

STUDI PENGELOLAAN AIR HUJAN DALAM RANGKA PENGEMBANGAN TAMAN KONSERVASI DI KOTA SAWAHLUNTO, SUMATERA BARAT

STUDY OF RAINWATER MANAGEMENT IN THE FRAMEWORK OF DEVELOPMENT OF CONSERVATION PARK IN SAWAHLUNTO CITY, WEST SUMATERA

Steven Kent¹⁾, Doddi Yudianto^{2)*}, Finna Fitriana³⁾

^{1,2,3)}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan
Jln. Ciembuleuit No. 94, Bandung, Indonesia

*Correspondent email: doddi_yd@unpar.ac.id

Diterima: 01 September 2022; Direvisi: 30 September 2022; Disetujui: 14 November 2022

ABSTRACT

Sawahlunto Conservation Park is an area developed for plant protection and tourism activities. The Sawahlunto city was initially built to support coal mining activities, so the conservation park has several basins that can be used as flood parking ponds. These basins can be used to meet the needs of watering plants. The study is used to examine the water availability and flood analysis at the area to be built. The conservation park is divided into three areas based on the four reservoirs location: the Kandih Park area, the northern and the southern part of the parking area. In this study, hydrologic and hydraulic analyses will be conducted. In the hydrological analysis, simulations of reservoir capacity are carried out to describe the amount of water that can be used every month. In the hydraulic analysis, SWMM program is used to model rainwater as surface runoff, estimate the planned channel dimensions, and reservoir flood volume. The reservoir simulation results show that the water needs for watering plants can be fully met. However, the available storage ponds have a much smaller volume than the rainfall volume, so the pond will run off throughout the year. The SWMM modeling results show that the channel dimensions from 0.2 m x 0.2 m to 0.5 m x 0.5 m, can drain flood discharge with a two-year return period, with a freeboard five-year return period. This study can be used as a guideline for developing conservation areas in reusing the potential of ex-mining land.

Keywords: Conservation Park of Sawahlunto, Drainage Design, Rainfall Management, Reservoir Simulation, SWMM

ABSTRAK

Taman Konservasi Kota Sawahlunto merupakan area yang dikembangkan untuk kegiatan perlindungan tanaman serta aktivitas pariwisata. Kota Sawahlunto awalnya dibangun sebagai kota pendukung kegiatan pertambangan batu bara, sehingga taman konservasi mempunyai beberapa cekungan yang dapat digunakan sebagai kolam parkir banjir. Cekungan-cekungan tersebut dapat digunakan sebagai sarana dalam memenuhi kebutuhan penyiraman tanaman. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji ketersediaan air serta analisis banjir pada kawasan yang hendak dibangun. Area taman konservasi dibagi menjadi tiga kawasan berdasarkan ke-empat lokasi kolam tampungan, yaitu kawasan Taman Kandih, kawasan taman bagian utara, dan kawasan taman bagian selatan. Dalam studi ini, akan dilakukan analisis hidrologi serta analisis hidraulik. Pada analisis hidrologi, simulasi kapasitas tampungan dilakukan untuk menggambarkan jumlah air yang dapat dipakai setiap bulannya. Pada analisis hidraulik, program SWMM digunakan untuk memodelkan air hujan sebagai limpasan permukaan, mengestimasi dimensi saluran rencana, dan volume banjir tampungan. Hasil simulasi kapasitas tampungan menunjukkan kebutuhan air penyiraman tanaman dapat terpenuhi seluruhnya. Namun, volume kolam yang tersedia jauh lebih kecil dibandingkan volume air, sehingga kolam akan limpas sepanjang tahun. Hasil pemodelan SWMM menunjukkan dimensi saluran rencana dari 0,2 m x 0,2 m hingga 0,5 m x 0,5 m, mampu mengalirkan debit banjir dengan periode ulang 2 tahun, dengan tinggi jagaan sebesar periode ulang lima tahun. Studi ini dapat digunakan sebagai pedoman dalam pengembangan kawasan konservasi dalam rangka pemanfaatan kembali potensi lahan bekas pertambangan.

Kata Kunci: Perencanaan Drainase, Konservasi Air, Simulasi Tampungan, SWMM, Taman Konservasi Sawahlunto

PENDAHULUAN

Taman konservasi merupakan kawasan dengan peranan penting dalam konservasi keberagaman hayati. Di negara-negara berkembang, kawasan yang digunakan untuk mengkonservasi sedang dalam keadaan yang membahayakan (Walle, 2015). Dalam menjaga keanekaragaman hayati, terdapat rencana pembangunan taman konservasi, yang salah satunya adalah kawasan di Kota Sawahlunto, Provinsi Sumatera Barat. Kawasan ini beralih fungsi menjadi tempat pelestarian dan kegiatan pariwisata dalam bentuk taman konservasi. Sebelumnya, Kota Sawahlunto mempunyai peranan sebagai kota pendukung kegiatan pertambangan batu bara hingga tahun 1990-an (Yayasan Kehati, 2020). Kegiatan pertambangan batu bara menyebabkan lahan mempunyai beberapa cekungan, yang kemudian dapat dimanfaatkan sebagai kolam parkir banjir.

Taman Konservasi Kota Sawahlunto dibagi kedalam 4 bagian, yaitu zona alam, zona pendidikan, zona religi, dan zona budaya. Zona alam merupakan zona yang dipakai untuk menanam tanaman, kendati demikian ketiga zona lainnya juga terdapat area untuk konservasi tanaman. Keseluruhan area tanam pada Taman Konservasi Kota Sawahlunto adalah 23 hektar. Diharapkan pengembangan Taman Konservasi Kota Sawahlunto dapat menjaga kelestarian hayati.

Upaya untuk melakukan pelestarian pada Taman Konservasi Kota Sawahlunto tidak terhindar dari kebutuhan air yang relatif besar. Air, yang diperoleh dari hujan, akan digunakan untuk kegiatan penyiraman tanaman. Oleh sebab itu, perlu dilakukan analisis ketersediaan air untuk memeriksa keandalan volume air hujan yang dapat digunakan sepanjang waktu. Disamping itu, apabila volume air hujan yang tersedia terlalu besar dalam periode waktu tertentu, kawasan dapat mengalami banjir. Namun, baik analisis ketersediaan air maupun analisis debit banjir di area Taman Konservasi Kota Sawahlunto, belum pernah dikaji secara detil.

Dalam upaya pengembangan kawasan Taman Konservasi Kota Sawahlunto, perlu dilakukan studi analisis ketersediaan air serta analisis debit banjir. Kedua analisis tersebut akan dilakukan dengan menggunakan data curah hujan satelit bulanan dan harian. Data hujan satelit bulanan perlu dikoreksi

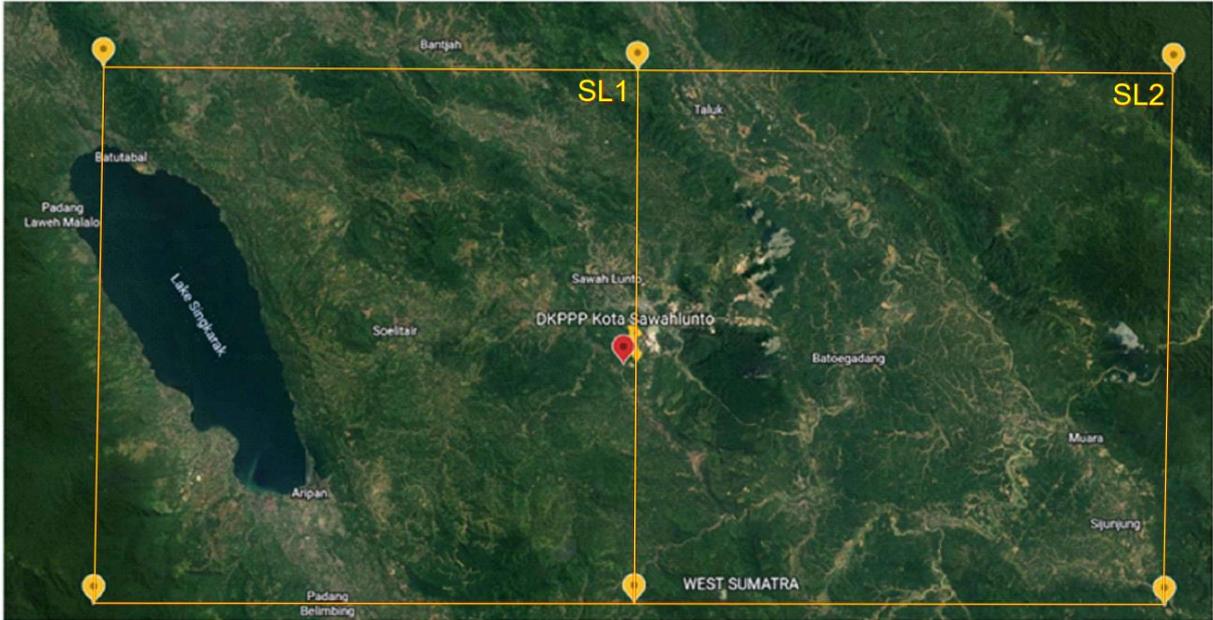
menggunakan data hujan terukur, hal ini akan dibahas pada bagian selanjutnya. Selanjutnya, data hujan satelit harian perlu diperiksa pola distribusi hujannya, sebelum digunakan dalam analisis debit banjir. Melalui analisis ketersediaan air, akan didapatkan hasil volume air hujan yang dapat digunakan setiap bulannya. Selain itu, pengembangan taman konservasi juga meliputi perencanaan drainase untuk mengalirkan air hujan ke kolam tampungan eksisting. Perencanaan dimensi drainase akan dilakukan menggunakan program *Storm Water Management Model* (SWMM). Pada studi ini perencanaan dimensi saluran bertujuan untuk memastikan sistem drainase pada taman konservasi mampu mengalirkan air hujan agar tidak terjadi banjir pada kawasan. Studi ini juga akan membahas penentuan elevasi muka air maksimum, agar air hujan yang tertampung pada kolam tampungan, tidak meluap ke kawasan taman konservasi.

Penelitian ini menggunakan data klimatologi yang tersedia untuk menghitung nilai *Potential Evapotranspiration* (PET), seperti data temperatur bulanan rata-rata, kecepatan angin, kelembaban udara, hingga data mengenai lama penyinaran matahari. Selain itu, penelitian ini menggunakan data hujan terukur bulanan selama 4 tahun (2012, serta 2018 hingga 2020) dan data hujan satelit (TRMM) bulanan dan harian selama 22 tahun (1998 hingga 2019) di Kota Sawahlunto (Huffman et al, 2021). Data hujan terukur diambil dari Dinas Ketahanan Pangan, Pertanian, dan Perikanan (DKPPP) Kota Sawahlunto. Letak DKPPP Kota Sawahlunto, pembagian *grid* data TRMM, serta lokasi taman konservasi (area berwarna kuning) dapat dilihat pada Gambar 1.

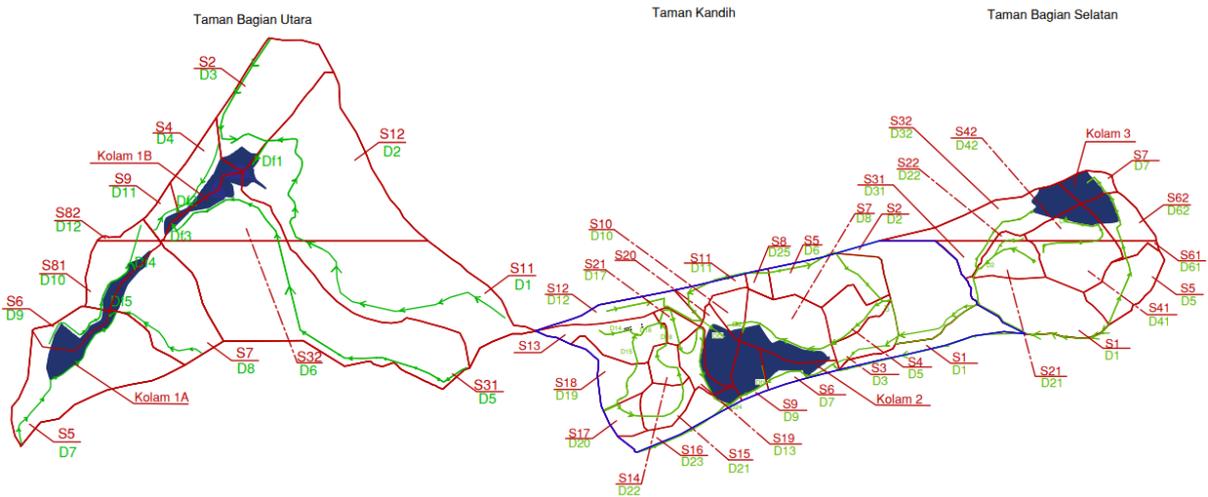
METODOLOGI

Kondisi Umum Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Kota Sawahlunto dengan titik koordinat 100,75 Bujur Timur (BT) dan 0,627 Lintang Selatan (LS). Kawasan taman konservasi mempunyai luas sebesar 23 ha. Daerah tangkapan dibagi berdasarkan ke-empat lokasi kolam tampungan serta kontur lahan area tersebut. Studi ini membagi taman konservasi kedalam 3 kawasan tangkapan hujan, yaitu kawasan Taman Kandih, kawasan taman bagian utara, dan kawasan taman bagian selatan, yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Lokasi Taman Konservasi Kota Sawahlunto

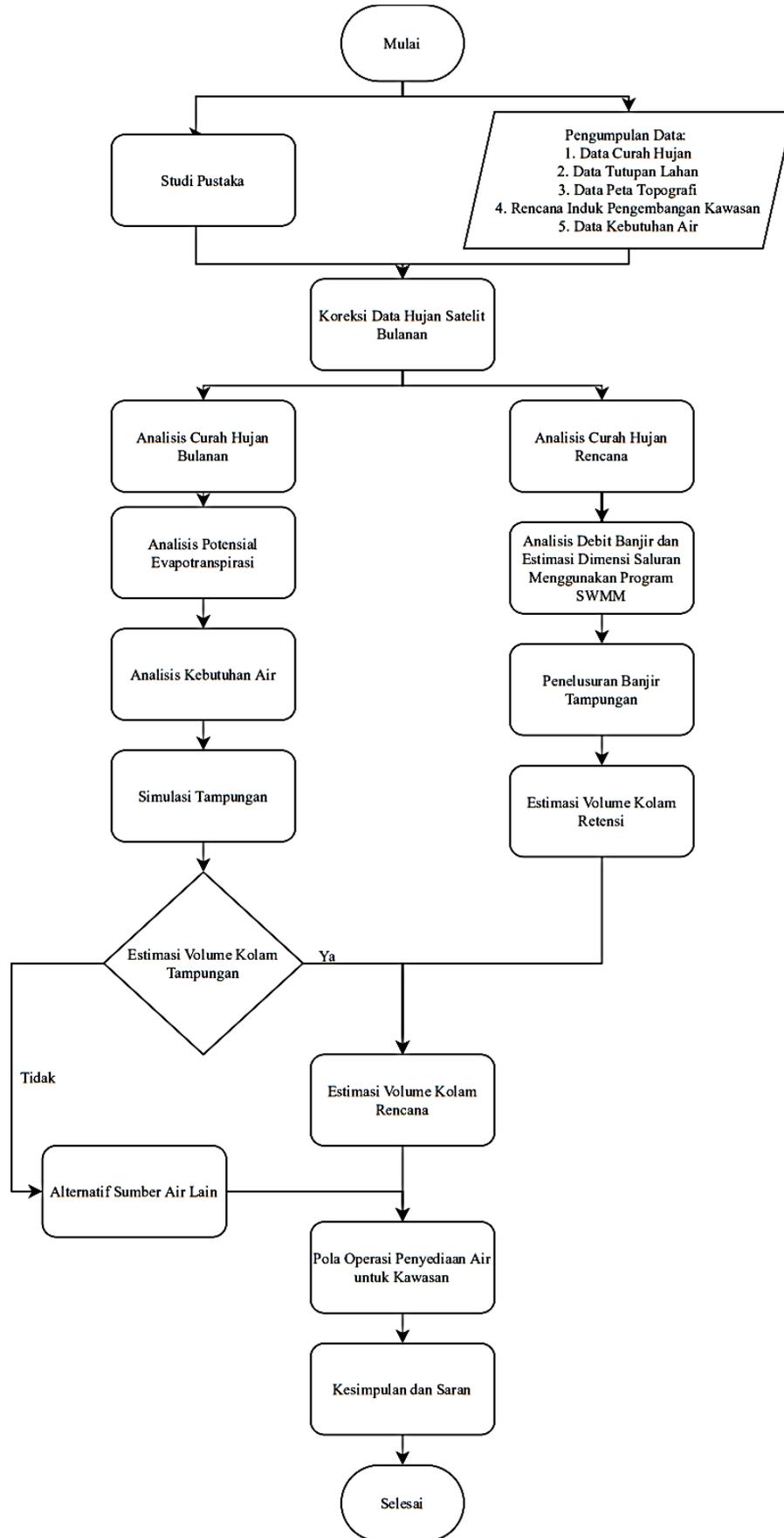


Gambar 2. Pembagian Daerah Tangkapan Air Hujan Berdasarkan Kolam Tampung Eksisting

Diagram Alir Penelitian

Pada studi ini, tahapan penelitian dimulai dengan kajian literatur dan pengumpulan data sekunder. Selanjutnya, dilakukan koreksi terhadap data hujan satelit bulanan untuk digunakan dalam analisis hidrologi dengan hasil keluaran berupa curah hujan bulanan pada probabilitas tertentu. Secara garis besar, analisis hidrologi terdiri atas beberapa tahap seperti analisis potensial evapotranspirasi bulanan, analisis kebutuhan air, serta simulasi tampungan untuk mengetahui volume kolam tampungan yang dibutuhkan.

Adapun analisis hidraulika dilakukan dengan mengacu pada perhitungan curah hujan rencana yang diperoleh dari data hujan satelit harian. Pemodelan banjir dan estimasi dimensi saluran dilakukan dengan menggunakan program SWMM. Setelah itu dilakukan penelurusan banjir dan estimasi volume kolam rencana. Apabila kebutuhan air sudah terpenuhi, maka tidak perlu dilakukan studi terhadap alternatif sumber air lainnya dan studi dapat dilanjutkan untuk menentukan pola operasi penyediaan air kawasan. Secara terperinci, diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

Data Hujan Terukur dan Data Hujan Satelit

Curah hujan merupakan tinggi air hujan yang jatuh ke permukaan tanah dalam periode waktu tertentu. Terdapat 2 jenis data hujan berdasarkan cara memperolehnya yaitu data hujan terukur dan data hujan satelit. Data hujan terukur didapatkan dari hasil observasi di masing-masing stasiun hujan. Sedangkan, data hujan satelit merupakan hasil perkiraan curah hujan pada awan yang berpotensi menghasilkan hujan menggunakan alat inframerah satelit (Vernimmen et al, 2012).

Data hujan *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) adalah salah satu tipe data hujan satelit yang sering dipakai di Indonesia. Karakteristik data TRMM memiliki pola hujan yang sama dengan data observasi di permukaan, menjadi salah satu faktor yang mendukung penggunaan data TRMM di Indonesia (Mashudi et al, 2021). Data TRMM memiliki cakupan wilayah berupa persegi dengan luas 28 km x 28 km dan tersedia dalam bentuk hujan 3-jaman, harian, serta bulanan.

Berbeda dengan data hujan terukur, data hujan satelit perlu dikoreksi sebelum digunakan dalam analisis. Koreksi data TRMM dapat dilakukan menggunakan 2 metode, yaitu dengan mengkoreksi data hujan satelit menggunakan lengkung durasi berdasarkan data hujan terukur dan menggunakan persamaan regresi Mamenun (2014). Pada studi ini, data hujan satelit harian tidak koreksi karena tidak adanya data pos hujan harian yang tersedia pada lokasi studi. Persamaan regresi Mamenun (2014) untuk mengkoreksi data TRMM bulanan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Persamaan Koreksi Data Hujan Satelit

Pola Hujan	Nilai a	Nilai b	Bentuk persamaan regresi
Monsun	7,094	0,625	$Y = 7,094 X^{0,625}$
Equatorial	6,849	0,605	$Y = 6,849 X^{0,605}$
Lokal	0,118	1,672	$Y = 0,118 + 1,672 X$

Sumber: Mamenun (2014)

dimana:

Y : TRMM terkoreksi

X : TRMM

Curah Hujan Wilayah

Curah hujan wilayah merupakan besarnya hujan yang terjadi di suatu DAS. Perhitungan besarnya curah hujan wilayah dapat dilakukan dengan menggunakan metode Poligon Thiessen. Kelebihan metode ini adanya pertimbangan untuk

memasukan pengaruh luasan tiap stasiun hujan terhadap curah hujan wilayah tersebut, sehingga lebih akurat dibandingkan metode lain (Ajr & Dwirani, 2019). Metode Poligon Thiessen juga cocok digunakan ketika daerah tinjauan tidak rata (Lashari, Kusumawardani, & Prakarsa, 2017).

Potensial Evapotranspirasi (PET)

Potensial Evapotranspirasi (PET) dapat didefinisikan sebagai volume evaporasi dan transpirasi yang dapat terjadi dengan jumlah air yang memadai (Suwarman, Novitasari, & Junnaedhi, 2021). Metode Penman merupakan salah satu dari sekian metode yang umum digunakan dalam perhitungan PET. Metode Penman terdiri atas banyak faktor dan hasilnya yang lebih akurat dibandingkan dengan metode lainnya. Perhitungan PET metode Penman dirumuskan dalam persamaan (1):

$$PET = c \times \{ (W \times R_n) + (1 - W) \times f_{(u)} \times (e_a - e_d) \} \dots (1)$$

dimana:

C : Faktor koreksi akibat pengaruh cuaca siang dan malam hari

W : Faktor efek radiasi pada PET

R_n : Jumlah radiasi setara dengan evaporasi (mm/hari)

f_(u) : Faktor pengaruh angin

e_a : Tekanan uap jenuh (mbar)

e_d : Tekanan uap sebenarnya di udara (mbar)

Analisis Curah Hujan

Menurut SNI 2415:2016 mengenai Tata Cara Perhitungan Debit Banjir Rencana, analisis hidrologi merupakan serangkaian proses pengolahan data hujan harian maksimum tahunan (HHMT) dengan jumlah data minimal terdiri lebih dari 20 tahun (SNI 2415:2016). Pada studi ini, analisis hidrologi terdiri atas uji pemeriksaan data hujan, analisis frekuensi, dan pengujian kecocokan distribusi probabilitas. Uji pemeriksaan data hujan terdiri atas 4 uji, yaitu uji kecenderungan, uji independensi, uji pencilan, serta uji stabilitas. Hal ini dilakukan untuk memeriksa kelayakan data hujan sebelum digunakan. Data yang digunakan untuk analisis harus konsisten, *stationary*, dan homogen.

Langkah selanjutnya adalah analisis frekuensi yang dipakai untuk mencari besaran peristiwa dengan probabilitas dilampaui setidaknya satu kali dalam n tahun. Terdapat beberapa parameter statistik dalam analisis frekuensi, seperti nilai rata-rata, koefisien skewness, koefisien variasi, dan standar deviasi. Analisis frekuensi terdiri atas beberapa jenis distribusi probabilitas, namun kebutuhan perencanaan hanya membutuhkan nilai analisis dari satu distribusi probabilitas saja. Uji

kecocokan perlu dilakukan untuk menentukan distribusi probabilitas yang paling tepat. Pada studi ini, metode Kolmogorov-Smirnov digunakan dalam uji kecocokan.

Distribusi Hujan

Nilai curah hujan rencana yang didapat dari analisis frekuensi perlu ditransformasi ke dalam bentuk hujan jam-jamannya. Transformasi dilakukan dengan menggunakan pola distribusi hujan, yang dapat diambil dari pencatatan stasiun hujan. Apabila data pencatatan hujan jam-jaman pada stasiun hujan tidak tersedia, maka pola distribusi hujan dapat mengikuti pola yang sudah dikembangkan di wilayah lain (Christian et al, 2017). Berdasarkan Zainuri (2021), dalam (Effendi, Harifa, & Sutikno, 2022), salah satu pola distribusi hujan yang cocok untuk digunakan di Indonesia adalah PSA 007. Pada studi ini, digunakan pola distribusi PSA 007 dengan durasi hujan 9 jam.

Simulasi Kapasitas Tampungan

Simulasi kapasitas tampungan dilakukan untuk menganalisis ketersediaan air dengan periode waktu bulanan. Analisis ini ditinjau dengan memperhatikan nilai debit aliran masuk (*inflow*) dan debit aliran keluar (*outflow*). Debit aliran masuk bersumber dari hujan yang jatuh di kawasan taman konservasi dan probabilitas keandalannya perlu dianalisis terlebih dahulu. Probabilitas debit andal yang digunakan pada studi ini sebesar 50% dan 80%. Dasar penggunaan probabilitas keandalan 50% dan 80% akan dibahas pada bagian selanjutnya. Debit aliran keluar merupakan kebutuhan air untuk pengembangan kawasan taman konservasi. Nilai kebutuhan air cenderung konstan setiap bulannya, sedangkan nilai *inflow* berfluktuasi mengikuti kondisi iklim setempat. Oleh karena itu, nilai *inflow* yang berlebih dapat ditampung di kolam tampungan, dan selanjutnya dapat dipakai ketika musim kering.

Debit andal adalah nilai debit yang berkaitan dengan kemungkinan terjadinya sama atau melampaui dari yang diharapkan (Amalia, Ramadhan, & Asniar, 2020). Semakin besar nilai probabilitas keandalan aliran, maka nilai aliran yang dapat digunakan akan semakin kecil. Terdapat dua metode analisis debit andal untuk kegiatan pengembangan kawasan taman konservasi, yaitu metode dasar tahun perencanaan dan metode debit rata-rata minimum. Metode dasar tahun perencanaan menggunakan data hujan dengan probabilitas keandalan sebesar 80%. Nilai hujan dengan keandalan 80% sudah dianggap sebagai hujan efektif. Metode debit rata-rata minimum menggunakan nilai hujan dengan keandalan 50%. Sebelum digunakan dalam analisis debit andal, nilai

hujan perlu dikurangi dengan nilai PET dan infiltrasi. Pada studi ini, digunakan kedua metode tersebut untuk mendapatkan nilai tampungan air hujan terbesar yang diperlukan pada setiap kawasan. Simulasi kapasitas tampungan dilakukan pada setiap kolam tampungan, dengan hasil yang dapat menggambarkan jumlah air yang dapat dipakai setiap bulannya.

Penelusuran Kapasitas Tampungan

Penelusuran kapasitas tampungan merupakan usaha penyediaan air di suatu kawasan dengan memeriksa volume air pada kolam tampungan tanpa mengalami kelebihan atau kekurangan volume air yang dibutuhkan. Konversi massa adalah dasar penelusuran kapasitas tampungan, persamaan matematik yang digunakan adalah persamaan (2):

$$I-O = \frac{\Delta S}{\Delta t} \dots\dots\dots (2)$$

dimana :

- I : *Inflow* (m³/s)
- O : *Outflow* (m³/s)
- ΔS : Perubahan volume air tampungan(m³)
- Δt : Selang waktu (s)

SWMM

Seiring dengan perkembangan teknologi, banyak model yang dapat mensimulasikan hujan-limpasan, salah satunya adalah perangkat lunak SWMM (Ahamed & Argawal, 2019). SWMM menggabungkan aspek hidrologi dan aspek hidraulika di dalam programnya. Dalam aspek hidrologi, SWMM mampu memodelkan hujan bervariasi fungsi waktu, perkolasi, infiltrasi, intersepsi hujan, penelusuran tampungan, dan evaporasi. Dalam aspek hidraulika, SWMM mampu menghasilkan simulasi jaringan drainase dengan bentuk saluran rencana yang bervariasi, bukaan peluap, serta operasi pompa.

Elevasi Muka Air Maksimum di Kolam Tampungan

Elevasi muka air maksimum dapat dihitung menggunakan analisis solver pada program Microsoft Excel. Persamaan matematik yang digunakan untuk mendapatkan nilai elevasi muka air maksimum pada kolam tampungan dapat dilihat pada rumus matematik (3).

$$V_{tampungan} = V_{i-1} + A_i \times t \dots\dots\dots (3)$$

dimana:

- $V_{tampungan}$: Volume tampungan yang ada (m³)
- V_{i-1} : Volume tampungan pada *layer* i-1 (m³)
- A_i : Luas area pada *layer* tertinjau (m²)
- T : Kedalaman air (m)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Ketersediaan Air

1. Koreksi Data TRMM Bulanan

Pada studi ini, analisis ketersediaan air maupun analisis debit banjir menggunakan data TRMM, karena data yang tersedia jauh lebih panjang, yakni 22 tahun. Untuk data hujan terukur Kota Sawahlunto, hanya tersedia selama 4 tahun. Hasil analisis dari data yang pendek, tidak dapat dipercaya keandalannya. Namun, data TRMM perlu dikoreksi, karena terdapat perbedaan yang signifikan terhadap data hujan terukur. Data TRMM bulanan dikoreksi menggunakan 2 metode, yaitu dengan menggunakan kurva durasi dan metode persamaan regresi Mamenun (2014). Kota Sawahlunto terletak di provinsi Sumatera Barat, sehingga data TRMM harus dikoreksi menggunakan pola hujan Equatorial. Koreksi data TRMM menggunakan kurva durasi dilakukan dengan membagi hujan ke dalam 3 kelompok rentang hujan. Tabel 2 menunjukkan nilai koefisien koreksi untuk setiap kelompok rentang hujan berdasarkan pos hujan Kota Sawahlunto. Hasil koreksi data TRMM Kota Sawahlunto dapat dilihat pada Gambar 4.

Tabel 2. Koreksi Data TRMM Menggunakan Kurva Durasi

Rentang	Koefisien Koreksi
0 – 200 mm	0,80
200 – 300 mm	0,85
>300 mm	0,90

Hasil studi koreksi data hujan satelit pada Gambar 4 menunjukkan koefisien koreksi yang lebih

tepat digunakan adalah koreksi berdasarkan pos hujan Kota Sawahlunto. Koefisien koreksi berdasarkan pos hujan menghasilkan nilai %beda maksimal yang lebih kecil dibanding koreksi menggunakan persamaan regresi Mamenun. Hasil perhitungan %beda maksimal dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan %Beda Maksimal Hasil Koreksi Data Hujan Satelit

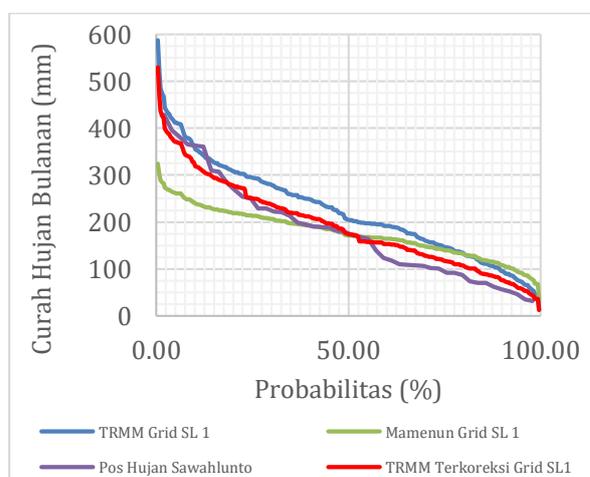
%Beda Max Titik SL1		%Beda Max Titik SL2	
Persamaan Equatorial	Kurva Durasi	Persamaan Equatorial	Kurva Durasi
57,43	37,50	48,32	37,50

2. Analisis PET

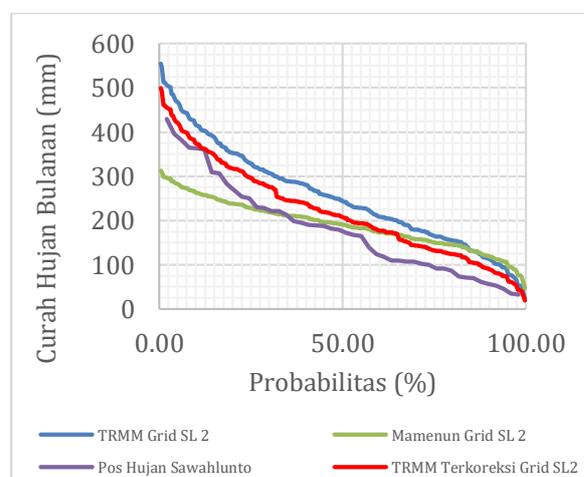
Pada studi ini, nilai PET dihitung menggunakan metode Penman, sehingga perlu data klimatologi yang cukup banyak. Nilai PET akan dipakai untuk perhitungan simulasi kapasitas tampungan menggunakan data hujan dengan nilai keandalan 50%. Tabel 4 menunjukkan nilai PET hasil perhitungan pada lokasi penelitian.

Tabel 4. Nilai PET pada Lokasi Studi

Bulan	PET (mm)	Bulan	PET (mm)
Januari	142,20	Juli	113,33
Februari	153,34	Agustus	124,51
Maret	152,13	September	113,10
April	120,99	Oktober	119,73
Mei	116,22	November	103,15
Juni	114,22	Desember	125,05



(a)



(b)

Gambar 1. Hasil Koreksi Data TRMM (a) *Grid SL1* dan (b) *Grid SL2*

3. Simulasi Kapasitas Tampungan

Simulasi kapasitas tampungan dilakukan untuk ketiga kawasan, yaitu pada kawasan Taman Kandih, kawasan Taman Bagian Utara, dan kawasan Taman Bagian Selatan. Pada setiap Kawasan, dilakukan 2 tipe simulasi kapasitas tampungan, yaitu simulasi kapasitas tampungan menggunakan data TRMM rata-rata dan data TRMM R₈₀. Simulasi kapasitas tampungan digunakan untuk mencari nilai kapasitas tampungan yang diperlukan pada masing-masing kawasan. Nilai *inflow* merupakan volume curah hujan bulanan yang dihitung dari hasil perkalian curah hujan wilayah bulanan dengan luas daerah tangkapan hujan. Pada simulasi kapasitas tampungan nilai *outflow* merupakan nilai rerata kumulatif *inflow* dari bulan Januari hingga bulan Desember. Metode ini digunakan untuk mengetahui volume air maksimum yang dapat dipakai setiap bulannya. Kapasitas tampungan yang diperlukan dapat ditentukan dari selisih antara nilai maksimum kumulatif *inflow* - kumulatif *Outflow* dengan nilai minimum kumulatif *inflow* - kumulatif *outflow* minimum. Gambar 5 menunjukkan contoh grafik kurva massa hasil simulasi kapasitas tampungan yang dilakukan pada kawasan Taman Kandih.

Tabel 5 menunjukkan kedua hasil simulasi untuk menentukan kapasitas tampungan yang diperlukan pada setiap kawasan. Dari kedua tipe simulasi, digunakan nilai kapasitas tampungan yang menghasilkan nilai terkecil. Pada studi ini, nilai kapasitas tampungan terkecil dihasilkan dari simulasi menggunakan data R₈₀ TRMM.

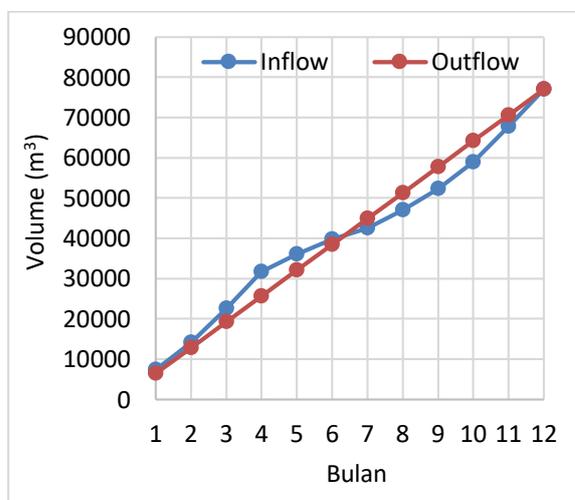
Tabel 5. Nilai Kapasitas Tampungan yang Diperlukan untuk Setiap Kawasan

Tipe Simulasi	Kapasitas Tampungan yang Diperlukan [m ³]		
	Taman Kandih	Taman Bagian Utara	Taman Bagian Selatan
R80 TRMM	11.486	21.642	6.366
Rata-rata TRMM	12.212	24.484	7.214

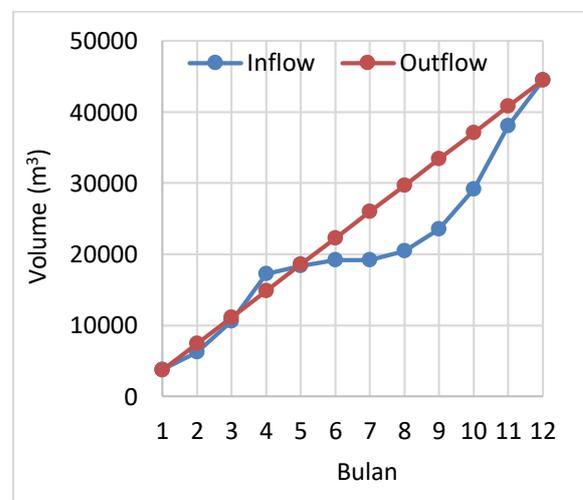
Pemodelan SWMM untuk Perencanaan Drainase

1. Analisis Data HHMT

Sebelum data curah hujan harian digunakan, data tersebut perlu diperiksa untuk mengetahui adanya *trend*, *outlier*, independensi, kestabilan rata-rata dan varians. Uji pemeriksaan data dan analisis frekuensi dilakukan menggunakan *spreadsheet* yang diciptakan oleh Bambang Adi Riyanto. Berdasarkan hasil pemeriksaan data hujan harian maksimum tahunan (HHMT), dapat disimpulkan bahwa data HHMT dapat dipakai dalam analisis selanjutnya. Tabel 6 menunjukkan hasil analisis frekuensi untuk nilai curah hujan pada kedua *grid*, dengan nilai yang diambil dari distribusi probabilitas GEV. Distribusi GEV dipilih karena nilai penyimpangan maksimum yang dihasilkan paling kecil diantara distribusi lainnya.



(a)



(b)

Gambar 2. Grafik Kurva Massa pada Taman Kandih untuk (a) Hujan R80 dan (b) Hujan Rrata-rata

Selanjutnya adalah penentuan periode ulang untuk distribusi curah hujan. Periode ulang curah hujan harian dilakukan berdasarkan grafik perbandingan yang dapat dilihat pada Gambar 6. Berdasarkan grafik tersebut, jumlah peristiwa hujan yang melampaui curah hujan rencana dengan periode ulang 10 tahun adalah sebanyak 2 kejadian dalam 21 tahun, yang menunjukkan hujan dengan periode ulang 10 tahun jarang sekali terjadi. Mengacu pada Gambar 6, periode ulang yang digunakan adalah periode ulang 2 tahun dengan mempertimbangkan tinggi jagaan untuk periode ulang 5 tahun. Penggunaan periode ulang 2 tahun juga didasari oleh Peraturan Menteri Perkerjaan Umum Nomor 12 Tahun 2014 tentang Penyelenggaraan Sistem Drainase Perkotaan, dimana kawasan Taman Konservasi Kota Sawahlunto termasuk ke dalam tipologi Kota Kecil dengan luas daerah tangkapan hujan sebesar 23 hektar.

Salah satu parameter yang perlu dimasukkan ke dalam program SWMM adalah pola distribusi hujan. Pada studi ini, digunakan metode PSA 007 untuk mendistribusikan hujan harian menjadi hujan jam-jaman. Dengan menggunakan kurva massa hujan kumulatif, didapatkan pola hujan yang tepat adalah hujan dengan durasi 9 jam.

2. Parameter Model SWMM

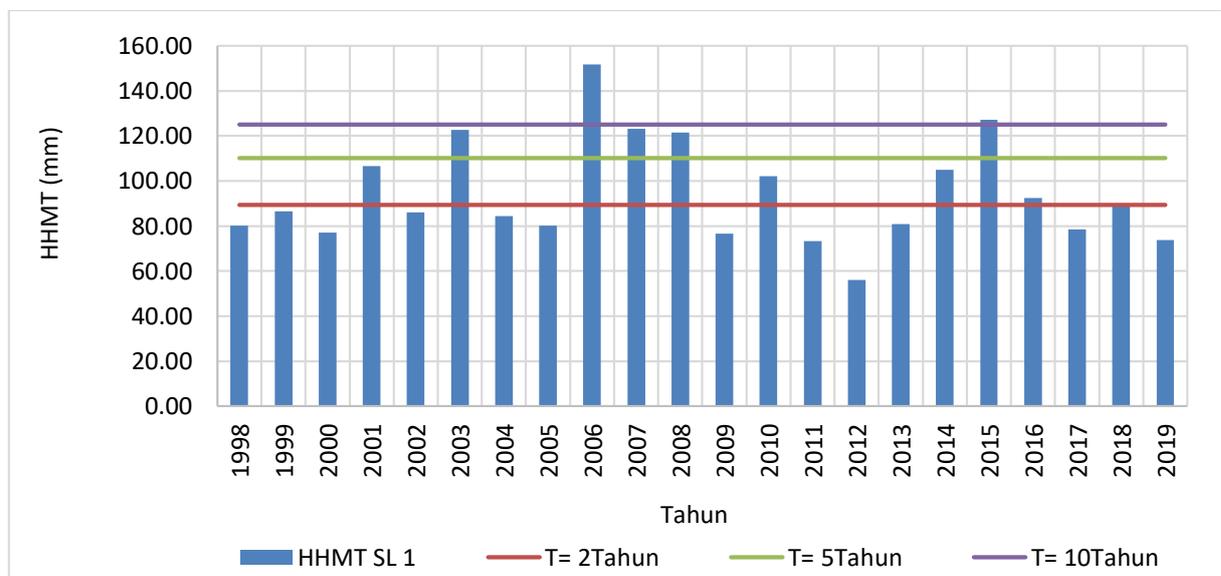
Terdapat beberapa parameter model yang dimasukkan ke dalam program SWMM, yaitu *subcatchment*, *nodes*, *links (conduits)*, dan *storage curves*. Pada parameter *subcatchment*, nilai yang

perlu diisi adalah luas *subcatchment*, persentase lahan kecap air (%), lebar *subcatchment*, kemiringan lahan (%), *depression storage*, koefisien *Curve Number (CN)*, dan *rain gage*. Seluruh nilai pada parameter *subcatchment* merupakan gambaran kondisi daerah tangkapan hujan pada Taman Konservasi Kota Sawahlunto.

Pada parameter *nodes* dimasukan nilai elevasi awal dan akhir untuk saluran, dimana objek saluran dimodelkan melalui parameter *links*. Seluruh saluran direncanakan dengan bentuk persegi dengan dimensi dari 0,2 m x 0,2 m hingga 0,5 m x 0,5 m, dan kemiringan saluran yang bervariasi dari 0,1% hingga 0,75%. Akibat dari kondisi kontur eksisting yang cukup terjal, aliran air pada setiap saluran dapat mengalami loncat air. Peristiwa loncat air dapat terjadi akibat adanya perubahan jenis aliran dari subkritis ke superkritis. Oleh karena itu, saluran direncanakan dengan adanya terjunan dengan tinggi terjunan maksimal sebesar 0,5 m.

Tabel 6. Hasil Analisis Frekuensi pada Kedua Grid

Kala Ulang T (Tahun)	t	Distribusi Probabilitas GEV (mm)	
		Grid SL 1	Grid SL 2
2	0,0000	89,4	94,0
5	0,8416	110,2	111,2
10	12,816	125,0	124,7
Simpangan Maksimum		10,01	11,08
ΔKritis (Sig. Level 5%)		28,2	28,2



Gambar 3. Grafik Perbandingan HHMT yang Melampaui Curah Hujan Rencana

3. Hasil Pemodelan SWMM

Pemodelan SWMM dilakukan dengan durasi 24 jam dengan waktu pencatatan setiap 15 menit. Hasil pemodelan SWMM adalah nilai debit hujan-limpasan maksimum untuk setiap kawasan, hidrograf banjir, nilai volume banjir untuk setiap kolam tampungan, serta ketinggian dan kecepatan aliran di saluran. Menggunakan parameter-parameter tersebut, pemodelan SWMM yang telah dilakukan dapat diperiksa validitasnya. Pemeriksaan validitas dilakukan untuk memeriksa kejadian loncat air, erosi, dan kejadian limpas pada setiap kawasan dengan distribusi hujan periode ulang 2 dan 5 tahun. Hasil pemeriksaan menunjukkan desain saluran rencana pada setiap kawasan aman dari loncat air, erosi, serta limpas. Seluruh saluran rencana yang dimodelkan pada SWMM akan dialirkan ke setiap kolam tampungan yang tersedia. SWMM dapat memodelkan volume air tampungan banjir yang masuk ke kolam tampungan.

Tabel 7 menunjukkan nilai volume tampungan banjir seluruh kawasan untuk periode ulang 2 dan 5 tahun.

Volume Kolam Tampungan yang Tersedia

Setiap kawasan pada taman konservasi memiliki kolam tampungan, dengan perhitungan volume kolam dilakukan dengan rumus matematik (4). Gambar 7 menunjukkan grafik elevasi, luas, dan volume kolam tampungan yang tersedia pada setiap kawasan.

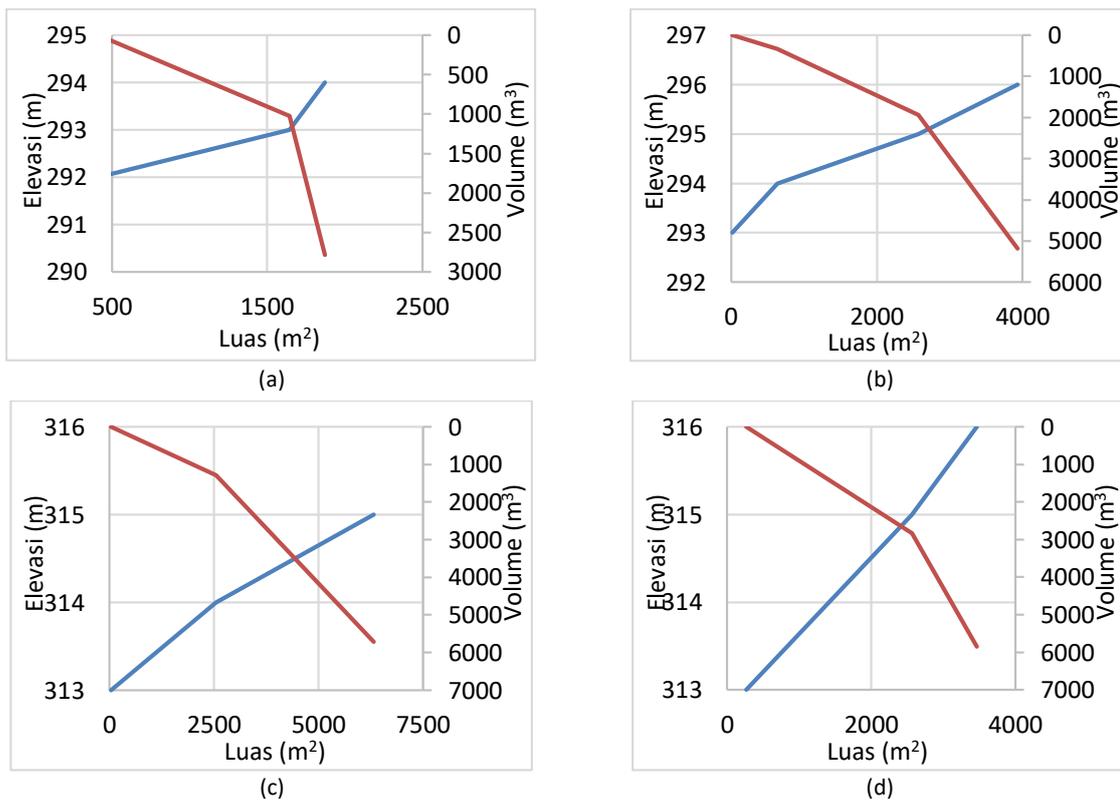
$$V_i = \frac{A_i + A_{i+1}}{2} \times \Delta H \dots\dots\dots(4)$$

dimana:

- V_i : Volume kolam tampungan setiap layer (m³)
- A_i : Luas area kolam tampungan pada suatu elevasi (m²)
- ΔH : Selisih elevasi antar luas area kolam tampungan (m)

Tabel 7. Volume Tampungan Banjir Seluruh Kawasan

V [m ³]	Taman Kandih		Taman Bagian Utara				Taman Bagian Selatan	
	Kolam 2		Kolam 1A		Kolam 1B		Kolam 3	
	T= 2 Tahun	T= 5 Tahun	T= 2 Tahun	T= 5 Tahun	T= 2 Tahun	T= 5 Tahun	T= 2 Tahun	T= 5 Tahun
	2177,41	2972,37	1056,61	1143,28	3253,38	3826,81	1284,09	1690,31



Gambar 4. Grafik Elevasi, Luas, dan Volume Kolam Tampungan 1A (a), 1B (b), 2 (c), dan 3 (d)

Simulasi Kapasitas Tampungan Menggunakan Kebutuhan yang Sebenarnya

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan oleh Yayasan Kehati, volume air yang dibutuhkan untuk penyiraman tanaman adalah sebesar 42.000 liter/hari. Nilai kebutuhan tersebut dikalikan dengan jumlah hari penyiraman agar didapat volume air penyiraman tanaman setiap bulannya. Asumsi yang dipakai dalam studi ini adalah tanaman disiram setiap hari. Hasil dari simulasi kapasitas tampungan menggunakan nilai kebutuhan penyiraman adalah hampir seluruh kolam mengalami kelebihan air sepanjang tahun. Hal yang dapat dilakukan untuk mengatasi kelebihan air ini adalah dengan menjaga elevasi muka air kolam pada titik elevasi tertentu.

Penentuan Elevasi Muka Air Maksimum di Kolam Tampungan

Penentuan elevasi muka air maksimum, pada setiap kolam tampungan, dihitung menggunakan nilai volume tampungan banjir periode ulang 2 tahun. Pada titik elevasi maksimum yang ditetapkan, apabila terjadi hujan dengan periode ulang 2 tahun, kolam dapat menampung hujan tanpa mengenai kawasan taman konservasi. Nilai elevasi muka air maksimum di setiap kolam tampungan dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Elevasi Muka Air Maksimum di Setiap Kolam Tampungan

	Taman Bagian Utara		Taman Kandih	Taman Bagian Selatan
	Kolam 1 A	Kolam 1B	Kolam 2	Kolam 3
Elevasi Muka Air Maksimum (m)	+293,40	+295,00	+314,51	+315,57

KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan dapat ditarik berdasarkan hasil studi terkait pengelolaan air hujan dalam rangka pengembangan taman konservasi di Kota Sawahlunto, yakni sebagai berikut:

Terdapat perbedaan yang signifikan pada hasil plotting curah hujan bulanan stasiun hujan Sawahlunto dan data TRMM, dimana curah hujan bulanan TRMM lebih tinggi dibandingkan stasiun hujan. Nilai faktor koreksi data satelit TRMM bervariasi dari 0,8 hingga 0,9. Kemudian, berdasarkan data HHMT kawasan taman

konservasi Kota Sawahlunto terdistribusi dengan durasi 9 jam, yaitu 3,5%; 6%; 10,5%; 40%; 15%; 10%; 5,5%; 5,5%; dan 4%.

Berdasarkan hasil simulasi tampungan, volume air hujan pada kawasan taman konservasi Kota Sawahlunto jauh melebihi kebutuhan penyiraman dan volume tampungan eksisting. Besarnya volume tampungan air pada kawasan taman konservasi memiliki rentang dari 5.846,73 m³ hingga 7.964,07 m³.

Hasil pemodelan SWMM menunjukkan saluran drainase rencana, dengan dimensi dari 0,2 m x 0,2 m hingga 0,5 m x 0,5 m, mampu mengalirkan debit banjir dengan periode ulang 2 tahun. Kemiringan lahan pada kawasan cukup curam membuat sebagian besar saluran didesain dengan beberapa terjunan dengan tinggi terjun maksimum 0,5 m. Selain itu, saluran drainase juga direncanakan dengan tinggi jagaan. Tinggi jagaan pada seluruh saluran dan gorong-gorong direncanakan mampu untuk mengalirkan debit banjir dengan periode ulang 5 tahun.

Seluruh saluran drainase didesain untuk mengalirkan limpasan permukaan menuju kolam tampungan eksisting. Berdasarkan hasil analisis, total volume limpasan yang menuju kolam tampungan memiliki rentang dari 1.056,61 m³ hingga 3.253,44 m³.

Elevasi muka air maksimum pada setiap kolam tampungan eksisting berdasarkan volume tampungan banjir dengan curah hujan rencana periode ulang 2 tahun mempunyai rentang nilai dari elevasi +293,40 m hingga elevasi +315,57 m.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis sangat berterimakasih kepada Yayasan Kehati atas izin dan data yang telah diberikan, serta kepada teman-teman yang membantu penulis hingga artikel ini dapat terbit.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahamed, S. M., & Argawal, S. (2019). Urban Flood Modeling and Management using SWMM for New R.R. Pet Region, Vijayawada, India. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 7(6), 317-322.
- Ajr, E., & Dwirani, F. (2019). Menentukan Stasiun Hujan dan Curah Hujan dengan Metode Polygon Thiessen Daerah Kabupaten Lebak. *Jurnal Lingkungan dan Sumberdaya Alam*, 2(2), 139-146.
- Amalia, N. E., Ramadhan, A. N., & Asniar, N. (2020). Analisa Penentuan Debit Andal dengan

- Metode Hydrologiska Bryans Vattenbalansavdelning di Bendung Paturman. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 1(1), 15-24.
- Badan Standarisasi Nasional. (2016). *SNI 2415:2016 Tata Cara Perhitungan Debit Banjir Rencana*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Christian, K., Yudianto, D., & Rusli, S. (2017). Analisis Pola Distribusi Hujan terhadap Perhitungan Debit Banjir DAS Cikapundung Hulu. *Himpunan Ahli Teknik Hidraulik Indonesia*, 3(3), 153-160.
- Effendi, M., Harifa, A. C., & Sutikno. (2022). Evaluasi Kapasitas dan Kinerja Saluran Drainase (Studi Kasus Banjir di Jalan Letjen Sutoyo Kota Malang). *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia*, 7(1), 41-62.
- Huffman, G., Bolvin, D., Nelkin, E., & Adler, R. (2021, July 29). *TRMM (TMPA) Precipitation L3 1 day 0.25 degree x 0.25 degree V7*, Edited by Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia. (2014). *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 12 Tahun 2014 tentang Penyelenggaraan Sistem Drainase Perkotaan*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Suwarman, R., Novitasari, & Junnaedhi, I. (2021). A study on Characteristics and Comparison of Evaporation Estimation Methods in Bandung. *Journal of Mathematical and Fundamental Sciences*, 53(2), 182-199.
- Vernimmen, R., Hooijer, A., Mamenun, Aldrian, E., & Dijk, A. (2012). Evaluation and bias correction of satellite rainfall data for *Andrey Savtchenko, Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC)*. Diambil kembali dari 10.5067/TRMM/TMPA/DAY/7
- Lashari, Kusumawardani, R., & Prakarsa, F. (2017). Analisa Distribusi Curah Hujan di Area Merapi Menggunakan Metode Aritmatika dan Poligon. *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*, 19(1), 39-48.
- Mamenun, Pawitan, H., & Sophaheluwakan, A. (2014). Validasi dan Koreksi Data Satelit TRMM pada Tiga Pola Hujan di Indonesia. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 15(1), 13-23.
- Mashudi, I., Anwar, M., & Adji, F. F. (2021). Pemanfaatan Data Satelit Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) untuk Pemetaan Zona Agroklimat Neraca Air Lahan di Kalimantan Tengah. *Journal of Environment and Management*, 2(1), 11-25.
- drought monitoring in Indonesia. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(1), 133-146.
- Walle, Y. (2015). Local Community's Valuation of Ecological Conservation Benefits: of Semien Mountain National Park. *Journal of Economics, Business, and Management*, 2(9), 934-943.
- Yayasan Kehati. (2020). *LAPORAN AKHIR MASTERPLAN TAMAN KEHATI SAWAHLUNTO*.
- Zainuri, E., Suprijanto, H., & Sisinggih, D. (2021). Studi Perencanaan Dinding Penahan sebagai Upaya Pengendalian Banjir Sungai Meduri Kabupaten Pekalongan, Jawa Tengah. *Jurnal Teknik Pengairan*, 12(1), 1-15.