi Hujan-Aliran dengan menggunakan Data Satelit*. Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil X-2014, Program Pascasarjana, Jurusan Teknik Sipil ITS, Surabaya.
- Sutikno, S., Fauzi, M., Mardhotillah, M. 2014. *Kalibrasi dan Validasi Model Hidrologi Hujan-Aliran dengan Menggunakan Data Satelit*. Pertemuan Ilmiah Tahunan (PIT) XXXI HATHI, Padang.