

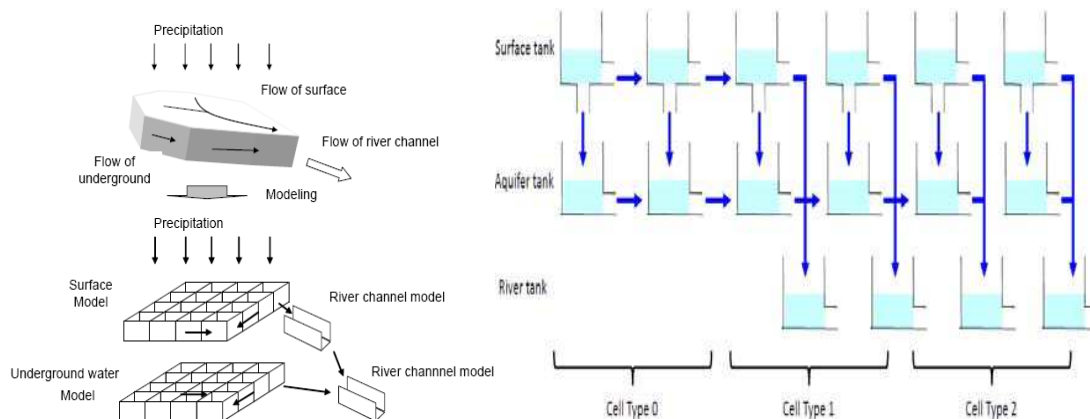


Penelitian ini mengaplikasikan metode penggunaan data yang bersumber dari satelit untuk dipakai dalam analisis banjir. Ditinjau dari sisi permasalahan ketersediaan data yang sangat terbatas di sebagian besar daerah di Indonesia, metode analisis ini mempunyai prospek yang bagus untuk dikembangkan, karena sebagian besar data bersumber dari satelit yang bisa diunduh secara langsung dari internet. Data-data tersebut diantaranya adalah data hujan, peta topografi, tata guna lahan, jenis tanah, sungai, dan lain sebagainya. Beberapa tahun terakhir ini penggunaan data satelit untuk analisis dan pemodelan hidrologi berkembang sangat pesat seiring dengan perkembangan teknologi penginderaan jauh berbasis satelit. Beberapa penelitian terkini yang telah berhasil memanfaatkan teknologi ini diantaranya adalah Harris, dkk. (2007), Li, dkk. (2009), Sugiura, dkk. (2009), Khan, dkk. (2011), dan Kartiwa dan Murniati (2011).

Metode pengambilan dan pengolahan data satelit dilakukan dengan menggunakan alat bantu software IFAS (*Integrated Flood Analysis System*). IFAS merupakan program (*software*) yang bisa digunakan untuk pemodelan hidrologi yang dikembangkan oleh *International Centre for Water Hazard and Risk Management* (ICHARM), Jepang. IFAS dikembangkan berbasis Sistem Informasi Geografis 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. Program IFAS menggunakan model tangki yang dimodifikasi sebagai dasar pemodelannya, yang disebut *PWRI Distributed Model*. Parameter-parameter hidrologi pada model tersebut dapat dikalibrasi untuk memperoleh hasil simulasi yang mendekati keadaan sebenarnya. Penelitian dengan mengaplikasikan program IFAS di wilayah Provinsi Riau telah beberapa kali dilakukan, namun baru sebatas untuk pemodelan hujan aliran (Sutikno, 2014a; Sutikno, 2014b). Aplikasi pemodelan pada studi kasus banjir masih belum pernah dilakukan. Penelitian ini mengambil studi kasus di DAS Rokan dengan stasiun AWLR Lubuk Bendahara yang mempunyai luas DAS 3196 km<sup>2</sup> dan stasiun AWLR Pasir Pangaraian. Kalibrasi dilakukan untuk menguji kehandalan model. Ada sebelas parameter hidrologi yang harus dikalibrasikan pada pemodelan ini. Hasil simulasi model dievaluasi ketelitiannya dengan data terukur (debit sungai jam-jaman dari AWLR) dengan menggunakan indikator *volume error*, *wave shape error*, dan *peak discharge error*.

### IFAS Distributed Model

*Integrated Flood Analysis System* (IFAS) dikembangkan berbasis sistem informasi geografis untuk membuat jaringan sungai yang ditampilkan dalam bentuk kotak-kotak kecil yang disebut *cell* 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. Program IFAS menggunakan model tangki yang dimodifikasi sebagai dasar pemodelannya, yang disebut *PWRI Distributed Model*. Skema model tangki yang dipakai dalam model ini seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Seperti ditunjukkan pada Gambar 1., model ini dibagi menjadi tiga bagian, yaitu *surface model*, *ground water model*, dan *river channel model* (Fukami, 2009).

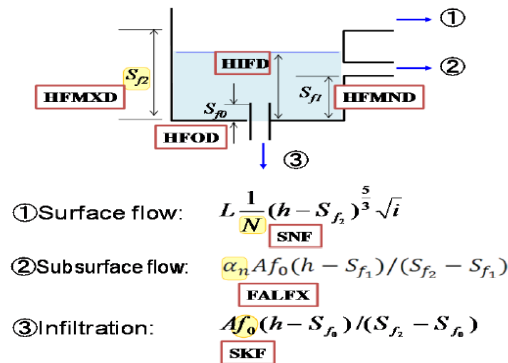


Gambar 1. Skema model tangki PWRI *Distributed Model* dalam IFAS

### Model Permukaan (*Surface Model*)

Model permukaan adalah sebuah model yang digunakan untuk membagi hujan menjadi aliran permukaan (*surface flow*), aliran antara (*subsurface flow*), dan infiltrasi (*infiltration*). Skema aliran-aliran tersebut seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Aliran permukaan dan aliran antara dihitung berdasarkan Hukum Manning,

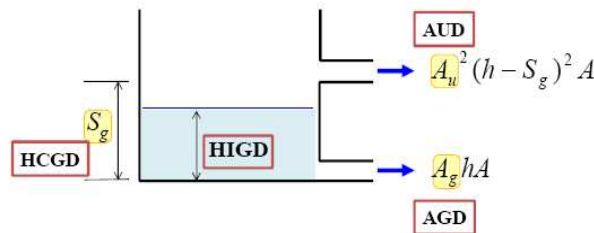
sedangkan infiltrasi dihitung berdasarkan Hukum Darcy. Parameter-parameter yang ada dan harus dikalibrasikan pada model permukaan adalah kapasitas infiltrasi akhir (SKF), tinggi tampungan maksimum (HFMD), tinggi aliran antara (HFMD), tinggi dimana infiltrasi terjadi (HFOD), koefisien kekasaran permukaan (SNF), koefisien pengaturan aliran antara (FALFX), dan tinggi tampungan awal (HIFD).



Gambar 2. Konsep skema aliran pada model permukaan

### Model Air Tanah (Ground Water Model)

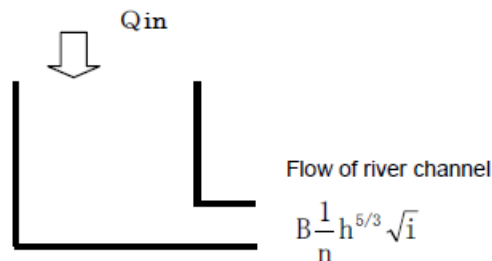
Skema aliran pada model air tanah seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Aliran yang ada pada model air tanah terdiri atas aliran air tanah tak tekan (*unconfined groundwater flows*) dan aliran air tanah tekan (*confined groundwater flows*). Parameter-parameter yang ada dan harus dikalibrasikan pada model air tanah adalah koefisien pengaturan aliran antara (AUD), koefisien aliran dasar (AGD), tinggi tampungan dimana aliran antara terjadi (HCGD), dan tinggi tampungan awal (HIGD).



Gambar 3. Konsep model tangki pada model air tanah

### Model Alur Sungai (River Channel Model)

Skema aliran pada model alur sungai seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Model ini dihitung berdasarkan persamaan Manning.



Gambar 4. Konsep model tangki pada model alur sungai

### Evaluasi Ketelitian Model

Keandalan dalam pemodelan hidrologi dievaluasi dengan menggunakan beberapa indikator kesalahan (error) diantaranya adalah kesalahan bentuk gelombang (*wave shape error*), kesalahan volume (*volume error*), dan kesalahan debit puncak (*peak discharge error*). Ketiga parameter kesalahan tersebut dihitung dengan menggunakan persamaan-persamaan berikut ini,

1. kesalahan bentuk gelombang (*wave shape error*),

$$E_w = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{Q_o(i) - Q_c(i)}{Q_o(i)} \right)^2 \quad (1)$$

2. kesalahan volume (*volume error*),

$$E_v = \frac{\sum_{i=1}^n Q_o(i) - \sum_{i=1}^n Q_c(i)}{\sum_{i=1}^n Q_o(i)} \quad (2)$$

3. kesalahan debit puncak (*peak discharge error*),

$$E_p = \frac{Q_{op} - Q_{cp}}{Q_{op}} \quad (3)$$

dengan  $E_w$  adalah *wave shape error*,  $E_v$  *volume error*,  $E_p$  *peak discharge error*,  $Q_o$  debit hasil pemodelan,  $Q_c$  debit observasi lapangan,  $Q_{op}$  debit puncak hasil pemodelan, dan  $Q_{cp}$  debit puncak dari observasi lapangan.

### Kalibrasi Model

Kalibrasi model 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. Dengan kata lain, proses optimalisasi nilai parameter untuk meningkatkan koherensi antara respons hidrologi DAS yang teramati dan tersimulasi. 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 1 ditunjukkan penjelasan mengenai cara memilih parameter yang akan dikalibrasi berdasarkan ketersediaan data terukur.

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> 2. Parameter <i>river course</i> bisa disesuaikan	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> 2. Menggunakan nilai standar parameter <i>river course</i>	1. Menggunakan nilai standar semua parameter model

(Sumber : Fukami, dkk., 2009)

## 2. METODOLOGI

### Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada DAS Rokan dengan stasiun AWLR Lubuk Bendahara dan stasiun AWLR Pasir Pangaraian. Stasiun Lubuk Bendahara secara administrasi terletak di Kecamatan Rokan IV Koto, Kabupaten Rokan Hulu, Provinsi Riau. Data-data yang digunakan dalam penelitian terdiri atas data satelit dan data hasil pengukuran di lapangan. Data satelit yang digunakan untuk pemodelan berupa data curah hujan, elevasi, tata guna lahan, dan data tanah tahun 2012. Sedangkan data pengukuran di lapangan yang dibutuhkan adalah data hidrologi pada DAS Rokan yang berupa data debit jam-jaman dari *Automatic Water Level Recorder* (AWLR) Stasiun Lubuk Bendahara dan AWLR Stasiun Pasir Pangaraian tahun 2012.

### Tahapan Penelitian

Penelitian ini diawali dengan pengumpulan data satelit yang bisa diunduh secara langsung di internet dengan menggunakan alat bantu IFAS. Data-data tersebut adalah data elevasi, data tata guna lahan, data tanah, dan data hujan. Jenis data elevasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah GTOPO30 yang mempunyai

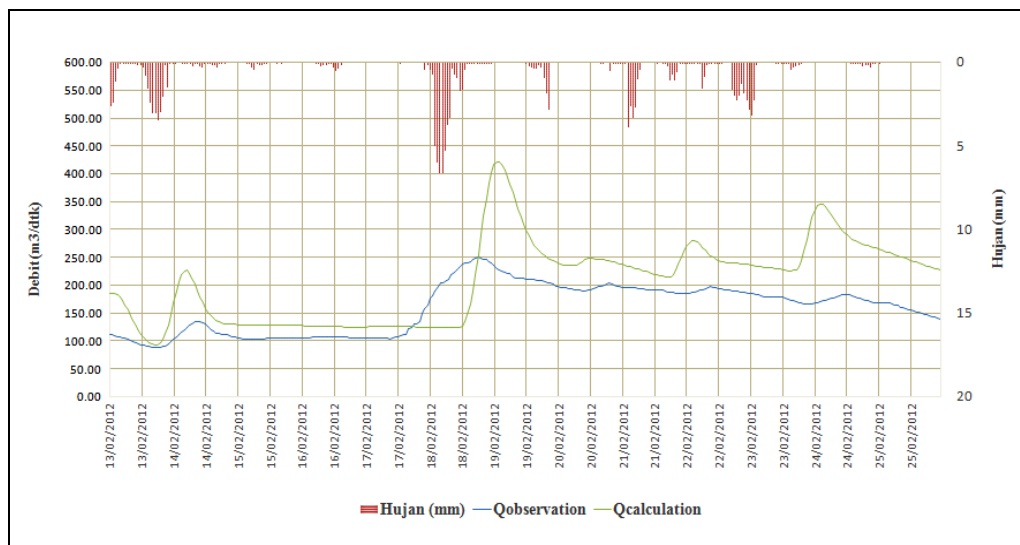
ukuran grid horisontal 1 km. Data tata guna lahan yang digunakan adalah GLCC yang disediakan oleh USGS (*United States Geological Survey*) dengan resolusi 1 km. Data tanah yang digunakan adalah GNV25 Soil Water (UNEP). Data GNV25 merupakan data tanah yang berisi kapasitas kemampuan tanah menyimpan air (*soil water holding capacity*). Sedangkan data curah hujan yang digunakan adalah GsMaP\_NRT Tahun 2012.

Pemodelan hidrologi dilakukan dengan menggunakan data-data satelit yang telah dikumpulkan tersebut. Nilai parameter-parameter hidrologi awal ditentukan oleh IFAS berdasarkan data-data satelit yang telah diunduh tersebut. Hasil pemodelan ini berupa output hidrograf pada setiap grid pada daerah penelitian. Output hidrograf pada lokasi dimana AWLR berada kemudian dibandingkan dengan data terukur dari AWLR tersebut dengan menghitung nilai kesalahan sebagai parameter akurasi. Proses kalibrasi dilakukan dengan cara coba ulang terhadap parameter-parameter hidrologi sedemikian sehingga hidrograf yang dihasilkan memiliki parameter kesalahan yang minimal.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

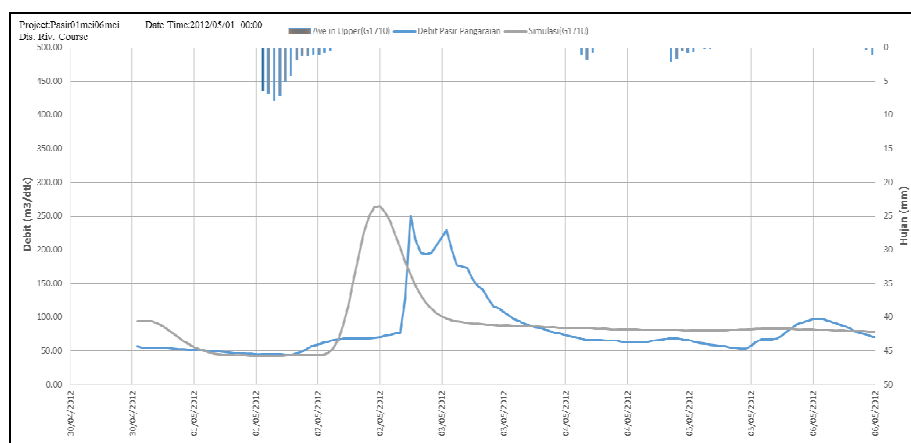
#### Kondisi Awal Simulasi

Pada kondisi awal simulasi, parameter-parameter hidrologi yang digunakan untuk simulasi adalah parameter *default* yang ditentukan oleh IFAS berdasarkan data-data satelit yang digunakan untuk pemodelan. Simulasi untuk Stasiun Lubuk Bendahara dilakukan untuk periode dua minggu yang dimulai dari tanggal 13 Februari 2012 jam 00.00 sampai dengan 25 Februari 2012 jam 23.00. Simulasi untuk Stasiun Pasir Pangaraian dilakukan untuk periode 1 Mei-6 Mei 2012. Hasil simulasi model ini berupa hidrograf hujan aliran beserta dengan rekaman data hujan satelit seperti ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 6. Perbandingan antara output hidrograf hasil simulasi dengan hidrograf terukur di lapangan menunjukkan nilai  $E_w$ ,  $E_v$ , dan  $E_p$  masing-masing untuk Stasiun Lubuk Bendahara adalah 17.39%, 30.54% dan 68.43% dan untuk Stasiun Pasir Pangaraian adalah 0.01 %, -9.92 %, dan -5,94%. Nilai-nilai tersebut menunjukkan bahwa hasil simulasi model masih belum optimal karena prosentase nilai kesalahan masih relatif cukup besar.



Gambar 5 Hidrograf hasil simulasi pada kondisi awal sebelum kalibrasi (13 - 25 Februari 2012) di Stasiun Lubuk Bendahara

Seperti ditunjukkan pada Gambar 5, bahwa debit puncak yang dihasilkan dari model masih jauh di atas debit puncak hasil pengukuran di lapangan. Besaran debit puncak yang dihasilkan dari pemodelan sekitar 420 m<sup>3</sup>/detik sedangkan dari hasil pencatatan AWLR sekitar 250 m<sup>3</sup>/detik. Sedangkan waktu terjadinya banjir dan waktu pengatusan dari hasil pemodelan relatif lebih lama dibanding dengan kondisi data di lapangan untuk stasiun AWLR Lubuk Bendahara, sedangkan untuk stasiun AWLR Pasir Pangaraian waktu terjadinya banjir di model lebih cepat daripada debit observationnya. Seperti ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 6 bahwa debit hasil simulasi sudah mengikuti bentuk trend dari debit terukur di lapangan, namun akurasi masih belum baik. Untuk meningkatkan akurasi dan korelasi, maka perlu dilakukan kalibrasi terhadap parameter-parameter hidrologi.



Gambar 6 Hidrograf hasil simulasi pada kondisi awal sebelum kalibrasi (1- 6 Mei 2012) di Stasiun Pasir Pangaraian

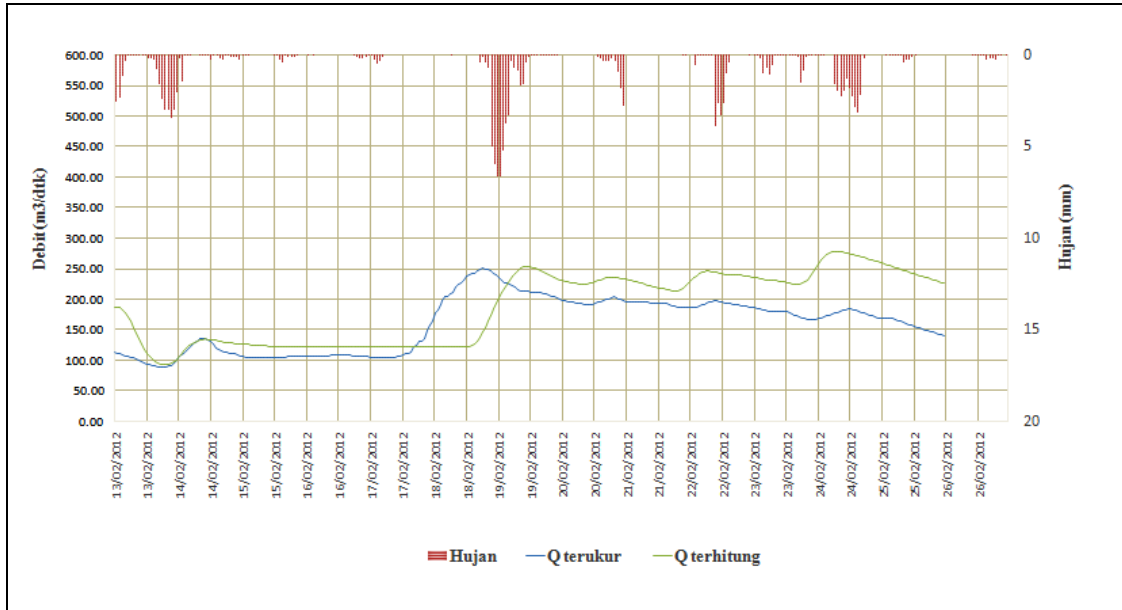
### Kalibrasi Model

Proses kalibrasi model dilakukan dengan cara coba-ulang terhadap parameter-parameter hidrologi. Dengan berpedoman pada Tabel 1, ditentukan bahwa parameter-parameter dari *surface tank* dan *underground water tank* yang harus dikalibrasikan karena data terukur yang tersedia hanya data AWLR tanpa data penampang sungai di lapangan. Parameter-parameter yang harus dikalibrasikan pada *surface tank* adalah SKF, HFMD, HFOD, SNF, FALFX, dan HIFD. Sedangkan pada *underground water tank* adalah AUD, AGD, HCGD, dan HIGD. Proses kalibrasi dan evaluasi ketelitian model Stasiun Lubuk Bendahara untuk masing-masing kondisi seperti disajikan pada Tabel 2.

Pada Tabel 2 ditunjukkan beberapa kali iterasi parameter hidrologi dalam rangka proses kalibrasi. Nilai parameter dari iterasi ke-5 mendapatkan hasil evaluasi dengan persentase kesalahan yang paling kecil dibandingkan dengan hasil iterasi - iterasi yang lainnya, yaitu 9.58%, 17.28%, dan 10.81% masing-masing untuk nilai  $E_w$ ,  $E_v$ , dan  $E_p$ . Dari parameter-parameter yang telah dilakukan pada iterasi ke-5, maka diperoleh hasil simulasi berupa hidrograf perbandingan antara debit terukur dengan debit terhitung yang dapat dilihat pada Gambar 7.

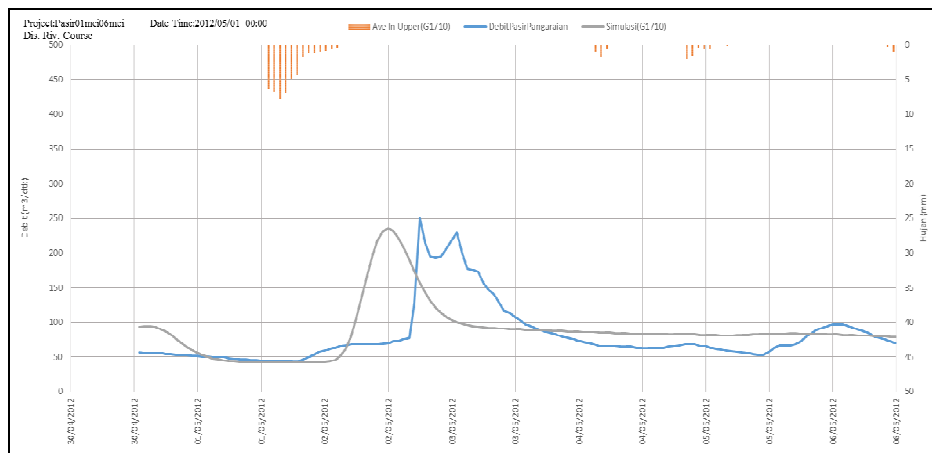
Tabel 2 Proses kalibrasi parameter dan parameter ketelitian model

	Parameter	Awal	Kal 1	Kal 2	Kal 3	Kal 4	Kal 5	Kal 6
Surface Tank	SKF	0,0005	0,0005	0,001	0,001	0,001	0,0001	0,0003
	HFMXD	0,1	0,1	0,1	0,5	0,1	0,1	0,5
	HFMND	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,1
	HFOD	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
	SNF	0,7	0,05	0,05	0,05	0,005	0,05	0,05
	FALFX	0,8	0,5	0,5	0,5	0,5	0,2	0,3
	HIFD	0	0	0	0	0	0	0
Underground Water Tank	AUD	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	AGD	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
	HCGD	2	2	2	2	2	2	2
	HIGD	2	2	2	2	2	2	2
$E_w$	=	17.39	15.49	16.01	12.96	25.42	9.58	16.31
$E_v$	=	30.54	-29.26	30.57	24.82	36.69	17.28	23.42
$E_p$	=	68.43	44.28	34.88	36.28	31.38	10.81	19.31



Gambar 7. Perbandingan hidrograf hasil simulasi dengan data terukur dari AWLR Stasiun Lubuk Bendahara setelah kalibrasi

Seperti ditunjukkan pada Gambar 7, di stasiun AWLR Lubuk Bendahara, debit puncak yang dihasilkan dari model sudah mendekati besarnya debit puncak hasil pengukuran di lapangan, dengan *peak discharge error* ( $E_p$ ) sebesar 10.81%. Selisih debit puncak cenderung semakin membesar seiring bertambahnya waktu. Durasi kejadian banjir relatif hampir sama antara keluaran model dengan hasil pengukuran di lapangan, namun demikian kejadian banjir hasil pemodelan cenderung lebih lambat. Hasil kalibrasi di stasiun Pasir Pangaraian (Gambar 8) dengan nilai  $E_w$ ,  $E_v$ , dan  $E_p$  yaitu 0.005 %, 8.603 %, dan 5.872% dan kejadian banjirnya lebih cepat daripada debit hasil pengukuran lapangannya. Kondisi ini tidak sesuai dengan kenyataan yang ada di lapangan. Penelitian lanjutan masih berlangsung untuk memperbaiki kekurangan ini, yaitu dengan memasukkan koreksi data hujan satelit.



Gambar 8. Perbandingan hidrograf hasil simulasi dengan data terukur dari AWLR Stasiun Pasir Pangaraian setelah kalibrasi

#### 4. KESIMPULAN

Penelitian tentang model hidrologi untuk analisis banjir berbasis data satelit ini mengasilkan kesimpulan sebagaimana diuraikan berikut ini.

1. Pemodelan hidrologi hujan-aliran untuk analisis banjir menggunakan data satelit bisa dijadikan salah satu alternatif untuk analisis hidrologi pada daerah yang tidak terdapat data pencatatan dari stasiun



hidrologi. Dengan tanpa kalibrasi, pemodelan sudah menunjukkan korelasi yang relatif cukup baik dengan nilai *wave shape error* ( $E_w$ ), *volume error* ( $E_v$ ), dan *peak discharge error* ( $E_p$ ) masing-masing adalah 17.39%, 30.54% dan 68.43% untuk Stasiun Lubuk Bendahara. Sedangkan untuk Stasiun Pasir Pangaraian adalah 0.01 %, -9.92 %, dan -5,94%.

2. Setelah dilakukan kalibrasi terhadap parameter-parameter hidrologi, nilai-nilai  $E_w$ ,  $E_v$ , dan  $E_p$  menunjukkan hubungan yang makin baik dengan data lapangan, yaitu 9.58%, 17.28%, dan 10.81 untuk Stasiun Lubuk Bendahara, sedangkan 0.005 %, 8.603 %, dan 5.872% untuk Stasiun Pasir Pangaraian. Hal ini menunjukkan bahwa, jika ada data pengukuran lapangan pada periode tertentu, maka pemodelan hidrologi menjadi lebih baik karena bisa dilakukan kalibrasi.
3. Namun demikian, penelitian ini masih belum sempurna. Waktu kejadian banjir masih belum sesuai dengan hidrograf lapangannya. Penelitian lanjutan masih berlangsung untuk memperbaiki kekurangan ini, yaitu dengan memasukan koreksi data hujan satelit.

## 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.

## DAFTAR PUSTAKA

- Harris A., Rahman, Hossain F., Yarborough L., Bagtzoglou, dan Easson G., 2007, Satellite-based Flood Modeling Using TRMM-based Rainfall Products, *Sensors*, ISSN 1424-8220, MDPI.
- Khan S., Hong Y, Wang J, Yilmaz K.K, Gourley J.J, Adler R, Brakenridge R, Policelli F, Habib S, dan Irwin D, 2011, Satellite Remote Sensing and Hydrologic Modeling for Flood Inundation Mapping in Lake Victoria Basin: Implications for Hydrologic Prediction in Ungauged Basins, *IEEE Transactions Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 49, No.1, January 2011.
- Kartiwa, B., Murniati, E., 2011, *Application of RS, GIS and Hydrological Model for Flood Mapping of Lower Citarum Watershed, Indonesia*, Sentinel Asia Joint Project Team Meeting, 12<sup>th</sup>-14<sup>th</sup> July 2011, Putra Jaya, Malaysia.
- Li Li, Hong Y, Wang J, Adler R, Policelli F, Habib S, Irwin D, Korme T, Okello L, 2008, *Evaluation of the real-time TRMM-based multi-satellite precipitation analysis for an operational flood prediction system in Nzoia Basin, Lake Victoria, Africa*, Springer Science+Business Media B.V. 2009.
- Sugiura T., Fukami T., Fujiwara N., Hamaguchi K., Nakamura S., Hironaka S., Nakamura K., Wada T., Ishikawa M., Shimizu T., Inomata K., Itou K., 2009, *Development of Integrated Flood Analysis System (IFAS) and its Applications*, 7th ISE& 8th HIC, Chile.
- Sutikno, S., Fauzi, M., Hamiduddin, 2014a, *Pemodelan Hidrologi Hujan-Aliran Dengan Menggunakan Data Satelit*, Seminar Nasional Teknik Sipil X-2014, ITS, 5 Februari 2014, Surabaya, Indonesia.
- Sutikno, S., Fauzi, M., Mardhotillah, M., 2014b, *Kalibrasi dan Validasi Model Hidrologi Dengan Menggunakan Data Satelit*, Pertemuan Ilmiah Tahunan HATHI ke-31, 22-24 Agustus 2014, Padang, Indonesia.
- Fukami, K., Sugiura, T., Magome, J. dan Kawakami, T, 2009, *Integrated Flood Analysis System (IFAS Version 1.2) User's Manual*. Jepang: ICHARM.