

MODEL HIDROLOGI UNTUK ANALISIS KETERSEDIAAN AIR DI DAERAH ALIRAN SUNGAI (DAS) TAPUNG KIRI MENGGUNAKAN DATA SATELIT

Fian Syauqi¹⁾, Sigit Sutikno²⁾, Ari Sandhyavitri²⁾

¹⁾ Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, ²⁾ Dosen Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Riau, Pekanbaru 28293
E-mail : fian.syauqi@gmail.com

ABSTRACT

The land use changes at Tapung Kiri watershed can affected the groundwater availability and affecting the fluctuations of rivers flow. Therefore, to develop strategies for a comprehensive watershed management, it is required a hydrological model that can represent the hydrological cycle of watershed. Hydrological model was performed by using SWAT tool. The SWAT simulations was performed in various scenarios for land use changes in the period of 2002, 2007 and 2012. Land use map that used as an input to SWAT were Landsat images that processed by the Supervised Classification method. Based on the results of this study, the most optimal value of coefficient of determination (R^2) is 0,62 and the value of Nash Sutcliffe Efficiency (NSE) is 0,62. Process of validation obtained coefficient $R^2 = 0,51$ and $NSE = 0,40$. These results have satisfied the research objectives as the findings coefficient were $> R^2 \text{ min } 0,4$, and $> NSE 0,35$. Analysis of groundwater availability was conducted by comparing the ratio of Q_{maximum} and Q_{minimum} during 2002 to 2012. Comparison of obtained ratio value were 5,53 (2002), 11,22 (2007), and 8,68 (2012). If the value ratio $Q_{\text{maximum}} / Q_{\text{minimum}}$ was bigger, then groundwater availability increasingly critical. Therefore, changes of land use at Tapung Kiri watershed can cause groundwater reserves increasingly critical.

Keywords: Land use change, SWAT model, groundwater availability.

A. PENDAHULUAN

Salah satu faktor utama terjadinya perubahan tata guna lahan adalah semakin pesatnya pertumbuhan penduduk. Laju pertumbuhan penduduk yang tidak seimbang dengan ketersediaan lahan menyebabkan pembukaan lahan-lahan baru untuk pertanian, perumahan, industri, jalan dan sebagainya. Dengan berubahnya penggunaan lahan maka kondisi penutupan vegetasi di setiap kelas penggunaan lahan akan berubah.

Konversi lahan yang besar dapat menyebabkan berkurangnya daerah resapan air sehingga kandungan air tanah menjadi berkurang yang pada akhirnya dapat meningkatkan potensi terjadinya banjir.

Beberapa hasil penelitian yang dilakukan mengenai dampak perubahan tata guna lahan (Pizzaro *et al.* 2006, Dow 2007, Ferijal 2012, Sandhyavitri *et al.* 2014 dan Iqbal 2015) menunjukkan bahwa perubahan tata guna lahan berdampak sangat besar terhadap aliran permukaan dan bawah permukaan yang pada akhirnya dapat mempengaruhi ketersediaan sumber daya air pada suatu DAS dalam jangka panjang.

Pemanfaatan teknologi yang saat ini paling banyak digunakan dan sangat potensial untuk mendeteksi perubahan tata guna lahan secara cepat dan akurat adalah teknologi penginderaan jauh yang diintegrasikan dengan teknologi GIS (*Geography information system*). Citra satelit

Landsat merupakan produk penginderaan jauh dari NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) yang bisa diakses dan diperoleh dengan mudah serta dapat digunakan untuk menganalisis perubahan tata guna lahan pada suatu DAS.

Dalam pendekatan hidrologis, Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah daerah yang dibatasi oleh punggung-punggung gunung/pegunungan di mana air hujan yang jatuh di daerah tersebut akan mengalir menuju sungai utama pada suatu titik/stasiun yang ditinjau (Triatmodjo, 2010).

Maka dari itu untuk menyusun strategi pengelolaan DAS yang komprehensif yang mempertimbangkan parameter – parameter dari sebuah DAS dibutuhkan sebuah model hidrologi yang dapat mempresentasikan siklus hidrologi pada sebuah DAS. Pemodelan hidrologi dapat dilakukan dengan berbagai cara dan salah satu cara yang cukup teliti adalah dengan menggunakan *geographic information system* (GIS). Terdapat berbagai macam perangkat lunak berbasis GIS yang dapat digunakan untuk memperhitungkan dan mengkaji kondisi hidrologi serta perubahan tata guna lahan suatu wilayah. Salah satu *software* tersebut adalah *Soil and Water Assessment Tools* (SWAT).

Model SWAT merupakan *agro-hydrological watershed scale model* yang dikembangkan oleh *Agricultural Research Services of United States Department of Agriculture* (USDA). SWAT merupakan salah satu model hidrologi yang sering digunakan untuk mempelajari dampak perubahan fisik DAS. Hal tersebut dimungkinkan karena SWAT mampu secara langsung merepresentasikan karakteristik DAS ke dalam parameter model sehingga sangat tepat digunakan untuk memprediksikan dampak perubahan tata guna lahan (Legesse et al. 2003). Model ini mengakomodasi parameter iklim dan tata guna lahan sebagai data input. Proses validasi model SWAT

dilakukan dengan membandingkan data harian debit observasi dengan data harian debit simulasi pada periode waktu tertentu. Metode statistik yang digunakan dalam melakukan validasi adalah model koefisien determinasi (R^2) dan model efisiensi Nash-Sutcliffe (NS).

$$R^2 = \frac{[\sum_i(Q_{obs,i} - \bar{Q}_{obs,i})(Q_{cal,i} - \bar{Q}_{cal,i})]^2}{\sum_i(Q_{obs,i} - \bar{Q}_{obs,i})^2 \sum_i(Q_{cal,i} - \bar{Q}_{cal,i})^2} \quad (1)$$

$$NS = 1 - \frac{[\sum_{i=1}^n(Q_{obs,i} - \bar{Q}_{cal,i})^2]}{[\sum_{i=1}^n(Q_{obs,i} - \bar{Q}_{obs,i})^2]} \quad (2)$$

Koefisien determinasi memiliki beberapa kriteria seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Kriteria Koefisien Determinasi

Nilai R^2	Interpretasi
$0,7 < R^2 < 1,0$	Pengaruh tinggi
$0,4 < R^2 < 0,7$	Pengaruh sedang
$0,2 < R^2 < 0,4$	Pengaruh rendah
$R^2 < 0,2$	Diabaikan

(Sumber : Hambali, 2008)

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Motovilov *et al* (1999), NSE memiliki beberapa kriteria pada Tabel 2.

Tabel 2. Kriteria Koefisien Determinasi

Nilai NSE	Interpretasi
$NSE > 0,75$	Baik
$0,36 < NSE < 0,75$	Memenuhi
$NSE < 0,36$	Tidak memenuhi

(Sumber : Motovilov, *et al* 1999)

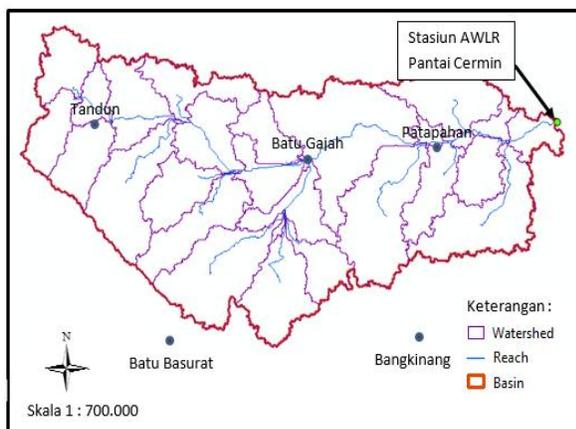
Tujuan penelitian : (1) melakukan evaluasi perubahan tata guna lahan DAS Tapung Kiri pada tahun 2002-2007, 2002-2012 berdasarkan analisis citra digital menggunakan citra satelit Landsat-7 ETM+, (2) melakukan simulasi pengaruh perubahan tata guna lahan terhadap potensi ketersediaan sumber daya air di DAS Siak, (3) mengetahui seberapa besar dampak yang akan ditimbulkan dengan adanya perubahan tata guna lahan yang telah dimanfaatkan oleh pihak pemerintah, swasta maupun masyarakat

yang tinggal di kawasan Sub DAS, sehingga hasil penelitian ini bisa menjadi acuan pemerintah dalam mengambil kebijakan konservasi sumber daya air dan tata guna lahan yang berkesinambungan.

B. METODOLOGI PENELITIAN

1. Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada DAS Tapung Kiri yang mana merupakan salah satu Sub DAS Siak. Penelitian ini lebih difokuskan lagi pada *catchment area* yang berada pada hulu sungai dimana lokasi AWLR berada di stasiun Pantai Cermin. Secara administrasi stasiun pantai cermin terletak di Provinsi Riau, Kabupaten Kampar dengan letak geografis $00^{\circ} 35' 24''$ LS dan $101^{\circ} 11' 46''$ BT.



Gambar 1. Lokasi Studi

(Sumber : BWS III bagian hidrologi provinsi Riau)

2. Prosedur Penelitian

Langkah-langkah yang diambil dalam prosedur penelitian ini, yaitu :

1. Studi Literatur

Studi literatur adalah studi kepustakaan guna mendapatkan dasar-dasar teori serta langkah-langkah penelitian yang berkaitan dengan pengolahan citra satelit dan analisa model SWAT.

2. Pengumpulan Data

Data yang dibutuhkan pada penelitian ini adalah data tata guna lahan, data iklim harian,

data topografi, data debit harian, data jenis tanah dan data curah hujan harian.

Data tata guna lahan pada kajian ini diperoleh dari hasil pengolahan citra digital menggunakan citra satelit Landsat-7 ETM+. Citra landsat diunduh melalui situs www.glovis.usgs.gov.

Data iklim dan curah hujan dalam format harian diunduh dari situs *global weather* dengan panjang data selama 14 tahun.

Data topografi dalam bentuk DEM yang digunakan pada penelitian ini adalah ASTER GDEM (*Global Digital Elevation Model*) dengan resolusi 30 m yang bisa didapatkan diunduh dari internet melalui situs <http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/>.

Data jenis tanah diperoleh dari instansi terkait, seperti Dinas Pertanian, Dinas PU, dan Dinas Kehutanan. Ada 4 jenis tanah dilokasi penelitian yaitu *Histosol*, *cambisol*, *ferrasol* dan *acrisol*. Penamaan jenis tanah ini mengacu pada FAO (*Food and Agriculture Organization*)

Data debit sungai harian merupakan data hasil pencatatan debit dari stasiun AWLR untuk masing-masing DAS. Data ini diperoleh dari Dinas PU Provinsi Riau dengan panjang data minimal 1 tahun. Data ini digunakan untuk kalibrasi model hidrologi.

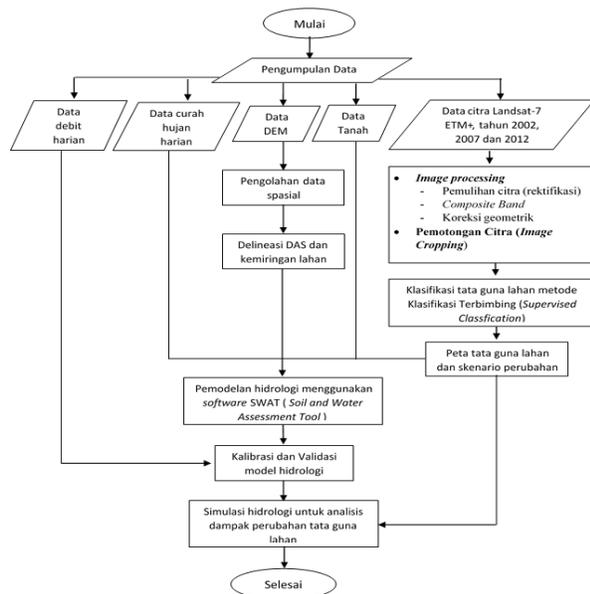
3. Analisis Data

Setelah data diperoleh, maka tahap selanjutnya adalah melakukan analisis dan pengolahan data *input*. Pengolahan data DEM dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak GIS. Daerah observasi akan didelineasi berdasarkan batas topografi alami DAS.

Pengolahan data landsat terdiri atas koreksi radiometrik dan koreksi geometrik, rektifikasi, *Composite Band* dan pemotongan citra (*image cropping*). Proses klasifikasi tata guna lahan dilakukan dengan analisis *Supervised Classification* (klasifikasi terbimbing) dengan metode *Maximum Likelihood*.

Berbagai data input yang dibutuhkan meliputi data iklim, peta DEM, peta penggunaan lahan hasil pengolahan citra digital, dan data tanah dimasukkan ke dalam model SWAT sehingga menghasilkan satu rangkaian model yang bisa memberikan respon hidrologi berupa suatu keluaran (*output*). Pada hasil keluaran tersebut dilakukan kalibrasi dan validasi untuk mengetahui tingkat keakuratan model dengan menggunakan data pengukuran AWLR di lapangan.

Proses kalibrasi merupakan proses pemilihan kombinasi parameter untuk meningkatkan koherensi antara respon hidrologi yang diamati dengan hasil simulasi. Langkah validasi bertujuan untuk membuktikan bahwa suatu proses/metode dapat memberikan hasil yang konsisten sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

C. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

1. Perubahan Tata Guna Lahan DAS Tapung Kiri

Berdasarkan hasil pengolahan citra digital untuk klasifikasi tata guna lahan

metode *Supervised Classification* dapat disimpulkan bahwa pada DAS Tapung Kiri terjadi perubahan luas penggunaan lahan yang cukup signifikan. Perubahan tata guna lahan tersebut dapat lebih jelas dilihat pada tabel 3.

Pada tabel 3 dapat diperhatikan luasan hutan primer pada tahun 2002 yaitu sebesar 15005,10 ha dan pada tahun 2007 berkurang hingga 36,53% menjadi 9524,12 ha. Selanjutnya pada tahun 2012 berkurang lagi menjadi 8535,73 ha. Maka dalam kurun waktu 10 tahun (2002 – 2012) luasan hutan primer pada DAS Tapung Kiri berkurang hingga 43,11%. Perubahan luas yang signifikan juga terjadi pada Hutan tanaman industri dari tahun 2002 sebesar 17053,04 ha dan meningkat menjadi 20117,64 ha atau naik sebesar 1,80 % pada tahun 2007 dan menurun sampai 12441,62 pada tahun 2012 atau menurun sebesar 2,71 % dari tahun 2002.

Perubahan luasan lahan yang cukup besar juga terjadi pada tanah terbuka dan semak belukar yang pada mulanya memiliki luasan masing - masing sebesar 12586,85 ha dan 12389,59 ha ditahun 2002, pada tahun 2007 menurun menjadi 6350,56 ha dan 7617,79 ha atau berkurang sebesar 49,55% dan 38,51% terhadap tahun 2002. Ditahun 2012 luas tanah terbuka juga semakin berkurang hingga 56,08% terhadap tahun 2002, begitu juga semak belukar menurun menjadi 6963,23 ha pada tahun 2012.

Besarnya pengurangan luasan lahan hutan primer, semak belukar dan tanah terbuka pada tahun 2007 hingga 2012 disebabkan oleh semakin banyaknya masyarakat yang membuka lahan untuk pertanian khususnya kelapa sawit, baik dari kalangan industri maupun pribadi. Selain itu kepastian pasar juga merupakan faktor lain yang mendorong semakin berkembangnya perkebunan kelapa sawit di lokasi DAS Tapung Kiri. Hal ini dapat dibuktikan dari besarnya penambahan luasan perkebunan

kelapa sawit dari tahun ke tahun. Pada tahun 2002 luas perkebunan kelapa sawit adalah sebesar 63172,92 ha, kemudian ditahun 2007 meningkat menjadi 73503,34 ha atau naik sebesar 16,35%, dan ditahun 2012 luasannya juga bertambah menjadi 74530,21 ha atau meningkat hingga 17,98% terhadap tahun 2002.

Pertambahan luasan lahan juga terjadi pada hutan tanaman industri dan pertanian khususnya pada tahun 2007. Dimana pada tahun 2002 luas masing – masing adalah 13754,93 ha dan 40431,06 ha meningkat menjadi 15562,01 ha dan 43280 ha. Perubahan pada kedua lahan ini tidak terlalu besar, dan ditahun 2012 luasan hutan tanaman dan pertanian berkurang sedikit dibanding tahun 2007. Sedangkan pada hutan karet terjadi penambahan luasan yang stabil dimulai dari tahun 2002 hingga 2012. Ditahun 2002 luas lahan karet sebesar 6183,76 ha, pada tahun 2007 meningkat sebesar 21,98% menjadi 7542,73 ha.

Selanjutnya ditahun 2012 luasannya bertambah lagi hingga 8728,86 ha atau 41,16% dari tahun 2002.

Adapun faktor lainnya yang mempengaruhi perubahan tata guna lahan di DAS Tapung Kiri ini adalah pertumbuhan jumlah penduduk yang kian meningkat tiap tahunnya. Dengan semakin padatnya jumlah penduduk memicu bertambahnya areal pemukiman dilokasi studi. Seperti yang terlihat pada tabel 4.1, luas daerah pemukiman pada tahun 2002 adalah sebesar 5680,35 ha. Ditahun 2007 bertambah sebesar 2,65%, hingga pada tahun 2012 meningkat sebesar 43,53% dari tahun 2002 yaitu mencapai 8152,97 ha. Peningkatan areal pemukiman ditahun 2012 ini dinilai terlalu besar. Peningkatan yang terjadi dari tahun 2002 hampir mencapai 50%. Hal ini bisa disebabkan pada saat pengolahan citra digital yang kurang detail dalam mendeskripsikan nilai piksel pada citra.

Tabel 3 Perubahan tata guna lahan sub DAS Tapung

Tata Guna Lahan	Tahun 2002		Tahun 2007		Tahun 2012	
	Luas (ha)	Persentase (%)	Luas (ha)	Perubahan Terhadap tahun 2002 (%)	Luas (ha)	Perubahan Terhadap tahun 2002 (%)
Hutan	15005,10	8,82%	9524,12	-36,53	8535,73	-43,11
Sawit	63172,92	37,12%	73503,34	16,35	74530,21	17,98
Tanah Terbuka	12586,85	7,40%	6350,56	-49,55	5528,13	-56,08
Pertanian	40431,06	23,76%	43280	7,05	42424,83	4,93
Semak Belukar	12389,59	7,28%	7617,79	-38,51	6963,23	-43,79
Karet	6183,76	3,63%	7542,73	21,98	8728,86	41,16
Hutan Tanaman	13754,93	8,08%	15562,01	13,14	14149,73	2,87
Pemukiman	5680,35	3,34%	5830,79	2,65	8152,97	43,53
Perairan	995,45	0,58%	988,67	0,68	1186,30	19,17
Total	170200	100%	170200		170200	

2. Pemodelan Hidrologi

A. Analisis Debit Dengan Tata Guna Lahan 2002

Analisis debit pada DAS Tapung Kiri dilakukan menggunakan program SWAT dengan input data yang telah dijelaskan sebelumnya. Pada kondisi awal ini nilai

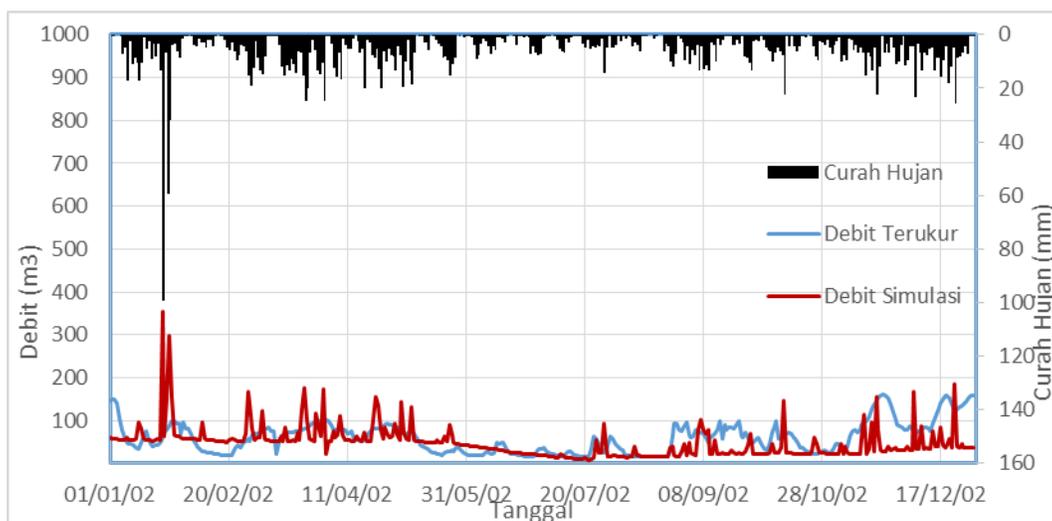
parameter yang digunakan pada simulasi adalah bawaan dari program SWAT, dimana pada tahap ini belum dilakukan kalibrasi sehingga hasil debit simulasi masih dinilai belum memenuhi. Pada Gambar 4.8 dapat dilihat perbandingan antara debit terukur di AWLR Pantai Cermin dengan debit simulasi hasil program SWAT. Seperti yang terlihat pada gambar, ketika adanya curah hujan terjadi respon yang tinggi terhadap debit sungai tanpa diikuti penurunan atau kenaikan debit secara perlahan.

Berdasarkan kondisi tersebut dapat dijelaskan bahwa simulasi pada program SWAT pada saat curah hujan tinggi menghasilkan nilai *runoff* yang sangat besar. Namun, saat curah hujan kecil atau tidak terjadi hujan dalam waktu yang lama hasil debit simulasi lebih kecil dibandingkan debit terukur di lapangan. Hal ini membuktikan bahwa pengolahan aliran bawah permukaan pada program SWAT masih belum sesuai dengan kondisi di lapangan, untuk itu perlu dilakukan kalibrasi dengan mengubah nilai parameter – parameter yang berpengaruh terhadap aliran bawah permukaan.

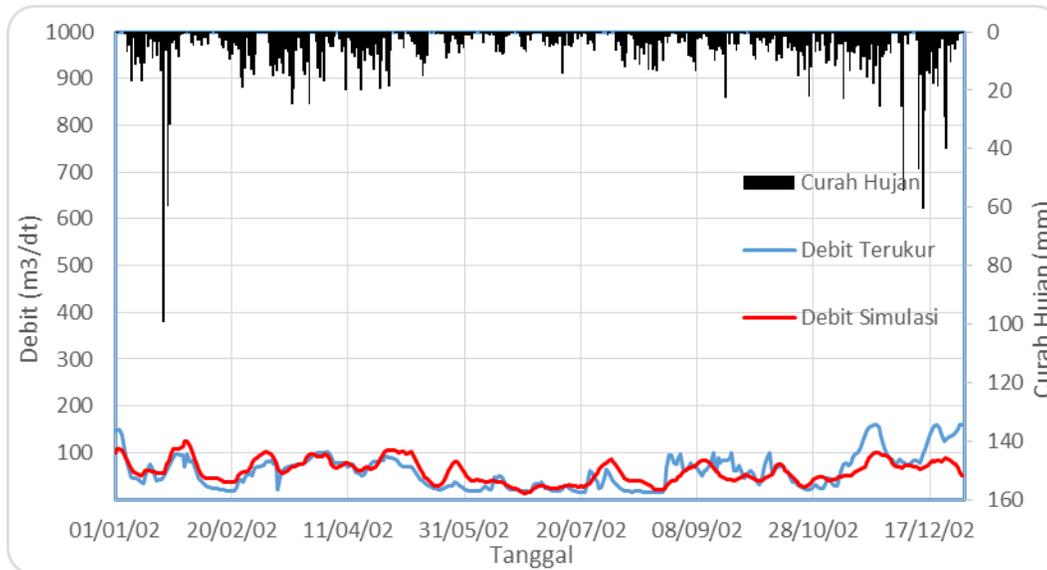
Proses kalibrasi menggunakan data debit harian dari AWLR Pantai Cermin tahun 2002 dengan data keluaran model SWAT.

Kalibrasi model SWAT pada penelitian ini dilakukan menggunakan *software* SWAT-CUP SUFI2 (*Soil and Water Assessment Tool Calibration and Uncertainty Process Sequential Uncertainty Fitting Version 2*). Proses kalibrasi dengan SWAT-CUP dilakukan berdasarkan nilai *range* nilai minimum dan maksimum. Pada iterasi pertama nilai *range* yang digunakan adalah berdasarkan *file Absolute_SWAT_Values.txt*. Pada *file* tersebut disajikan semua parameter dari program SWAT dan nilai *range* yang dianjurkan. Setelah selesai iterasi pertama akan diperoleh *range* nilai baru yang disarankan pada *new_pars.txt*, dimana nilai tersebut dijadikan *input* untuk iterasi selanjutnya. Proses ini dilakukan secara berulang hingga mencapai angka validitas yang diinginkan.

Pada kalibrasi tahun 2002 ini dilakukan iterasi sebanyak 6 kali dengan jumlah simulasi berkisar antara 200 – 400 simulasi pada tiap iterasinya. Parameter dan masukan nilai akhir yang digunakan pada proses kalibrasi akhir disajikan pada tabel 4 dan grafik hasil kalibrasi disajikan pada Gambar 4. Pada hasil kalibrasi menghasilkan nilai validitas R^2 sebesar 0,48 dan NS sebesar 0,48.



Gambar 3. Perbandingan Grafik Hidrograf Debit Terukur dan Debit Simulasi Tahun 2002 Tanpa Kalibrasi.



Gambar 4. Perbandingan Grafik Hidrograf Debit Terukur dan Debit Simulasi Tahun 2002 Dengan Kalibrasi.

Tabel 4. Parameter dan nilai masukan yang digunakan untuk kalibrasi 2002

No	Parameter	Fitted Value
1	CN2.mgt	0.088552
2	v__ALPHA_BF.gw	0.545359
3	v__GW_DELAY.gw	637.9263
4	v__REVAPMN.gw	144.8742
5	v__GWQMN.gw	-1075.21
6	v__RCHRG_DP.gw	0.720556
7	v__GW_REVAP.gw	0.182029
8	r__SOL_K().sol	18.58213
9	r__SOL_AWC().sol	-0.8227
10	r__SOL_Z().sol	3.005971
11	v__CH_L1.sub	11.11042
12	v__CH_S1.sub	11.79767
13	v__CH_K1.sub	168.8308
14	v__CH_W1.sub	544.6249
15	v__OV_N.hru	29.07696
16	v__EPCO.hru	0.571684
17	v__CANMX.hru	-20.9549
18	v__ESCO.hru	0.663794
19	v__SLSUBBSN.hru	35.56437
20	v__HRU_SLP.hru	0.706831
21	v__SURLAG.bsn	25.00927
22	v__CH_K2.rte	439.2408

23	v__CH_N2.rte	0.199184
24	v__ALPHA_BNK.rte	0.679193
25	v__SHALLST.gw	0.309236
26	v__GW_SPYLD.gw	13470.4

B. Analisis Debit Dengan Tata Guna Lahan 2007

Pada kondisi awal simulasi digunakan nilai parameter – parameter yang ditentukan oleh SWAT atau tanpa kalibrasi. Hasil debit yang diperoleh dari hasil simulasi masih jauh berbeda dengan kondisi debit observasi, maka perlu dilakukan kalibrasi. Pada kalibrasi tahun 2007 ini dilakukan sebanyak 7 kali iterasi dengan 750 simulasi pada tiap iterasinya. Parameter dan masukan nilai akhir yang digunakan pada proses kalibrasi akhir disajikan pada tabel 5 dan grafik hasil kalibrasi disajikan pada Gambar 5. Nilai masukan tersebut memberikan hasil validitas R^2 sebesar 0,56 dan NS sebesar 0,54 untuk debit harian. Nilai tersebut memenuhi terhadap syarat yang telah ditentukan yaitu $0,4 < R^2 < 0,7$ dan $0,36 < NSE < 0,75$.

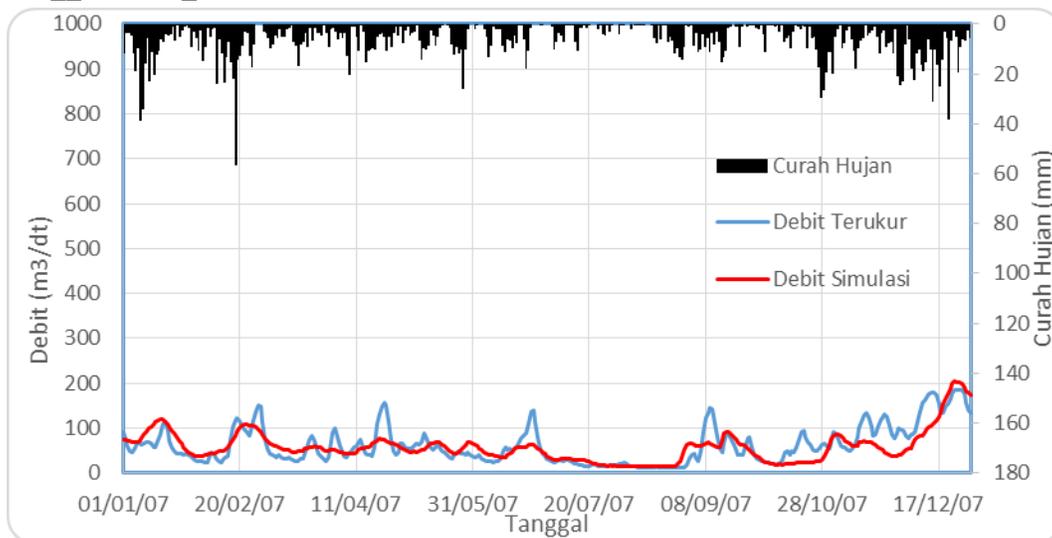
Tabel 5. Parameter dan nilai masukan yang digunakan untuk kalibrasi 2007

No	Parameter	Fitted_Value
1	R__CN2.mgt	0.127154
2	V__ALPHA_BF.gw	0.41166
3	V__GW_DELAY.gw	307.145844
4	V__GWQMN.gw	347.788147
5	V__REVAPMN.gw	6421.25
6	V__RCHRG_DP.gw	0.406956
7	V__GW_REVAP.gw	0.068149
8	R__SOL_K(..).sol	9.480077
9	R__SOL_AWC(..).sol	0.306666
10	R__SOL_Z(..).sol	5.053375
11	V__CH_L1.sub	2.858288
12	V__CH_S1.sub	5.881889
13	V__CH_K1.sub	132.36084
14	V__CH_W1.sub	95.633568
15	V__OV_N.hru	5.67375
16	V__EPCO.hru	1.451336
17	V__CANMX.hru	-38.036488
18	V__ESCO.hru	0.486741
19	V__SLSUBBSN.hru	5.184657
20	V__HRU_SLP.hru	1.265955
21	V__SURLAG.bsn	-5.10437
22	V__CH_K2.rte	467.555359
23	V__CH_N2.rte	0.113025
24	V__ALPHA_BNK.rte	0.558464

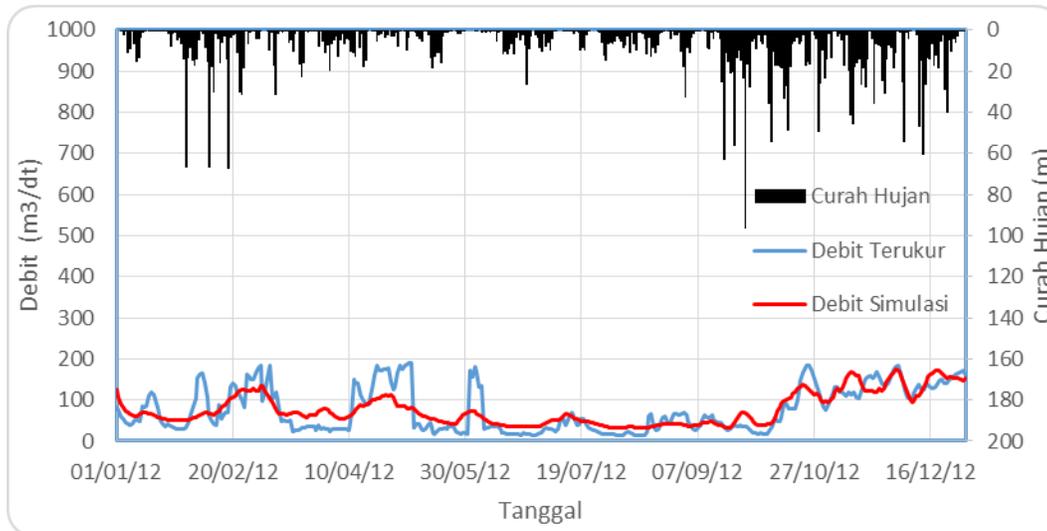
25	v__SHALLST.gw	9056.138672
26	v__GW_SPYLD.gw	0.240335

C. Analisis Debit Dengan Tata Guna Lahan 2012

Kalibrasi untuk tahun 2012 dilakukan sebanyak 4 kali, untuk iterasi pertama dilakukan 10 simulasi dan iterasi selanjutnya sebanyak 300 simulasi setiap iterasinya. Kalibrasi dilakukan dengan membandingkan debit harian dari AWLR Pantai Cermin pada tahun 2012 dengan hasil simulasi model tahun 2012. Parameter dan masukan nilai akhir yang digunakan pada proses kalibrasi akhir disajikan pada tabel 6 grafik hasil kalibrasi yang disajikan pada Gambar 6. Nilai masukan tersebut memberikan hasil validitas R^2 sebesar 0.62, dan NS sebesar 0.62 untuk debit harian. Nilai tersebut memenuhi persyaratan yang telah ditentukan.



Gambar 5. Perbandingan Grafik Hidrograf Debit Terukur dan Debit Simulasi Tahun 2007 Dengan Kalibrasi.



Gambar 6. Perbandingan Grafik Hidrograf Debit Terukur dan Debit Simulasi Tahun 2012 Dengan Kalibrasi.

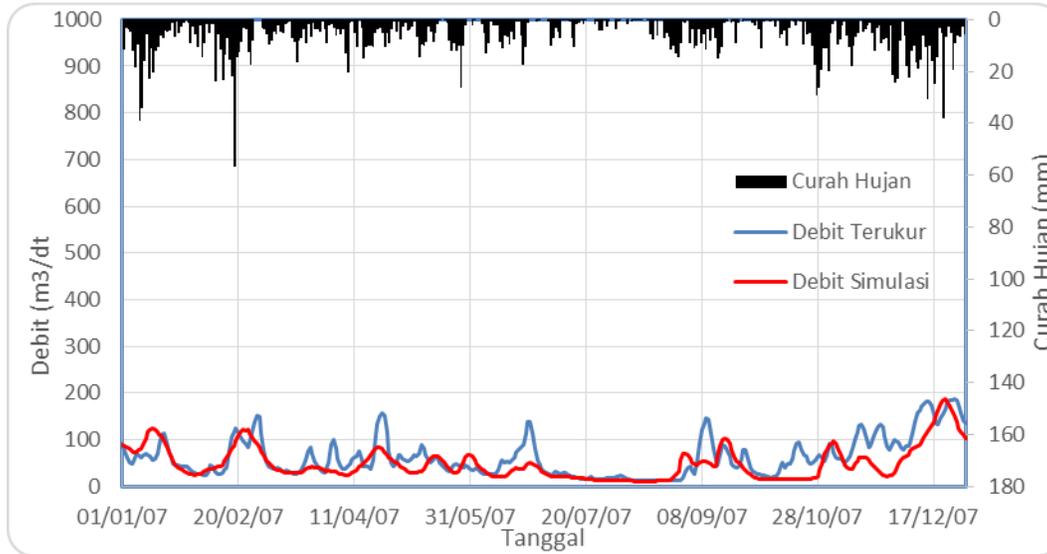
Tabel 6. Parameter dan nilai masukan yang digunakan untuk kalibrasi 2012

No	Parameter	Fitted Value
1	r_CN2.mgt	0.1685830
2	v__ALPHA_BF.gw	0.7536370
3	v__GW_DELAY.gw	167.7660520
4	v__REVAPMN.gw	175.7309720
5	v__GWQMN.gw	-234.6008760
6	v__RCHRG_DP.gw	0.2649020
7	v__GW_REVAP.gw	0.2208550
8	r__SOL_K().sol	13.2249750
9	r__SOL_AWC().sol	0.3797670
10	r__SOL_Z().sol	3.1826880
11	v__CH_L1.sub	13.4296600
12	v__CH_S1.sub	3.2552960
13	v__CH_K1.sub	200.1769560
14	v__CH_W1.sub	322.3442990
15	v__OV_N.hru	26.7068630
16	v__EPCO.hru	0.2372540
17	v__CANMX.hru	115.5664060
18	v__ESCO.hru	0.4686360
19	v__SLSUBBSN.hru	111.8547520
20	v__HRU_SLP.hru	1.3391870
21	v__SURLAG.bsn	6.2325420
22	v__CH_K2.rte	329.0134280
23	v__CH_N2.rte	0.1899710
24	v__ALPHA_BNK.rte	0.9983800
25	v__SHALLST.gw	32237.7460940
26	v__GW_SPYLD.gw	0.2660490

D. Validasi Model

Proses validasi pada penelitian ini dilakukan dengan mengkalibrasi data debit tahun 2007 menggunakan *range* parameter – parameter DAS tahun 2012. Tahun 2012 dipilih karena hasil kalibrasi pada tahun ini dinilai paling optimal, dimana menghasilkan nilai validitas terbaik dibanding tahun lainnya. Pada Gambar 7 disajikan perbandingan antara hidrograf hasil pemodelan dengan hidrograf terukur di lapangan untuk kondisi parameter yang sama pada saat kalibrasi tapi dengan periode waktu yang berbeda, yaitu periode tahun 2007. Untuk memeriksa lebih jauh tentang keandalan hasil pemodelan pada tahap validasi ini, maka dicari nilai-nilai parameter koefisien determinasi dan efisiensi Nash-Sutcliffe. Validasi tahun 2007 ini menghasilkan Nilai R^2 sebesar 0,51 dan NS sebesar 0,40. Hasil validasi untuk tahun 2007 ini dapat dikatakan valid, karena telah

memenuhi persyaratan nilai R^2 dan NS yang seharusnya.



Gambar 7. Perbandingan Grafik Hidrograf Debit Terukur dan Debit Simulasi Tahap Validasi Tahun 2007.

E. Analisis Sensitivitas Parameter SWAT

Hasil analisa sensitifitas ditampilkan dalam tabel 7. secara berurutan mulai dari yang paling sensitif berdasarkan nilai *p-value*. Semakin kecil nilai *p-value* maka semakin signifikan parameter tersebut dimana nilai terkecil adalah nol (Neitsch et al.,2002).

Analisa sensitifitas dilakukan pada simulasi tahun 2012. Dari 26 parameter yang diubah, terdapat 3 parameter yang dinilai memiliki pengaruh paling tinggi terhadap hasil model dari SWAT, yaitu SOL_Z, RCHRG_DP dan ALPHA_BF. Diantara kelima parameter yang sensitif tersebut, SOL_Z adalah parameter yang paling sensitif dengan nilai *p-value* adalah 0.

Tabel 7. Analisa Sensitivitas Untuk Parameter Terkalibrasi

Parameter	<i>P-Value</i>	Parameter	<i>P-Value</i>
R__SOL_Z(.).sol	0.000000	R__CN2.mgt	0.540581
V__RCHRG_DP.gw	0.005306	V__REVAPMN.gw	0.669068
V__ALPHA_BF.gw	0.071431	V__CH_L1.sub	0.682375
V__SURLAG.bsn	0.104147	V__CH_K1.sub	0.734374
V__CH_S1.sub	0.135289	V__GW_SPYLD.gw	0.800050
V__CH_N2.rte	0.305940	V__OV_N.hru	0.806490
V__HRU_SLP.hru	0.325450	V__CANMX.hru	0.820380
V__SHALLST.gw	0.350979	V__CH_K2.rte	0.839740
R__SOL_K(.).sol	0.354163	V__GW_DELAY.gw	0.843278
V__GWQMN.gw	0.485722	V__CH_W1.sub	0.855367
V__EPCO.hru	0.518576	V__SLSUBBSN.hru	0.878348
V__ALPHA_BNK.rte	0.529180	V__ESCO.hru	0.922239
V__GW_REVAP.gw	0.530359	R__SOL_AWC(.).sol	0.976567

F. Analisis Ketersediaan Air

Metode analisis ketersediaan air pada penelitian ini adalah dengan perhitungan nisbah Q_{maks}/Q_{min} yaitu membandingkan nilai Q_{maks}/Q_{min} tiap periode. Nilai nisbah Q_{maks}/Q_{min} dapat mengidentifikasi suatu DAS mengalami perubahan kekritisannya. Nilai Nisbah sebuah DAS

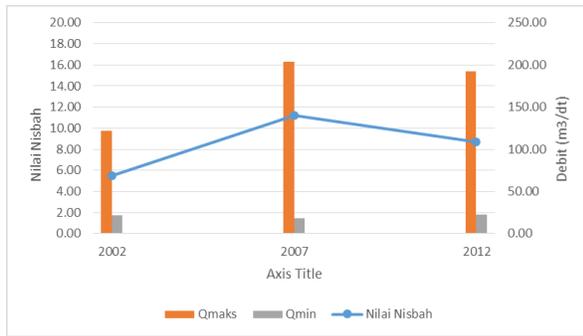
dihitung dengan menghitung nilai perbandingan Q_{maks} dan Q_{min} dari data debit bulanan rata-rata, kemudian dihitung rata-rata nilai nisbah Q_{maks} dan Q_{min} tiap tahunnya. Jika nilai nisbah semakin besar maka DAS tersebut semakin kritis dan dapat disimpulkan bahwa ada kecenderungan air mengalami penurunan ketersediaan.

Perhitungan nilai nisbah Q_{maks}/Q_{min} pada debit hasil simulasi tahun 2002, 2007 dan 2012 dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 8. Perhitungan Nisbah Q_{maks}/Q_{min}

Tahun	Q_{maks}	Q_{min}	Nilai Nisbah
2002	121,7	22,02	5,53
2007	203,50	18,14	11,22
2012	192,1	22,12	8,68

Dari Tabel diatas dapat diketahui bahwa ketersediaan air dari tahun 2002 sampai dengan 2012 mengalami peningkatan dan penurunan seperti yang dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Perubahan Nilai Nisbah DAS Tapung Kiri

Pada periode tahun 2002 hingga 2012 nilai nisbah cenderung mengalami peningkatan yaitu dari 5,53 menjadi 8,68. Hal ini terjadi karena adanya perubahan beberapa penggunaan lahan di DAS Tapung Kiri yang dapat menyebabkan meningkatnya nilai curve number (CN). Semakin besar luasan tata guna lahan yang memiliki nilai CN tinggi maka kecendrungan terjadinya peningkatan nilai nisbah akan semakin besar pula.

Walaupun mengalami peningkatan dan penurunan nilai nisbah Q_{maks}/Q_{min} dari tahun 2002, 2007 dan 2012, nilai nisbah Q_{maks}/Q_{min} pada DAS Tapung Kiri masih dikategorikan baik karena nilai nisbah masih lebih kecil dari 50. Apabila nilai nisbah

Q_{maks}/Q_{min} kurang dari 50 (<50), maka DAS masih dikategorikan baik (Asdak, 1995).

D. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan antara lain:

- 1.a. Uji kehandalan model hidrologi dengan data terukur di lapangan yaitu stasiun AWLR Pantai cermin dapat dilihat dari parameter koefisien determinasi (R^2) dan efisiensi Nash-Sutcliffe (NS). Nilai R^2 dan NS yang diperoleh pada tahun 2002, 2007 dan 2012 dinyatakan handal karena telah memenuhi persyaratan yaitu $0,4 < R^2 < 0,7$ dan $0,36 > NS < 0,75$
- b. Pada tahap validasi di stasiun AWLR Pantai cermin pada tahun 2007 memberikan nilai $R^2 = 0.51$ dan $NS = 0.40$. Hasil kalibrasi dan validasi menunjukkan bahwa program SWAT dapat memodelkan perubahan tata guna lahan di Sub DAS Tapung dengan baik.
2. Analisis sensitifitas parameter pada program swat menghasilkan 3 parameter yang paling sensitif yaitu kedalaman lapisan tanah, fraksi perkolasi akuifer dalam, faktor alpha aliran bawah tanah.
3. Hasil perhitungan nisbah Q_{maks}/Q_{min} pada tahun 2002, 2007 dan 2012 secara berturut-turut adalah 10,725, 6.834 dan 12.951. Hasil ini menunjukkan dari tahun 2002 hingga 2012 sub DAS Tapung mengalami kecendrungan penurunan ketersediaan air.

E. SARAN

Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan dalam penelitian ini, maka dapat ditulis saran yaitu:

1. Diperlukan survey lapangan untuk mengecek vegetasi secara langsung pada beberapa titik lokasi ditiap jenis tutupan lahan. Hal ini bertujuan agar proses

klasifikasi menggunakan citra satelit menjadi lebih akurat.

2. Diperlukan stasiun pengukuran curah hujan dan stasiun iklim yang berada di dalam area DAS sehingga data iklim bisa lebih baik menggambarkan kondisi DAS.
3. Adanya kajian lebih lanjut mengenai pemodelan hidrologi selain menggunakan model SWAT untuk dapat diterapkan di lokasi studi stasiun AWLR Pantai Cermin.

F. DAFTAR PUSTAKA

- Asdak, C., 1995. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- Arsyad, S., 2006. *Konservasi Tanah dan Air*. IPB Press, Bogor.
- Hambali, R. 2008. *Analisis Ketersediaan Air dengan Model Mock*. Bahan Ajar. Yogyakarta : Universitas Gadjah Mada
- Kodoatie RJ., Sjarief R., 2010. *Tata Ruang Air*. Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Triatmojo, B. 2010. *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta : Beta Offset
- Purbawa, G.A. dan Wiryajaya, N.G. (2009), *Analisis Spasial Normal Ketersediaan Air Tanah Bulanan di Provinsi Bali*, Balai Besar Meteorologi dan Geofisika Wilayah III Denpasar, BMKG, Bali.
- Afianto, A., 2011. *Kalibrasi Dan Validasi Model Mw-Swat Pada Analisis Debit Aliran Sungai Sub Das Ciliwung Hulu*. Skripsi. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Irsyad F, 2012. *Analisis Debit Cidanau Dengan Aplikasi SWAT*. Jurnal Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor. Bogor