

IMPLEMENTASI KONSEP ECODRAIN PADA EVALUASI SISTEM DRAINASE PERKOTAAN (STUDI KASUS SUB SISTEM KALI TENGGER KABUPATEN GRESIK)

Nendi Subakti¹, Abdul Chalid², Adhi Yanuar Avianta³

^{1,2,3} Magister Teknik Sipil, Universitas Sangga Buana

¹ korespondensi: nendisubakti@gmail.com

ABSTRAK

Pembangunan daerah perkotaan dihadapkan dengan meningkatnya jumlah penduduk dan pertumbuhan infrastruktur bangunan yang berdampak negatif pada tata ruang perkotaan, seperti berpotensi terjadinya banjir dan genangan pada musim hujan. Salah satu upaya untuk mengatasi masalah tersebut dengan menerapkan sistem drainase berwawasan lingkungan (ecodrain) dalam berbagai bentuk struktur, termasuk di lokasi studi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas saluran drainase eksisting dan mengetahui alternatif penanganan banjir berbasis konservasi. Metode yang digunakan dengan melakukan analisa hidrologi pada Sub Sistem Drainase Kali Tengger dan analisa hidrolik dengan software SWMM 5.2 untuk pemodelan limpasan hujan. Simulasi hujan rancangan menggunakan data curah hujan harian dari stasiun Suci selama 10 tahun (2009-2018). Kalibrasi model dengan metode RMSE diperoleh nilai 0,053209. Hasil pemodelan ditemukan 4 ruas saluran ekunder eksisting dalam kapasitas maksimum dan meluap dengan hujan rancangan periode ulang 5 tahun. Dilakukan penerapan 3 alternatif di lokasi studi yaitu (1) rainwater harvesting dan sumur resapan, (2) cross wave storage dan (3) kolam retensi. Dari analisa dipilih penanganan paling efektif dalam mereduksi banjir dan lebih memungkinkan untuk dilaksanakan yaitu menerapkan cross wave storage di 33 titik. Fasilitas ecodrain tersebut memiliki kapasitas tampungan cukup besar dan permukaan lebih luas untuk meresapkan air ke dalam tanah. Adapun menerapkan kolam retensi di lokasi penelitian sulit dilaksanakan karena keterbatasan lahan, walaupun memiliki reduksi debit banjir lebih baik dibandingkan alternatif lainnya.

Kata Kunci: *ecodrain, drainase perkotaan, banjir, SWMM*

The development of urban areas is faced with increasing population and growth of building infrastructure which has a negative impact on urban spatial planning, such as the potential for flooding and inundation during the rainy season. One effort to overcome this problem is by implementing a sustainable urban drainage system in various forms of structures, including at the study location. This research aims to determine the capacity of existing drainage channels and determine alternative conservation-based flood management. The method used is to carry out hydrological analysis on the Tengger River Drainage Sub System and hydraulic analysis with SWMM 5.2 software for modeling rain runoff. The design rainfall simulation uses daily rainfall data from Suci station for 10 years (2009-2018). Model calibration using the RMSE method obtained a value of 0.053209. The modeling results found that 4 sections of existing secondary channels were at maximum capacity and overflowed with rain with a design return period of 5 years. Three alternatives were implemented at the study location, namely (1) rainwater harvesting and infiltration wells, (2) cross wave storage and (3) retention ponds. From the analysis, the most effective treatment in reducing flooding and more likely to be implemented was selected, namely implementing cross wave storage at 33 points. The eco-drain facility has a large enough storage capacity and a wider surface area to absorb water into the ground. Implementing a retention pond at the research location is difficult due to limited land, even though it reduces flood discharge better than other alternatives.

Keywords: *eco-drain, urban drainage, flood, SWMM*

PENDAHULUAN

Sistem drainase didefinisikan sebagai serangkaian bangunan air yang berfungsi untuk mengurangi dan membuang kelebihan air dari suatu kawasan atau lahan, sehingga lahan dapat

berfungsi secara optimal [1]. Namun saat curah hujan tinggi sering terjadi peningkatan debit aliran dan terjadi penurunan kinerja saluran yang kapasitasnya sudah tidak mampu untuk menampung dan mengalirkan air dengan

lancar. Kondisi sistem drainase demikian menjadi salah satu penyebab terjadinya genangan dan banjir di daerah perkotaan sehingga perlu dilakukan evaluasi terhadap sistem drainase yang telah dibangun. Menurut [2] bahwa faktor-faktor yang mendukung evaluasi sistem drainase meliputi tata guna lahan, topografi lahan, dimensi saluran, kontur wilayah, kemiringan saluran, arah aliran, dan bangunan air lainnya. Pada saat ini di sejumlah negara maju maupun negara berkembang telah menerapkan konsep pembangunan drainase yang berwawasan lingkungan diantaranya *Low Impact Development* dan *Sustainable Urban Drainage System* [3]. Teknologi hijau (*green technology*) untuk menerapkan konsep *Sustainable Urban Drainage System* diantaranya mengembangkan fasilitas penyimpanan dan fasilitas peresapan untuk air hujan.

Seperti halnya daerah perkotaan, kondisi sub-sistem drainase Kali Tengger Kabupaten Gresik merupakan daerah pemukiman padat dengan beberapa fasilitas penunjang sebagai daerah perkotaan. Peningkatan pembangunan fasilitas-fasilitas tersebut telah mengganggu saluran-saluran drainase eksisting menjadi makin kecil atau penyempitan (*bottle neck*) di beberapa ruas saluran akibat tergeser oleh bangunan serta terjadinya sedimentasi di saluran makin bertambah. Dalam upaya mengatasi banjir dan genangan di lokasi studi dibutuhkan evaluasi saluran drainase dengan mengacu pada konsep *Sustainable Urban Drainage System* atau disebut juga *ecodrain*. Konsep dasar pengembangannya adalah meningkatkan daya guna air, meminimalkan kerugian, serta

memperbaiki dan meningkatkan kualitas lingkungan [1]. Maksud dari penelitian ini adalah untuk melakukan evaluasi Sub Sistem Drainase Kali Tengger Kabupaten Gresik. Sedangkan tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: (1) untuk mengetahui kapasitas dimensi saluran drainase eksisting pada Sub Sistem Drainase Kali Tengger Kabupaten Gresik saat ini, (2) untuk menentukan penempatan serta dimensi fasilitas pendukung sistem drainase berwawasan lingkungan (*ecodrain*) di lokasi penelitian setelah dievaluasi menggunakan pemodelan EPA SWMM, dan (3) untuk menghitung prosentase reduksi debit banjir dengan adanya penerapan beberapa metode sistem drainase berwawasan lingkungan (*ecodrain*) pada Sub Sistem Drainase Kali Tengger Kabupaten Gresik.

TINJAUAN PUSTAKA

Sistem Drainase Permukiman

Drainase memiliki peran penting di kawasan permukiman dalam mengelola atau Mengendalikan air permukaan sehingga tidak mengganggu dan merugikan masyarakat. Sistem drainase dirancang untuk menampung debit aliran yang masuk ke saluran drainase sehingga kawasan yang dimaksud tidak mengalami genangan dan banjir. Drainase permukiman merupakan bagian dari sistem drainase perkotaan sebagaimana menurut [4] bahwa drainase wilayah perkotaan meliputi: (i) permukiman, (ii) kawasan industri dan perdagangan, (iii) sekolah/kampus, (iv) rumah

sakit dan fasilitas umum lainnya, (v) lapangan olah raga, (vi) instalasi militer, (vii) instalasi listrik dan telekomunikasi, (viii) pelabuhan udara, dan tempat lainnya yang merupakan bagian dari sarana kota.

Analisa Hidrologi

Sebagaimana dalam perencanaan saluran drainase, jumlah air yang masuk ke saluran drainase seperti air hujan dan limbah rumah tangga/industri merupakan salah satu komponen utama yang harus diperhitungkan. Menurut [5] untuk membuat perancangan bangunan air pertama kali yang ditentukan adalah besarnya debit yang harus diperhitungkan atau disebut debit rencana. Debit rencana ditetapkan dengan menganalisa debit banjir serta dapat dihitung dengan menggunakan data debit harian tinggi muka air pada sungai atau saluran, maupun dengan data harian curah hujan. Hasil perhitungan debit banjir rencana digunakan sebagai dasar perancangan dimensi saluran dan menganalisa kapasitasnya baik eksisting maupun yang direncanakan.

Hujan Rata-Rata Daerah Aliran

Ada 3 metode yang digunakan untuk menghitung tinggi curah hujan rata-rata suatu daerah, yaitu [5]:

1. Metode rata-rata Aljabar
2. Metode Poligon Thiessen
3. Metode Isohyet

Analisa penentuan curah hujan rerata daerah dalam studi ini menggunakan metode Poligon Thiessen.

Curah Hujan Rancangan

Curah hujan rancangan merupakan estimasi hujan yang mungkin terjadi di suatu daerah dengan periode ulang tertentu. Menurut [6] ada beberapa persamaan empiris distribusi probabilitas yang digunakan dalam analisa hidrologi antara lain Gumbel Tipe I, Log Pearson tipe III dan Log Normal.

Uji Kesesuaian Distribusi

Uji kesesuaian untuk pemilihan metode distribusi dalam penentuan periode ulang hujan menggunakan 2 cara yaitu [7]:

1. Uji Chi-Kuadrat, merupakan pengujian terhadap perbedaan antara data sampel dan distribusi probabilitas. Nilai chi-kritis tergantung dari derajad kebebasan (dk) dan tingkat signifikansinya.
2. Uji Smirnov Kolmogorov, merupakan pengujian simpangan maksimum antara distribusi secara teoritis dan empiris (Δ_{maks}). Selanjutnya dibandingkan antara Δ_{maks} dan Δ_{kritis} , apabila Δ_{maks} lebih kecil dari Δ_{kritis} maka distribusi terpilih dapat digunakan.

Intensitas Hujan

Intensitas hujan adalah ketinggian curah hujan yang terjadi pada suatu kurun waktu dimana limpasan alirannya terkonsentrasi. Diperlukan data hujan jangka pendek, misal 5 menit, 10 menit, 60 menit. Data hujan jenis ini dapat diperoleh dari pos penakar hujan otomatis dan manual. Jika data hujan jangka pendek tidak tersedia dan hanya data hujan harian maka intensitas hujan dihitung dengan persamaan Mononobe sebagai berikut [1]:

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t}\right)^{2/3} \dots \dots \dots \quad (1)$$

Dengan I = Intensitas hujan waktu konsentrasi (mm/jam), R_{24} = Curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm), t = Durasi hujan (jam).

Debit Limpasan Permukaan Metode Rasional

Debit limpasan permukaan adalah jumlah air hujan yang mengalir di permukaan tanah atau bangunan air dan memasuki sistem drainase tertentu. Menurut [5] bahwa metode Rasional dipakai untuk debit puncak limpasan permukaan di perkotaan karena wilayahnya tidak begitu luas dan kehilangan air hujan relatif kecil. Persamaannya adalah:

Dengan Q = Debit puncak rencana (m^3/detik), C = Koefisien pengaliran, I = Intensitas hujan selama waktu konsentrasi (mm/jam), A = Luas daerah tangkapan air (km^2).

Debit Limpasan Permukaan Metode SCS

Metode lainnya untuk menghitung besarnya debit limpasan permukaan adalah metode SCS (*Soil Conservation Service*) sebagai fungsi dari hujan kumulatif, jenis tanah penutup, tata guna lahan dan kelengasan tanah. Metode SCS dikenal sebagai Metode *Curve Number* yang menyajikan limpasan sebagai fungsi total curah hujan harian (P) dan potensi maksimal tanah untuk menahan (*retention*) air (S), dihitung dengan persamaan sebagai berikut [8]:

$$O \equiv 0 \quad : P \leq 0.25, S \dots \dots \dots \dots \quad (4)$$

Dengan Q = Debit limpasan permukaan (m^3/detik), P = Curah hujan (mm), S = Retensi air potensial maksimum.

Perangkat Lunak SWMM

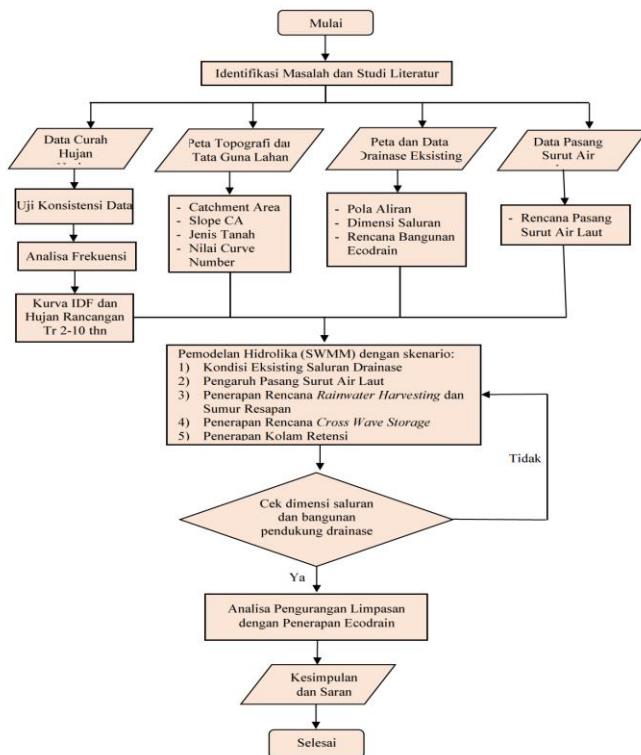
Storm Water Management Model (SWMM) merupakan model dinamik pemodelan hujan aliran (*rainfall run-off*) yang menggambarkan kuantitas maupun kualitas air limpasan permukaan dari suatu daerah. Dalam studi ini untuk menghitung debit rencana pada saluran drainase dan kapasitas saluran menggunakan *software* EPA SWMM 5.2. Pemrograman SWMM juga dapat menghitung kedalaman, kecepatan dan variable lainnya dalam setiap saluran selama periode pemodelan dengan tahapan waktu tertentu [9]. Pemrograman SWMM memiliki properti konsep *Low Impact Development* (LID) yang bertujuan mengelola air hujan dan meminimalkan dampak pada lingkungan dengan cara menyimpan (*store*), menyerapkan (*infiltrate*) atau menguapkan (*evaporate*) dari limpasan air hujan di suatu *subcatchment* [10].

METODE

Metode yang Digunakan

Metode yang digunakan adalah metode deskriptif dengan pendekatan kuantitatif untuk menggambarkan kondisi saluran drainase yang ada dan mengumpulkannya untuk melakukan analisa pemodelan limpasan hujan yang terjadi. Hasil pemodelan hidrologi ini akan mengevaluasi kapasitas saluran drainase eksisting dan menentukan penempatan serta dimensi bangunan-bangunan *ecodrain* yang dibutuhkan dalam upaya mengendalikan banjir

dan genangan di lokasi penelitian. Tahapan dalam penelitian ini sebagai berikut:



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

Jenis dan Sumber Data

Dalam penelitian ini diperlukan data primer dan data sekunder, Data primer adalah data yang diperoleh berdasarkan pengukuran atau pengamatan di lokasi penelitian. Data sekunder adalah yang bersumber dari instansi terkait dan pernah melakukan pengukuran.

Teknik Pengumpulan Data

Untuk mendapatkan data-data yang dibutuhkan dengan cara sebagai berikut:

1. Studi Literatur / Kepustakaan, didapatkan dengan cara mengumpulkan berbagai data yang berasal dari berita, laporan, jurnal, riset, data tertulis, peraturan-peraturan yang berlaku, dan sumber bacaan yang relevan dengan objek penelitian.

2. Metode Observasi, berdasarkan pelaksanaannya dibagi dua jenis yaitu observasi partisipasi dan observasi non partisipasi. Observasi partisipasi dilakukan dengan cara pengamatan secara langsung di lokasi penelitian untuk mengetahui keadaan jaringan drainase dan kondisi eksisting drainase. Sedangkan observasi non partisipasi dilakukan dengan mengamati objek penelitian melalui pengumpulan informasi kondisi saluran drainase dan data sekunder yang didapat dari instansi terkait.

Teknik Analisis Data

Teknik analisa data yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi analisa hidrologi, analisa hidrolik dan pemodelan menggunakan software EPA SWMM 5.2 dengan beberapa

skenario untuk memperoleh prosentase reduksi debit banjir yang optimum setelah penerapan *ecodrain* pada Sistem Drainase Kali Tengger.

1. Analisa hidrologi, bertujuan memprediksi besarnya debit banjir rencana yang akan terjadi pada suatu *catchment area*.
2. Analisa hidrolik, bertujuan mengevaluasi kapasitas dimensi saluran drainase eksisting yang umumnya saluran terbuka berbentuk segi empat. Dengan menggunakan *software* SWMM dapat diketahui kinerja sistem drainase yang ada maupun beberapa alternatif konsep *ecodrain* dengan skenario hujan periode ulang 10 tahun.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Peta Catchment Area

Peta *catchment area* (daerah tangkapan air) di daerah perkotaan ditentukan berdasarkan peta

topografi dengan didukung hasil survei lapangan. Arah aliran limpasan pada lokasi penelitian tidak seluruhnya diketahui berdasarkan peta topografi, tetapi dapat diketahui dengan melakukan penelusuran arah aliran. Berdasarkan hasil survey penelusuran alur drainase dan batas daerah pematusan dalam dokumen Penyusunan Rencana Teknik Rinci (DED) Drainase Lingkungan Permukiman Kabupaten Gresik yang disusun Satker PAMS Provinsi Jawa Timur Dirjen Cipta Karya TA 2016 bahwa di lokasi penelitian terdapat 4 *catchment area* dan 22 *sub catchment area* dengan luas total 622,50 hektar. Untuk menganalisa peta *catchment area* dan kondisi jaringan drainase eksisting Sistem Drainase Kali Tengger menggunakan *software Auto CAD* 2020, *Google Earth* dan *ArcGIS* 10.6. sebagaimana ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Peta *Catchment Area* Sistem Drainase Kali Tengger
(Sumber: Dinas PUTR Kabupaten Gresik, 2016 dan Google Earth, 2023)

Penampang saluran drainase eksisting di lokasi penelitian pada umumnya berbentuk segi empat dan trapesium dengan konstruksi pasangan beton atau pasangan batu kali.

Analisa Hidrologi

1. Hujan rata-rata daerah aliran, dengan menggunakan metode poligon Thiessen

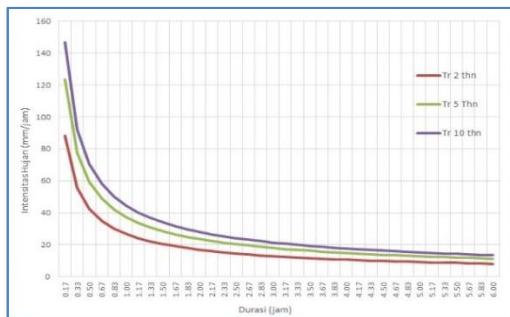
menghubungkan 6 stasiun hujan yaitu Tambak Ombo, Duduk, Sampean, Suci, Bunder, Cerme dan Kandangan. Hasil penggambaran poligon Thiessen hanya satu pos hujan yang berpengaruh pada lokasi penelitian yaitu Stasiun Hujan Suci

2. Analisa Distribusi Frekuensi, untuk memperkirakan tingginya curah hujan rencana dalam periode waktu tertentu. Metode distribusi frekuensi yang digunakan

adalah Distribusi Gumbel, Distribusi Log Normal dan Distribusi Log Pearson III.

3. Pemilihan Metode Distribusi,

Pengujian distribusi probabilitas hujan rancangan menggunakan dua cara: Uji Chi-Kuadrat dan Uji Smirnov-Kolmogorov. Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode distribusi Gumbel merupakan distribusi yang sesuai, karena nilai simpangan maksimalnya terkecil dan lebih kecil dari simpangan kritis.



Gambar 3. Kurva Intensitas Hujan
(Sumber: Hasil Analisa, 2023)

4. Intensitas Hujan

Hasil analisa distribusi Metode Gumbel bahwa CH maksimum pada periode ulang (Tr) 2 tahun sebesar 76,91 mm, dan Tr 5 tahun sebesar 107,66 mm dan Tr 10 tahun sebesar 128,01 mm. Dengan persamaan (1) dihitung intensitas hujan jam-jaman disajikan berbentuk kurva seperti pada Gambar 3.

5. Distribusi hujan jam-jaman.

Setelah mendapatkan intensitas hujan pada setiap durasi setiap jam, kemudian dihitung rasio distribusi hujan sebagai berikut:

$$R_1 = \frac{R_{24}}{6} \left(\frac{6}{1} \right)^{\frac{2}{3}} = 0,5503 R_{24} \dots \dots \dots (5)$$

Selanjutnya menghitung distribusi hujan netto jam-jaman yang dipengaruhi oleh nilai koefisien limpasan dan intensitas hujan seperti ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1: Curah Hujan Nettto Jam-Jaman

Jam	Rasio distribusi %	Hujan Jam-Jaman (mm/jam)		
		Tr 2 Thn	Tr 5 Thn	Tr 10 Thn
1	55%	31,72	44,41	52,81
2	14%	8,08	11,30	13,44
3	10%	5,77	8,07	9,60
4	8%	4,61	6,46	7,68
5	7%	4,04	5,65	6,72
6	6%	3,46	4,84	5,76
CH Rancangan (R)		76,91	107,66	128,01
Koef. Pengaliran		0,75	0,75	0,75
R Netto mm/hari)		57,68	80,74	96,01

Sumber: Hasil Perhitungan, 2023

6. Analisa Curve Number

Untuk mendapatkan *Curve Number* (CN) rata-rata dibobotkan dengan cara *overlay*

menggunakan *software ArcGis* antara peta penggunaan lahan dengan peta kelompok hidrologi tanah, seperti ditampilkan Tabel 2.

Tabel 2: Perhitungan Koefisien CN

No	Jenis Tata Guna Lahan	Luas Ha (A)	Koef. CN	KCNI*Ai
1	Hutan/ Semak belukar	1,68	80	134,5887
2	Kebun pekarangan	7,45	81	603,2530
3	Tempat terbuka (Kuburan)	0,63	80	50,1139
4	Pemukiman/ Bangunan	477,23	85	40564,679
5	Tanah Kosong	84,30	81	6828,6536
6	Taman	28,46	80	2276,5328
Total				50457,821
Nilai CN				84,13

Sumber: Hasil Perhitungan, 2023

Pasang Surut Air Laut

Data prediksi pasang surut air laut selama tahun 2023 di perairan Kabupaten Gresik diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG), dengan

tinggi muka air rata-rata (*mean sea level*) sama dengan nol, diperoleh surut terendah, pasang tertinggi dan muka surutan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Chart Datum diikatkan pada MSL

Chart Datum	Tinggi (cm)
<i>Highest Water Spring (HWS)</i>	98.40
<i>Mean High Water Spring (MHWS)</i>	79.00
<i>Mean High Water Level (MHWL)</i>	48.69
<i>Mean Sea Level (MSL)</i>	0.00
<i>Mean Low Water Level (MLWL)</i>	-50.04
<i>Mean Low Water Spring (MLWS)</i>	-103.03
<i>Lowest Water Spring (LWS)</i>	-134.31

Sumber: Hasil Perhitungan, 2023

Kejadian pasang air laut tertinggi di muara Kali Tengger pada elevasi +4.271 mdpl. Dikarenakan pola distribusi hujan jam-jaman menggunakan durasi hujan 6 jam tidak sama dengan kejadian pasang surut air laut yang terjadi selama 24 jam, maka dalam pemodelan diasumsikan (kondisi paling kritis) puncak distribusi hujan bersamaan dengan puncak pasang air laut. Selanjutnya gelombang pasang surut air laut selama 24 jam pada nilai HWS tahun 2023 tersebut dimasukan data *tidal curve* pada *outfall* sebagai input aplikasi SWMM.

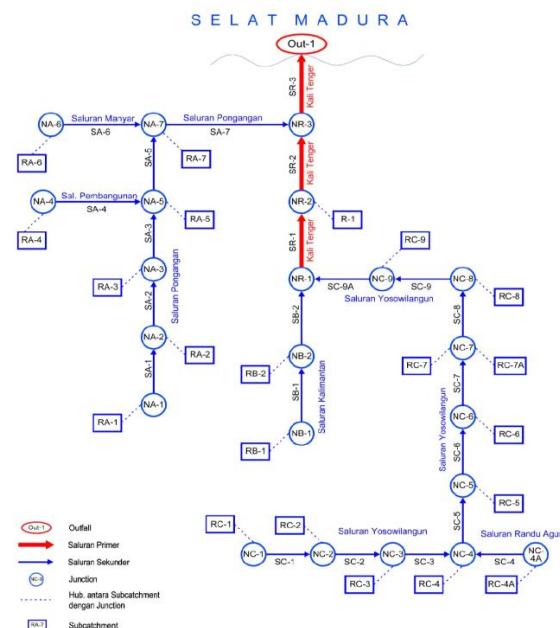
Kalibrasi Permodelan SWMM

Kalibrasi model perlu untuk dilakukan guna memastikan ketepatan model. Kalibrasi ini diperlukan untuk mencocokan tinggi muka air hasil pemodelan terhadap observasi di penampang saluran. Pengamatan tinggi muka air dilakukan di penampang RA7 pada tanggal 30 November 2023. Hasil perhitungan perbandingan diperoleh nilai RMSE sebesar 0.0531 (5.3%), menunjukkan bahwa tingkat kesalahan debit kecil antara debit terhitung dengan debit terukur. Dengan demikian nilai parameter yang digunakan dalam pemodelan memiliki pendekatan yang baik dengan kondisi lapangan.

Pemodelan SWMM Drainase Eksisting

Pemodelan SWMM pada saluran drainase menggunakan penelusuran gelombang dinamis (*dynamic wave routing*) yang dapat memberi-

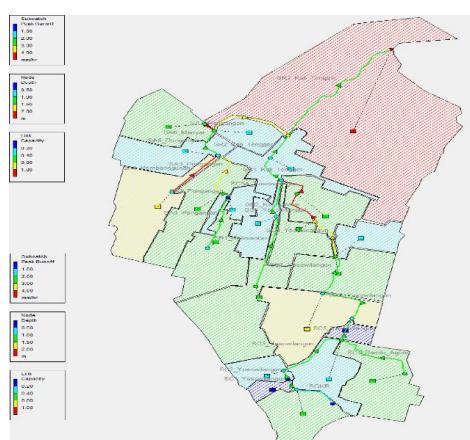
kan hasil lebih akurat [9]. Pemodelan drainase eksisting diawali dengan membuat skema sistem drainase terlebih dahulu pada aplikasi SWMM seperti Gambar 4.



Gambar 4. Skeme Jaringan Drainase Eksisting Kali Tengger
 (Sumber: Hasil Penggambaran, 2023)

Berdasarkan hasil running model untuk periode ulang 10 tahun, genangan banjir terjadi di beberapa lokasi yang ditandai dengan garis merah pada Gambar 5. Kapasitas tampung saluran drainase pada SC9, SC9A, SA4 dan SA7 menunjukkan sudah tidak mampu menampung volume yang dihasilkan karena tinggi muka air

melebihi tinggi saluran. Khusus pada saluran SC9A terjadi *bottle neck* akibat pembangunan perumahan di sisi kiri dan sisi kanan saluran. Menurut [11] bahwa pengaruh penyempitan pada saluran aliran sangat tergantung pada geometri perbatasan, kecepatan aliran, dan keadaan aliran.



Gambar 5. Sebaran Resiko Genangan Hasil Pemodelan Kondisi Drainase Eksisting
 (Sumber: Hasil Pemodelan, 2023)



Gambar 6. Kondisi Aliran Saat Terjadi CH Maksimum dan Pasang Air Laut
 (Sumber: Hasil Pemodelan, 2023)

Pengaruh Pasang Air Laut

Pengaruh adanya input pasang air laut tertinggi hanya mempengaruhi besaran flooding yang terjadi pada *conduit* SA7 dan SR2. Dampak dari besaran *flooding* saat pasang pada conduit SA7 adalah tertahannya limpasan permukaan di saluran tersier Desa Sukomulyo karena memiliki elevasi lebih rendah daripada muka air saat banjir dan pasang tertinggi air laut. Kondisi masuknya air laut ke conduit SA-7 Pongangan pada saat bersamaan dengan terjadinya hujan maksimum periode ulang 10 tahun di Kali Tengger dapat dilihat pada Gambar 6.

Menurut [12] bahwa bila suatu daerah mengalami masalah banjir dengan keadaan eksisting

yang dipengaruhi oleh pasang surut air laut maka solusi untuk mengurangi dampak banjirnya adalah memper-lambat waktu pada sistem drainase saat akan mengalirkan limpasan air hujan ke saluran.

Rencana Penempatan Bangunan Ecodrain

Rainwater harvesting (RWH) direncanakan pada sejumlah bangunan yang ada di lokasi penelitian dimana akan disambungkan dengan talang atap bangunan. Debit limpasan air hujan yang mengalir di atap rumah dihitung dengan metode Rasional Untuk spesifikasinya digunakan tangki air kapasitas 2000 liter (Gambar 7).\\



Gambar 7. Dimensi Toren RWH
(Sumber: Hasil Penggambaran, 2023)

Hasil perhitungan distribusi hujan jam-jaman $T=2$ jam pada periode ulang 2 tahun untuk dapat menampung satu unit toren mampu melayani luas atap rumah sebesar 275 m^2 . Rencana sumur resapan diletakkan pada ruang

terbuka seperti taman dan halaman kemudian disambungkan dengan talang atap bangunan. Pemodelan RWH pada aplikasi SWMM menggunakan objek *rain barrel* dengan rencana jumlah unitnya dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Jumlah unit RWH tiap subcatchment

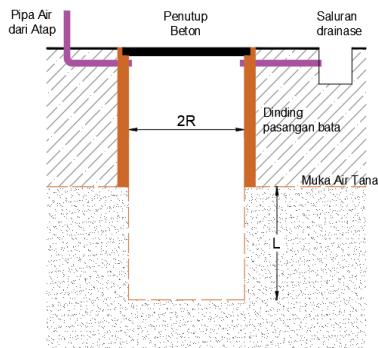
No.	Sub-catchment	Jumlah RWH	Luas Atap Terlayani (m^2)	$A_{\text{Atap}} / A_{\text{CA}}$
1	RC1	90	24.750	12,20%
2	RC2	26	7.150	19,50%
3	RC3	65	17.875	20,60%
4	RC4	58	15.950	8,74%
5	RC4A	71	19.525	6,69%
6	RC5	18	4.950	10,40%
7	RC6	102	28.050	7,47%
8	RC7	30	8.250	2,36%
9	RC7A	17	4.675	1,99%
10	RC8	70	19.250	5,46%
11	RC9	32	8.800	3,33%
12	RB1	82	22.550	5,59%
13	RB2	56	15.400	9,75%

14	RA1	115	31.625	11,70%
15	RA2	48	13.200	15,70%
16	RA3	63	17.325	5,74%
17	RA4	45	12.375	3,78%
19	RA5	25	6.875	3,38%
20	RA7	45	12.375	10,20%
21	R1	66	18.150	8,06%

Sumber: Hasil Perhitungan, 2023

Dimensi yang direncanakan berbentuk lingkaran diameter 2 m, kedalaman 4 m dan konstruksi dinding terbuat dari pasangan bata sedalam 2

m agar mudah menyerapkan air ke tanah, sebagaimana pada Gambar 8.



Gambar 8. Tipikal Rencana Sumur Resapan
(Sumber: Hasil Penggambaran, 2023)

Hasil perhitungan distribusi hujan jam-jaman $T=2$ jam periode ulang 2 tahun untuk satu unit sumur resapan mampu melayani luas atap rumah sebesar 205 m^2 . Pemodelan sumur

resapan pada SWMM menggunakan objek *infiltration trench* dengan rencana jumlah unit dapat dilihat pada Tabel 5.

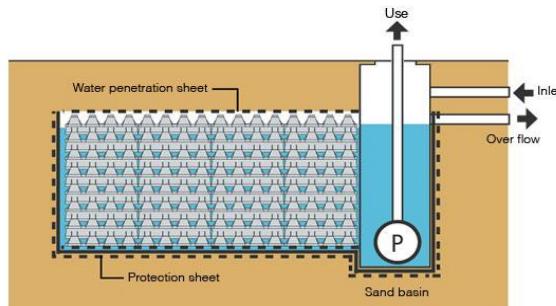
Tabel 5. Jumlah unit Sumur Resapan tiap subcatchment

No.	Sub-catchment	Jumlah SR	Luas Atap Terlayani (m^2)	A_{Atap} / A_{CA}
1	RC1	38	7.790	3,84%
2	RC2	22	4.510	12,30%
3	RC3	20	4.100	4,73%
4	RC4	25	5.125	2,81%
5	RC4A	20	4.100	1,41%
6	RC5	10	2.050	4,30%
7	RC6	22	4.510	1,20%
8	RC7	16	3.280	0,94%
9	RC8	18	3.690	1,05%
10	RB1	30	6.150	1,53%
11	RB2	17	3.485	2,21%
12	RA1	28	5.740	2,13%
13	RA2	12	2.460	2,93%
14	RA3	20	4.100	1,36%
15	RA4	18	3.690	1,11%
16	R1	14	2.870	1,27%

Sumber: Hasil Perhitungan, 2023

Cross wave storage direncanakan diletakan pada ruang terbuka baik di permukiman, perkotaan maupun kawasan industri dengan kapasitas tampungan bervariasi sesuai ketersediaan lahan. Kedalaman dasar bangunan CWS sesuai

muka air tanah eksisting sebesar $\pm 3,2$ meter. Perhitungan 1 unit CWS berukuran lebar 1 m, panjang 1 m dan tinggi 2,2 m diperoleh volume $2,2 \text{ m}^3$, seperti pada Gambar 9.



Gambar 9. Potongan Melintang CWS
(Sumber: Hasil Penggambaran, 2023)

T=2 jam periode ulang 2 tahun untuk menampung satu unit CWS mampu melayani luas atap rumah sebesar 303 m². Volume air dari limpasan air hujan yang mengisi ruang hampa (*void*

ratio) dalam CWS berkisar antara 92% - 95%.

Pemodelan CWS pada aplikasi SWMM menggunakan objek *infiltration trench* dengan rencana jumlah unitnya dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Jumlah unit CWS tiap subcatchment

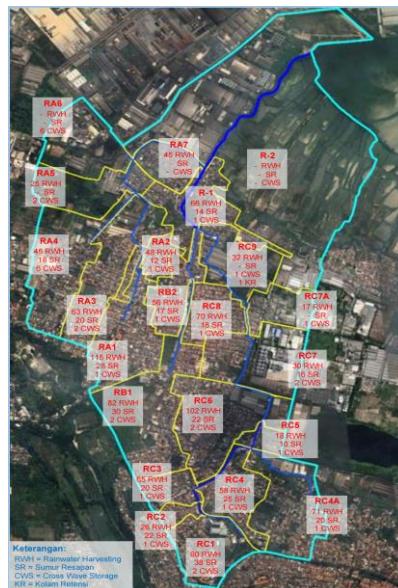
No.	Sub-catchment	Dimensi PxLxT (m) / modul	Vol. Air di CWS (m ³)	Luas Atap Terlayani (m ²)	A _{Atap} / A _{CA}
1	RC1	15x3x2,2 (45)	94,38	13.000	6,72%
2		9x3x2,2 (27)	56,33	7.800	4,03%
3	RC2	6x2x2,2 (12)	25,05	3.450	9,91%
4	RC3	10x3x2,2 (30)	62,44	8.600	10,50%
5	RC4	9x4x2,2 (36)	75,50	10.400	5,98%
6	RC4A	16x3x2,2 (48)	100,19	13.800	4,98%
7	RC5	22x4x2,2 (88)	185,13	25.500	55,90%
8	RC6	26x4x2,2 (104)	217,80	30.000	8,39%
9		27x5x2,2 (135)	283,14	39.000	10,90%
10	RC7	20x4x2,2 (80)	168,43	23.200	6,94%
11		30x6x2,2 (180)	377,52	52.000	15,60%
12	RC7A	22x3x2,2 (66)	137,94	19.000	8,52%
13	RC8	11x3x2,2 (33)	68,97	9.500	2,84%
14	RC9	28x10x2,2 (280))	588,06	81.000	32,10%
15	RB1	12x3x2,2 (36)	75,50	10.400	2,70%
16		12x3x2,2 (36)	75,50	10.400	2,70%
17	RB2	8x3x2,2 (24)	50,09	6.900	4,61%
18	RA1	8x3x2,2 (24)	50,09	6.900	2,70%
19	RA2	9x3x2,2 (27)	56,09	7.800	9,75%
20	RA3	36x8x2,2	602,58	83.000	28,90%

No.	Sub-catchment	Dimensi PxLxT (m) / modul	Vol. Air di CWS (m ³)	Luas Atap Terlayani (m ²)	A _{Atap} / A _{CA}
		(288)			
21		9x3x2,2 (27)	56,63	7.800	2,71%
22	RA4	20x4x2,2 (80)	166,98	23.000	7,32%
23		9x3x2,2 (27)	56,63	7.800	2,47%
24		9x2x2,2 (18)	37,75	5.200	1,65%
25		12x3x2,2 (36)	75,50	10.400	3,29%
26		11x3x2,2 (33)	68,97	9.500	3,02%
27		18x3x2,2 (54)	113,26	15.600	4,94%
28	RA5	17x4x2,2 (68)	142,30	19.600	10,10%
29		14x3x2,2 (42)	87,12	12.000	6,26%
30	RA6	18x3x2,2 (54)	113,26	15.600	7,17%
31		20x4x2,2 (80)	166,98	23.000	10,60%
32		18x3x2,2 (54)	113,26	15.600	7,17%
33	R1	10x2x2,2 (20)	37,75	5.800	2,69%

Sumber: Hasil Perhitungan, 2023

Penempatan *rainwater harvesting*, sumur resapan dan *cross wave storage* pada setiap *sub-*

catchment berdasarkan hasil pengamatan citra *google earth*, ditampilkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Layout Jumlah Rencana Penempatan Bangunan Ecodrain

(Sumber: Hasil Penggambaran, 2023)

Kolam retensi yang direncanakan bertujuan menyimpan dan mengendalikan limpasan permukaan sehingga beban aliran yang masuk

ke saluran drainase menjadi berkurang. Air masuk ke dalam kolam akan tertahan dan sebagian meresap ke dalam tanah. Selanjutnya

keluar melalui pelimpah bila telah melewati kapasitas tampung kolam. Penempatan rencana kolam retensi disesuaikan dengan keterbatasan lahan yang ada dan direncanakan luas permukaan 10.000 m² dengan kedalaman air 3 m dan tinggi jagaan 1 m. Volume tampungan kolam retensi sekitar 40.000 m³. Dalam penelitian ini penerapan kolam retensi untuk mereduksi banjir di saluran SC9 dan SC9A.

Pemodelan CWS pada aplikasi SWMM menggunakan objek *storage unit*. Fungsi kolam retensi yang meresapkan air ke tanah sehingga diperlukan *seepage loss* yang diinput pada *storage unit*. Nilai variabel untuk bangunan pelimpah pada pemodelan SWMM menggunakan objek *Weir*. Pada kolam retensi dipasang juga pintu air menggunakan objek *Orifice*.

Pemodelan Penerapan Ecodrain

Setelah merencanakan penempatan unit-unit bangunan *ecodrain* maka dapat dilakukan pemodelan penerapan *ecodrain* pada debit banjir rencana periode ulang 10 tahun dengan 3 alternatif, yakni: alternatif (1) Penerapan *rainwater harvesting* dan sumur resapan, alternatif (2) Penerapan *cross wave storage*, dan alternatif (3) Penerapan kolam retensi.

Hasil Pemodelan Alternatif 1

Pengaruh adanya penerapan RWH dan sumur resapan terhadap besarnya debit limpasan tiap *subcatchment* di lokasi penelitian seperti yang ditampilkan pada Tabel 8 menunjukkan terjadi penurunan debit limpasan dibandingkan sebelum penerapan RWH dan sumur resapan.

Tabel 8. Hasil Pemodelan Penerapan RWH dan Sumur Resapan Terhadap Debit

Sub-catchment	Eksisting	Penerapan Alternatif 1		
	Q Banjir Rencana (m ³ /det)	Q Banjir Rencana (m ³ /det)	Rasio Kap. Saluran dgn Kedalaman	Keterangan
SC1	2.15	1.91	0.51	Aman
SC2	2.59	2.23	0.48	Aman
SC3	3.62	3.05	0.64	Aman
SC4	2.53	2.39	0.68	Aman
SC5	7.81	6.93	0.71	Aman
SC6	8.34	7.40	0.65	Aman
SC7	11.25	10.14	0.72	Aman
SC8	14.84	13.62	0.89	Resiko
SC9	13.34	13.34	>1.00	Banjir
SC9A	10.37	10.37	0.96	Resiko
SR1	14.39	14.13	0.62	Aman
SR2	16.27	15.89	0.60	Aman
SB1	2.72	2.59	0.75	Aman
SB2	4.06	3.80	0.81	Resiko
SA1	2.40	2.17	0.44	Aman
SA2	3.31	2.94	0.67	Aman
SA3	5.57	5.30	0.79	Aman
SA4	0.70	0.70	>1.00	Banjir
SA5	7.75	7.44	0.53	Aman
SA6	1.99	1.99	>1.00	Banjir
SA7	10.96	10.56	0.81	Resiko
SR3	27.89	26.92	0.78	Aman

(Sumber: Hasil Pemodelan SWMM, 2023)

Pada kondisi eksisting (Gambar 5) terdapat 4 ruas saluran yang meluap yaitu conduit SC9,

SC9A, SA4 dan SA6. Kemudian dibuat alternatif penerapan *rainwater harvesting* dan

sumur resapan. Kejadian banjir di saluran menjadi 3 ruas, yaitu SC9, SA4 dan SA6 karena masih memiliki rasio kapasitas saluran terhadap kedalaman lebih dari 1.00.

Hasil Pemodelan Alternatif 2

Pengaruh adanya penerapan CWS terhadap besarnya debit limpasan tiap *subcatchment* di lokasi penelitian seperti ditampilkan pada Tabel 9 menunjukkan terjadi penurunan debit limpasan dibandingkan sebelum penerapan CWS.

Tabel 9. Hasil Pemodelan Penerapan CWS Terhadap Debit

Sub-catchment	Eksisting	Penerapan Alternatif 1		
	Q Banjir Rencana (m ³ /det)	Q Banjir Rencana (m ³ /det)	Rasio Kap. Saluran dgn Kedalaman	Keterangan
SC1	2.15	1.99	0.53	Aman
SC2	2.59	2.40	0.51	Aman
SC3	3.62	3.35	0.45	Aman
SC4	2.53	2.45	0.59	Aman
SC5	7.81	7.36	0.54	Aman
SC6	8.34	7.60	0.66	Aman
SC7	11.25	10.18	0.72	Aman
SC8	14.84	13.34	0.88	Resiko
SC9	13.34	13.34	>1.00	Banjir
SC9A	10.37	10.37	0.95	Resiko
SR1	14.39	14.25	0.67	Aman
SR2	16.27	16.10	0.63	Aman
SB1	2.72	2.62	0.77	Aman
SB2	4.06	3.92	0.82	Resiko
SA1	2.40	2.36	0.46	Aman
SA2	3.31	3.18	0.67	Aman
SA3	5.57	5.14	0.78	Aman
SA4	0.70	0.70	>1.00	Banjir
SA5	7.75	7.13	0.52	Aman
SA6	1.99	1.74	0.93	Resiko
SA7	10.96	10.10	0.80	Aman
SR3	27.89	26.60	0.78	Aman

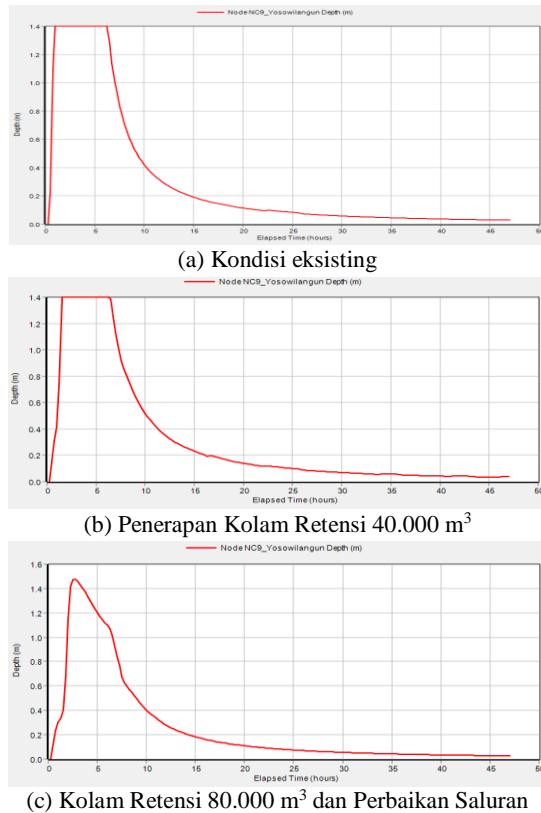
(Sumber: Hasil Pemodelan SWMM, 2023)

Pada kondisi eksisting (Gambar 5) terdapat 4 ruas saluran yang meluap yaitu conduit SC9, SC9A, SA4 dan SA6. Kemudian dibuat alternatif penerapan *cross wave storage*. Kejadian banjir di saluran menjadi 2 ruas, yaitu SC9 dan SA4 karena masih memiliki rasio kapasitas saluran terhadap kedalaman lebih dari 1.00.

Hasil Pemodelan Alternatif 3

Hasil pemodelan SWMM dengan volume kolam retensi 40.000 m³ belum dapat mere-

duksi luapan di *node* NC9 yang disajikan pada Gambar 11(b). Dengan cara coba-coba volume kolam yang dibutuhkan untuk mereduksi banjir di *node* NC9 diperoleh volume tumpungan 80.000 m³. Selanjutnya dilakukan perubahan dimensi pada saluran SC9A dan juga jenis permukaan saluran SC9 dan SC9A menjadi pasangan beton dengan hasil pemodelannya pada Gambar 11(c).



Gambar 11. Tinggi Muka Air pada 3 Kondisi di node NC9

(Sumber: Hasil Pemodelan, 2023)

Analisa Reduksi Limpasan

Berdasarkan hasil pemodelan setiap alternatif terhadap kondisi eksisting dapat diketahui kemampuan dari penerapan *LID Control* dalam

menurunkan debit banjir rencana pada setiap *subcatchment*. Rekapitulasi hasil pemodelan SWMM setiap alternatif penerapan *ecodrain* ditampilkan pada Tabel 10.

Tabel 10. Rekapitulasi 3 Alternatif Penerapan *Ecodrain* pada Sistem Drainase Kali Tengger

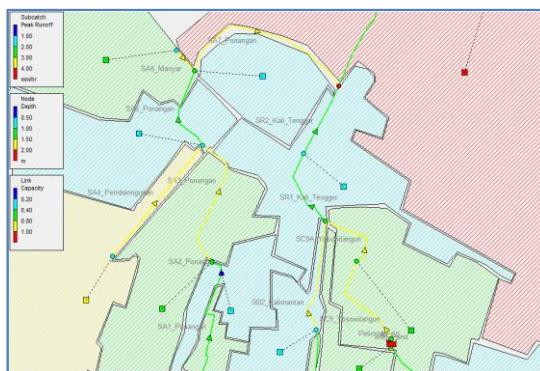
Sub-catchment	Alternatif 1		Alternatif 2		Alternatif 3		Saluran (Conduit)	Titik Junction	Pengaruh Pada Debit Banjir Rencana				Kondisi Saluran Alternatif 3
	RWH (unit)	SR (unit)	CWS (modul)	Volume CWS (m ³)	Kap. Kolam (m ³) & Panjang Saluran (m)	Reduksi Debit Alt-1	Reduksi Debit Alt-2	Reduksi Debit Alt-3	Penambahan Debit Alt-3				
RC1	90	38	72	158,4	-	SC1	NC1	11.51%	7.80%	-	-	-	Aman
RC2	26	22	12	26,4	-		NC2	13.94%	7.30%	-	-	-	
RC3	65	20	30	66,0	-	SC2	NC3	15.94%	7.56%	-	-	-	Aman
RC4	58	25	36	79,2	-		NC4	11.18%	5.71%	-	-	-	
RC4A	71	20	48	105,6	-	SC3	NC4A	5.41%	3.32%	-	-	-	Aman
RC5	18	10	88	193,6	-		NC5	11.25%	8.81%	-	-	-	
RC6	102	22	239	525,8	-	SC5	NC6	9.88%	10.03%	-	-	-	Aman
RC7	30	16	260	572	-		NC7	8.17%	10.12%	-	-	-	
RC7A	17	-	66	145,2	80.000 m ³	SC6	NC7	8.17%	10.12%	-	-	-	Aman
RC8	70	18	33	72,8			NC8	7.58%	8.92%	9.87%	-	-	
RC9	32	-	280	616	Sal. 237 m	SC8	NC9	0.31%	3.19%	-	15.99%	-	Aman
RB1	82	30	72	158,4	-		NR1	1.79%	0.96%	-	52.54%	-	
					SB1	NB1	4.78%	3.64%	-	-	-	-	Aman

Sub-catchment	Alternatif 1		Alternatif 2		Alternatif 3		Saluran (Conduit)	Titik Junction	Pengaruh Pada Debit Banjir Rencana				Kondisi Saluran Alternatif 3
	RWH (unit)	SR (unit)	CWS (modul)	Volume CWS (m³)	Kap. Kolam (m³) & Panjang Saluran (m)	Reduksi Debit Alt-1	Reduksi Debit Alt-2	Reduksi Debit Alt-3	Penambahan Debit Alt-3				
RB2	56	17	24	52,8	-	SB2	NB2	6.33%	3.37%	-	-	-	Aman
RA1	115	28	24	52,8	-	SA1	NA1	9.58%	1.83%	-	-	-	Aman
RA2	48	12	27	59,4	-		NA2	11.09%	3.78%	-	-	-	
RA3	63	20	315	693,0	-	SA2	NA3	8.52%	11.28%	-	-	-	Aman
RA4	45	18	248	545,6	Sal. 488 m		NA4	3.46%	16.26%	-	-	-	
RA5	25	-	110	242,0	SA4	NA5	3.99%	7.98%	-	31.48%	-	Aman	
RA6	-	-	188	413,6		Sal. 82 m		NA6	-	18.17%	-		-
RA7	45	-	-	-	SA6	NA7	3.62%	7.76%	-	23.63%	-	Aman	
R1	66	14	20	44,0	Sal. 280 m	SR1	NR2	2.35%	1.03%	-	45.61%	-	Aman
R2	-	-	-	-	-	SR2	NR3	2.86%	4.05%	-	31.96%	-	
						SR3	OF	-	-	-	-	-	Aman

(Sumber: Rekap Hasil Pemodelan, 2023)

Kejadian banjir di saluran SC8 dan SC9 telah dapat diselesaikan dengan penerapan kolam retensi kapasitas 80.000 m³ dan juga perbaikan saluran di beberapa ruas saluran, dengan mengubah dimensi atau hanya mengganti

material dengan tujuan agar kapasitas saluran yang diperbaiki lebih besar dari kapasitas debit air limpasan yang masuk ke saluran. Hasil pemodelan SWMM pada Gambar 12 sudah tidak ada banjir pada semua saluran.



Gambar 12. Layout Kapasitas Saluran Pada Alternatif 3 dengan Perbaikan Saluran

(Sumber: Hasil Pemodelan, 2023)

KESIMPULAN

Pada saat hujan maksimum dengan periode ulang 10 tahun mengakibatkan genangan di 4 (empat) ruas saluran yaitu SC9 dan SC9A saluran sekunder Yosowilangun, SA4 saluran sekunder Jalan Pembangunan, dan SA6 saluran sekunder Jalan Raya Manyar.

- Hasil analisa pasang surut air laut di perairan muara Kali Tengger Kabupaten Gresik dengan MSL sama dengan nol diperoleh

nilai HWS 98,40 cm, MHWS 79,00 cm dan MHWL 48,69 cm. Elevasi pasang tertinggi air laut (HWS) daerah hilir berada pada elevasi +4,271 mdpl. Fenomena pasang surut air laut tersebut sebagai *boundary* (batasan) dalam pemodelan SWMM.

- Rencana penerapan RWH dan sumur resapan berpengaruh secara signifikan pada *junction* NC1, NC2, NC2, NC3, NC4, NC5

- dan NA2 dengan hasil reduksi debit banjir lebih dari 10%.
3. Rencana penerapan CWS berpengaruh secara signifikan *junction* NC6, NC7, NA3, NA4 dan NA6 dengan hasil reduksi debit banjir lebih dari 10%.
4. Penerapan kolam retensi dengan kapasitas 40.000 m³ sesuai dengan lahan yang ada belum dapat mereduksi debit banjir rencana di hilirnya. Selanjutnya dibuat alternatif lain dengan menambah kapasitas menjadi 80.000 m³ (hipotesis untuk kajian lebih lanjut) dan direncanakan perbaikan saluran.
5. Pengaruh penerapan kolam retensi dan perbaikan saluran di SC9, SC9A, SR1, SA4 dan SA6, yakni: (a) Rencana kolam retensi mereduksi debit banjir pada *junction* NC8 sebesar 9,87% dan tinggi muka air berada 8 cm di bawah tinggi eksisting; (b) Perbaikan saluran menyebabkan kenaikan debit banjir lebih dari 10% pada NC9, NR1, NR2, NA5, NA7 dan NR3 karena penggantian material saluran dengan pasangan beton.
- Sidoarjo Dengan Software HEC-RAS”, Jurnal Envirous Vol.1 No. 1.
- [3] Fletcher, T.D., Et. Al. (2015), “*SUDS, LID, Bmps, WSUD And More – The Evolution And Application Of Terminology Surrounding Urban Drainage*”, Urban Water Journal. Vol. 12, No. 7, 525–542.
- [4] Edisono, S. (1997), “Drainase Perkotaan”, Penerbit Gunadarma, Jakarta.
- [5] Soemarto, C.D. (1986), “Hidrologi Teknik”, Penerbit Usaha Nasional, Surabaya.
- [6] Soewarno. (1995), “Hidrologi Aplikasi Metode Statistik Untuk Analisis Data Jilid 1”, Penerbit Nova, Bandung.
- [7] Kamiana, I M. (2011), “Teknik Perhitungan Debit Rencana Bangunan Air”, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- [8] Mosquera, D.C., Villada, F.H., Dan Prieto, E.T. (2021), “*Runoff Curve Number (CN Model) Evaluation Under Tropical Conditions*”, Earth Sci. Res. J. Vol.25 No.4 Bogotá.
- [9] Al Amin, B. (2016), “Pemodelan Sistem Drainase Perkotaan Menggunakan SWMM”, Penerbit Deepublish, Yogyakarta.
- [10] Suharyanto, Suripin, Dan Aditya, N.F. (2023), “*Banjir Dan Model Pembangunan Berdampak Rendah Di Sungai Sringin Menggunakan SWMM*”, SIKLUS Jurnal Teknik Sipil Volume 9, No. 1, April 2023 Pp 66 -81.
- [11] Chow, V.T. (1986), “*Open Channel Hydraulics*”, Mcgraw Hill, Auckland.
- [12] Griffiths, J.A., Zhu, F., Chan, F.K.S., Dan Highhit, D.L., (2019), “*Modelling The Impact Of Sea Level Rise On Urban Flood Probability In SE China*”, Geoscience Frontiers.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Suripin. (2004), “Sistem Drainase Perkotaan Yang Berkelanjutan”, Andi Press, Yogyakarta.
- [2] Astika, M.N., Dan Cahyonugroho, O.H. (2020), “Evaluasi Sistem Drainase Di Wilayah Kecamatan Waru, Kabupaten