

ISSN (p) : 2302-559X
ISSN (e) : 2549-0818



Teknik Pertanian Lampung JURNAL

Vol. 8, No. 3, September 2019



SK Dirjen DIKTI No : 21/E/KPT/2018



Jurnal Teknik
Pertanian Lampung

Volume
8

No.
3

Hal
153-233

Lampung
September 2019

(p) 2302-559X
(e) 2549-0818

Published by: Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian Universitas Lampung

Jurnal Teknik Pertanian (J-TEP) merupakan publikasi ilmiah yang memuat hasil-hasil penelitian, pengembangan, kajian atau gagasan dalam bidang keteknikan pertanian. Lingkup penulisan karya ilmiah dalam jurnal ini antara lain: rekayasa sumber daya air dan lahan, bangunan dan lingkungan pertanian, rekayasa bioproses dan penanganan pasca panen, daya dan alat mesin pertanian, energi terbarukan, dan system kendali dan kecerdasan buatan dalam bidang pertanian. Mulai tahun 2019, J-TEP terbit sebanyak 4 (empat) kali dalam setahun pada bulan Maret, Juni, September, dan Desember. Sejak tahun 2018, J-TEP mendapatkan terakreditasi SINTA 3 berdasarkan SK Dirjen Dikti No.21/E/KPT/2018. J-TEP terbuka untuk umum, peneliti, mahasiswa, praktisi, dan pemerhati dalam dunia keteknikan pertanian.

Chief Editor

Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P

Reviewer

Prof. Dr. Ir, R.A. Bustomi Rosadi, M.S. (Universitas Lampung)

Prof. Dr. Ir. Udin Hasanudin, M.T (Universitas Lampung)

Prof. Dr. Indarto, S.TP., DEA (Universitas Jember)

Dr. Ir. Sugeng Triyono, M.Sc. (Universitas Lampung)

Dr. Nur Aini Iswati Hasanah, S.T., M.Si (Universitas Islam Indonesia)

Dr. Diding Suhandy, S.TP., M.Agr (Universitas Lampung)

Dr. Sri Waluyo, S.TP, M.Si (Universitas Lampung)

Dr. Ir. Sigit Prabawa, M.Si (Universitas Negeri Sebelas Maret)

Dr. Eng. Dewi Agustina Iriani, S.T., M.T (Universitas Lampung)

Dr. Slamet Widodo, S.TP., M.Sc (Institut Pertanian Bogor)

Dr. Ir. Agung Prabowo, M.P (Balai Besar Mekanisasi Pertanian)

Dr. Kiman Siregar, S. TP., M.Si (Universitas Syah Kuala)

Dr. Ansar, S.TP., M.Si (Universitas Mataram)

Dr. Mareli Telaumbanua, S.TP., M.Sc. (Universitas Lampung)

Editorial Boards

Dr. Warji, S.TP, M.Si

Cicik Sugianti, S.TP, M.Si

Elhamida Rezkia Amien S.TP, M.Si

Winda Rahmawati S.TP, M.Si

Febryan Kusuma Wisnu, S. TP, M.Sc

Enky Alvenher, S.TP

Jurnal Teknik Pertanian diterbitkan oleh Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Lampung.

Alamat Redaksi J-TEP:

Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian Universitas Lampung

Jl. Soemantri Brodjonegoro No.1, Telp. 0721-701609 ext. 846

Website :<http://jurnal.fp.unila.ac.id/index.php/JTP>

Email :jurnal_tep@fp.unila.ac.id dan ae.journal@yahoo.com

PENGANTAR REDAKSI

Dengan mengucapkan puji syukur kepada Allah yang Maha Kuasa, Jurnal Teknik Pertanian (J-TEP) Volume 8 No 3, bulan September 2019 dapat diterbitkan. Pada edisi kali ini dimuat 8 (delapan) artikel dimana salah satu artikel pada volume ini berbahasa Inggris yang merupakan karya tulis ilmiah dari berbagai bidang kajian dalam dunia Keteknikan Pertanian yang meliputi prototipe unit perontok jagung, variasi digester anaerobik, analisis performa fluida pada model ORC, karakterisasi pelet pupuk organik berbahan *slurry*, analisis perubahan penggunaan lahan di DAS Air Dingin, pengaruh ketinggian tempat dan metode pengeringan pada tanaman pegagan, *exploration of soil spectral reflectance*, dan potensi biogas dari rekayasa aklimatisasi.

Pada kesempatan kali ini kami menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada para penulis atas kontribusinya dalam Jurnal TEP dan kepada para reviewer/penelaah jurnal ini atas peran sertanya dalam meningkatkan mutu karya tulis ilmiah yang diterbitkan dalam edisi ini.

Akhir kata, semoga Jurnal TEP ini dapat bermanfaat bagi masyarakat dan memberikan kontribusi yang berarti bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya di bidang keteknikan pertanian.

Editorial J TEP-Lampung

Daftar isi

Pengantar Redaksi

PROTOTYPE UNIT PERONTOK JAGUNG UNTUK MESIN PEMANEN JAGUNG KOMBINASI <i>Diang Sagita, Radite Praeko Agus Setiawan, Wawan Hermawan</i>	153-163
VARIASI DIGESTER ANAEROBIK TERHADAP PRODUKSI BIOGAS PADA PENANGANAN LIMBAH CAIR PENGOLAHAN KOPI <i>Elida Novita, Hendra Andiananta Pradana, Sri Wahyuningsih, Bambang Marhaenanto, Moh. Wawan Sujarwo, Moh. Salman A. Hafids</i>	164-174
ANALISIS PERFORMA FLUIDA KERJA PADA MODEL <i>ORGANIC RANKIE CYCLE</i> (ORC) DENGAN SUMBER PANAS ENERGI BIOMASSA <i>Lilis Sucahyo, Muhamad Yulianto, Edy Hartulistiyoso, Irham Faza</i>	175-186
KARAKTERISASI PELET PUPUK ORGANIK BERBAHAN <i>SLURRY</i> LIMBAH CAIR PABRIK KELAPA SAWIT SEBAGAI PUPUK <i>SLOW RELEASE</i> <i>Reni Astuti Widyowanti, Nuraeni Dwi Dharmawati, Etty Sri Hertini, Rengga Arnalis Renjani</i>	187-197
ANALISIS PERUBAHAN PENGGUNAAN LAHAN DAERAH ALIRAN SUNGAI (DAS) AIR DINGIN DAN DAMPAKNYA TERHADAP ALIRAN PERMUKAAN <i>Rio Valery Allen, Rusnam, Feri Arlius, Revalin Herdianto</i>	198-207
PENGARUH KETINGGIAN TEMPAT TUMBUH DAN METODE PENGERINGAN TERHADAP ORGANOLEPTIC DAN KADAR ASIATIKOSID PEGAGAN (<i>Centella asiatica</i> (L) Urb) <i>Devi Safrina, Endang Brotojoyo, Inas Kamila</i>	208-213
EXPLORATION OF SOIL SPECTRAL REFLECTANCE CHARACTERISTICS RELATING TO THE SOIL ORGANIC MATTER CONTENT <i>S. Virgawati, M. Mawardi, L. Sutiarso, S. Shibusawa, H. Segah, M. Kodaira</i>	214-223
POTENSI BIOGAS DARI REKAYASA AKLIMATISASI BIOREAKTOR AKIBAT PERUBAHAN SUBSTRAT PADA INDUSTRI BIOETHANOL <i>Jufli Restu Amelia, Udin Hasanudin, Erdi Suroso</i>	224-233

PEDOMAN PENULISAN ARTIKEL BAGI PENULIS

- 1) **Naskah:** Redaksi menerima sumbangan naskah/tulisan ilmiah dalam bahasa Indonesia atau bahasa Inggris, dengan batasan sebagai berikut :
 - a. Naskah diketik pada kertas ukuran A4 (210mm x 297mm) dengan 2 spasi dan ukuran huruf Times New Roman 12pt. Jarak tepi kiri, kanan, atas, dan bawah masing-masing 3 cm. Panjang naskah tidak melebihi 20 halaman termasuk abstrak, daftar pustaka, tabel dan gambar. **Semua tabel dan gambar ditempatkan terpisah pada bagian akhir naskah (tidak disisipkan dalam naskah)** dengan penomoran sesuai dengan yang tertera dalam naskah. Naskah disusun dengan urutan sebagai berikut: Judul; Nama Penulis disertai dengan catatan kaki tentang instansi tempat bekerja; Pendahuluan; Bahan dan Metode; Hasil dan Pembahasan; Kesimpulan dan Saran; Daftar Pustaka; serta Lampiran jika diperlukan. Template penulisan dapat didownload di <http://jurnal.fp.unila.ac.id/index.php/JTP>
 - b. **Abstrak (Abstract)** dalam bahasa Indonesia dan bahasa Inggris, tidak lebih dari 200 kata. Mengandung informasi yang tertuang dalam penulisan dan mudah untuk dipahami. Ringkasan (abstract) harus memuat secara singkat latar belakang, tujuan, metode, serta kesimpulan dan yang merupakan *high light* hasil penelitian.
 - c. **Pendahuluan:** memuat latar belakang masalah yang mendorong dilaksanakannya perekayasaan dan penelitian, sitasi dari temuan-temuan terdahulu yang berkaitan dan relevan, serta tujuan perekayasaan atau penelitian.
 - d. **Bahan dan Metoda:** secara jelas menerangkan bahan dan metodologi yang digunakan dalam perekayasaan atau penelitian berikut dengan lokasi dan waktu pelaksanaan, serta analisis statistik yang digunakan. Rujukan diberikan kepada metoda yang spesifik.
 - e. **Hasil dan Pembahasan:** Memuat hasil-hasil perekayasaan atau penelitian yang diperoleh dan kaitannya dengan bagaimana hasil tersebut dapat memecahkan masalah serta implikasinya. Persamaan dan perbedaannya dengan hasil perekayasaan atau penelitian terdahulu serta prospek pengembangannya. Hasil dapat disajikan dengan menampilkan gambar, grafik, ataupun tabel.
 - f. **Kesimpulan dan Saran:** memuat hal-hal penting dari hasil penelitian dan kontribusinya untuk mengatasi masalah serta saran yang diperlukan untuk arah perekayasaan dan penelitian lebih lanjut.
 - g. **Daftar Pustaka:** disusun secara alfabetis menurut penulis, dengan susunan dan format sebagai berikut: Nama penulis didahului nama family/nama terakhir diikuti huruf pertama nama kecil atau nama pertama. Untuk penulis kedua dan seterusnya ditulis kebalikannya. Contoh:
 - Kepustakaan dari Jurnal:
Tusi, Ahmad, dan R.A. Bustomi Rosadi. 2009. *Aplikasi Irigasi Defisit pada Tanaman Jagung*. Jurnal Irigasi. 4(2): 120-130.
 - Kepustakaan dari Buku:
Keller, J, and R.D. Bleisner. 1990. *Sprinkle and Trickle Irrigation*. AVI Publishing Company Inc. New York, USA.
 - h. **Satuan:** Satuan harus menggunakan system internasional (SI), contoh : m (meter), N (newton), °C (temperature), kW dan W (daya), dll.
- 2) **Penyampaian Naskah:** Naskah/karya ilmiah dapat dikirimkan ke alamat dalam bentuk *soft copy* ke :
Redaksi J-TEP (Jurnal Teknik Pertanian Unila)
Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian
Universitas Lampung
Jl. Sumantri Brodjonegoro No. 1
Telp. 0721-701609 ext. 846
Website : <http://jurnal.fp.unila.ac.id/index.php/JTP>
Email : ae.journal@yahoo.com
- 3) Selama proses penerimaan karya ilmiah, penelaahan oleh Reviewer, sampai diterimanya makalah untuk diterbitkan dalam jurnal akan dikonfirmasi kepada penulis melalui email.
- 4) Reviewer berhak melakukan penilaian, koreksi, menambah atau mengurangi isi naskah/tulisan bila dianggap perlu, tanpa mengurangi maksud dan tujuan penulisan.

ANALISIS PERUBAHAN PENGGUNAAN LAHAN DAERAH ALIRAN SUNGAI (DAS) AIR DINGIN DAN DAMPAKNYA TERHADAP ALIRAN PERMUKAAN

ANALYSIS OF LAND USE CHANGES IN AIR DINGIN WATERSHED AND THE IMPACT ON SURFACE RUNOFF

Rio Valery Allen^{1✉}, Rusnam¹, Feri Arlius¹, dan Revalin Herdianto²

¹ Program Studi Teknik Pertanian, Universitas Andalas

² Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Padang

✉Komunikasi Penulis, email: Rioallen59@gmail.com

DOI:<http://dx.doi.org/10.23960/jtep-lv8i3.198-207>

Naskah ini diterima pada 5 Juli 2019; revisi pada 1 September 2019;
disetujui untuk dipublikasikan pada 3 September 2019

ABSTRACT

The change of land use is a definite occurrence as a result of the increase of population and economic development. However, the change in land use often ignores the hydrological response as a consequence of population increase. The flood in the year 2016 indicates that there is a problem in land use in the Air Dingin watershed. Based on the problem this research has a purpose to: (a) analyze the effect of change of land use against hydrological response in Air Dingin watershed, and (b) determine optimal land management thus reducing the flow rate Surface occurring in Air Dingin watershed. Using the HEC-HMS model and the Curve Number – Soil Conservation Service (CN-SCS) method in formulating land use scenarios so that surface flow in Air Dingin watershed can be depicted in the form of hydrographs. The CN-SCS value is validated using the Nash-Sutcliffe method with a value of efficiency (E) 0.75 which means the model has high accuracy and can be applied. The results of the simulation of scenario 1 resulted in the peak discharge of 497 m³/s smaller than the existing land discharge of 502.42 m³/s.

Keywords : Surface flow, HEC-HMS, Land use, CN-SCS

ABSTRAK

Perubahan tata guna lahan merupakan sesuatu yang pasti terjadi sebagai akibat adanya penambahan penduduk dan perkembangan ekonomi. Namun perubahan tata guna lahan sering kali mengabaikan respon hidrologi sebagai akibat penambahan penduduk. Adanya banjir di tahun 2016 mengindikasikan adanya permasalahan dalam tata guna lahan pada DAS Air Dingin. Berpijak pada permasalahan tersebut penelitian ini memiliki tujuan untuk: (a) menganalisa pengaruh perubahan penggunaan lahan terhadap respon hidrologi di DAS Air Dingin, dan (b) menentukan pengelolaan lahan optimal sehingga mengurangi laju aliran permukaan yang terjadi di DAS Air Dingin. Menggunakan model HEC-HMS dan metode *Curve Number – Soil Conservation Service* (CN-SCS) dalam merumuskan skenario penggunaan lahan sehingga aliran permukaan di DAS Air Dingin dapat digambarkan dalam bentuk hidrograf. Nilai CN-SCS divalidasi menggunakan metode *Nash-Sutcliffe* dengan nilai efisiensi (E) 0,75 yang berarti model memiliki akurasi tinggi dan dapat diterapkan. Hasil simulasi terhadap skenario 1 menghasilkan debit puncak 497 m³/s lebih kecil jika dibandingkan debit puncak lahan existing 502,42 m³/s.

Kata Kunci : Aliran permukaan, HEC-HMS, Penggunaan lahan, CN-SCS

I. PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara beriklim tropis mempunyai curah hujan yang tinggi. Hal tersebut berdampak positif berupa ketersediaan air yang sangat melimpah. Namun, curah hujan

yang tinggi juga memiliki dampak negatif apabila tidak dilakukan pencegahan. Salah satu dampak negatif tersebut adalah tingginya aliran permukaan. Aliran permukaan (*runoff*) dapat ditemukan pada area pemukiman, lahan miring, dan lahan gundul. Pada lahan gundul, tidak

terdapat penghalang sama sekali sehingga air hujan langsung menuju permukaan. Energi air hujan yang jatuh tidak dapat diredam oleh tajuk tanaman sehingga tetesan air dapat merusak struktur tanah dan berubah menjadi *runoff* apabila tanah sudah jenuh.

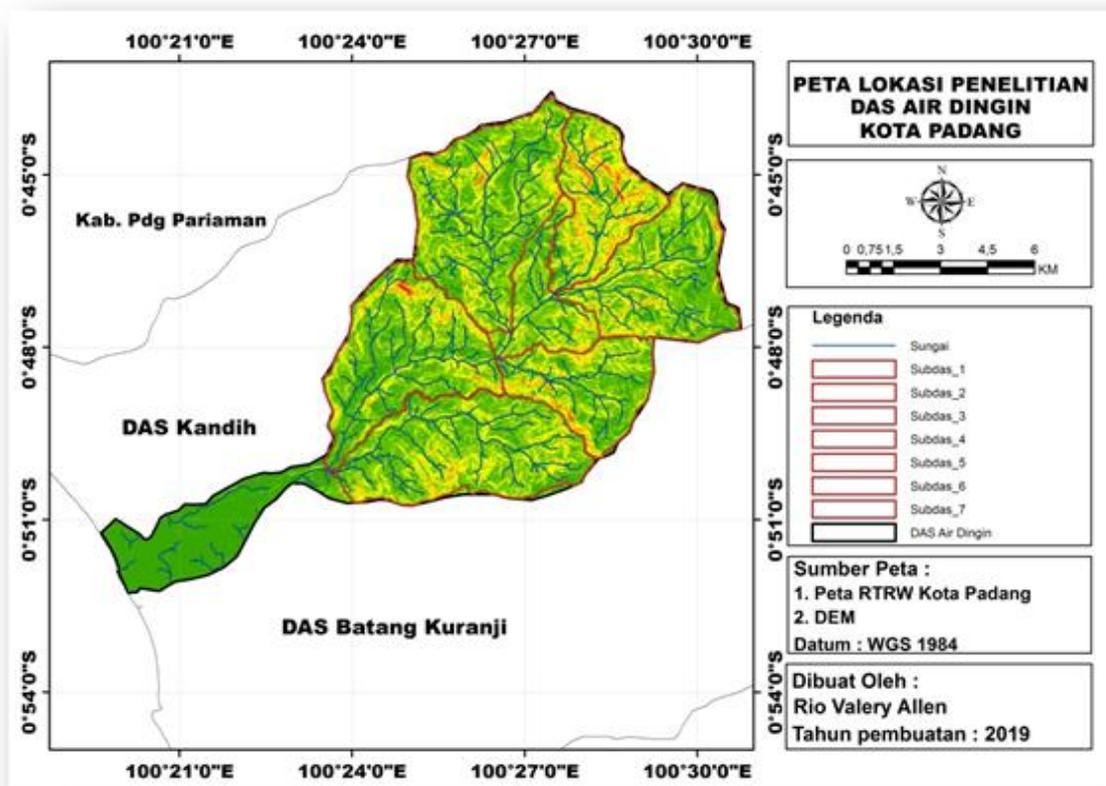
Kegiatan perubahan penggunaan lahan hutan menjadi non-hutan (*deforestation*) umumnya disebabkan oleh pembangunan areal perumahan sebagai akibat meningkatnya jumlah penduduk. *Deforestation* berdampak terhadap peningkatan aliran permukaan, erosi dan sedimentasi. Peristiwa banjir di DAS Air Dingin Kota Padang memberikan kita peringatan tentang pentingnya pengelolaan DAS. Banyak studi mengenai dampak perubahan penggunaan lahan terhadap respon hidrologi telah dilakukan.

Studi yang dilakukan dengan menggunakan berbagai skenario bentuk tata guna lahan yang bertujuan untuk meramalkan perubahan proses hidrologi. Salah satu model yang dapat digunakan untuk mensimulasikan aliran permukaan sebagai respon hujan adalah model *Hydrologic*

Engineering Center-Hydrologic Modeling System (HEC-HMS). Model HEC-HMS adalah model dengan distribusi spasial melalui pembagian sebuah DAS ke dalam Sub DAS. Model ini menyediakan sejumlah pilihan permodelan, dengan komponen utama penentuan hidrograf aliran permukaan dari Sub DAS dan pelacakan hidrograf (*routing*) melalui saluran ke outlet DAS. Tujuan penelitian ini adalah menentukan pengelolaan lahan optimal sehingga mengurangi debit puncak yang terjadi di DAS Air Dingin berdasarkan skenario - skenario yang disimulasikan.

II. BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilakukan pada DAS Air Dingin yang merupakan salah satu dari enam (6) DAS yang berada di kota Padang, dengan daerah tangkapan mencapai luas 12.477,32 ha. Penelitian ini dilaksanakan mulai bulan Juli hingga September 2018, bertempat di laboratorium Teknik Pertanian dan pengecekan di lapangan. Peta DAS Air Dingin dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian DAS Air Dingin

Peralatan yang digunakan antara lain kamera, perangkat komputer, GPS tipe Garmin, perangkat lunak Arcgis 10.3 untuk mengolah data spasial, perangkat lunak Microsoft Office 2010, dan perangkat lunak HEC-HMS 4.2. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Citra DAS Air Dingin dari tahun 2003, 2008, 2013 dan tahun 2017 diperoleh dari <https://earthexplorer.usgs.gov/>
2. *Digital Elevation Model* (DEM) resolusi 30 x 30 meter diperoleh dari <http://dds.cr.usgs.gov/>
3. Batas DAS Air Dingin yang diperoleh dari <https://webgis.dephut.go.id/>
4. Data debit harian tahun 2003 hingga tahun 2017 yang diperoleh dari Dinas Pengelolaan Sumber Daya Air (PSDA) Sumatera Barat
5. Data curah hujan harian tahun 2003 hingga tahun 2017 yang diperoleh dari Dinas PSDA Sumatera Barat

2.1. Tahap Persiapan

Langkah awal dari penelitian ini adalah studi pustaka terkait permasalahan yang terjadi dan menentukan lokasi penelitian terkait permasalahan. Selanjutnya dilanjutkan dengan identifikasi masalah dan mendeskripsikan tujuan penelitian serta data yang dibutuhkan baik berupa data primer maupun data sekunder. Data primer dikumpulkan melalui survei pada wilayah penelitian. Data sekunder didapatkan dari data yang dikumpulkan oleh peneliti sebelumnya atau oleh instansi terkait, meliputi: data citra, jenis tanah, jaringan sungai, curah hujan dan tinggi muka air.

2.2. Pengolahan Data Citra

Pengolahan data citra dilakukan dengan 3 tahap yaitu:

1. GAPFILL, merupakan tahap pengisian celah/gap pada citra Landsat. Proses pengisian sebagai akibat adanya kerusakan yang terjadi pada citra Landsat 7.
2. Tahap Pemotongan, proses yang dilakukan untuk memperoleh daerah kajian penelitian agar lebih fokus, dalam hal ini yaitu DAS Air Dingin Kota Padang.
3. Tahap *Image Processing*, bertujuan untuk mendapatkan kelas-kelas penutup/penggunaan lahan dengan

mengelompokkan piksel-piksel dari citra. Pada penelitian ini, klasifikasi penggunaan lahan dilakukan secara terbimbing (*supervised*) menggunakan metode Klasifikasi Kemungkinan Maksimum (*Maximum Likelihood Classification*).

2.3. Periode Ulang dan Probabilitas Hujan

Periode ulang adalah waktu hipotetik dimana hujan dengan suatu besaran tertentu akan disamai atau dilampaui sekali dalam jangka waktu tersebut. Misal jika suatu kejadian hujan dengan periode ulang 10 tahun maka dapat diartikan hujan tersebut kemungkinan dalam jangka 1000 tahun akan terjadi 100 kali kejadian hujan 10 tahunan (Triatmodjo, 2016).

Penggunaan data curah hujan pada penelitian ini berupa data curah hujan harian maksimum selama 13 tahun dari PSDA Sumbar. Terdapat empat jenis metode distribusi frekuensi yang banyak digunakan dalam bidang hidrologi, yaitu distribusi Normal, Log Normal, Log Pearson III dan Gumbel. Distribusi normal memiliki dua parameter yaitu rerata dan standar deviasi S , Persamaan yang digunakan dalam distribusi Normal seperti pada Persamaan (1) (Triatmodjo, 2016).

$$X = X_{rata-rata} + KT * S \quad (1)$$

Dimana, X merupakan perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang T tahunan, $X_{rata-rata}$ merupakan nilai rata-rata hitung varian, S merupakan deviasi standar, dan KT merupakan faktor frekuensi.

Distribusi Log Normal digunakan apabila nilai dari variabel random tidak mengikuti distribusi normal, namun nilai logaritmanya memenuhi distribusi normal. Persamaan yang digunakan dalam distribusi Log Normal seperti pada Persamaan (2) (Triatmodjo, 2016). Dimana, Y merupakan nilai transformasi dari X (distribusi Normal).

$$Y = \log X \quad (2)$$

Distribusi Log Person III digunakan untuk mendapatkan kedekatan yang lebih kuat antara data dan teori daripada yang ditunjukkan oleh Distribusi Normal dan Distribusi Log Normal. Persamaan yang digunakan dalam distribusi Log Normal disajikan pada persamaan (3) (Suripin, 2004).

$$\log X_r = \log X_{rata-rata} + K * S \quad (3)$$

Dimana, X_r merupakan perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang T -tahun, S merupakan deviasi standar, dan K merupakan koefisien.

Distribusi Gumbel banyak digunakan untuk analisis data maksimum seperti analisis frekuensi. Pada kenyataannya, tidak semua varian dari suatu variabel hidrologi terletak pada nilai rata-ratanya. Maka diperlukan pengukuran dispersi dengan persamaan (4) dan (5) (Supirin, 2004).

$$X_r = b + \frac{1}{a} Y_T \quad (4)$$

$$a = \frac{SM}{S} \quad \text{dan} \quad b = X_{rata-rata} - \frac{Y_n * S}{S_n} \quad (5)$$

Dimana, X_r merupakan perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang T -tahunan, X merupakan nilai rata-rata, S merupakan deviasi standar, Y_T merupakan *reduced variate*, S_n merupakan *reduced standard deviation*, dan Y_n merupakan *reduced mean*.

Menurut Soewarno (1995) diperlukan pengujian parameter untuk menguji kecocokan distribusi frekuensi data terhadap fungsi distribusi peluang yang dapat mewakilinya. Uji kecocokan yang digunakan adalah Chi Kuadrat Uji Chi Kuadrat diperlukan untuk menentukan persamaan distribusi probabilitas yang telah dipilih dapat mewakili dari distribusi statistik data yang dianalisis (Suripin, 2004).

2.4. Tahap Pembuatan Peta Hujan

Data curah hujan dibutuhkan untuk dipasangkan dengan data debit dalam membangun parameter input *meteorologic model* HEC-HMS. Metode ini dapat menghasilkan curah hujan wilayah dari setiap sub-DAS berdasarkan pembobotan curah hujan untuk setiap satu titik pengamatan. Titik pengamatan diambil dari tiga stasiun hujan. Bobot curah hujan wilayah yang digunakan adalah metode Aritmatik. Pemilihan metode Aritmatik karena luas DAS Air Dingin yang tergolong kecil (kurang dari 500 km²). Suripin (2004) mengatakan DAS dengan luas kurang dari 500 km² maka metode pembobotan curah hujan yang cocok adalah metode Aritmatik.

2.5. Tahap Penyusunan Hidrograf Aliran Model HEC-HMS

Basin model yang disusun merupakan susunan dari elemen-elemen hidrologi yang tersedia dalam HEC-HMS. Elemen-elemen tersebut membentuk formasi yang merepresentasikan gambaran fisik suatu DAS. Pada penelitian ini digunakan 3 elemen hidrologi HEC-HMS yaitu *subbasin*, *reach*, dan *junction*. *Subbasin* merupakan penggambaran terhadap subdas yang ada, *reach* menggambarkan kondisi sungai, dan *junction* menggambarkan pertemuan dua sungai.

2.6. Kalibrasi dan Validasi Model HEC-HMS

Kalibrasi dilakukan terhadap parameter-parameter utama dalam menyusun hidrograf aliran. Kalibrasi dilakukan dengan menyesuaikan nilai dari parameter-parameter model sehingga mendekati nilai pengamatan. Hal ini dilakukan agar parameter-parameter yang dipakai oleh model dapat diterapkan pada kondisi rencana dan simulasi. Kalibrasi model HEC-HMS dilakukan dengan cara *trial and error*.

Validasi model dilakukan dengan menggunakan *Nash*, yaitu dengan membandingkan kuadrat selisih debit hasil simulasi dan debit hasil pengamatan dengan kuadrat selisih debit pengamatan dan rata-rata debit pengamatan (Nash dan Sutcliffe 1970).

$$Nash = 1 - \frac{\sum i(Q_{sim} - Q_{obs})^2}{\sum i(Q_{obs} - Q_{obs}^*)^2} \quad (6)$$

Dimana, Q_{obs} merupakan debit hasil pengamatan dilapangan (m³/dt), Q_{sim} merupakan debit hasil simulasi (m³/dt), dan Q_{obs}^* merupakan rata-rata debit hasil pengamatan dilapangan (m³/dt).

Nilai koefisien efisiensi *Nash-Sutcliffe* menunjukkan tingkat ketepatan model. Nilai E dapat berkisar dari minus tak terhingga (model rendah) hingga 1,0 (model yang sempurna). Secara spesifik nilai $E = 0,5$ adalah tingkat akurasi rendah, $0,5 < E < 0,7$ adalah tingkat akurasi tinggi dan $E > 0,7$ adalah tingkat akurasi sangat tinggi.

2.7. Simulasi Pengelolaan Lahan

Simulasi lahan adalah simulasi yang dilakukan dengan berbagai skenario yang diterapkan

berdasarkan teknik konservasi tanah dan air. Simulasi bertujuan untuk mengurangi aliran permukaan DAS Air Dingin. Skenario 1 dilakukan dengan merehabilitasi kembali semua lahan terbuka menjadi hutan. Luas lahan terbuka yang direhabilitasi menjadi hutan 492,635 Ha. Skenario 2 dilakukan dengan cara merehabilitasi lahan terbuka menjadi hutan dibagian hulu dan dibagian tengah DAS Air Dingin lahan terbuka diubah menjadi sawah tadah hujan. Luas lahan terbuka yang direhabilitasi menjadi hutan 10,546 Ha dan yang diubah menjadi sawah 482,089 Ha. Skenario 3 dilakukan dengan mereboisasi lahan terbuka dibagian hulu dan penerapan pertanian lahan kering pada bagian tengah DAS. Luas lahan yang direhabilitasi pada skenario 3 sama dengan skenario 2, yaitu 10,546 Ha dikonversi menjadi hutan dan 482,089 Ha dikonversi menjadi pertanian lahan kering.

2.8. Analisis Data

Analisis data dilakukan terhadap hidrograf satuan. Jika hidrograf satuan didapatkan sama atau mendekati hidrograf pengamatan maka model dapat diaplikasikan/digunakan untuk berbagai kondisi dalam pengelolaan DAS Air Dingin. Model dianggap layak bila model tersebut dapat menggambarkan atau mendekati keadaan yang sebenarnya. Nilai kelayakan model dapat diukur dengan koefisien determinasi serta efisiensi model yang tinggi.

2.9. Output

Output dari penelitian ini adalah adanya hubungan antara tata guna lahan dengan aliran permukaan yang terjadi, sehingga didapatkan bentuk penggunaan lahan dengan aliran permukaan terkecil.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Keadaan Umum Daerah Penelitian

Daerah Aliran Sungai (DAS) Air Dingin secara administratif berada di Kecamatan Koto Tangah Kota Padang. DAS Air Dingin berada diketinggian 0 hingga 1808 meter diatas permukaan laut (mdpl). Secara geografis DAS Air Dingin terletak pada $0^{\circ}45' - 0^{\circ}55'$ Lintang Selatan dan $100^{\circ}20' - 100^{\circ}30'$ Bujur Timur. Sebelah utara DAS Air Dingin berbatasan dengan DAS Batang Kandih, sebelah barat berbatasan dengan Samudera

Hindia, sebelah selatan berbatasan dengan DAS Batang Kuranji, dan sebelah timur berbatasan dengan Kabupaten Solok. Luas DAS Air Dingin jika dihitung dari muara adalah 12.477,32 Ha atau 124,77 km². Namun jika dihitung dari titik outlet yaitu lokasi *Automatic Water Level Recorder* (AWLR) berada maka luasan DAS Air Dingin 113,237 km². Luasan dari titik outlet inilah yang menjadi acuan area penelitian.

3.2. Perubahan Penggunaan Lahan

3.2.1. Perubahan Penggunaan Lahan 2003 - 2008

Perubahan penggunaan lahan DAS Air Dingin diperoleh dengan membandingkan peta dan data penggunaan lahan tahun 2003 dengan tahun 2008. Dari data tersebut tampak adanya penurunan luas hutan. Hutan yang semula luas lahannya mencapai 10.281,654 Ha pada tahun 2003 turun menjadi 9.361,852 Ha pada tahun 2008. Jika di persentasekan maka luas hutan yang terkonversi menjadi bentuk penggunaan lahan lain sebesar 8,123%. Turunnya luas areal hutan sebagian besar terkonversi menjadi lahan pertanian kering (ladang) milik warga sekitar. Ladang yang luas semula 893,750 Ha pada 2003 naik menjadi 1687,5 Ha pada 2008. Mengalami peningkatan 7,01% dari tahun 2003. Perubahan juga terjadi pada lahan kosong yang mengalami peningkatan 126,343 Ha atau meningkat sebesar 1,116%. Lahan sawah turun 0,347 Ha atau turun 0,003%.

3.2.2. Perubahan Penggunaan Lahan 2008 - 2013

Tahun 2008 hingga tahun 2013 terjadi penurunan luas hutan. Luas hutan yang semula 9.361,852 Ha turun menjadi 9.015,702 Ha pada tahun 2013 atau dipersentasekan turun 3,057%. Penurunan luas hutan ini disertai dengan peningkatan luas ladang yang naik 262,5 Ha (naik 2,318%), peningkatan luas lahan kosong yang naik 83,454 Ha (0,727%) dan areal perumahan yang naik 0,277 Ha (0,002%) pada tahun 2013. Areal pesawahan mengalami penurunan 0,1 Ha pada tahun 2013.

3.2.3. Perubahan Penggunaan Lahan 2013 - 2017

Penurunan luas areal hutan antara tahun 2013 sampai tahun 2017 tampak pada citra Landsat 7.

Penurunan luas areal hutan diakibatkan berubahnya areal tutupan lahan hutan. Perubahan yang awalnya areal hutan berubah fungsi menjadi perumahan, lahan kosong dan sawah. Hal ini kemungkinan disebabkan beberapa kemungkinan diantaranya adanya pembangunan kompleks perumahan. Adanya pembukaan hutan untuk areal pertanian warga juga mendorong upaya alihfungsi hutan menjadi lahan pertanian. Konversi lahan yang terjadi di DAS Air Dingin menyebabkan sebagian besar air hujan air jatuh didaerah tersebut tidak dapat diretensi dengan baik sehingga mengalir dengan cepat kebagian hilir DAS. Berkurangnya areal hutan pada tahun 2017 juga mengakibatkan berkurangnya daerah resapan air, sehingga terjadi peningkatan jumlah curah hujan yang tidak terserap dan mengalir menjadi aliran permukaan. Bentuk penggunaan lahan tahun 2003, 2008, 2013, dan 2017 dapat dilihat pada Tabel 1.

3.2.4. Penggunaan Lahan per Subdas Tahun 2017

Penutupan dan penggunaan lahan pada subdas Air Dingin ini diklasifikasikan dengan metode klasifikasi terbimbing pada *software* Arcgis berdasarkan citra Landsat 8 tahun 2017.

Berdasarkan klasifikasi tersebut, penutupan dan penggunaan lahan di subdas Air Dingin dibagi menjadi 5 tipe, yaitu hutan, ladang, perumahan, lahan kosong dan sawah. Jenis penggunaan lahan subdas Air Dingin 2017 dapat dilihat pada Tabel 2.

Penutupan dan penggunaan lahan pada subdas Air Dingin pada tahun 2017 yang mendominasi adalah hutan dan ladang. Tutupan lahan berupa hutan mendominasi dengan luas 8661,280 Ha dan ladang 2168,6 Ha. Sementara penggunaan lahan dalam bentuk sawah sudah tidak ada. Penggunaan lahan di subdas Air Dingin terus mengalami perubahan menurut ruang dan waktu.

3.3. Analisis Curah Hujan

Data curah hujan pada penelitian ini menggunakan data dari 3 stasiun pengamatan yang tersebar di sekitar DAS Air Dingin. Tiga stasiun tersebut adalah Stasiun Kasang, Stasiun Bendung Koto Tuo, dan Stasiun Batu Busuk. Ada dua tipe waktu curah hujan yang digunakan sebagai *input*, yaitu curah hujan harian dari 3 stasiun pengamatan dan 1 data curah hujan *time-series* berupa data jam-jaman. Penentuan curah hujan wilayah ditentukan menggunakan metode

Tabel 1. Penggunaan Lahan DAS Air Dingin Tahun 2003, 2008, 2013, dan 2017

Tahun	Ha				
	Hutan	Ladang	Perumahan	Lahan Kosong	Sawah
2003	10281,654	893,750	0,360	146,999	0,447
2008	9361,852	1687,500	0,389	273,342	0,100
2013	9015,702	1950,000	0,666	356,796	0,000
2017	8661,280	2168,600	0,720	492,635	0,000

Tabel 2. Penggunaan Lahan per Subdas Tahun 2017

Subdas	Hutan (Ha)	Ladang (Ha)	Perumahan (Ha)	Lahan Kosong (Ha)	Sawah (Ha)
1	1474,881	175,000	0,000	0,554	0,000
2	2155,567	200,000	0,000	3,831	0,000
3	1007,862	206,200	0,000	0,308	0,000
4	951,347	212,500	0,000	2,391	0,000
5	1447,675	568,700	0,331	155,760	0,000
6	539,039	231,200	0,000	3,462	0,000
7	1084,910	575,000	0,389	326,330	0,000

Aritmatik dengan *input* berupa bobot curah hujan di DAS Air Dingin.

Iklim memiliki dampak yang potensial terhadap variabel hidrologi dan meteorologi dimasa depan. Kondisi seperti ini dapat mempengaruhi distribusi aliran DAS dalam skala ruang dan waktu, meliputi intensitas dan frekuensi bencana hidrologi yang ekstrim (Babel *et al.* 2011; Gebre dan Ludwig 2015). Metode analisis frekuensi merupakan salah satu metode yang digunakan untuk menghitung estimasi hujan rencana untuk periode ulang tertentu. Ada beberapa analisis frekuensi yang biasa digunakan diantaranya adalah Distribusi Normal, Distribusi Gumbel, Distribusi Log Normal, dan Distribusi Log Peorson III. Pengolahan data yang dilakukan diketahui bahwa distribusi probabilitas di DAS Air Dingin yaitu Distribusi Gumbel.

3.4. Setup Model pada Pemodelan Hidrologi HEC-HMS

Hidrograf aliran HEC-HMS dibangun dengan empat komponen utama yaitu *basin model*, *meteorologic model*, *control spesification*, dan *time series data*. Selain empat komponen utama HEC-HMS juga dibangun dengan empat parameter *basin model* diantaranya *loss*, *transform*, *baseflow*, dan *routing*. Parameter *loss* terdiri dari *initial abstraction*, *curve number* (CN), *imperviousness*. Parameter *transform* yang digunakan ialah nilai *lag time*. Parameter *loss models* dan *transform models* menggunakan metode SCS. Nilai parameter *loss* dan *transform* penggunaan lahan DAS Air Dingin dapat dilihat pada Tabel 3.

Berdasarkan penggunaan lahan dan jenis tanah didapatkan nilai rata-rata *loss* tertinggi ada di

subdas 7. Kondisi ini didukung dengan banyaknya jenis penggunaan lahan dengan nilai CN tinggi di subdas 7. Nilai CN merupakan nilai yang di dapatkan dari nilai penggunaan lahan dan jenis tanah. Kondisi yang sama juga terjadi pada nilai *impervious*. *Impervious* (permukaan kedap air) mencakup lahan terbangun, baik rumah, jalan, maupun bangunan fisik lainnya. Nilai *time lag* yang tinggi terdapat pada subdas 7. Hal ini tidak terlepas dari panjangnya sungai di subdas 7 serta rendahnya tingkat kemiringan sungai.

Metode *routing* yang dipilih di DAS Air Dingin ialah metode *Kinematic Wave*. Hal ini didasarkan kepada kondisi DAS Air Dingin yang lebih dominan berbukit-berbukit. Metode *routing Kinematic Wave* memerlukan sub-parameter berupa panjang sungai, kemiringan sungai (*slope*) dan nilai kekasaran saluran (*manning*).

3.5. Simulasi Model HEC-HMS

Simulasi dilakukan dengan menggunakan data hujan harian maksimum dari tiga stasiun yaitu; Stasiun Batu Busuk, Stasiun Kasang, dan Stasiun Koto Tuo. Tiga stasiun hujan ini digunakan dengan pertimbangan lokasinya yang dekat dengan DAS Air Dingin dan ketersediaan data. Simulasi dilakukan pada rentang waktu tahun 2003 hingga tahun 2017. Tahun ini dipilih dengan mempertimbangkan ketersediaan data debit dan data penggunaan lahan di DAS Air Dingin. Simulasi HEC-HMS pada tahun 2017 menghasilkan nilai debit puncak sebesar 502,2 (m³/detik). Saat proses membangun model, kalibrasi dan validasi dilakukan dengan menggunakan 15 kejadian hujan dan 1 data debit puncak.

Tabel 3. Nilai Parameter *Loss* dan *Transform* DAS Air Dingin (Sesudah Kalibrasi)

Subdas	Curve Number (CN)	Impervious (%)	Time lag (Menit)	Panjang Sungai (Km)	Kemiringan(S) (m)
1	71,38	7,66	160,04	5,21	0,12
2	71,12	7,14	263,90	8,07	0,09
3	72,21	9,25	182,49	5,80	0,11
4	72,39	9,59	136,59	4,51	0,13
5	74,05	12,63	292,75	9,18	0,09
6	73,92	12,54	159,42	3,02	0,05
7	75,23	14,71	395,06	8,00	0,04

3.6. Kalibrasi dan Validasi Model HEC-HMS

Kalibrasi dilakukan pada beberapa parameter model diantaranya nilai *CN*, *Ia*, *time lag* dan *impervious*. Kalibrasi dilakukan untuk mendapatkan parameter yang tepat untuk mendapatkan hasil hidrograf aliran model yang mendekati nilai pengamatan. Kalibrasi dilakukan dengan membandingkan hidrograf model dengan hidrograf pengamatan (Farid *et al.* 2011; USACE 2013).

Validasi dilakukan dengan membandingkan debit puncak model dengan debit puncak pengamatan. Validasi yang dilakukan pada model dengan menggunakan metode *Nash-Sutcliffe* (E) diperoleh nilai uji sebesar 0,63. Merujuk pada klasifikasi *Nash*, nilai 0,63 masuk dalam kategori akurasi tinggi. Ini berarti model dapat digunakan untuk mengevaluasi respon hidrologi akibat dari perubahan penggunaan lahan. Perbandingan nilai debit HEC-HMS dengan nilai debit pengamatan dapat dilihat pada Tabel 4.

3.7. Pengaruh Perubahan Penggunaan Lahan dan Skenario Rehabilitasi DAS

Perubahan penggunaan lahan memberikan dampak terhadap respon hidrologi DAS Air Dingin. Respon hidrologi dalam hal ini volume aliran permukaan disimulasikan dengan menggunakan model HEC-HMS, dengan menggunakan nilai-nilai masukkan berdasarkan penggunaan lahan tahun 2017 (*Baseline*). Asumsi yang digunakan adalah semua parameter

masuk model dianggap tetap kecuali parameter masukkan bilangan kurva dan persen *impervious*.

Simulasi dilakukan pada beberapa kondisi diantaranya pada tahun 2017 sebagai kondisi awal. Simulasi perbaikan DAS juga dilakukan dengan menerapkan tiga skenario perbaikan lahan. Skenario pertama dilakukan dengan mereboisasi kembali semua lahan kosong/terbuka menjadi hutan. Skenario dua adanya upaya reboisasi pada bagian hulu DAS dan pada daerah tengah DAS lahan kosong diubah menjadi sawah tadah hujan. Skenario tiga dilakukan dengan mengembangkan peladangan rakyat pada semak belukar/lahan kosong.

3.7.1. Skenario 1: Reboisasi Pada Lahan Terbuka

Secara keseluruhan Skenario 1 menunjukkan penurunan debit puncak dan limpasan permukaan jika dibandingkan dengan nilai *Baseline* (2017) pada DAS Air dingin. Penurunan debit puncak dan limpasan permukaan terjadi akibat adanya penanaman vegetasi pada tanah/lahan kosong. Hasil analisis menunjukkan penurunan signifikan terhadap potensi limpasan dan debit puncak pada subdas 5 dan subdas 7. Hal itu sebagai akibat areal tanah/lahan kosong yang ditanami vegetasi lebih besar jika dibanding dengan subdas lainnya. Perbandingan antara debit puncak *baseline* dengan Skenario 1 dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 4. Debit HEC-HMS dan Debit Pengamatan

Hidrograf Aliran	Qp (m ³ /detik)
Pengamatan	502,42
HEC-HMS	502,20

Tabel 5. Perbandingan Debit Puncak *Baseline* (2017) dengan Simulasi Skenario 1

Subdas	<i>Baseline</i>		Skenario 1		Perubahan	
	Debit Puncak (m ³ /s)	Limpasan (1000 m ³)	Debit Puncak (m ³ /s)	Limpasan (1000 m ³)	Debit Puncak (m ³ /s)	Limpasan (1000 m ³)
1	79,5	4702,6	79,5	4702,5	0	-0,1
2	103,8	6117,3	103,7	6114,9	-0,1	-2,4
3	58,6	3454,7	58,6	3454,7	0	0
4	58,8	3447,2	58,8	3446	0	-1,2
5	99,1	5902	97,7	5725,2	-1,4	-176,8
6	39,5	2310,4	39,4	2308,7	-0,1	-1,7
7	85,5	4873,3	83,1	4711	-2,4	-162,3

Tabel 6. Perbandingan Debit Puncak *Baseline* (2017) dengan Simulasi Skenario 2

Subdas	<i>Baseline</i>		Skenario 2		Perubahan	
	Debit Puncak (m ³ /s)	Limpasan (1000 m ³)	Debit Puncak (m ³ /s)	Limpasan (1000 m ³)	Debit Puncak (m ³ /s)	Limpasan (1000 m ³)
1	79,5	4702,6	79,5	4702,5	0	-0,1
2	103,8	6117,3	103,7	6114,9	-0,1	-2,4
3	58,6	3454,7	58,6	3454,7	0	0
4	58,8	3447,2	58,8	3446	0	-1,2
5	99,1	5902	99	5809,6	-0,1	-92,4
6	39,5	2310,4	39,4	2308,7	-0,1	-1,7
7	85,5	4873,3	85,7	4887,6	0,2	14,3

Tabel 7. Perbandingan Debit Puncak *Baseline* (2017) dengan Simulasi Skenario 3

Subdas	<i>Baseline</i>		Skenario 3		Perubahan	
	Debit Puncak (m ³ /s)	Limpasan (1000 m ³)	Debit Puncak (m ³ /s)	Limpasan (1000 m ³)	Debit Puncak (m ³ /s)	Limpasan (1000 m ³)
1	79,5	4702,6	79,5	4702,5	0	-0,1
2	103,8	6117,3	103,7	6114,9	-0,1	-2,4
3	58,6	3454,7	58,6	3454,7	0	0
4	58,8	3447,2	58,8	3446	0	-1,2
5	99,1	5902	99,1	5840,6	0	-61,4
6	39,5	2310,4	39,4	2308,7	-0,1	-1,7
7	85,5	4873,3	86,6	4952,1	1,1	78,8

3.7.2. Skenario 2: Konversi Lahan Kosong Menjadi Sawah

Skenario 2 dilakukan dengan penerapan kebijakan merubah/ mengkonversi lahan kosong menjadi sawah. Lahan kosong yang berada di subdas 5 dan subdas 7 diubah menjadi lahan pertanian berupa sawah, sedangkan subdas yang berada dibagian hulu diubah menjadi hutan kembali. Penerapan skenario 2 berakibat pada penurunan debit limpasan pada beberapa subdas Air Dingin. Dari semua subdas penurunan terbesar terjadi pada subdas 5. Ini terjadi karena luas lahan kosong yang diubah menjadi lahan persawahan tidak terlalu besar (155,760 Ha). Namun jika lahan kosong yang diubah menjadi lahan persawahan terlalu besar, maka justru meningkatkan aliran permukaan seperti yang terjadi di subdas 7. Perbandingan antara debit puncak *baseline* dengan Skenario 2 dapat dilihat pada Tabel 6.

3.7.3. Skenario 3: Konversi Lahan Kosong Menjadi Areal Perladangan

Skenario 3 (mengkonversi lahan kosong menjadi ladang) adalah merubah lahan kosong yang ada

di subdas 5 dan subdas 7 menjadi areal peladangan warga. Pada skenario ini subdas selain subdas 5 dan 7 akan diubah menjadi hutan. Secara keseluruhan reboisasi hutan yang dilakukan pada bagian hulu DAS berdampak pada menurunnya debit puncak dan limpasan (subdas 1,2,3,4, dan 6). Berbeda pada subdas 5 dan 7 yang dikonversi menjadi ladang, nilai debit puncak dan limpasan justru mengalami peningkatan. Perbandingan antara debit puncak *baseline* dengan Skenario 3 dapat dilihat pada Tabel 7.

3.8. Perbandingan Simulasi Respons Hidrologi

Perbedaan jenis penggunaan lahan dalam simulasi menghasilkan debit puncak dan volume limpasan yang berbeda pula. Nilai yang ditampilkan merupakan nilai dari hasil prediksi penggunaan lahan tiga skenario. Hasil simulasi model HEC-HMS menunjukkan bahwa dari ketiga skenario yang dijalankan memperlihatkan bahwa skenario 1 menghasilkan debit puncak dan volume limpasan lebih kecil jika dibandingkan dengan kondisi *baseline* (2017).

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Skenario rehabilitasi DAS dapat dilihat dari hasil simulasi dengan melakukan reboisasi tanah/lahan kosong (skenario 1). Skenario 1 menghasilkan kondisi hidrologi lebih baik jika dibandingkan skenario 2, skenario 3, dan *baseline* dengan debit puncak skenario sebesar 497,1 m³/s.

4.2. Saran

Perlu dilakukannya reboisasi pada lahan kosong/terbuka yang ada di DAS Air Dingin. Perubahan bentuk penggunaan lahan terbuka menjadi non hutan meningkatkan debit puncak yang terjadi di DAS Air Dingin. Reboisasi dapat dilakukan sesegera mungkin agar kondisi banjir yang terjadi di DAS Air Dingin tidak terjadi lagi.

DAFTAR PUSTAKA

Babel M, Agarwal A, Swain D, Herath S. 2011. Evaluation of Climate Change Impacts and Adaptation Measures for Rice Cultivation in Northeast Thailand. *Climate Research*. 46(2): 137-146.

Farid *et al*. 2011. Modeling Flood Runoff Response to Land Cover Change with Rainfall Spatial Distribution in Urbanized Catchment.

Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering). 67(4): 19-24.

Gebre SL, Ludwig F. 2015. Hydrological Response to Climate Change of the Upper Blue Nile River Basin: Based on IPCC Fifth Assessment Report (AR5). *J Climatol Weather Forecasting*. 3: 121.

Nash JE, Sutcliffe JV. 1970. River flow forecasting through conceptual models: Part I—A discussion of principles. *Journal of Hydrology*. 10: 282-290.

Soewarno. 1995. *Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data*. Bandung (ID) : Nova.

[USACE] US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center. 2013. HEC-HMS Hydrologic Modelling System: User's Manual. Tersedia pada: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hechhms>.

Suripin. 2004. *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Yogyakarta (ID) : Andi.

Triatmodjo B. 2016. *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta (ID) : Beta Offset Yogyakarta.

