ANALISIS KOEFISIEN REGIM SUNGAI (KRS) DI WADUK PLTA KOTOPANJANG MENGGUNAKAN MODEL HIDROLOGI SWAT

Nurdin[1)] dan Imam Suprayogi[2)]

[1,2] Fakultas Teknik Universitas Riau
Email: Nurdin.gis@gmail.com; drisuprayogi@yahoo.com

Abstract

Fluktuasi debit air antara musim hujan dan musim kemarau tidak terlepas dari kondisi medan 90,50% dari luas DTA Waduk PLTA Kotopanjang adalah kelas kemiringan diatas 40%, jenis tanah yang didominasi oleh Podsol merah kuning 50,76% dan Brown forest soil 32,28% dari luas DTA serta luasnya lahan terbuka atau penggundulan hutan yang dapat mempercepat aliran masuk ke waduk. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa besaran Koefisien Regim Sungai (KRS) yang terjadi berdasarkan parameter iklim, kelas lereng dan penggunaan lahan yang ada di DTA Waduk PLTA Kotopanjang. Simulasi model hidrologi SWAT yang dilkukan adalah untuk mendapatkan data karakteristik hidrologi di DTA waduk PLTA Koto Panjang berdasarkan data-data iklim (curah hujan, suhu udara, radiasi matahari, kelembaban udara, dan kecepatan angin) yang dipengaruhi oleh parameter tanah pada kondisi penggunaan lahan tahun 2011 dan 2014. Periode simulasi dilaksanakan antara tahun 2009 – 2014 dengan fase percobaan (warming-up) tahun 2009 - 2010, kalibrasi tahun 2011 – 2012, dan validasi tahun 2013 - 2014. Hubungan antara debit model SWAT dengan debit observasi menggunakan SWAT CUP SUFI II terhadap 11 parameter yang paling sensitif dan 4 parameter yang kurang sensitive ditunjukan oleh nilai koefisien determinan (R^2) = 0,76 dan efisiensi NS = 0,75 yang tergolong baik. Hasil validasi memperlihatkan hubungan antara debit observasi/hasil pengukuran dan debit model/simulasi dengan koefisien determinasi (R^2) dan NS masing-masing sebesar 0,64 dan 0,60 termasuk dalam kategori memuaskan. Pada penggunaan lahan tahun 2011 menghasikan debit maksimum (Qmak) dan debit minimum (Qmin) simulasi/model masing-masing 521,70 m^3/dt dan 43,61 m^3/dt dengan nilai KRS sebesar 11,949. Untuk tahun 2014 debit maksimum (Qmak) dan debit minimum (Qmin) simulasi/model yang dihasilkan masing-masing 532,20 m^3/dt dan 42,72 m^3/det dengan nilai KRS sebesar 12,212. Nilai KRS tahun 2011 dan 2014 yang masing-masing 11,949 dan 12,212 < 50 masih tergolong baik. Untuk menjaga fluktuasi antara debit maksimum dan minimum agar tidak terlalu besar diperlukan usaha pengelolaan penggunaan lahan yang cocok dan sesuai dengan kondisi/situasi di lapangan terutama dalam jenis vegetasinya.

Keywords : Daerah tangkapan air, iklim, kemiringan lahan, penggunaan lahan, model SWAT, koefisien regim sungai.

1. PENDAHULUAN

Bendungan Waduk PLTA Kotopanjang berjarak sekitar 20 km dari Bangkinang atau 87 km dari Kota Pekanbaru, dibangun pada tahun 1992 dan dioperasikan pada tahun 1997 dengan pasokan air utama dari Batang Kampar Kanan yang berhulu di Kecamatan Mapat Tunggul Selatan Kabupaten Pasaman dan Batang Mahat berhulu di Kecamatan Pangkalan Koto Baru Kabupaten Lima Puluh Kota-Sumatra Barat (PLN, 2002) *dalam* Siagian , 2010))[1]. Luas DTA atau *catchment area* Waduk PLTA Kotopanjang adalah 3.337 km², genangan waduk 124 km² (12.400 ha), muka air maksimal 85 mdpl pada kondisi persediaan air penuh (*full supply*) dapat memproduksi listrik 114 MW (3x38 MW) atau 542 GWh/tahun (PT. PLN (Persero), 2014))[2]. Disamping fungsi utama waduk sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Air, dapat juga dimanfaatkan sebagai sarana transportasi, objek wisata, kegiatan perikanan, pertanian

© Hak cipta milik Universitas Riau
https://repository.unri.ac.id
Repository University of Riau
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

dan keperluan mandi cuci kakus (MCK) (Rosalina *et al*., 2014))[3].

Permasalahan yang sering terjadi di perairan Waduk PLTA Kotopanjang dalam menghasilkan tenaga listrik adalah, fluktuasi debit air antara musim kemarau dan musim hujan yang mempengaruhi tinggi permukaan air waduk. Apabila terjadi penurunan tinggi permukaan air di bawah 73,50 mdpl ke 3 turbin yang ada tidak bisa beroperasi semua, berdasarkan data pengusahaan Unit PLTA Kotopanjang dalam 15 tahun (2001 – 2015) tercatat level air tertinggi rata-rata bulanan terjadi pada bulan Februari 2010 adalah 84,20 mdpl, sedangkan level air terendah rata-rata bulanan terjadi pada buluan Oktober 2015 adalah 74,39 mdpl. Fluktuasi debit air antara musim hujan musim kemarau tidak terlepas dari kondisi medan 90,50% dari luas DTA Waduk PLTA Kotopanjang adalah kelas kemiringan di atas 40%, yang sangat berpotensi untuk mempercepat curah hujan sampai ke daerah dengan kelas kemiringan terendah lebih kecil dari 8% yang hanya 1,98% dari luas DTA. Disamping itu jenis tanah yang ada di DTA Waduk PLTA Kotopanjang yang luasnya didominasi oleh jenis Podsol merah kuning 50,76% dan Brown forest soil 32,28% dari luas DTA dan berdasarkan hasil uji sifat fisik tanah untuk jenis Podsol merah kuning ini mempunyai kadar air 12,75% dengan permeabilitas 31,68%. Hasil intrepretasi citra Landsat tahun 2002 tutupan lahan di DTA Waduk Kotopanjang terdiri dari belukar/alang-alang 407,723 km², hutan 1.167.080 km², kebun campuran 632,921 km², lahan terbuka 241,665 km², tanaman budidaya 668,981 km² (Mulyadi, 2003))[4]. Namun menurut Mustiono (2010))[5]. dalam selang 8 tahun tutupan lahan di DTA Waduk PLTA Kotopanjang didapatkan belukar/alang-alang 330,123 km², hutan 904,327 km², kebun campuran 343,021 km², lahan terbuka 374,204 km², tanaman budidaya 966,695 km². Faktor luasnya lahan terbuka atau penggundulan hutan dapat mempercepat aliran masuk ke waduk dan berdampak pula terhadap tingginya tingkat erosi yang selanjutnya menyebabkan terjadinya pendangkalan yang dapat memperkecil volume tampungan waduk.

Dengan pemanfaatan teknologi *Geographic Information system* (GIS) lebih mengarah pada teknologi informasi yang digunakan untuk pengumpulan, penyimpanan, analisa dan penampilan data-data spasial (*geographic*) dan data-data non spasial, dengan komponen yang terdiri dari komputer (*software* dan *hardware*), data spasial (sel grid raster, titik, garis, dan poligon), dan tabulator data atribut (Charter, 2004)[6]. Model SWAT yang dikemukakan oleh adalah merupakan suatu model analisa sungai atau DAS, yang dikembangkan oleh Dr Jeff Arnold untuk USDA *Agricultural Research Service* (ARS) (Neitsch *et al*., 2011) [7]. Dengan demikian model SWAT ini dapat dimanfaatkan untuk menganalisa besarnya Koefisien Regim Sungai (KRS) yang disebabkan pengaruh iklim, penggunaan lahan, dan jenis tanah dalam suatu DTA.

2. METODE PENRLITIAN

2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini adalah DTA dan Waduk PLTA Kotopanjang dalam Provinsi Sumatera Barat Kabupaten Pasaman Kecamatan Mapat Tunggul Selatan, Kabupaten Lima Puluh Kota Kecamatan Kapur IX, Bukik Barisan dan Pangkalan Koto Baru, dan dalam wilayah Provinsi Riau Kabupaten Kampar adalah Kecamatan Koto Kampar Hulu dan XIII Koto Kampar.

2.2 Peralatan dan Sumber Data

Peralatan uji sampel tanah di Laboratorium Tanah Fakultas Petanian Universitas Riau dan perangkat keras berupa GPS untuk pengambilan koordinat titik sampel penutup lahan, sampel tanah dan perangkat komputer yang cukup untuk mejalankan sistem operasi dan aplikasi sistem informasi geografis dan SWAT.

Perangkat lunak yang terdiri dari perangkat lunak SIG untuk pengolahan citra, perangkat lunak SWAT yang terdiri dari ArcSWAT dan SWATCUP untuk model hidrologi.

Data primer berupa pengambilan sampel jenis tanah dan lokasi penggunaan lahan yang ada di dalam wilayah DTA Waduk PLTA Kotopanjang, serta pengambilan sampel tanah sesuai dengan jenis tanah yang ada di dalam DTA Waduk PLTA Kotopanjang.

Sedangkan data sekunder diperoleh dengan cara mengumpulkan jurnal penelitian, citra Landsat 7 tahun 2011, citra Landsat 8 tahun 2014, citra Shuttle Radar Topography Mission (STRM) 90 x 90 m, Peta Administrasi

Repository University of Riau
https://repository.unri.ac.id
Hak cipta milik Universitas Riau
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Kabupaten Kampar, Pasaman, dan Lima Puluh Kota tahun 2010, Peta penggunaan lahan tahun 2011, Peta Sungai Rupa Bumi Indonesia, Peta jenis tanah dan Peta kelas lereng, data iklim yang terdiri temperatur, kelembaban relatif, angin, dan radiasi matahari dipakai data hasil unduhan, data curah hujan stasiun Batu Bersurat dan stasiun Silam dan stasiun Tanjung Pati, serta data debit dan level air Waduk PLTA Kotopanjang tahun 2009 – 2015.

2.3 Metode Penelitian

Data Peta penggunaan lahan tahun 2011 yang tertutup awan diklasifikasi ulang dengan bantuan citra Lansat 7 tahu 2011 dan Peta penggunan lahan tahun 2014 diklasifikasi menggunakan citra Landsat 8 tahun 2014 dengan jumlah kelas berpedoman pada Peta penggunaan lahan tahun 2011 dengan menggunakan perangkat SIG. Untuk kepentingan dalam menjalankan model hidrologi ArcSWAT dan SWAT CUP SUFI , Peta administrasi Kabupaten Kampar, Pasaman dan Lima Puluh Kota yang telah digabung, Peta penggunaan lahan tahun 2011 dan 2014, Peta sungai RBI, Peta kelas lereng, Peta jenis tanah, dilakukan transformasi koordinat kedalam proyeksi UTM datum WGS 84 zone 47.

Pengisian data atribut tanah ke dalam file SOL pada database SWAT dalam dua jenis bagian sifat fisik dan kimia tanah, masukan untuk jenis tanah terdiri dari nama tanah (SNAM), jumlah horizon (Nlayer), group hidrologi tanah (HYDGRP), kedalaman efektif (SOL_ZMX) dan tekstrur semua lapisan tanah. Pengisian masukan data untuk masing-masing horison meliputi ketebalan horison dalam mm (SOL_Z), bulk density dalam g/cm³ (SOL_BD), kapasitas menahan air dalam mm H2O/mm tanah (SOL_AWC), kandungan liat, pasir dan debu (% bobot tanah), kandungan bahan organik dan fraksi batuan (% berat batuan), Saturated Hidroulic Conductivity dalam mm/jam (SOL_K), nilai erodibilitas tanah menurut USLE. Memasukkan data iklim (*Weather Generator*) ke dalam database SWAT yang terdiri dari temperatur udara minimum dan maksimum harian (°C), curah hujan harian (mm), kecepatan angin harian (m/dt), kelembaban udara harian (fraksi) radiasi sinar matahari harian (MJ/m²) dalam membentuk weather generator yang disimpan dalam file untuk TMP, PCP, WIND, RH dan SOLAR yang berisikan ID, NAME, LATITUDE, LONGITUDE dan ELEVATION, sedangkan file T, P, W, R adalah data iklim harian tahun 2009 – 2014.

Untuk menjalankan model SWAT yang pertama dilakukan adalah pembuatan project ArcSWAT. Dalam model SWAT deliniasi batas DTA atau DAS dilakukan sendiri oleh program atau disebut *Watershed Delineator*, dengan meng-*overlay* titik SPAS, Peta sungai RBI dan Peta DEM sebagai variabel pembentuk *Watershed*. Hasil Peta *watershed* di-*overlay* menggunakan perintah clip pada *geoprocessing* terhadap masing-masing Peta penggunaan lahan tahun 2011 dan 2014, Peta jenis tanah, Peta kelas lereng hingga luasnya sama dengan luas *watershed* atau DTA. Pembentukan Hidrological Respone Unit (HRU) dengan mendefinisikan *dataset* tutupan lahan, jenis tanah, kelas lereng dan klasifikasi berdasarkan atribut tutupan lahan, jenis tanah, kelas lereng dan overlay *dataset* tutupan lahan, jenis tanah dan kelas lereng. *Running* ArcSWAT dimulai dari *Starting Date* atau *Editing Date* dalam format tanggal/bulan/tahun, *Rainfal ditribution* jika data iklim yang akan digunakan adalah keluaran dari *Weather Generator Data*, pemilihan *Printout Setting* dengan pilihan *Daily* atau *Monthly* dengan mengisi kolom NYSKIP dengan angka 2 yang artinya data yang digunakan adalah 2 tahun data sebagai *warmingup* model dan *unchek list* pilihan *Limit* HRU *Output*, pada *Setup SWAT Run* akan memperlihatkan jendela *Finished* SWAT Setup dan OK untuk menjalankan simulasi.

Untuk menjalankan *uotput* simulasi pada SWAT Simulation pilih *Read SWAT Output* yang mempunyai *checklist output.rch*, *output.sub*, dan *output.hru* yang masing-masing *check list* ini menunjukkan level dari *output* hasil simulasi. *Output.rch* hasil simulasi pada level sungai (*reach*), output.sub hasil simulasi pada level *sub basin* dan *output*.hru hasil simulasi pada level HRU, semua *file* ini tersimpan dalam folder *Txtin Out* di foldel *Scenario*. *Inport File to Database* adalah untuk memunculkan jendela *Mirosoft Acces* berisikan *file* hasil simulasi di *checklist* dan dengan memberikan nama *file* pada kotak *Save* SWAT *Simulation* secara otomatis akan tersimpan saat menjalankan perintah *Save Simulation*.

Repository University of Riau
https://repository.unri.ac.id
Hak cipta milik Universitas Riau
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Model SWAT menggunakan SWAT-CUP SUFI 2 pada proses kalibrasi merupakan pengujian model agar dapat menggambarkan keadaan yang sebenarnya, sedangkan validasi adalah perbandingan secara visual antara kurva debit hasil simulasi dengan kurva hasil pengukuran stasiun pengamatan (Neitsch *et al*., 2011)[7]. Analisa statistik yang digunakan dalam kalibrasi dan validasi adalah koefisien Nash Sutcliffe (NS), dan koefisien determinasi (R^2) sperti yang dikemukakan oleh Nash-Sutcliffe (1970) *dalam* Abbaspour (2015)[8], dan dilakukan juga oleh: Mechram *et al*. (2012))[9], Hunink *at al*. (2013))[10], Adeniyi *et al*. (2014))[11], Firdaus *et al*.(2014)[12], Ridwansyah *et al*. (2014))[13], Andono *et al*. (2014)[14], Mubarok *at al*. (2015))[15], dan Ferijal *et al*. (2015))[16].

1. *Nash Sutcliffe* (NS) dihitung dengan persamaan;

$$NS = 1 - \left[\frac{\sum_i (Q_{si} - Q_{mi})^2}{\sum_i (Q_{si} - \overline{Q}_{mi})^2} \right] \quad (1)$$

NS = koefisien Nash Sutc

Q_{si} = variabel pengamatan (debit actual),

Q_{mi} = variabel hasil simulasi (debit hasil model),

$\overline{Q}$ = variabel rata-rata (rata-rata debit terukur) Koefisien determinasi (R^2) atau persamaan linier dihitung dengan;

$$R^2 = \frac{\left[\sum_i (Q_{mi} - \overline{Q}_m)(Q_{si} - \overline{Q}_{si}) \right]^2}{\left[(Q_{mi} - \overline{Q}_m)^2 (Q_{si} - \overline{Q}_s)^2 \right]} \quad (2)$$

Q_m = variabel pengamatan (debit aktual terukur) (mm),

$\overline{Q}_m$ = variabel rata-rata pengamatan (debit aktual ratarata terukur) (mm),

Q_{si} = vaariabel perhitungan model (debit hasil simulasi) (mm),

Q_s = variabel rata-rata perhitungan model (debit hasil simulasi) (mm), dengan nilai R^2 antara 0 – 1.

Analisa Karakteristik Hidrologi menggunakan Model SWAT sebagai dampak penggunaan lahan terhadap karakteristik hidrologi menggunakan model SWAT ini untuk mendapatkan Koefisien Koefisien Regim Sungai (KSR) berdasarkan (Pramono *et al*., 2014)[17].

1. Koefisien rezim sungai (KRS) ;

$$KRS = \frac{Q_{maks}}{Q_{\min}} \quad (3)$$

Q_{maks} = debit harian rata-rata (Q) tahunan tertingi,

$Q_{\min}$ = debit harian rata-rata (Q) tahunan terendah.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengisian Data Atribut

Pengisian data atribut tanah ke dalam file SOL pada *database* SWAT dalam hal ini ArcSWAT 2012 dalam dua jenis bagian sifat fisik dan kimia tanah, masukan untuk jenis tanah terdiri dari nama tanah (SNAM), jumlah horizon (Nlayer), group hidrologi tanah (HYDGRP), kedalaman efektif (SOL_ZMX) dan tekstrur semua lapisan tanah. Pengisian masukan data untuk masing-masing horison meliputi ketebalan horison dalam mm (SOL_Z), bulk density dalam g/cm² (SOL_BD), kapasitas menahan air dalam mm H2O/mm tanah (SOL_AWC), kandungan liat, pasir dan debu (% bobot tanah), kandungan bahan organik dan fraksi batuan (% berat batuan), Saturated Hidroulic Conductivity dalam mm/jam (SOL_K), nilai erodibilitas tanah menurut USLE. Pengisian data atribut berdasarkan kreteria hasil uji sifat fisik tanah terdiri dari jenis tanah Aluvial, Podsolik merah kuning, dan Latososl adalah nilai C-Organik , Kadar air, Tekstur (pasir, debu, liat), Permeabilitas, BD, PD, TRP dan Erodibilitas. Sedangkan untuk pengisian data kedalaman lapisan adalah berdasarkan pengambilan sampel kedalaman lapisan tanah pada tiap jenis tanah tersebut.

Memasukkan data iklim kedalam database SWAT yang terdiri dari temperatur udara minimum dan maksimum harian (°C), curah hujan harian (mm), kecepatan angin harian (m/dt), kelembaban udara harian (fraksi) radiasi sinar matahari harian (MJ/m²) dalam membentuk weather generator yang disimpan dalam file untuk TMP, PCP, WIND, RH dan SOLAR yang berisikan ID, NAME, LATITUDE, LONGITUDE dan ELEVATION, sedangkan file T untuk temperatur, P untuk curah hujan, W untuk

Repository University of Riau
https://repository.unri.ac.id
Hak cipta milik Universitas Riau
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:
penggunaan untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
2. dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.

kecepatan angin, R untuk kelembaban, dan S untuk sinar matahari adalah data iklim harian tahun 2009 – 2014 dalam format *notpad* yang dapat diisikan ke dalam file TMP, PCP, WIND, RH, dan SOLAR dalam pembentukan *weather generator*. Data unduhan dari *project Global Weather* yang digagas Texas A&M University (TAMU) berupa data iklim yang ditujukan sebagai input data bagi program ArcSWAT dalam wilayah kajian adalah 3 (tiga) stasiun yang memberikan data unsur iklim wilayah Waduk PLTA Kotopanjang untuk data temperatur, kelembaban, kecepatan angin, dan seinar matahari, sedangkan data curah hujan menggunakan data stasiun hujan Batu Bersurat, Silam dan Tanjung Pati.

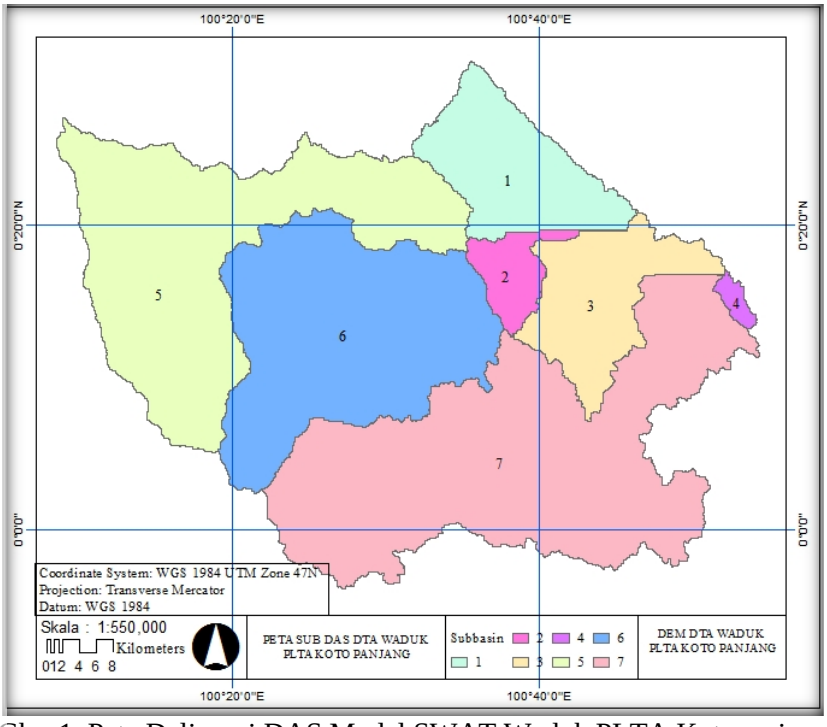
3.2. Karakteristik Hidrologi dengan Model SWAT

Karakteristik hidrologi di Waduk PLTA Kotopanjang dianalisa menggunakan model SWAT dengan rangkaian kegiatan berupa deliniasi DAS (*Watershed Delineator*), pembentukan HRU (*Hydrologi Respond Unit*), basis data iklim (*Weather Generator Data*), menjalankan (simulasi) model SWAT menggunakan ArcSWAT 2012, kalibrasi dan validasi model menggunakan SWAT CUP SUFI 2.

1. Delineasi DAS (*Watershed Delineator*)

Citra Shuttle Radar Topography Mission (STRM) 90 x 90 m, sesuai dengan jaringan anak sungai dan sungai utama didelineasi secara otomatis. Setelah diuji cobakan untuk mendapatkan 7 sub DAS seperti pada Gambar 1, berdasarkan tinjauan pustaka trshold (ambang batas) yang untuk pembentukan 7 sub DAS tersebut sebesar 24.000 ha. Sehingga luas Sub DAS yang terdeliniasi untuk wilayah Waduk PLTA Kotopanjang adalah seluas 330.240,36 ha.

Dari 7 sub DAS yang didapat Sub DAS yang mempunyai luasan terbesar terdapat pada Sub DAS 7 dengan luas 127.777,19 ha (38,69%), Sub DAS yang terkecil terdapat pada Sub DAS 3 dengan luas 3.765,93 ha (1,14%) dari luas DTA sedangkan *Outlet* waduk terdapat pada Sub DAS 4. Sumber air Waduk PLTA Kotopanjang dari sebelah Utara sumber air dari Batang Kampar Kanan dalam Sub DAS 5 dan Sub DAS 1 yang bergabung dengan bagian Tengah dengan sumber air dari Batang Kapur berada pada Sub DAS 6, Sub DAS 2 dan Sub DAS 3. Dari sebelah Selatan dengan sumber air dari Batang Mahat berada pada Sub DAS 7 dan Sub DAS 4 tempat berdirinya bendungan PLTA Kotopanjang.



Gbr. 1. Peta Delineasi DAS Model SWAT Waduk PLTA Kotopanjang

Hak cipta milik Universitas Riau
Repository University of Riau https://repository.unri.ac.id
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau

Repository University of Riau
https://repository.unri.ac.id
Hak cipta milik Universitas Riau
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

2. Penyamaan Luas Peta terhadap luas *Watershed*

Dari hasil luas watershed yang telah didapat dari proses watershed delineator sebagai Peta Sub-DAS atau DTA Waduk PLTA Kotopanjang maka dilakukan penyamaan luas terhadap peta-peta lain yang digunakan dalam penelitian ini. Peta-peta ini adalah Peta Administrasi, Peta kelas lereng, Peta penggunaan lahan tahun 2011 dan 2014, dan Peta jenis tanah

dengan proses *processing* dengan *tool clip* sehingga diperoleh luasan yang sama dengan Peta Sub-DAS atau DTA Waduk PLTA Kotopanjang. Hal ini adalah untuk mempermudah dalam proses pembentukan Hydrological Response Unit (HRU) yang diperlukan dalam analisis karakteristik hidrologi. Hasil penyamaan luas terhadap peta-peta yang dipergunakan dalam analysis karakteristik hidrologi adalah :

a. Peta Jenis Tanah

Jenis tanah yang ada di dalam wilayah DTA Waduk PLTA Kotopanjang terdiri dari 4 (empat) jenis tanah yakni, aluvial, podsolik merah kuning, dan Latososl. Didominasi oleh jenis podsol merah kuning 50,76% dari luas DTA tersebar di wilayah Riau yakni, Kabupaten Kampar 20,68%, dan di wilayah Sumatera Barat yang terdiri dari Kabupaten Pasaman 96,95% dan Kabupaten Lima Puluh Kota 48,98% dari luas masing-masing Kabupaten dalam DTA.

b. Kelas Lereng

Dari topografi yang ada kelas kemiringan lereng tersebut dibagi dalam 5 kelas yakni, kelas lereng < 8%, 8 – 15%, kelas lereng 16 – 25%, kelas lereng 26 -40%, dan kelas lereng > 40%. Kelas kemiringan lereng > 40% mendominasi sebagian besar wilayah DTA Waduk PLTA Kotopanjang, sedangkan kelas kemiringan 26 – 40% dibagian Utara dan Selatan bahagian Barat, begitu juga dengan kelas kemiringan < 8%, 8 -15%, dan 16 – 25% tersebar di bagian tengah Utara, Selatan dan Timur.

c. Penggunaan Lahan

Penggunaan lahan merupakan pemanfaatan sebidang lahan untuk tujuan tertentu, penggunaan lahan untuk pertanian secara umum dapat dibedakan atas penggunaan semusiman, tahunan, dan permanen (Caya, *et al*., 2014)[18]. Penggunaan lahan yang ada di DTA Waduk PLTA Kotopanjang tahun 2011 berasal dari rekaman citra Landsat 7 dari hasil klasifikasi Visual metode *semi automatic* dengan teknik *on screen digitizing* kombinasi band 4-5-3 dimana, berbagai kenampakan vegetasi baik alami maupun yang ditanam dapat terlihat dengan jelas.

Penggunaan lahan 2011 didomimasi oleh 4 jenis penggunaan lahan lahan yakni, hutan lahan kering primer (HP) 80.827,97 ha (25,40%), hutan lahan kering sekunder (Hs) 69.246,66 ha (21,76%), pertanian lahan kering (pt) 78.030,07 ha (24,52%), dan partanian lahan kering bercampur semak (Pc) 72.955,82 ha (22,93%) masing-masing dari luas daratan Kabupaten yang ada di dalam DTA Waduk PLTA Kotopanjang.

Penggunaan lahan tahun 2014 juga didomimasi oleh 4 jenis penggunaan lahan yakni, Penggunaan lahan hutan lahan kering primer (HP) 73.824,60 ha (23,20%), hutan lahan kering sekunder (Hs) 66.561,76 ha (20,91%), pertanian lahan kering (pt) 85.355,61 ha (26,82%), partanian lahan kering bercampur semak (Pc) 71.823,14 ha (22,57%) masing-masing dari luas daratan DTA tersebar dalam 3 kabupaten yang ada.

Berkurangnya luas kawasan hutan selama tahun 2011- 2014 adalah sebesar 9.688,27 ha (3,06%) dari luas daratan DTA, dan pada tahun 2014 kawasan hutan yang masih tersisa adalah 140.386,37 ha (44,11%) > 30% seperti yang dipersyaratkan oleh Undang-undang Nomor 41 tahun 1999. Jika dibandingkan dengan Sihotang (2012)[19] kawasan hutan di DTA Danau Toba hanya tersisa 23,83% dari luas daratan DTA Danau Toba dan Maryanto *et al*. (2014)[20] luasnya kawasan hutan DAS Way Besay hanya tersedia 13,60% dari luas DTA DAS Way Besay.

3. HRU (*Hydrologic Response Unit*)

Hasil reklasifikasi dan overlay dalam model SWAT diperoleh luasan penggunaan lahan, jenis tanah, dan kelas lereng dengan rasio ambang (*threshold by presentage*) berdasarkan Lampiran Peraturan Dirjen BPDASPS No. P.2/V-SET/2015, 5% untuk penggunaan lahan (jika poligon penggunaan lahan luasnya kurang dari 5% akan masuk ke dalam poligon terdekat), 5% untuk jenis tanah, dan 5% untuk kelas lereng. Proses ini

menghasilkan 60 HRU yang mempunyai karakteristik yang berbeda dari setiap HRU. HRU yang mempunyai penggunaan lahan, jenis tanah yang berada pada kelas lereng yang sangat curam > 40% dengan luas 187.857,81 ha atau 56,90% dari luas DTA.

4. Simulasi Model SWAT

Simulasi dalam menjalankan model SWAT menggunakan ArcAWAT 2012.10.1.18, adalah suatu proses untuk mendapatkan data karakteristik hidrologi di DTA waduk PLTA Koto Panjang berdasarkan data-data iklim (curah hujan, suhu udara, radiasi matahari, kelembaban udara, dan kecepatan angin) tahun 2009 - 2014, yang dipengaruhi oleh karakteristik tanah pada kondisi penggunaan lahan tahun 2011 dan 2014. Periode simulasi yang dilaksanakan pada tahun 2009 – 2014 dengan fase percobaan (warming-up) tahun 2009 - 2010, kalibrasi tahun 2011 - 2012, dan validasi tahun 2013 - 2014. Hubungan antara debit model SWAT dengan debit observasi ditunjukan oleh nilai koefisien determinasi (R^2) dan efisiensi NS. Untuk mendapatkan nilai R^2 dan NS maka proses selanjutnya adalah melakukan peroses kalibrasi.

4. Kalibrasi Model

Proses kalibrasi ini adalah untuk menyesuikan parameter-parameter yang berpengaruh tedahap model yang dapat memperkecil perbedaan hasil debit model SWAT dengan debit observasi menggunakan SWAT-CUP SUFI 2. Data debit bulanan yang digunakan dalam proses kalibrasi, disimulasikan mulai tanggal 1 Januari 2011 hingga 31 Desember 2012 pada penggunaan lahan tahun 2011. Nilai koefisien determinasi (R^2) dan efisiensi Nash-Sutcliffe (NS) simulasi data bulanan sebelum ada masukan parameter kalibrasi masing-masing adalah 0,67 dan 0,59 dengan hasil cukup memuaskan.

Untuk mendapatkan nilai R^2 dan NS yang lebih baik perlu dilakukan kalibrasi dan mendapatkan 15 parameter sensitif (Tabel 1) yang dilakukan dengan merubah nilai absolut parameter yang berpengaruh yaitu CN2, ALPHA_BF, GW_DELAY, GWQMN, GW_REVAP, ESCO, CH_N2, CH_K2, ALPHA_BNK, SOL_AWC, SOL_K, SOL_BD, SURLAG, USLE_P, dan SLSUBBSN. Pada penelitian terdahulu Anaba, *et al.* (2017)[21] mendapatkan 16 parameter paling berpengaruh di DTA Murchison Bay-Uganda, Seur et al. (2016) mendapatkan 13 parameter di DAS Weyib Pegunungan Bale-Tenggara Ethiopia, Mubarok *et al.* (2015)[15] mendapatkan 13 parameter di DAS Way Betung-Provinsi Lampung, dan Adeniyi *et al.* (2014)[11] di DTA Gumera-Ethiopia mendapatkan 10 parameter.

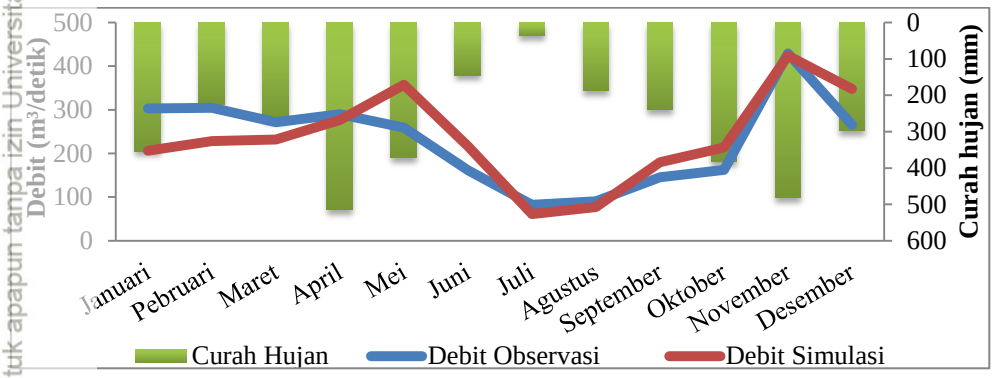
Berdasarkan coba-coba (trial and error) terhadap nilai absolut tersebut diperoleh nilai terpasang (fitted value) untuk ; CN2 sebesar 36,37, ALPHA_BF sebesar 0,67 hari, GW_DELAY sebesar 43,30 hari, GWQMN sebesar 321,68 mm(H2o), GW_REVAP sebesar 0,09, ESCO sebesar 0,16, CH_N2 sebesar 0,03 CH_K2 sebesar 254,69 mm/jam, ALPHA_BNK sebesar 0,16 hari, SOL_AWC sebesar 0,16 mm (H2O)/mm, SOL_K sebesar 254,13 mm/jam, SOL_BD sebesar 0,89 g/cm³, SURLAQ sebesar 4,16 hari, USLE_P sebesar 0,953, dan SLSUBBSN sebesar 31,439 m. Parameter masukan yang memberikan pengaruh terhadap hasil nilai R^2 dan NS dalam proses kalibrasi terdiri dari 11 parameter yang paling sensitif dan 4 parameter yang kurang sensitive berdasarkan kriteria sensitif jika, P-value < 0,05 atau t-stat > P-valu. Kalibrasi terhadap debit model/simulasi menggunakan data debit observasi tahun 2011 – 2012 dengan penggunaan lahan tahun 2011 menghasilkan nilai koefisien determinasi R^2 dan nilai efisiensi NS masing-masing 0,76 dan 0,75.

Nilai koefisien Nash Sucliffe (NS) = 0,75 tergolong dalam keadaan baik (0,65 < N ≤ 0,75) berdasarkan Moriasi (2007) [22]. Hasil R^2 = 0,76 dan NS = 0,75 yang didapat bila dibandingkan dengan Hidayat *et al.* (2016)[23] R^2 dan NS lebih kecil (0,74 dan 0,73) Adeniyi *et al*. (2014)[11] R^2 sama (0,76) dan NS kecil (0,72), Mubarok (20015)[15] R^2 lebih besar (0,86) dan NS lebih kecil (0,70), Singh (2013)[24] R^2 lebih kecil dan NS lebih kecil (0,6 dan 0,57) dan Ferijal (2012)[25] R^2 lebih besar dan NS lebih besar (0,99 dan 0, 99).

Dari grafik hirograf debit model/ simulasi, debit observasi dan curah hujan tahun 2011 yang disajikan pada Gambar 2 memperlihatkan bahwa, curah hujan bulanan tertinggi yang terjadi pada bulan April 2011 sebesar 515,50 mm, sedangkan debit observasi bulanan tertinggi terjadi pada bulan November 2011 sebesar 429,10 m³/dt, dan

Repository University of Riau
https://repository.unri.ac.id
Hak cipta milik Universitas Riau
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

debit model/simulasi tertinggi terjadi pada bulan November 2011 sebesar 424 m³/dt. Hal ini menunjukkan tingginya curah hujan, tidak langsung menyebabkan naiknya debit observasi tapi curah hujan sebagian besar tersimpan dalam tanah berupa cadangan air tanah, debit model/simulasi menunjukkan kinerja model dapat diterima karena terjadi pada bulan yang sama dengan bulan debit observasi. Sedangkan Curah hujan bulanan terendah 36,00 mm terjadi pada bulan Juli 2011, hal ini sejalan dengan terjadinya debit observasi terendah 82,40 m³/dt, dan debit model/simulasi terendah 61,10 m³/dt juga masing-masing terjadi pada bulan Juli 2011.



Gbr. 2. Grafik Hidrograf debit simulasi, debit observasi dan curah hujan tahun 2011 di DTA Waduk PLTA Koto Panjang hasil kalibrasi

Tabel 1. Nilai Absolut parameter yang berpengaruh terhadap nilai R^2 dan NS menggunakan SWAT-CUP SUFI 2

Parameter	Keterangan	Fitted_ Value	Rentang	Satuan
CN2	(SCS Curve Number)Jenis penggunaan lahan berdasarkan kelompok hidrologi tanah	36,37	35 – 98	-
ALPHA_BF	Faktor alpha aliran dasar	0,67	0 - 1	hari
GW_DELAY	Waktu pengisian air tanah	43,30	0 - 500	hari
GWQMN	Kedalaman ambang air aquifer dangkal yang dibutuhkan	321,68	0 - 5000	mm (H2O)
GW_REVAP	Koefisien penguapan air tanah	0,09	0,02 – 0,2	-
ESCO	Faktor pergantian evaporasi tanah	0,16	0 - 1	-
CH_N2	Niali kekasaran *Manning* pada saluran uatama	0,03	-0,01 – 0,3	-
CH_K2	Konduktivitas pada saluran utama	254,69	-0,01 - 500	mm/jam
ALPHA_BNK	Faktor aliran dasar untuk penyimpanan	0,16	0 - 1	hari
SOL_AWC	Kapasitas air tersedia pada lapisan tanah	0,73	0 - 1	Mm (H2O)/mm tanah
SOL_K	Konduktivitas hidrolik dalam keadaan jenuh	254,13	0 - 200	mm/jam
SOL_BD	Kerapatan jenis tanah	0,89	0,9 – 2,5	g/cm³
SURLAG	Koefisien jeda aliran permukaan	4,16	0,05 - 24	hari
USLE_P	Faktor pengelolaan lahan USLE	0,38	1 - 1	-
SLSUBBSN	Panjang kemiringan aliran permukaan	30,14	10 - 150	m

3. Validasi Model

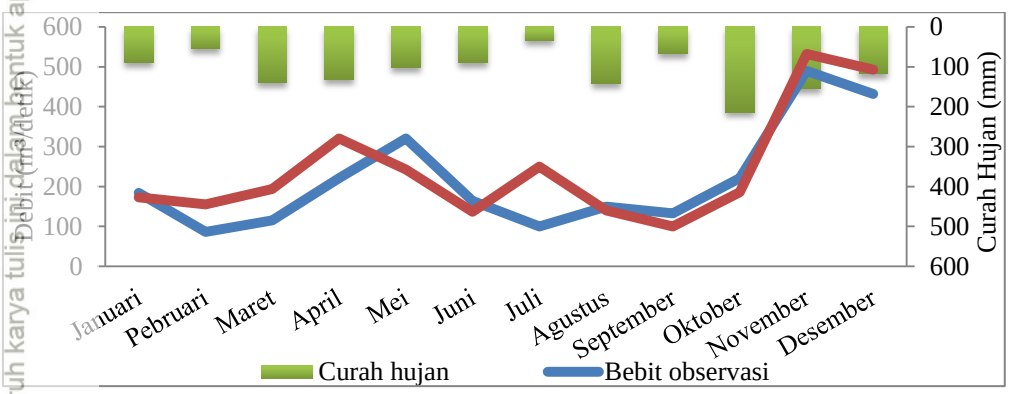
Validasi model SWAT menggunakan SWAT-CUP SUFI 2 dilakukan memakai set data parameter hasil klasifikasi agar konsistensi parameter kalibrasi tersebut dapat diterapkan terhadap data observasi lainnya dilapangan. Data debit observasi di DTA Waduk PLTA Kotopanjang dalam proses validasi adalah data tahun 2013 – 2014 untuk penggunaan lahan tahun 2014. Hasil validasi memperlihatkan hubungan antara debit observasi/hasil pengukuran dan debit model/simulasi menggunakan SWAT CUP SUFI 2 dengan koefisien determinasi (R^2) dan

Repository University of Riau
https://repository.unri.ac.id
Hak cipta milik Universitas Riau
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

NS masing-masing sebesar 0,64 dan 0,60. Nilai koefisien Nash Sucliffe (NS) sebesar 0,61 termasuk dalam kategori memuaskan (0,50 < NS ≤ 0,65) berdasarkan Moriasi (2007)[22], sehingga parameter kalibrasi yang digunakan dalam proses validasi dapat diterima dilapangan lain.

Hidrograf debit simulasi, observasi dan curah hujan tahun untuk tahun 2014 yang disajikan pada Gambar 3, menunjukkan curah hujan (PREC) tertinggi terjadi terjadi pada bulan Oktober 2014 sebesar 213,43 mm, hal ini sejalan dengan debit observasi tertinggi yang terjadi pada bulan November sebesar 490,05 m³/dtk, dan debit model/simulasi tertinggi terjadi juga pada bulan yang sama sebesar 532,20 m³/dtk.

Keadaan ini menunjukkan hampir sama pada proses kalibrasi, bahwa tingginya curah hujan tidak langsung menyebabkan naiknya debit observasi, tapi curah hujan sebagian besar tersimpan dalam tanah berupa cadangan air tanah, disini debit model/simulasi menunjukkan keakuratan yang baik dalam menduga debit observasi karena debit observasi tertinggi terjadi pada bulan yang sama. Curah hujan bulanan terendah terjadi pada bulan Juli sebesar 34,37 mm, sedangkan debit observasi terendah terjadi pada bulan Februari sebesar 86,60 m³/dtk, namun debit simulasi terendah terjadi pada bulan September sebesar 99,62 m³/dtk.



Gbr. 3. Grafik Hidrograf debit simulasi, observasi dan curah hujan tahun 2014 DTA Waduk PLTA Kotopanjang.

3.3. Analisa Koefisien Regim Sungai (KRS)

Parameter kofisien regim sungai (KRS) ini dapat dijadikan sebagai indikator debit air sungai untuk banjir dan kekeringan. Menurut Mahmud *et al.* (2009)[26] Bila perbandingan debit maksimum dengan minimum kecil berarti aliran air terjadi sepanjang tahun, kemampuan tanah dalam menyimpan dan mengeluarkan air baik.

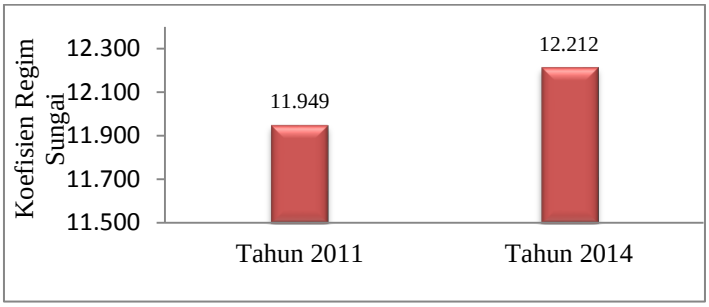
Nilai Koefisien regim sungai (KRS) di DTA Waduk PLTA Kotopanjang yang disajikan dalam Tabel 2 dan disajikan dalam bentuk grafik dalam Gambar 6, adalah pada pengguanaan lahan tahun 2011 dari hasil kalibrasi debit simulasi/model dalam periode tahun 2011 – 2012, dan penggunaaan lahan tahun 2014 dari hasil validasi terhadap debit simulasi/model untuk periode 2013 – 2014 yang dianalisa menggunakan rumus nomor 7.

Tabel 2. Nilai KRS berdasarkan debit maksimum dan minimum di DTA Waduk PLTA Kotopanjang pada penggunaan lahan tahun 2011 dan 2014

Penggunaan lahan	Debit maksimum (Qmak)	Debit minimum (Qmin)	Koefisien Regim Sungai (Qmak/Qmin)
	(m³/dt)		(KRS)
Tahun 2011	521,10	43,61	11,949
Tahun 2014	521,70	42,72	12,212

Repository University of Riau
https://repository.unri.ac.id
Hak cipta milik Universitas Riau
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.

Pada penggunaan lahan tahun 2011 debit maksimum (Qmak) dan debit minimum (Qmin) simulasi/model yang terjadi masing-masing 521,70 m³/dt dan 43,61 m³/dt dengan nilai KRS sebesar 11,949. Untuk tahun 2014 debit maksimum (Qmak) dan debit minimum (Qmin) simulasi/model masing-masing 532,20 m³/dt dan 42,72 m³/det dengan nilai KRS sebesar 12,212. Nilai KRS tahun 2011 dan 2014 yang masing-masing 11,949 dan 12,212 < 50 berdasarkan klasifikasi oleh Pramono *et al*. (2014)[17] masih tergolong baik.



Gbr. 6. Grafik nilai KRS di DTA Waduk PLTA Kotopanjang pada penggunaan lahan tahun 2011 dan 2014

Nilai KRS yang didapat lebih kecil jika dibandingkan nilai KRS dari hasil penelitian Hidayat *et al*. (2014)[23], dalam periode tahun 1999 – 2011 nilai KRS di DAS Ciujung antara 83 – 163 (sedang – jelek), dan Mubarok *et al*. (2015)[15] nilai KRS di DAS Way Betung tahun 2001, 2006, dan 2010 masing-masing 30,65, 66,25, dan 53,57 (baik- sedang) serta Mahmud *et al*. (2009)[26] dengan nilai KRS di sub DAS Serang tahun 2004 – 2007 antara 69 – 200 (sedang – jelek).

Untuk menjaga fluktuasi antara debit maksimum dan minimum agar tetap kecil diperlukan usaha pengelolaan penggunaan lahan yang cocok dan sesuai dengan kondisi/situasi di lapangan terutama dalam jenis vegetasi, sehingga nilai koefisien regim sungai (KRS) dapat dipertahan mempunyai nilai yang kecil hal ini dilakukan dalam rangka menjaga kestabilan ketersediaan air di DTA Waduk PLTA Kotopanjang.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan simulasi model SWAT (SWAT CUP Sufi 2) dalam proses klaibrasi menggunakan debit observasi tahun 2010 - 2011 dan validasi menggunakan debit observasi tahun 2013 – 2014 dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada penggunaan lahan tahun 2011 debit maksimum (Qmak) dan debit minimum (Qmin) simulasi/model yang terjadi masing-masing 521,70 m³/dt dan 43,61 m³/dt dengan nilai KRS sebesar 11,949.
2. Untuk penggunaan lahan tahun 2014 debit maksimum (Qmak) dan debit minimum (Qmin) simulasi/model masing-masing 532,20 m³/dt dan 42,72 m³/det dengan nilai KRS sebesar 12,212.
3. Nilai KRS tahun 2011 dan 2014 yang masing-masing 11,949 dan 12,212 < 50 masih berada dalam kategori baik.

5. DAFTAR PUSTAKA

[1] Siagian, M, 2010, Daya dukung Waduk PLTA Kotopanjang Kampar Propinsi Riau, *Jurnal Perikanan dan Kelautan*, 15 (1) : 25 – 38.

[2] PT. PLN (Persero), 2014. *PLTA Kotopanjang 114MW PT. PLN (Persero) Sektor Pembangkit Pekanbaru*, https://pltakotapanjang.wordpress.com/, 29 Maret 2015 (13: 16).

[3] Rosalina, H, Sujianto, dan S.S. Husen, 2014, Strategi pengembangan ekowisata di kawasan Waduk Pembangkit ListrikTenaga Air (PLTA) Kotopanjang Kabupaten Kampar, *Dinamika Lingkungan Indonesia* 1 (2) : 97 – 108.

[4] Mulyadi, A, 2003, Industri Listrik PLTA Koto Panjang Vs permasalahan

Hak cipta milik Universitas Riau
Repository University of Riau
https://repository.unri.ac.id
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengopi sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber
2. Penggunaan karya tulis ini hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
3. Penggunaan karya tulis ini tidak untuk kepentingan komersial.
4. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau

lingkungan, *Jurnal Industri dan Perkotaan* 3 (13) : 625 – 63.

[5] Mustiono, I. D, 2010, Kajian aktivitas ekonomi masyarakat terhadap kelestarian lingkungan Cthment Area PLTA Kotopanjang – Kabupaten Kampar, *Journal of Environmental Science* 2010 : 54 – 62.

[6] Chartier, D, 2004, *Mapinfo professional*, Informatika Bandung, Bandung.

[7] Neitsch S.L, J. G. Arnold, J. R. Kiniry, dan J. R. Williams, 2005, *Soil And Water Assessment Tool Theoretical DocumentationVersion 2009*, Soil and Water Reasearch Laboratory-Agricultural Research Service Blackland Reasearch Center – Texes.

[8] Abbaspour, K. C, 2015, *SWAT-CUP : SWAT calibration and uncertainty programs-a user manual*, Ewag : Swiss Federal Institute of Aquatic Technology.v

[9] Mechram, S, M. Mawardai, dan P. Sudira, 2012, Aplication model AVSWAT2000 to predict surface runoff, erosion, and sedimentationin Keduang Watershed: Upper Bengawan Solo Watershed, *Jurnal AGRITECH* 32 (3) : 325 – 330.

[10] Haning, J. E, I. A. Antonaropoulus, P. Droogers, dan J. De Vente, 2013, Targeting of intervention areas to reduce reservoir sedimentation in theTana catchment (Kenya) using SWAT, *Hydrological Sciences Journal-Journal des Sciences Hydrologiques* 58 (3) :1 – 15.

[11] Ademiyi, G. A, F. S. Bolaji, W. S. Ademayo, O. M. Salami, dan O. D. Michael, 2014, Validation of SWAT model for prediction of water yield and water balance : Case study of upastream catchment of dam in Nigeria, *International Journal of Mathematical, Computational, Natural and Phisical Engineering* 8 (2) : 264 – 269.

[12] Firdaus, G, O. Haridjaja, dan S. D. Tarigan, 2014, Analisis respon hidrologi terhadap penerapan teknik konservasi tanah di Sub DAS Lengkong menggunakan model SWAT, *Jurnal Tanah Lingkungan* 16 (1) : 16 – 23.

[13] Ridwansyah, I, H. Pawitan, N. Sinukaban, dan Y. Hidayat, 2014, Watershed modeling ArcSWAT and SUFI 2 in Cisadane catchment area : Calibration and validation to prediction river flow, *International Journal of Science and Engineering (IJSE)* 6 (2) : 12 -21.

[14] Andono, R, L. M. Limantara, dan P. T. Juwono, 2014, Studi penilaian indikator kinerja DAS Konaweha akibat perubahan tata guna lahan berdasarkan kriteria hidrologi, *Jurnal teknik Pengairan* 5 (1) : 54 – 60.

[15] Mubarok, Z, K. Murtilaksosno, dan E. D. Wahjunie, 2015, Kajian respons perubahan penggunaan lahan terhadap karakteristik hirologi DAS Way Betung – Lampung, *Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea* 4 (1) : 1 – 10.

[16] Ferijal, T, S. Mecrham, D.S. Jayanti, dan P. Satriyo, 2015, Pemodelan daerah tangkapan air Waduk Keliling dengan model SWAT, *Jurnal Agritek* 35 (1) : 121 – 127.

[17] Pramono, I. B, E. Savitri, S. Donie, dan T. M. Basuki, 2014, *Sistem pengelolaan daerah tangkapan air waduk*, Balai Penelitian Teknologi Kehutanan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Surakarta.

[18] Caya, T. Gunawan, S. W. Suprodjo, dan L. Muta'ali. 2014. Optimalisasi penggunaan lahan untuk agroforestri di DAS Cimanuk Propinsi Jawa Barat. Jurnal TEKNOSAINS 4 (1) : 39 – 53.

[19] Sihotang, H. 2012. Model konservasi sumberdaya air Danau Toba. Disertasi. Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor.

[20] Maryanto, A., K, Murtilaksono, dan L. M. Rachman. 2014. Perencanaan penggunaan hahan dan pengaruhnya

Repository University of Riau
https://repository.unri.ac.id
Hak cipta milik Universitas Riau
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Penggunaan tidak untuk kepentingan komersial.
Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.

terhadap sumberdaya air di DAS Way Besai-Lampung. Jurnal Penelitian Kehutanan Wllacea 3 (2) : 85 – 95.

[21] Anaba, L. A, N. Banadda, N. Kiggundu, J. Wanyama, D. Moriasi, dan B. Engel, 2017, Application of SWAT to assess the effects of land use change in the Murchison bay catchment in Uganda. *Scientific Research Publishing* 6 : 24 – 40.

[22] Moriasi, D. N, J. G. Arnold, M. W. Van Liew, R. L. Biginer, R. H. Marmel, dan T. L. Veith, 2007, Model Evaluation Guidelines for Sistematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations, Journal ASABE 50 (3) : 885 – 900.

[23] Hidayat, Y, L. M. Rachman, dan S. D. Tarigan, 2014, Kajian dampak perubahan penggunaan lahan terhadap debit aliran sg. DAS Ciujung, Jurnal Infrastruktur 4 (2) : 78 – 85.

[24] Singh, V, N. Bankar, S. S. Salunkhe, A. K. Bera, dan J. R. Sharma, 2013, Hydrological stream flow modelling on Tungabhadra catchment: parameterization anduncertainty analysis using SWAT CUP. RESEARCH ARTICLES CURRENT SCIENCE 104 (9) : 1187 – 1199.

[25] Ferijal, T, 2012, Prediksi hasil limpasan permukaan dan laju erosi dari Sub DAS Krueng Jereu menggunakan model SWAT, *Jurnal Agrista* 16 (1) : 29 – 38.

[26] Mahmud, H. Joko, dan S. Susanto, 2009, Penilaian status daerah aliran sungai (Studi kasus sub DAS Serang), *Jurnal AGRITECH* 29 (4) : 198 – 207.

Hak cipta milik Universitas Riau
Repository University of Riau
https://repository.unri.ac.id
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau