



TESIS - RC 185401

**PEMODELAN NUMERIK SISTEM DRAINASE
KAWASAN CITRALAND DENGAN BEBERAPA
ALTERNATIF SOLUSI PENANGANAN BANJIR**

**SIH DWIUNTORoadI
03111850097006**

DOSEN PEMBIMBING

- Dr.techn. Umboro Lasminto, ST, MSc.
- Dr. Ir. Edijatno, DEA

Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2020



TESIS - RC 185401

**PEMODELAN NUMERIK SISTEM DRAINASE
KAWASAN CITRALAND DENGAN BEBERAPA
ALTERNATIF SOLUSI PENANGANAN BANJIR**

**SIH DWIUNTOROADI
03111850097006**

DOSEN PEMBIMBING
- Dr.techn. Umboro Lasminto, ST, MSc.
- Dr. Ir. Edijatno, DEA

**Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2020**



TESIS - RC 185401

**NUMERIC MODELING OF CITRALAND DRAINAGE
SYSTEM WITH SOME ALTERNATIVE SOLUTION
FOR FLOOD MANAGEMENT**

**SIH DWIUNTOROADI
03111850097006**

SUPERVISOR

- Dr.techn. Umboro Lasminto, ST, MSc.
- Dr. Ir. Edijatno, DEA

**Civil Engineering Departement
Faculty of Civil, Planning, and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2020**

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Telah disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T.)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Sih Dwiuntoroadi

NRP: 03111850097006

Tanggal Ujian : 05 Agustus 2020
Periode Wisuda : September 2020

Disetujui oleh:
Pembimbing

1 Dr.techn. Umboro Lasminto, S.T., M.Sc.
NIP: 19721202 199802 1 001




2 Dr. Ir. Edijatno, DEA
NIP: 19520311 198003 1 003




Penguji

1 Dr. Ir. Wasis Wardoyo, M.Sc
NIP: 19610927 198701 1 001



2 Dr. A. A. Ng. Satria Damar Negara, S.T., M.T.
NIP: 198820191 1075



Kepala Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan

Dr.techn. Umboro Lasminto, ST., M.Sc.

NIP. 19721202 199802 1 001

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

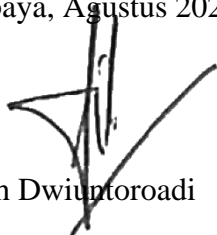
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa:

Tesis yang berjudul: “Pemodelan Numerik Sistem Drainase Kawasan Citraland Dengan Beberapa Alternatif Solusi Penanganan Banjir” ini adalah karya penelitian saya sendiri dan tidak terdapat karya /tulisan untuk memperoleh gelar akademik maupun karya ilmiah/tulisan yang pernah dipublikasikan oleh orang lain, kecuali dijadikan kutipan dari bagian karya ilmiah/tulisan orang lain dengan menyebutkan sumbernya, baik dalam naskah tesis maupun daftar pustaka.

Apabila ternyata ditemukan dan terbukti terdapat unsur-unsur plagiasi di dalam naskah tesis ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan akademik ITS dan/atau perundang-undangan yang berlaku.

Surabaya, Agustus 2020



Sih Dwiuntoroadi

NRP: 03111850097002

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

PEMODELAN NUMERIK SISTEM DRAINASE KAWASAN CITRALAND DENGAN BEBERAPA ALTERNATIF SOLUSI PENANGANAN BANJIR

Nama Mahasiswa : Sih Dwiuntoroadi
NRP : 03111850097006
Dosen Pembimbing : Dr.techn. Umboro Lasminto, S.T., M.Sc
Dr. Ir, Edijatno, DEA

Abstrak

Banjir terjadi apabila sistem drainase yang ada tidak mampu menampung debit yang mengalir, karena kapasitas sistem drainase yang menurun, debit aliran air yang meningkat, atau kombinasi dari keduanya. Pada tanggal 31 Januari 2019, hujan deras selama dua jam menyebabkan perumahan Citraland mengalami banjir hingga setinggi satu meter. Penelitian ini bertujuan untuk mengatasi permasalahan banjir yang ada melalui pengkajian sistem drainase sub surface untuk daerah berbukit pada kawasan perumahan Citraland, Surabaya.

Data hujan tahunan dari stasiun hujan di sekitar kawasan perumahan akan diolah sesuai dengan proporsi luas areanya untuk mendapatkan analisa hujan rencana yang akan dipakai dalam pemodelan. Data hujan rencana, data luas dan jenis tutupan lahan, data luas catchment area dianalisis secara hidrologi untuk mendapatkan Debit Rencana. Data hidrolika dimensi sistem drainase existing akan dianalisis kapasistasnya dalam mengalirkan Debit Rencana. Sistem Drainase kemudian dimodelkan menggunakan aplikasi Storm Water Management Model (SWMM). Dengan menggunakan data topografi dan tutupan lahan, dapat dimodelkan empat alternatif solusi yang meliputi penambahan tampungan air di berbagai lokasi perumahan untuk mengatasi banjir yang ada.

Hasil dari penelitian ini adalah skenario pertama melalui penambahan satu tampungan air pada lokasi 2 dapat menangani banjir paling efektif karena mengurangi 34,61% volume genangan yang terjadi. Skenario 3 melalui penambahan dua tampungan air dapat mengurangi 49,83% volume genangan. Dan skenario keempat melalui penambahan tiga tampungan air dapat mengurangi 57,82% volume genangan yang terjadi.

Kata kunci: banjir, sistem drainase, SWMM, tampungan air.

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

NUMERIC MODELING OF CITRALAND DRAINAGE SYSTEM WITH SOME ALTERNATIVE SOLUTION FOR FLOOD MANAGEMENT

Name : Sih Dwiuntoroadi
NRP : 03111850097006
Lecturer : Dr.techn. Umboro Lasminto, S.T., M.Sc
Dr. Ir, Edijatno, DEA

Abstract

Flooding occurs when the existing drainage system is unable to accommodate the water flow, that is due to a decreased drainage system capacity, increased flow of water, or a combination of both. On January 31, 2019, two hours of heavy rain caused Citraland housing to be flooded up to one meter high. This study aims to overcome the existing flooding problems through the assessment of sub-surface drainage systems for hilly areas in the Citraland residential area, Surabaya.

Annual rainfall data from the rain stations around the residential area will be processed according to the proportion of the area to get a rain analysis plan that will be used in modeling. Plan rainfall data, area data and types of land cover, and catchment area data are analyzed hydrologically to get the design discharge. The hydraulic data of the dimensions of the existing drainage system will be analyzed for the capacity in flowing of Flow Plan. The Drainage System is then modeled using the Storm Water Management Model (SWMM) application. Through using topographic data and land cover, four alternative solutions have been modeled which include the addition of water reservoirs in various housing locations to overcome existing flooding.

The results of this study are the first scenario through the addition of one water reservoirs on location 2 which can handle flooding most effectively because it reduces 34.61% of the inundation volume that occurs. Third scenario through the addition of two water reservoirs reduces 49.83% of inundation volume. And the fourth scenario through the addition of three water reservoirs can reduce 57.82% of the inundation volume that occurs.

Keywords: flood, drainage, SWMM, water reservoirs.

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena berkat limpahan rahmat dan karunia-Nya lah Tesis dengan judul “Pemodelan Numerik Sistem Drainase Kawasan Citraland Dengan Beberapa Alternatif Solusi Penanganan Banjir” ini dapat diselesaikan dengan tepat waktu. Penulis juga mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah membantu selama pengerjaan tesis ini, terutama kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa, atas segala rahmat dan karunia-Nya.
2. Ayah dan Ibu tercinta, serta semua keluarga yang selalu memberi dorongan dan doa selama masa perkuliahan.
3. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat atas kesempatan yang diberikan kepada saya melalui penyelenggaraan program karyasiswa Kementerian PUPR.
4. Bapak Dr.techn. Umboro Lasminto, S.T., M.Sc. dan Bapak Dr. Ir. Edijatno, DEA selaku dosen pembimbing, atas segala bimbingan dan waktunya dalam penyelesaian Tesis.
5. Seluruh dosen pengajar dan staf di Jurusan Teknik Sipil yang telah memberikan ilmu serta bimbingannya selama masa perkuliahan penulis.
6. Teman–teman Mahasiswa Hidroinformatika yang telah banyak membantu dalam pengerjaan tesis ini.

Penulis menyadari bahwa dalam proses penyusunan laporan tesis ini masih banyak terdapat kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan penulis agar di masa datang menjadi lebih baik. Penulis juga memohon maaf atas segala kekurangan yang ada dalam penyusunan laporan tesis ini.

Surabaya, Agustus 2020

Penulis

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	iv
Abstrak	vii
Abstract	ix
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
BAB 1	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Tujuan dan Manfaat Penelitian	2
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Lokasi Studi/Kajian	3
BAB 2	7
2.1. Penelitian Yang Relevan	7
2.2. Drainase	8
2.3. Pengendalian Banjir	11
2.4. Hidrolika	15
2.5. Hidrologi	20
2.6. Pemodelan Sistem Drainase dengan SWMM	25
BAB 3	29
3.1. Sistematika Pelaksanaan Penelitian	29
3.2. Teknik Pengumpulan Data	29
3.3. Tahapan Analisa	30
3.4. Flowchart	31
BAB 4	33
4.1. Penentuan Pengaruh Stasiun Hujan	33
4.2. Penentuan Curah Hujan Maksimum	33
4.3. Parameter Dasar Statistik	34
4.4. Curah Hujan Rencana Metode Log-Pearson III	36
4.5. Uji Kesesuaian Distribusi Frekuensi Curah Hujan	37

4.6. Pemodelan dengan Program Bantu SWMM	41
4.7. Analisa Kondisi Eksisting	49
4.8. Analisa Skenario Pengendalian Banjir 1	57
4.8.1. Skenario Pengendalian Banjir 1 - Lokasi 1	57
4.8.2. Skenario Pengendalian Banjir 1 – Lokasi 2	62
4.8.3. Skenario Pengendalian Banjir 1 – Lokasi 3	68
4.9. Analisa Skenario Pengendalian Banjir 2	71
4.10. Analisa Skenario Pengendalian Banjir 3	71
4.11. Analisa Skenario Pengendalian Banjir 4	71
4.12. Analisis Pemilihan Skenario Terbaik	72
BAB 5	77
5.1. Kesimpulan	77
5.2. Saran	77
LAMPIRAN	80
1. Tabel Data Dasar	80
2. Tabel Hasil Simulasi Kondisi Eksisting	92
3. Tabel Hasil Simulasi Skenario 1 Lokasi 1	93
4. Tabel Hasil Simulasi Skenario 1 Lokasi 2	94
5. Tabel Hasil Simulasi Skenario 1 Lokasi 3	95
6. Tabel Hasil Simulasi Skenario 2	96
7. Tabel Hasil Simulasi Skenario 3	97
8. Tabel Hasil Simulasi Skenario 4	98
BIODATA PENULIS	99

DAFTAR TABEL

Tabel 2-1 Nilai m yang di usulkan Bazin (Ven Te Chow: 1997).....	19
Tabel 2-2 harga koefisien kekasaran Manning, n yang sering digunakan (Ven Te Chow: 1997).....	20
Tabel 4-1 Curah Hujan Maksimum Stasiun Kandangan.....	34
Tabel 4-2 Perhitungan Parameter Dasar Statistik.....	35
Tabel 4-3 Syarat Penggunaan Jenis Sebaran.....	36
Tabel 4-4 Perhitungan Distribusi Log-Pearson III.....	36
Tabel 4-5 Perhitungan Curah Hujan Rencana.....	37
Tabel 4-6 Perhitungan Chi-Square (1).....	38
Tabel 4-7 Nilai Batasan Chi.....	39
Tabel 4-8 Perhitungan Chi-Square (2).....	39
Tabel 4-9 Perhitungan Smirnov-Kolmogorof.....	40
Tabel 4-10 Tinggi Hujan Pada Jam ke-t (Input Model).....	41
Tabel 4-11 Tabel Perhitungan Inputan Subcatchment SWMM (contoh).....	48
Tabel 4-12 Tabel Perbandingan Volume Banjir yang dikurangi.....	72
Tabel 4-13 Tabel Perbandingan Volume Banjir pada 10 Node Banjir Besar.....	73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1-1 Peta Lokasi Studi, Kawasan Perumahan Citraland, Surabaya Barat (sumber: Streetmap QGIS)	4
Gambar 1-2 Sistem drainase dan arah aliran beserta peta kontur (sumber: Master Plan Citraland 2018 & DEMNAS diolah dengan aplikasi QGIS).....	5
Gambar 2-1 Diagram Aliran berubah beraturan (US. Army Corps, 2008).....	16
Gambar 2-2 Bagian pada penampang untuk menghitung kapasitas saluran (US Army Corps, 2008)	18
Gambar 3-1 Lokasi penambahan tampungan air pada skenario penanganan banjir	31
Gambar 4-1 Penentuan Pengaruh Stasiun Hujan Metode Thiessen (QGIS).....	33
Gambar 4-2 Input Curah Hujan Rencana pada Aplikasi SWMM	41
Gambar 4-3 Input Rain Gage pada Aplikasi SWMM.....	42
Gambar 4-4 Input Node (Junction) pada Aplikasi SWMM.....	43
Gambar 4-5 Input Conduit pada Aplikasi SWMM.....	44
Gambar 4-6 Input Subcatchment pada Aplikasi SWMM	45
Gambar 4-7 Digitasi Area Subcatchment menggunakan program bantu QGIS ..	46
Gambar 4-8 Pencarian nilai Slope masing-masing subcatchment menggunakan program bantu Global Mapper	47
Gambar 4-9 Digitasi Tata Guna Lahan pada program bantu QGIS.....	47
Gambar 4-10 Tampilan Program SWMM setelah semua data yang diperlukan dimasukkan.....	48
Gambar 4-11 Hasil simulasi SWMM, keluaran berupa waktu dan volume banjir yang terjadi pada Node	49
Gambar 4-12 Posisi 10 node yang terjadi banjir dengan volume besar.....	51
Gambar 4-13 Potongan memanjang saluran di sekitar Node Gapura-Timur-15 saat puncak banjir	52
Gambar 4-14 Potongan memanjang saluran di sekitar Node Puri-33 saat puncak banjir.....	52
Gambar 4-15 Potongan memanjang saluran di sekitar Node Taman-Gapura-31 saat puncak banjir	52
Gambar 4-16 Grafik perbandingan debit banjir node Puri-33 dan ketinggian air pada saluran Conduit 285	53
Gambar 4-17 Grafik perbandingan debit banjir node Gtimur-15 dan ketinggian air pada saluran Conduit 125	54
Gambar 4-18 Grafik perbandingan debit banjir node Gtimur-15 dan ketinggian air pada saluran Conduit 121	55
Gambar 4-19 Kapasitas conduit saat puncak banjir pada kondisi eksisting	56
Gambar 4-20 Lokasi tampungan air Skenario 1 lokasi 1 (warna merah muda) ..	57
Gambar 4-21 Grafik perbandingan existing dan skenario 1 pada banjir yang terjadi di node masjid-8	58
Gambar 4-22 Grafik perbandingan existing dan skenario 1 pada tinggi air di saluran Conduit 8.....	58
Gambar 4-23 Grafik tinggi air yang berada pada storage pada Skenario 1	59

Gambar 4-24 Grafik perbandingan existing dan skenario 1 pada banjir yang terjadi di node masjid-9.....	60
Gambar 4-25 Grafik perbandingan existing dan skenario 1 pada tinggi air di saluran conduit 10	60
Gambar 4-26 Grafik perbandingan existing dan skenario 1 pada banjir yang terjadi di node masjid-10.....	61
Gambar 4-27 Grafik perbandingan existing dan skenario 1 pada tinggi air di saluran conduit 11	61
Gambar 4-28 Lokasi tampungan air Skenario 1 lokasi 2 (warna merah muda)..	62
Gambar 4-29 Grafik perbandingan existing dan skenario 1 pada banjir yang terjadi di node taman gapura 31	63
Gambar 4-30 Grafik perbandingan existing dan skenario 1 pada tinggi air di saluran conduit 101	63
Gambar 4-31 Grafik tinggi air yang berada pada storage 2 pada Skenario 1.....	64
Gambar 4-32 Sistem drainase di sekitar Storage 2 pada Skenario 1 Lokasi 2	65
Gambar 4-33 Grafik perbandingan existing dan skenario 1 pada banjir yang terjadi di node taman gapura 32	65
Gambar 4-34 Grafik perbandingan existing dan skenario 1 pada tinggi air di saluran conduit 98	66
Gambar 4-35 Grafik perbandingan existing dan skenario 1 pada banjir yang terjadi di node gapura timur 15	66
Gambar 4-36 Grafik perbandingan existing dan skenario 1 pada tinggi air di saluran conduit 128	67
Gambar 4-37 Grafik perbandingan existing dan skenario 1 pada banjir yang terjadi di node taman gapura 33	67
Gambar 4-38 Grafik perbandingan existing dan skenario 1 pada tinggi air pada saluran di conduit 100	68
Gambar 4-39 Lokasi Tampungan Air Skenario 1 Lokasi 3 (warna merah muda)	69
Gambar 4-40 Grafik perbandingan existing dan skenario 1 pada banjir yang terjadi di no puri 33	70
Gambar 4-41 Grafik perbandingan existing dan skenario 1 pada tinggi air di saluran conduit 285	70
Gambar 4-42 Grafik perbandingan volume banjir pada tiap node periode ulang 2 tahun.....	74
Gambar 4-43 Grafik perbandingan volume banjir pada tiap node periode ulang 5 tahun.....	74
Gambar 4-44 Grafik perbandingan volume banjir pada tiap node periode ulang 10 tahun.....	75

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Banjir atau terjadinya genangan di suatu kawasan di suatu kawasan pemukiman atau perkotaan masih banyak terjadi di berbagai kota di Indonesia, salah satunya terjadi di Kota Surabaya. Banjir atau genangan terjadi apabila sistem yang berfungsi untuk menampung genangan itu tidak mampu menampung debit yang mengalir, hal ini akibat dari tiga kemungkinan yang terjadi yaitu: kapasitas sistem yang menurun karena pengurangan luas penampang saluran, debit aliran air yang meningkat karena curah hujan meningkat atau mendapat aliran tambahan, atau kombinasi dari kedua-duanya. Pengertian sistem di sini adalah sistem jaringan drainase di suatu kawasan. Sedangkan sistem drainase secara umum dapat didefinisikan sebagai serangkaian bangunan air yang berfungsi untuk mengurangi dan/atau membuang kelebihan air (banjir) dari suatu kawasan atau lahan, sehingga lahan dapat difungsikan secara optimal, jadi sistem drainase adalah rekayasa infrastruktur di suatu kawasan untuk menanggulangi adanya genangan banjir (Suripin, 2004).

Saat musim hujan, kota Surabaya bagian barat terdapat titik-titik genangan yang mengganggu aktivitas warga. Yang terakhir terjadi, pada tanggal 31 Januari 2019, hujan deras selama dua jam menyebabkan perumahan elit Citraland mengalami banjir setinggi pinggang orang dewasa.

Pada perencanaan wilayah perumahan Citraland, yang sudah mulai dikembangkan sejak 1993, pengembang sudah merancang sistem drainase dan membuat kolam penampungan air. Namun saat terjadi banjir pada tanggal 31 Januari 2019 tersebut, genangan air yang terjadi justru tidak berada pada sekitar kolam tersebut. Lokasi banjir berada pada lokasi dimana seharusnya air yang berada pada tersebut dapat dialirkan melalui drainase menuju kolam penampungan air.

Pemecahan permasalahan yang terjadi harus dilakukan sedini mungkin agar kegiatan penduduk di area banjir tersebut dapat berjalan lancar pada saat musim hujan. Penelitian ini akan mengkaji permasalahan pada sistem drainase existing pada area studi seluas 1,393 km² yang merupakan *catchment area* dari lokasi banjir, mengkaji sistem aliran air yang ada sehingga tampungan air dapat digunakan secara maksimal, serta mengkaji skenario perubahan dimensi saluran air dan lokasi-lokasi tampungan air baru yang dapat ditambah.

Diharapkan dengan adanya penelitian ini dapat membantu berbagai pihak termasuk pemerintah Kota Surabaya dalam upaya untuk mengurangi dan bahkan mengatasi genangan banjir yang terjadi pada kawasan perumahan Citraland, kota Surabaya bagian barat.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang ada, maka dalam penelitian ini fokus permasalahan yang akan diteliti adalah sebagai berikut:

- a. Faktor apa saja yang menjadi penyebab banjir?
- b. Apa saja alternatif solusi pengendalian banjir yang dapat diterapkan?
Melalui evaluasi saluran *existing*, dimana lokasi dan dimensi penambahan tampungan air baru?

1.3. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

- a. Menganalisa faktor-faktor yang menyebabkan banjir.
- b. Menganalisa alternatif solusi pengendalian banjir yang dapat diterapkan, dengan membentuk beberapa alternatif skenario melalui penambahan tampungan air baru.

Manfaat penelitian ini adalah:

- a. Dapat memberikan penjelasan terukur akan penyebab terjadinya banjir perumahan Citraland.
- b. Dapat terbentuk model sistem drainase perumahan Citraland yang baik, yang dapat digunakan dalam mengatasi banjir.

- c. Memberikan alternatif solusi bagi pihak yang berwenang dalam mengatasi permasalahan banjir perumahan Citraland.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

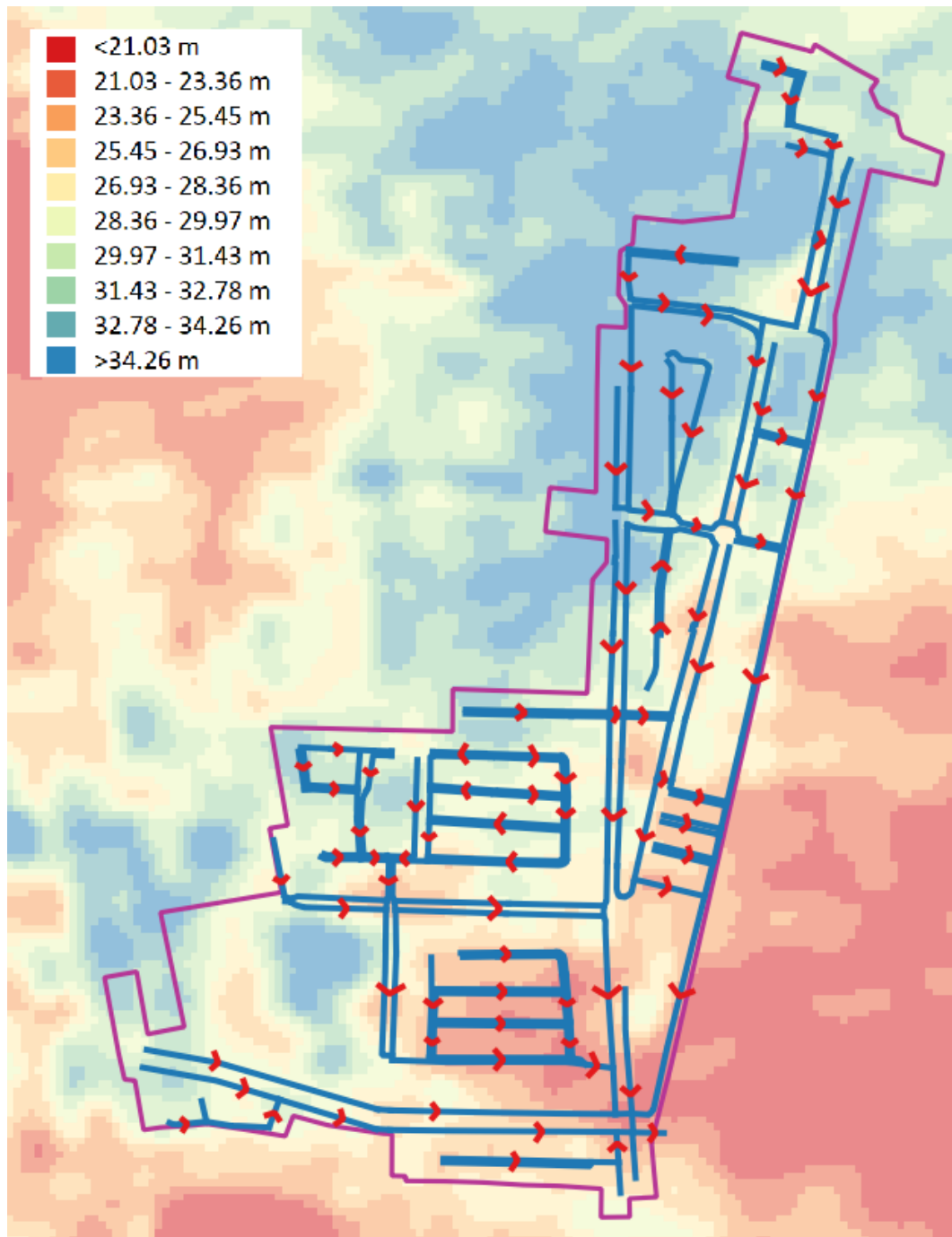
- a. Dalam penelitian ini tidak memperhitungkan anggaran biaya dalam setiap usulan pembangunan baik itu penambahan saluran drainase atau penambahan tampungan air.
- b. Dalam penelitian ini tidak membahas teknis pelaksanaan di lapangan.
- c. Dalam penelitian ini tidak memperhitungkan sedimen yang terbentuk pada saluran drainase dan kolam penampungan air.

1.5. Lokasi Studi/Kajian

Lokasi studi dari pemodelan ini berlokasi di kawasan Perumahan Citraland, Kota Surabaya Barat dengan luas *catchment area* 0,483 km². Peta lokasi studi pada gambar 1.1. Peta kontur dan sistem drainase pada gambar 1.2.



Gambar 1-1 Peta Lokasi Studi, Kawasan Perumahan Citraland, Surabaya Barat (sumber: Streetmap QGIS)



Gambar 1-2 Sistem drainase dan arah aliran beserta peta kontur (sumber: Master Plan Citraland 2018 & DEMNAS diolah dengan aplikasi QGIS)

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Penelitian Yang Relevan

Penelitian yang berkaitan dengan Sistem Drainase dan Banjir di Surabaya sudah cukup banyak dengan beberapa variasi terhadap variabel yang diberikan. Adapun penelitian terdahulu yang berkaitan, baik dalam lokasi ataupun dalam kasusnya, seperti berikut ini:

- a. *Studi Alternatif Jenis, Lokasi, Dan Dimensi Prasarana Pengendalian Banjir Pada Sistem Jaringan Drainase Saluran AFVOUR Kelor Kabupaten Tuban.* Penelitian dilakukan oleh Rangga Adi Sabrang pada tahun 2017. Penulis meneliti penyebab banjir pada sistem jaringan drainase Saluran Afvour Kelor, dan kemudian menyusun skenario untuk mengatur aliran saluran dalam rangka mengatasi banjir. Disusun lima skenario pengendalian banjir antara lain normalisasi saluran, perencanaan kolam tampung pada lokasi-lokasi subdas yang berpengaruh, gabungan beberapa kolam tampung dan normalisasi, gabungan serta perencanaan tanggul saluran. Hasil penelitian adalah dipilihnya skenario ke-empat, yaitu gabungan dari pembangunan 5 kolam tampung dan normalisasi saluran, sebagai skenario terbaik dalam menangani banjir, karena menurunkan tinggi luapan banjir dari 0,35 m menjadi 0,04 m (Sabrang, 2017).
- b. *Simulasi Penataan Subsistem Untuk Mengurangi Genangan Pada Sisitem Drainase Kawasan Perumahan Pepelegi Indah Waru Sidoarjo.* Penelitian dilakukan oleh Steven Valerian Brouwer pada tahun 2017. Penulis meneliti banjir yang terjadi pada kawasan perumahan Pepelegi Indah Waru Sidoarjo, dan menyusun skenario untuk mengetahui seberapa besar pengaruh dari pengaturan arah aliran saluran tersier terhadap penurunan muka air genangan. Disusun lima skenario yang merupakan

kombinasi antara pemindahan arah aliran, penambahan saluran sekunder, dan penambahan pompa. Hasil simulasi menunjukkan penurunan muka air pada saluran tersier sampai dengan 0.18 m, dengan skenario ke-empat sebagai skenario terbaik (Brouwer, 2017).

- c. *Evaluasi Kapasitas Saluran Drainase UNESA Dengan Adanya Pengembangan Kawasan Surabaya Barat.* Penelitian dilakukan oleh Panglima Raizal Mahendra Norman, pada tahun 2017. Penulis meneliti banjir yang terjadi disebabkan oleh saluran sekunder UNESA. Dengan hasil penelitian menyatakan untuk mengatasi banjir harus dilakukan penahanan debit yang masuk dari tiga lokasi yang berbeda yaitu Pakuwon, Citraland, dan UNESA (Norman, 2017). Saluran sekunder UNESA tersebut terletak pada hilir dari sistem drainase Citraland, yang menjadi lokasi penelitian ini. Dan menjadi dasar bagi penelitian yang dilakukan, bahwa untuk mengatasi banjir kawasan Citraland tidak sekedar dengan cepat mengalirkan air yang ada, yang akan mengakibatkan banjir di lokasi hilir lainnya, melainkan mengatur debit air melalui kolam-kolam tampungan.
- d. *Simulasi Skenario Kolam Retensi Untuk Menurunkan Debit Puncak Banjir Kali Ngotok.* Penelitian dilakukan oleh Gilang Idfi pada tahun 2017. Penulis meneliti banjir yang terjadi disebabkan oleh luapan Kali Ngotok. Penelitian memodelkan skenario untuk menurunkan debit puncak banjir dengan memanfaatkan kolam retensi yang dibangun di beberapa anak sungai yang berpengaruh dengan enam skenario pengendalian banjir. Hasil penelitian menyimpulkan skenario ke-enam, melalui pembangunan kolam retensi pada hulu Kali Ngotok, yaitu di Kali Jombang Kulon dan Kali Sambong, dapat menurunkan elevasi muka air paling efektif dan efisien (Idfi, 2017)

2.2. Drainase

Menurut Mulyanto (2012), drainase adalah suatu ilmu tentang pengeringan tanah. Drainase (drainage) berasal dari kata *'to drain'* yang berarti

mengeringkan atau mengalirkan air dan merupakan terminologi yang digunakan untuk menyatakan sistem-sistem yang berkaitan dengan penanganan masalah kelebihan air, baik di atas maupun di bawah permukaan tanah. Pengertian drainase tidak terbatas pada teknis pembuangan air yang berlebihan namun lebih luas lagi menyangkut keterkaitannya dengan aspek kehidupan yang berada di dalam kawasan perkotaan. Semua hal yang menyangkut kelebihan air yang berada di kawasan kota sudah pasti dapat menimbulkan permasalahan yang cukup kompleks. Dengan semakin kompleksnya permasalahan drainase perkotaan maka di dalam perencanaan dan pembangunannya tergantung pada kemampuan masing-masing perencana. Dengan demikian dalam proses pekerjaannya memerlukan kerja sama dengan beberapa ahli di bidang lain yang terkait.

Selanjutnya menurut Maryono (2001), sistem drainase perkotaan dapat dibagi menjadi dua macam sistem dan ditambah dengan pengendalian banjir (*flood control*), sistem tersebut adalah:

- a. Sistem Jaringan Drainase Utama (*Major Urban Drainage System*), berfungsi mengumpulkan aliran air hujan dari minor drainase sistem untuk diteruskan ke badan air atau *flood control* (sungai yang melalui daerah pemerintahan kota dan kabupaten, seperti: waduk, rawa-rawa, sungai dan muara laut untuk kota-kota ditepi pantai).
- b. Drainase Lokal (*Minor Urban Drainage System*), adalah jaringan drainase yang melayani bagian-bagian khusus perkotaan seperti kawasan *real estate*, kawasan komersial, kawasan industri, kawasan perkampungan, kawasan kompleks-komplek, perumahan dan lain-lain.
- c. Struktur saluran, secara hirarki drainase perkotaan mulai dari yang paling hulu akan terdiri dari: saluran kwarter/saluran kolektor jaringan drainase lokal, saluran tersier, saluran sekunder dan saluran primer.

Fungsi yang diharapkan dari terbangunnya sistem drainase perkotaan secara umum adalah:

- a. Mengeringkan bagian wilayah kota dari genangan sehingga tidak menimbulkan dampak negatif.

- b. Mengalirkan air permukaan ke badan air penerima terdekat secepatnya.
- c. Mengendalikan kelebihan air permukaan yang dapat dimanfaatkan untuk persediaan air dan kehidupan akuatik.
- d. Meresapkan air permukaan untuk menjaga kelestarian air tanah (konservasi air).
- e. Melindungi sarana dan prasarana yang sudah terbangun.

Jenis-jenis drainase antara lain (Hasmar, 2001):

- a. Berdasarkan sejarah terbentuknya:

- Drainase alamiah

Drainase yang terbentuk secara alami dan tidak terdapat bangunan bangunan penunjang seperti bangunan pelimpah, pasangan batu/beton, gorong-gorong dan lain-lain. Saluran ini terbentuk oleh gerusan air yang bergerak karena grafitasi yang lambat laun membentuk jalan air yang permanen seperti sungai.

- Drainase buatan

Drainase yang dibuat dengan maksud dan tujuan tertentu sehingga memerlukan bangunan-bangunan khusus seperti selokan pasangan batu/beton, gorong-gorong, pipa-pipa dan sebagainya.

- b. Berdasarkan letak bangunan:

- Drainase Permukaan Tanah (Surface Drainage)

Saluran drainase yang berada di atas permukaan tanah yang berfungsi mengalirkan air limpasan permukaan. Analisa alirannya merupakan analisa open chanel flow.

- Drainase Bawah Permukaan Tanah (Sub Surface Drainage)

Saluran drainase yang bertujuan mengalirkan air limpasan permukaan melalui media dibawah permukaan tanah (pipa-pipa), dikarenakan alasan tertentu. Alasan itu antara lain tuntutan artistik, tuntutan fungsi permukaan tanah yang tidak membolehkan adanya saluran di permukaan tanah seperti lapangan sepak bola, lapangan terbang, taman dan lain-lain.

c. Berdasarkan fungsinya:

- **Single Purpose**

saluran yang berfungsi mengalirkan satu jenis air buangan, misalnya air hujan saja atau jenis air buangan yang lainnya seperti limbah domestik, air limbah industri dan lain-lain.

- **Multi Purpose**

Saluran drainase yang berfungsi mengalirkan beberapa jenis air buangan baik secara bercampur maupun bergantian.

d. Berdasarkan konstruksinya:

- **Saluran Terbuka**

Saluran untuk air hujan yang terletak di area yang cukup luas. Juga untuk saluran air non hujan yang tidak mengganggu kesehatan lingkungan

- **Saluran Tertutup**

Saluran untuk air kotor yang mengganggu kesehatan lingkungan. Juga untuk saluran dalam kota/permukiman.

2.3. Pengendalian Banjir

Pengendalian banjir merupakan suatu yang kompleks. Dimensi rekayasanya (*engineering*) melibatkan banyak disiplin ilmu teknik antara lain: hidrologi, hidrolika, erosi DAS, teknik sungai, morfologi & sedimentasi sungai, rekayasa sistem pengendalian banjir, sistem drainase kota, bangunan air dll. Pengendalian banjir merupakan bagian dari pengelolaan sumber daya air yang lebih spesifik untuk mengendalikan debit banjir umumnya melalui dam-dam pengendali banjir, atau peningkatan sistem pembawa (sungai, drainase) dan pencegahan hal-hal yang berpotensi merusak dengan cara mengelola tata guna lahan dan daerah banjir (*flood plains*). (Kodoatie, 2005).

Banjir adalah suatu kondisi dimana tidak tertampungnya air dalam saluran pembuang atau terhambatnya aliran air di dalam saluran pembuang. (Suripin, 2004). Banjir merupakan peristiwa alam yang dapat menimbulkan

kerugian harta benda penduduk serta dapat pula menimbulkan korban jiwa. Dikatakan banjir apabila terjadi luapan air yang disebabkan kurangnya kapasitas penampang saluran. Banjir di bagian hulu biasanya arus banjirnya deras, daya gerusnya besar, tetapi durasinya pendek. Sedangkan di bagian hilir arusnya tidak deras (karena landai), tetapi durasi banjirnya panjang.

Beberapa karakteristik yang berkaitan dengan banjir, diantaranya adalah:

- a. Banjir dapat datang secara tiba-tiba dengan intensitas besar namun dapat langsung mengalir.
- b. Banjir datang secara perlahan namun intensitas hujannya sedikit.
- c. Pola banjirnya musiman.
- d. Banjir datang secara perlahan namun dapat menjadi genangan yang lama di daerah depresi.
- e. Akibat yang ditimbulkan adalah terjadinya genangan, erosi, dan sedimentasi. Sedangkan akibat lainnya adalah terisolasinya daerah pemukiman dan diperlukan evakuasi penduduk.

Banyak faktor menjadi penyebab terjadinya banjir. Namun secara umum penyebab terjadinya banjir dapat diklasifikasikan dalam 2 kategori, yaitu banjir yang disebabkan oleh sebab-sebab alami dan banjir yang diakibatkan oleh tindakan manusia (*Kodoatie, 2002*).

Yang termasuk sebab-sebab alami diantaranya adalah:

1. Curah hujan

Indonesia mempunyai iklim tropis sehingga sepanjang tahun mempunyai dua musim yaitu musim hujan yang umumnya terjadi antara bulan Oktober sampai bulan Maret, dan musim kemarau yang terjadi antara bulan April sampai bulan September. Pada musim penghujan, curah hujan yang tinggi akan mengakibatkan banjir di sungai dan apabila banjir tersebut melebihi tebing sungai maka akan timbul banjir atau genangan.

2. Pengaruh Fisiografi

Fisiografi atau geografi fisik sungai seperti bentuk, fungsi dan kemiringan daerah pengaliran sungai (DPS), kemiringan sungai, geometrik hidrolis (bentuk penampang seperti lebar, kedalaman, potongan

memanjang, material dasar sungai), lokasi sungai dll. merupakan hal-hal yang mempengaruhi terjadinya banjir.

3. Erosi dan Sedimentasi

Erosi dan sedimentasi di DPS berpengaruh terhadap pengurangan kapasitas penampang sungai. Erosi dan sedimentasi menjadi problem klasik sungai- sungai di Indonesia. Besarnya sedimentasi akan mengurangi kapasitas saluran, sehingga timbul genangan dan banjir di sungai.

4. Kapasitas sungai

Pengurangan kapasitas aliran banjir pada sungai dapat disebabkan oleh pengendapan yang berasal dari erosi DAS dan erosi tanggul sungai yang berlebihan dan sedimentasi di sungai yang dikarenakan tidak adanya vegetasi penutup dan penggunaan lahan yang tidak tepat.

5. Kapasitas Drainase yang tidak memadai

Hampir semua kota-kota di Indonesia mempunyai drainase daerah genangan yang tidak memadai, sehingga kota-kota tersebut sering menjadi langganan banjir di musim hujan.

6. Pengaruh air pasang

Air pasang laut memperlambat aliran sungai ke laut. Pada waktu banjir bersamaan dengan air pasang yang tinggi maka tinggi genangan atau banjir menjadi besar karena terjadi aliran balik (*backwater*).

Sedangkan yang termasuk sebab-sebab banjir karena tindakan manusia antara lain:

1. Perubahan Kondisi DAS

Perubahan DAS seperti penggundulan hutan, usaha pertanian yang kurang tepat, perluasan kota, dan perubahan tata guna lahan lainnya, dapat memperburuk masalah banjir karena meningkatnya aliran banjir. Perubahan tata guna lahan memberikan kontribusi yang besar terhadap naiknya kuantitas dan kualitas banjir.

2. Kawasan kumuh

Perumahan kumuh yang terdapat di sepanjang sungai, dapat merupakan

penghambat aliran. Masalah kawasan kumuh dikenal sebagai faktor penting terhadap masalah banjir daerah perkotaan.

3. Sampah

Ketidaksiplinan masyarakat untuk membuang sampah pada tempat yang ditentukan, umumnya mereka langsung membuang sampah ke sungai. Di kotakota besar hal ini sangat mudah dijumpai. Pembuangan sampah di alur sungai dapat meninggikan muka air banjir karena menghalangi aliran air.

4. Drainase lahan

Drainase perkotaan dan pengembangan pertanian pada daerah bantuan banjir akan mengurangi kemampuan bantaran dalam menampung debit air yang tinggi

5. Bendung dan bangunan air

Bendung dan bangunan lain seperti pilar jembatan dapat meningkatkan elevasi muka air banjir karena efek aliran balik (*backwater*).

6. Kerusakan bangunan pengendali banjir

Pemeliharaan yang kurang memadai dari bangunan pengendali banjir sehingga menimbulkan kerusakan dan akhirnya menjadi tidak berfungsi dapat meningkatkan kuantitas banjir.

7. Perencanaan sistem pengendalian banjir tidak tepat

Beberapa sistem pengendalian banjir memang dapat mengurangi kerusakan akibat banjir kecil sampai sedang, tetapi mungkin dapat menambah kerusakan selama banjir-banjir yang besar. Sebagai contoh bangunan tanggul sungai yang tinggi. Limpasan pada tanggul pada waktu terjadi banjir yang melebihi banjir rencana dapat menyebabkan keruntuhan tanggul, hal ini menimbulkan kecepatan aliran air menjadi sangat besar.

Daerah genangan banjir terjadi akibat adanya peningkatan jumlah penduduk, kebutuhan infrastruktur terutama permukiman meningkat, sehingga merubah sifat dan karakteristik tata guna lahan. Sama dengan prinsip pengendalian banjir perubahan tata guna lahan yang tidak terkendali menyebabkan aliran permukaan (*run-off*) meningkat. Hal-hal yang menyebabkan terjadinya genangan genangan air di suatu lokasi antara lain seperti dimensi saluran yang tidak sesuai,

perubahan tata guna lahan yang menyebabkan terjadinya peningkatan debit banjir di suatu daerah aliran sistem drainase, elevasi saluran tidak memadai, lokasi merupakan daerah cekungan, tanggul kurang tinggi, kapasitas tampungan kurang besar, dimensi gorong-gorong terlalu kecil sehingga terjadi aliran balik, adanya penyempitan saluran, tersumbatnya saluran oleh endapan, sedimentasi atau timbunan sampah, dan lain-lain.

2.4. Hidrolika

Hitungan hidrolika aliran pada dasarnya adalah mencari kedalaman dan kecepatan aliran di sepanjang saluran yang ditimbulkan oleh debit yang masuk ke dalam saluran dan kedalaman aliran di batas hilir.

2.4.1. Persamaan Untuk Menentukan Profil Muka Air

Untuk menghitung profil muka air di sepanjang saluranurut dari satu tampang lintang ke tampang lintang berikutnya. Muka air dihitung dengan memakai persamaan energi yang diselesaikan dengan metode yang dikenal sebagai standard step method. Persamaan energi antara dua tampang lintang dituliskan dalam bentuk berikut:

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (1)$$

Dimana:

Y_1, Y_2 = kedalaman aliran

Z_1, Z_2 = elevasi dasar saluran

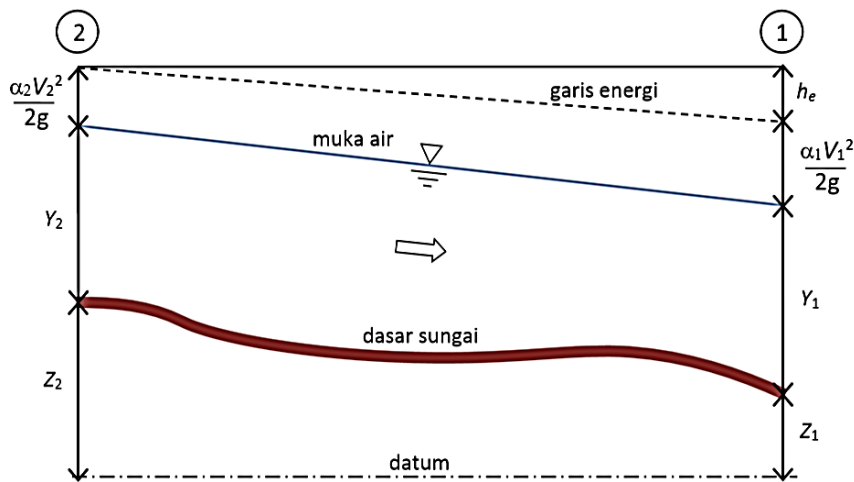
V_1, V_2 = kecepatan rata-rata (debit dibagi luas tampang basah)

α_1, α_2 = koefisien,

g = percepatan gravitasi,

h_e = kehilangan tinggi energi.

Profil aliran yang menunjukkan komponen aliran sesuai dengan suku-suku pada persamaan energi.



Gambar 2-1 Diagram Aliran berubah beraturan (US. Army Corps, 2008)

Kehilangan (tinggi) energi, (h_e), di antara dua tampang lintang terdiri dari dua komponen, yaitu kehilangan energi karena gesekan (friction losses) dan kehilangan energi karena perubahan tampang (contraction or expansion losses). Kehilangan energi antara tampang 2 dan 1 dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$h_e = L\bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \quad (2)$$

Dimana:

- L = Panjang ruas sungai antar kedua tampang yang diberi bobot menurut debit
- \bar{S}_f = Representative friction slope (representasi dari kemiringan gesekan) antar kedua bagian tampang
- C = koefisien kehilangan energi akibat perubahan tampang (kontraksi atau ekspansi).

Jarak (panjang) ruas sungai yang diberi bobot menurut debit (L), dinyatakan dengan persamaan berikut

$$L = \frac{L_{lob}\bar{Q}_{lob} + L_{ch}\bar{Q}_{ch} + L_{rob}\bar{Q}_{rob}}{\bar{Q}_{lob} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rob}} \quad (3)$$

Dalam persamaan diatas, dimana:

L_{lob}, L_{ch}, L_{rob} = Panjang ruas bantaran sungai di sisi kiri (*left overbank*), alur utama sungai (*main channel*), dan bantaran sungai sisi kanan (*right overbank*)

$\bar{Q}_{lob}, \bar{Q}_{ch}, \bar{Q}_{rob}$ = Rata-rata debit yang mengalir melalui *left overbank*, *main channel*, dan *right overbank*.

Dalam menentukan total debit koefisien kecepatan yang melewati setiap potongan penampang maka digunakan Persamaan Manning. Dari persamaan tersebut kemiringan sungai merupakan suatu yang tidak berubah, sedangkan nilai K (koefisien hantaran) dapat berubah sesuai dengan bagian penampang salurannya. Kapasitas debit dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$Q = K\bar{S}_f^{2/3} \quad (4)$$

$$K = \frac{1}{n}AR^{2/3} \quad (5)$$

Dalam persamaan diatas, dimana:

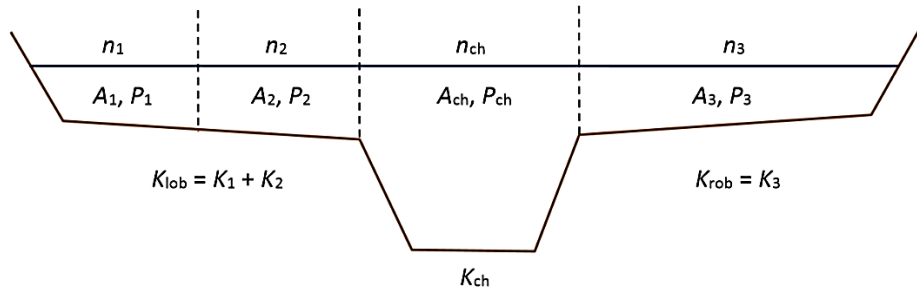
K = Koefisien angkutan

n = Koefisien kekasaran manning di tiap bagian penampang

A = Luas penampang basah tiap penampang

R = Jari-jari hidroulik tiap penampang

Bentuk dari penampang dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2-2 Bagian pada penampang untuk menghitung kapasitas saluran (US Army Corps, 2008)

2.4.2. Perumusan Chezy

Insinyur Prancis yang bernama Antoine Chezy pada tahun 1769 merumuskan kecepatan untuk aliran seragam yang masih banyak dipakai sampai sekarang. Dalam penurunan rumus Chezy, digunakan beberapa asumsi bahwa aliran adalah seragam, kemiringan dasar saluran adalah kecil dan saluran adalah prismatik. Yang secara matematis dapat dituliskan:

$$V = C\sqrt{RS}$$

$$C = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}} \quad (6)$$

$$\gamma = \frac{m}{1,81}$$

Dimana:

- V = Kecepatan aliran seragam
- R = A/P (jari-jari) hidrolika
- C = Koefisien Chezy
- m = Koefisien Bazin

Tabel 2-1 Nilai m yang di usulkan Bazin (Ven Te Chow: 1997)

No	Permukaan Saluran	Nilai m
1	Semen yang sangat halus atau kayu diketam	0,11
2	Kayu tidak diketam atau beton bata	0,21
3	Papan, batu	0,29
4	Pasangan batu pecah	0,83
5	Saluran tanah dalam keadaan baik	1,54
6	Saluran tanah dalam keadaan rata	2,36
7	Saluran tanah dalam keadaan kasar	3,17

2.4.3. Perumusan Manning

Insinyur Irlandia bernama Robert Manning (1889) mengemukakan sebuah rumus sebagai berikut:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (7)$$

Dimana:

V = Kecepatan aliran seragam

n = Koefesien Manning

R = A/P (jari-jari) hidrolika

S = Kemiringan energi

Tabel 2-2 harga koefisien kekasaran Manning, n yang sering digunakan (Ven Te Chow: 1997)

No.	Tipe saluran dan jenis bahan	Harga n		
		Minimum	Normal	Maksimum
1.	Beton			
	▪ Gorong-gorong lurus dan bebas dari kotoran	0,010	0,011	0,013
	▪ Gorong-gorong dengan lengkungan dan sedikit kotoran/gangguan	0,011	0,013	0,014
	▪ Beton dipoles	0,011	0,012	0,014
	▪ Saluran pembuang dengan bak kontrol	0,013	0,015	0,017
2.	Tanah, lurus dan seragam			
	▪ Bersih baru	0,016	0,018	0,020
	▪ Bersih telah melapuk	0,018	0,022	0,025
	▪ Berkerikil	0,022	0,025	0,030
	▪ Berumput pendek, sedikit tanaman pengganggu	0,022	0,027	0,033
3.	Saluran alam			
	▪ Bersih lurus	0,025	0,030	0,033
	▪ Bersih, berkelok-kelok	0,033	0,040	0,045
	▪ Banyak tanaman pengganggu	0,050	0,070	0,08
	▪ Dataran banjir berumput pendek – tinggi	0,025	0,030	0,035
	▪ Saluran di belukar	0,035	0,050	0,07

2.5. Hidrologi

Asdak (2010) menyatakan ekosistem sebagai suatu sistem ekologi yang terdiri atas sejumlah yang tidak saling berkaitan sehingga membentuk suatu komponen. Komponen-komponen utama ekosistem DAS terdiri dari manusia, hewan, vegetasi, tanah, keragaman, dan udara. Masing-masing komponen memiliki

sifat yang khas dan mendukungnya tidak berdiri sendiri, namun terkait dengan komponen lain membentuk hubungan sistem ekologis (ekosistem).

Karakteristik DAS terkait erat dengan sistem hidrologi yang terjadi pada DAS. Bentuk dan ukuran DAS, kemiringan permukaan tanah dan sungai, dan kerapatan sungai adalah karakteristik DAS yang relatif terkait. Masing-masing karakteristik DAS ini, secara bersama-sama akan mempengaruhi respon DAS terhadap hujan tertentu. Sementara itu, sistem tanam dan kondisi tanah adalah komponen DAS yang berfungsi dinamik dan transisi vegetasi dalam batas tertentu dapat mempengaruhi aliran udara dalam DAS terhadap curah hujan tertentu (Asdak, 2010). Metode untuk mendapatkan data hujan pada suatu wilayah DAS adalah:

BAB 1 Metode rata-rata aritmatik

Cara ini merupakan cara yang paling sederhana yaitu hanya dengan membagi ukuran pada semua stasiun dengan jumlah stasiun dalam wilayah tersebut. Sesuai dengan kesederhanaannya maka cara ini hanya disarankan digunakan untuk wilayah yang relatif mendatar dan memiliki sifat hujan yang relatif homogen dan tidak terlalu kasar.

$$\bar{P} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{N} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \quad (8)$$

Dimana:

- \bar{P} = tinggi hujan rata-rata
- P_1 = Tinggi hujan ke-1
- P_2 = Tinggi hujan ke-2
- P_n = Tinggi hujan ke-n
- N = Jumlah data hujan

BAB 2 Metode Thiessen Polygon

Cara polygon Thiessen menganggap bahwa hujan yang terjadi pada suatu titik di suatu wilayah memiliki ketebalan yang sama dengan hujan yang dicatat pada stasiun hujan terdekat. Ketinggian hujan yang tercatat pada suatu stasiun pencatat hujan dapat digunakan atau mewakili kedalaman hujan pada wilayah

sampai dengan setengah jarak terhadap stasiun berikutnya. Cara ini lebih teliti dibandingkan dengan cara aritmatik, namun kurang luwes karena jaringan poligon baru harus dibuat jika ada perubahan jaringan stasiun hujan. Hujan wilayah dengan cara polygon Thiessen dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^M P_i A_i}{A} = \sum_{i=1}^M P_i \frac{A_i}{A} \quad (9)$$

BAB 3 Metode Isohyetal

Isohiet adalah garis yang menghubungkan tempat-tempat yang memiliki ketinggian yang sama. Metode ini menggunakan isohiet sebagai garis-garis yang membagi aliran sungai menuju daerah-daerah yang diwakili oleh stasiun-stasiun yang dikumpulkan, yang luasnya digunakan sebagai faktor koreksi dalam perhitungan hujan rata-rata.

$$\bar{P} = \frac{a_1 \left(\frac{P_1 + P_2}{2} \right) + a_2 \left(\frac{P_2 + P_3}{2} \right) + \dots + a_{n-1} \left(\frac{P_{n-1} + P_n}{2} \right)}{A} \quad (10)$$

Dimana:

a_1, a_2 = Luas area *intern* dari garis isohyet

A = Luas area total

2.5.1. Model Awal Kehilangan Konstan

Model ini adalah potensi rata-rata maksimum dari kehilangan hujan yang merupakan konstanta keseluruhan kejadian.

2.5.2. SCS Curve Number

Soil Conservation Service (SCS) *Curve Number* (CN) adalah model perhitungan hujan sebagai suatu fungsi dari jumlah kumulatif hujan, lapisan terluar tanah, tata guna lahan, dan penguapan pada lahan, menggunakan persamaan berikut:

$$P_e = \frac{(p - I_a)^2}{p - I_a + S} \quad (11)$$

Dimana:

- P_e = Kelebihan hujan yang terakumulasi
 P = Tinggi hujan yang terakumulasi pada waktu t
 I_a = Abstraksi awal/ kehilangan awal
 S = Penyimpangan potensial maksimum

2.5.3. Hidrograf Satuan

Hidrograf satuan adalah hidrograf aliran langsung (*direct runoff*) diakibatkan oleh hujan efektif yang tersebar secara merata di daerah aliran sungai (Subarkah, 1980).

Hidrograf satuan menggambarkan bagaimana hujan efektif ditransformasikan menjadi limpasan di outlet suatu DAS. Tujuan penelusuran hidrograf satuan adalah mencari hubungan antara limpasan permukaan dan hujan. Namun, untuk mengetahui hidrograf satuan perlu dilakukan pemisahan aliran. Pemisahan aliran menjadi aliran langsung (*direct runoff*) dan aliran dasar (*baseflow*) menjadi hal yang penting untuk dilakukan. Hal ini bertujuan untuk mengetahui besarnya aliran langsung dan aliran dasar suatu DAS. Metode garis lurus (*straight line method*), *fixed base length* dan metode *variable slope* merupakan tiga metode pemisahan aliran (Subarkah 1980).

2.5.4. Analisis Frekuensi

Analisis frekuensi bertujuan untuk mencari hubungan antara besarnya kejadian ekstrim terhadap frekuensi kejadian dengan menggunakan distribusi probabilitas. Rumus-rumus statistik yang digunakan untuk menentukan jenis distribusi.

Distribusi Gumbel

Persamaan yang dipakai dalam distribusi gumbel adalah:

$$K_t = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} \left\{ 0,5772 + \ln \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right] \right\} \quad (12)$$

Dimana:

K_t = Faktor frekuensi

T = Kala ulang

Distribusi Gumbel mempunyai sifat:

Koefisien kemencengan : $C_s=1,14$

Koefisien kurtosis : $C_k=5,4$

Distribusi Log Pearson III

Distribusi log pearson III digunakan apabila parameter statistik tidak sesuai dengan model distribusi yang lain. Persamaan yang dipakai adalah:

$$K_t = z + (z^2 - 1)k + \frac{1}{3}(z^3 + 6z)k^2 - (z^2 - 1)k^3 + zk^4 + \frac{1}{3}k^5 \quad (13)$$

Dimana:

K_t = Faktor frekuensi

k = $C_s/6$

2.5.5. Uji Statistik Kosmogrov Smirnov

Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan nilai Δ maksimum, yaitu selisih maksimum antara plot data dengan garis teoritis pada kertas probabilitas. Nilai Δ kritis (Δ_{cr} , Smirnov Kolmogorov Test) tergantung dari jumlah data (n) dan derajat kegagalan (α).

2.5.6. Kalibrasi Model Hidrologi

Adapun metode untuk menentukan criteria penampilan atau kalibrasi model terhadap hasil pengamatan di lapangan sebagai berikut. (G. Drogue, A. El Idrissi, L. P fister, T. Leviandier, J.F. Iffly, and L. Hoffmann).

1. Root Mean Square Errors (RMSE)

RMSE bertujuan untuk mempresentasikan rata-rata kuadrat simpangan (selisih) antara nilai keluaran model terhadap nilai pengukuran atau target. Nilai *Root Mean Square Errors* (RMSE) mensyaratkan mendekati satu (1).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_{obs} - Q_{sim})^2} \quad (14)$$

Dimana:

Q_{obs} = Debit hasil pengamatan dilapangan (m^3/d)

Q_{sim} = Debit hasil pemodelan (m^3/d)

2. Nash

Metode kalibrasi dengan menggunakan Nash ini adalah dengan membandingkan kuadrat selisih debit hasil simulasi dan debit hasil pengamatan dengan kuadrat selisih debit pengamatan dan rata-rata debit pengamatan. Metode Nash mensyaratkan pemodelan dikatakan valid jika nilainya mendekati nol (0).

$$Nash = 1 - \frac{\sum^i (Q_{sim} - Q_{obs})^2}{\sum^i (Q_{obs} - \bar{Q}_{obs})^2} \quad (15)$$

Dimana:

Q_{obs} = Debit hasil pengamatan dilapangan (m^3/d)

Q_{sim} = Debit hasil pemodelan (m^3/d)

\bar{Q}_{obs} = rata-rata debit hasil pengamatan dilapangan (m^3/d)

2.6. Pemodelan Sistem Drainase dengan SWMM

EPA SWMM (*Environmental Protection Agency Storm Water Management Model*) adalah sebuah *software* yang didesain untuk membuat model simulasi hujan-runoff dinamik. Software ini mampu mensimulasikan pengaruh hujan-runoff dari suatu wilayah pada sistem drainasinya untuk jangka pendek maupun jangka panjang sekaligus memiliki fasilitas alternatif untuk mengantisipasi masalah banjir.

Kemampuan EPA SWMM diantaranya:

- a. Tangkai Jaringan dengan ukuran tidak terbatas.
- b. Menggunakan standar yang luas untuk menutup dan membuka saluran seperti halnya saluran alami.
- c. Model khusus seperti penyimpangan, pembagi aliran, pompa, bendungan.
- d. Penerapan air dan masukan arus eksternal berkualitas dari permukaan aliran, aliran bawah tanah.
- e. Penggunaan gelombang baik kinematik maupun arus gelombang yang penuh.
- f. Berbagai macam arus, seperti air yang tertahan karena pasang, pembalikan arus dan permukaan kolam.
- g. Menerapkan kendali dinamis untuk menirukan operasi pompa mulut yang membuka dan tingkatan puncak bendungan.

Obyek pada EPA SWMM:

a. *Rain gage*

SWMM menggunakan obyek *rain gage* untuk memasukkan input data ke sistem. *Rain gage* menyuplai data presipitasi untuk satu atau lebih *subcatchment area* pada area studi. (Manual EPA SWMM)

b. *Subcatchment*

Subcatchment adalah unit hidrologi dari tanah dimana topografi dan elemen sistem drainase menunjukkan permukaan *runoff* pada satu titik pelepasan. (Manual EPA SWMM)

c. *Outfall*

Outfall adalah titik terminal dari sistem drainase yang biasanya ditetapkan sebagai akhir dari batas hilir. (Manual EPA SWMM)

Flow routing pada SWMM pada saluran menggunakan rumus konservasi massa dan momentum untuk aliran yang unsteady (misal, persamaan aliran Saint Venant).

Beberapa pilihan untuk menyelesaikan persamaan tersebut:

a. *Steady Flow Routing*

Steady Flow routing mewakili tipe paling sederhana dari routing yang mungkin dengan asumsi bahwa dalam setiap aliran pada setiap langkah

waktu komputasi adalah seragam dan stabil. Jadi secara sederhana menerjemahkan inflow hidrograf di ujung hulu saluran ke ujung hilir, tanpa *delay* atau perubahan bentuk. Persamaan aliran normal digunakan untuk menghubungkan laju aliran ke area aliran (atau kedalaman). Routing ini tidak dapat digunakan untuk storage, *efek backwater*, aliran balik atau aliran *pressurized*. Dan hanya digunakan untuk jaringan pembawa dendritik, dimana setiap node hanya memiliki satu link outflow (kecuali terdapat node pembagi, dalam hal ini diperlukan dua link outflow). Routing ini tidak sensitif terhadap langkah waktu yang digunakan dan hanya sesuai untuk analisis awal menggunakan simulasi berkelanjutan jangka panjang.

b. Kinematic Wave Routing

Metode routing ini memecahkan permasalahan kontinuitas bersamaan dengan persamaan momentum yang sederhana di setiap *conduit* (saluran). Mengasumsikan kemiringan permukaan air sama dengan kemiringan dari saluran. Aliran maksimum yang dapat disampaikan melalui saluran adalah nilai aliran normal penuh. Setiap aliran yang berlebih yang masuk dari node inlet hilang dari sistem atau dapat menggenang di atas inlet node dan kemudian dimasukkan kembali ke saluran saat kapasitas tersedia. Routing ini memungkinkan aliran dan area bervariasi baik secara temporal dan spasial dalam sebuah saluran. Bentuk routing ini juga tidak dapat mengakomodasi efek *backwater*, kehilangan masuk/keluar, pembalikan aliran, atau aliran bertekanan, dan juga terbatas pada jaringan pembawa dendritik. Biasanya dapat mempertahankan stabilitas numerik dengan *time step* yang cukup besar, antara 1 sampai 5 menit. Jika efek yang disebutkan di atas tidak signifikan maka routing ini dapat menjadi metode yang akurat dan efisien, terutama untuk simulasi jangka panjang.

c. Dynamic Wave Routing

Routing ini menyelesaikan persamaan aliran satu dimensi Saint Venant dan menghasilkan hasil yang paling akurat secara teoritis. Persamaan ini terdiri dari persamaan kontinuitas dan momentum untuk saluran dan persamaan kontinuitas pada node. Dengan routing ini, dimungkinkan untuk

merepresentasikan aliran bertekanan saat saluran tertutup menjadi penuh, sehingga aliran dapat melebihi nilai aliran normal penuh. Banjir terjadi apabila kedalaman air di suatu node melebihi kedalaman maksimum yang tersedia, dan aliran berlebih hilang dari sistem atau menimbun di atas node dan masuk kembali ke sistem drainase.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1. Sistematika Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk memenuhi tahapan pelaksanaan dalam pemodelan drainase. Adapun prosedur pelaksanaan penelitian adalah sebagai berikut:

3.1.1. Menentukan daerah studi yang akan dimodelkan

Dalam menentukan daerah studi dilakukan dengan cara membentuk peta *catchment area* dari data DEM, serta kemudian dilakukan pengecekan ke lapangan untuk memastikan batas-batas area studi sesuai dengan kondisi yang ada.

3.1.2. Studi Literatur terhadap hasil penelitian terdahulu

Studi literatur diperlukan untuk melihat kesamaan metode, lokasi, penelitian, kesamaan alur penelitian, dan lain sebagainya.

3.2. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dilakukan dengan survey lokasi/pengamatan langsung untuk mendapatkan data topografi (disesuaikan dengan data sekunder DEM), data titik-titik kejadian banjir (*area, depth, time*) yang akan digunakan dalam proses kalibrasi. Survey juga untuk mendapatkan data penentuan batas *catchment area* dari sistem drainase yang diteliti.

Data sekunder didapatkan dari Pengembang Citraland dan pakar penyusun SDMP (Surabaya Drainage Master Plan), antara lain:

1. Data Hidrologi
 - a. Data hujan harian dari stasiun hujan di sekitar area studi.
 - b. Data karakteristik DAS dan peta tutupan lahan.
2. Data Hidrolika
 - a. Data dimensi drainase *existing*.
 - b. Data teknis fasilitas drainase *existing*.

3. Data Spasial

Data DEM lokasi studi.

3.3. Tahapan Analisa

Analisa Data dilakukan sebagai bahan masukan untuk pengambilan keputusan.

1. Analisa Hidrologi

Analisa Hidrologi akan menghasilkan Analisis Debit Rencana yang akan menjadi masukan dalam pemodelan Sistem Drainase.

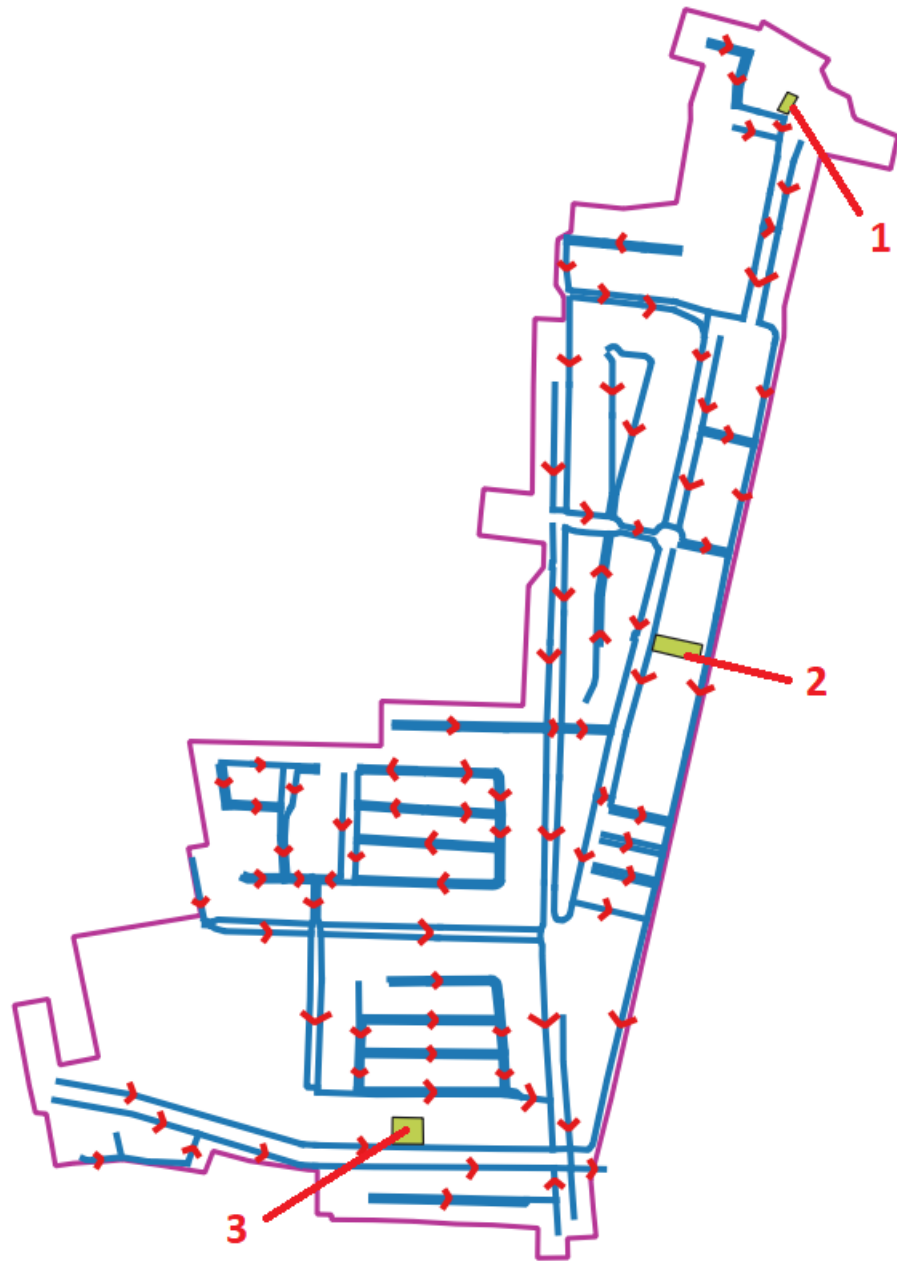
2. Analisa Hidrolika

Menganalisa hidrolika saluran sistem drainase yang ada terhadap Debit Rencana dan Debit Banjir.

3. Skenario Penanganan Banjir

Skenario yang akan diteliti mempertimbangkan lokasi tampungan air berdasarkan ketersediaan lahan, lokasi banjir, kontur dan kemiringan lahan, serta besarnya volume banjir yang dapat dikurangi. Beberapa skenario tersebut antara lain:

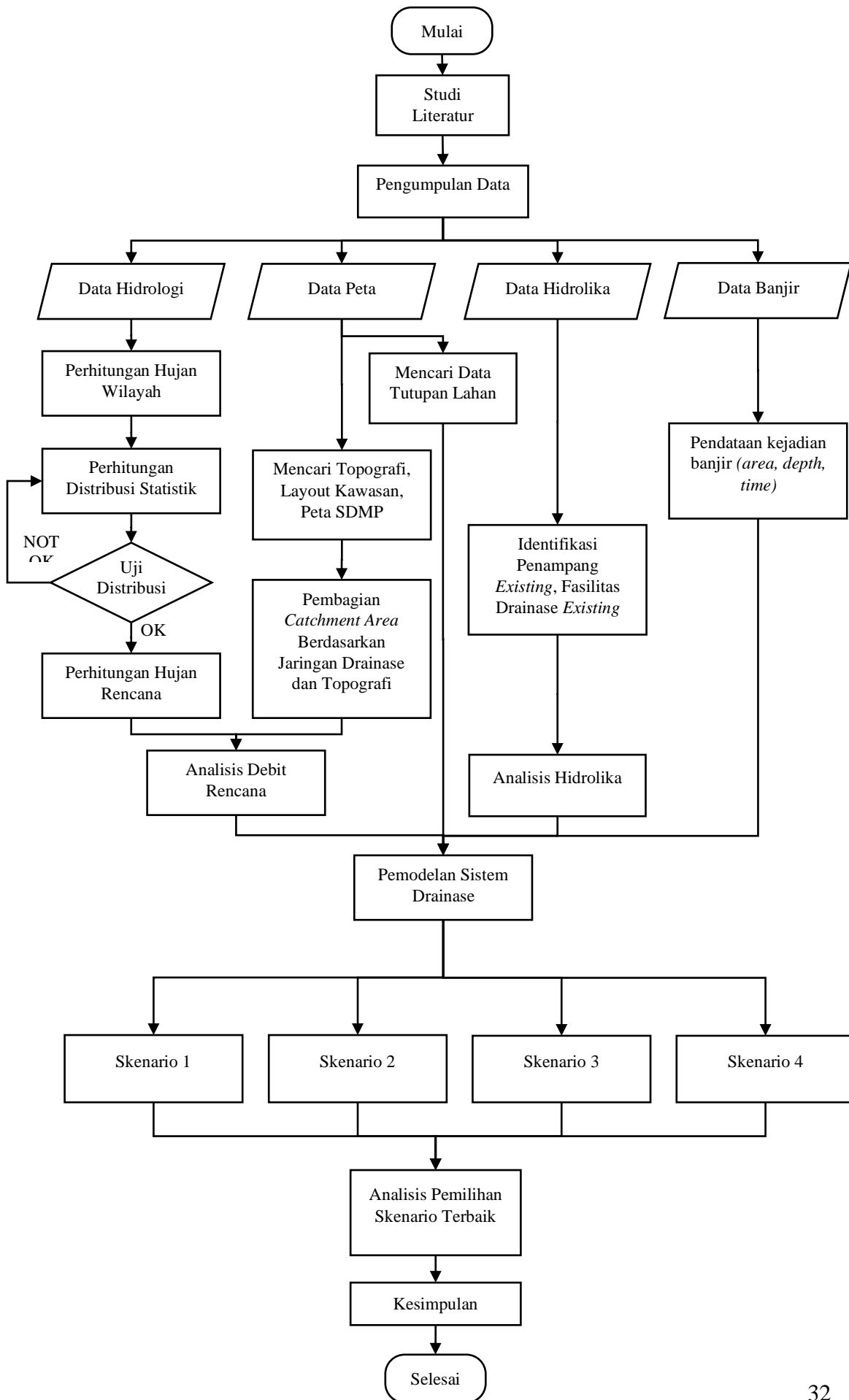
- a. Skenario 1: Penambahan satu tampungan air pada ketiga lokasi penelitian (nomor 1-3 pada gambar 3).
- b. Skenario 2: Penambahan dua tampungan air pada lokasi 1 dan lokasi 3 (nomor 1 dan 3 pada gambar 3).
- c. Skenario 3: Penambahan dua tampungan air pada lokasi 2 dan lokasi 3 (nomor 2 dan 3 pada gambar 3).
- d. Skenario 4: Penambahan tampungan air pada tiga lokasi pada gambar 3.



Gambar 3-1 Lokasi penambahan tampungan air pada skenario penanganan banjir

3.4. Flowchart

Diagram alur dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

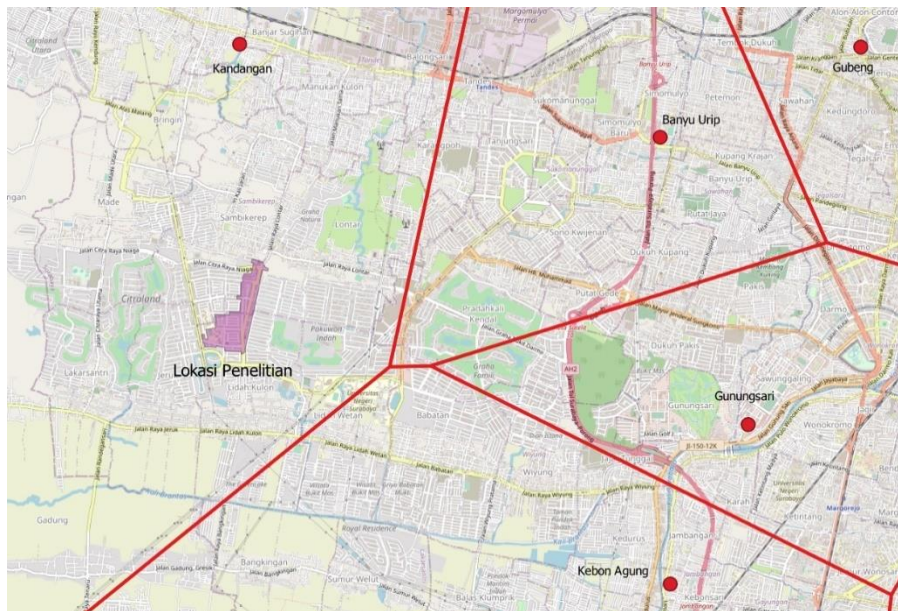


BAB 4

HASIL & PEMBAHASAN

4.1. Penentuan Pengaruh Stasiun Hujan

Terdapat beberapa pos hujan di sekitar lokasi penelitian, antara lain pos hujan Kandangan, Banyu Urip, Gunungsari, dan Kebon Agung. Menggunakan data lokasi stasiun hujan kota Surabaya dan lokasi penelitian, dilakukan penentuan stasiun hujan yang berpengaruh terhadap kawasan penelitian dengan metode *Thiessen polygon*. Menggunakan aplikasi bantu QGIS didapatkan hasil poligon *Thiessen* pada gambar 4.1.



Gambar 4-1 Penentuan Pengaruh Stasiun Hujan Metode Thiessen (QGIS)

Dari poligon *Thiessen* yang terbentuk didapatkan bahwa stasiun hujan yang berpengaruh kepada lokasi penelitian hanya pos hujan Kandangan.

4.2. Penentuan Curah Hujan Maksimum

Curah hujan maksimum merupakan curah hujan tertinggi yang terjadi pada periode tertentu. Periode curah hujan bisa dari periode jam-jaman, harian, bulanan, dan tahunan. Nilai curah hujan maksimum harian diperlukan untuk menganalisis debit banjir suatu DAS. Nilai curah hujan maksimum bulanan diperlukan untuk

merencanakan debit andalan. Nilai curah hujan maksimum tahunan diperlukan untuk menganalisis karakteristik hidrologi umum. Data curah hujan maksimum tahunan stasiun Kandangan sebagai berikut:

Tabel 4-1 Curah Hujan Maksimum Stasiun Kandangan

No	Tahun	Tinggi Curah Hujan Tahunan Maksimum (mm)
1	2003	117
2	2004	79
3	2005	79
4	2006	90
5	2007	97
6	2008	120
7	2009	78
8	2010	127
9	2012	82
10	2014	81

4.3. Parameter Dasar Statistik

Tujuan dari analisis frekuensi data hidrologi adalah mencari hubungan antara besarnya suatu kejadian ekstrim terhadap frekuensi kejadian dengan menggunakan distribusi probabilitas. Analisis frekuensi dapat diterapkan untuk data debit saluran atau data hujan. Data yang biasa digunakan adalah data debit atau hujan maksimum tahunan, yaitu data terbesar selama satu tahun.

Dalam menganalisa data hidrologi dilakukan analisa statistik untuk mengetahui ciri data tersebut. Parameter yang digunakan dalam analisis susunan data dari suatu variabel seperti nilai rerata (*mean*), deviasi, dsb. Untuk pos hujan Kandangan di atas:

$$\sum x_i \text{ (hujan wilayah)} = 950$$

$$x_{\text{rata-rata}} = \bar{x} = 95$$

Parameter dasar statistik untuk tahun 2003 adalah sebagai berikut:

$$x_i = 117$$

$$x_i - \bar{x} = 117 - 95 = 22$$

$$(x_i - \bar{x})^2 = 22^2 = 484$$

$$(x_i - \bar{x})^3 = 22^3 = 10648$$

$$(x_i - \bar{x})^4 = 22^4 = 10648$$

Untuk parameter dasar statistik selengkapnya dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4-2 Perhitungan Parameter Dasar Statistik

No	Tahun	x_i	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$	$(x_i - \bar{x})^3$	$(x_i - \bar{x})^4$
1	2003	117	22	484	10648	234256
2	2004	79	-16	256	-4096	65536
3	2005	79	-16	256	-4096	65536
4	2006	90	-5	25	-125	625
5	2007	97	2	4	8	16
6	2008	120	25	625	15625	390625
7	2009	78	-17	289	-4913	83521
8	2010	127	32	1024	32768	1048576
9	2012	82	-13	169	-2197	28561
10	2014	81	-14	196	-2744	38416
	$\sum x_i$	950		3328	40878	1955668
	\bar{x}	95				
	sd	19.2296				

sumber: hasil perhitungan

Koefisien Varian

sd = standard deviasi = 19,23

$$Cv = \frac{sd}{\bar{x}} = 0,20$$

Koefisien Asimetri (kemencengan)

$$Cs = \frac{a}{sd^3} = 0,62$$

Koefisien kurtosis

$$Ck = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)(n-3)sd^4} \sum (x_i - \bar{x})^4 = 3,68$$

Tabel 4-3 Syarat Penggunaan Jenis Sebaran

No	Distribusi	Persyaratan	Hasil Hitungan	keterangan
1	Normal	Cs = 0	0.80	tidak diterima
		Ck = 3	2.84	
2	Log Normal	Cs = Cv ³ +3Cv	0.62	tidak diterima
		Ck = Cv ⁸ + 6Cv ⁶ + 15Cv ⁴ +16Cv ² + 3	3.68	
3	Gumbel	Cs = 1,14	0.80	tidak diterima
		Ck = 5,4	2.84	
4	Log-Pearson III	Selain dari nilai diatas/flexibel		diterima

sumber: hasil perhitungan

Dari tabel di atas maka metode yang digunakan untuk curah hujan rancangan adalah metode Log-Pearson III.

4.4. Curah Hujan Rencana Metode Log-Pearson III

Hujan rencana adalah hujan harian maksimum yang akan digunakan untuk menghitung intensitas hujan. Dari analisis hujan aliran dapat diperkirakan debit banjir rencana yang diperlukan masukan hujan rencana ke dalam suatu sistem DAS. Pencatatan hujan biasanya dalam bentuk harian, jam-jaman, dan menitan.

Tabel 4-4 Perhitungan Distribusi Log-Pearson III

No	Tahun	CH (mm)	x _i = log (CH)	x _i - \bar{x}	(x _i - \bar{x}) ²	(x _i - \bar{x}) ³	(x _i - \bar{x}) ⁴
1	2010	127	2.10	0.13	0.0178544	0.00239	0.000319
2	2008	120	2.08	0.11	0.0118806	0.00129	0.000141
3	2003	117	2.07	0.10	0.0096045	0.00094	0.000092
4	2007	97	1.99	0.02	0.0002752	0.00000	0.000000
5	2006	90	1.95	-0.02	0.0002541	0.00000	0.000000
6	2012	82	1.91	-0.06	0.0031775	-0.00018	0.000010
7	2014	81	1.91	-0.06	0.0038067	-0.00023	0.000014
8	2004	79	1.90	-0.07	0.0052644	-0.00038	0.000028
9	2005	79	1.90	-0.07	0.0052644	-0.00038	0.000028
10	2009	78	1.89	-0.08	0.0060978	-0.00048	0.000037
		$\sum x_i$	19.70				
		\bar{x}	1.97				
		sd	0.084				

sumber: hasil perhitungan

Koefisien Asimetri (kemencengan)

$$Cs = n \frac{\sum_{i=1}^n (xi - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)sd^3} = 0,70$$

Menghitung logaritma debit

$$\text{Log Q} = \text{Log X} + k.Sd$$

Nilai k berdasarkan tabel Nilai k Distribusi Pearson tipe III (terlampir)

Tabel 4-5 Perhitungan Curah Hujan Rencana

Periode Ulang	Log \bar{x}	k	Sd	Log Q	R (mm)
2	1.97	-0.116	0.084	1.9604	91.29
5	1.97	0.79	0.084	2.0365	108.78
10	1.97	1.333	0.084	2.0821	120.82

sumber: hasil perhitungan

4.5. Uji Kesesuaian Distribusi Frekuensi Curah Hujan

Terdapat 2 cara untuk menguji kesesuaian distribusi dengan data yang ada yaitu menggunakan uji *Chi-Square* dan *Smirnov-Kolmogorof*. Pengujian ini digunakan untuk mengetahui hubungan antara kedalaman hujan dan nilai probabilitas.

4.5.1 Pengujian *Chi-Square*

Berdasarkan hasil perhitungan metode Log-Pearson III maka dilakukan perhitungan Chi-Square sebagai berikut.

Tabel 4-6 Perhitungan Chi-Square (1)

No	Tahun	CH (mm)	$x_i = \log$ (CH)	Peringkat m	Peluang $P=m/(n+1)$	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
1	2010	127	2.10	1	9.09%	0.13	0.0179
2	2008	120	2.08	2	18.18%	0.11	0.0119
3	2003	117	2.07	3	27.27%	0.10	0.0096
4	2007	97	1.99	4	36.36%	0.02	0.0003
5	2006	90	1.95	5	45.45%	-0.02	0.0003
6	2012	82	1.91	6	54.55%	-0.06	0.0032
7	2014	81	1.91	7	63.64%	-0.06	0.0038
8	2004	79	1.90	8	72.73%	-0.07	0.0053
9	2005	79	1.90	9	81.82%	-0.07	0.0053
10	2009	78	1.89	10	90.91%	-0.08	0.0061
		$\sum x_i$	19.70			0.00	0.0635
		\bar{x}	1.97				
		sd	0.084				

sumber: hasil perhitungan

Pembagian sub kelompok (G)

$$G = 1 + 3,322 \text{ Log } n$$

$$= 1 + 3,322 \text{ Log } 10 = 4,322 \approx 4$$

Maka dibagi menjadi 4 sub kelompok dengan batasan

1. Peluang 25%

$$k = 0,67 \text{ (tabel terlampir)}$$

$$\text{Log } X = \bar{x} + k.Sd$$

$$\text{Log } X = 1,97 + (0,67 \times 0.084)$$

$$\text{Log } X = 2,03$$

2. Peluang 50%

$$k = 0 \text{ (tabel terlampir)}$$

$$\text{Log } X = \bar{x} + k.Sd$$

$$\text{Log } X = 1,97 + (0 \times 0.084)$$

$$\text{Log } X = 1,97$$

3. Peluang 75%

$$k = -0,67 \text{ (tabel terlampir)}$$

$$\text{Log } X = \bar{x} + k.Sd$$

$$\text{Log } X = 1,97 + (-0,67 \times 0.084)$$

$$\text{Log } X = 1,91$$

Tabel 4-7 Nilai Batasan Chi

Kelompok	Nilai Batas
I =	$X \leq 1,91$
II =	$1,91 < X \leq 1,97$
III =	$1,97 < X \leq 2,03$
IV =	$X \geq 2,03$

sumber: hasil perhitungan

Perhitungan *Chi-Square* dengan rumus

$$Xh^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

dimana

$$E_i = \frac{n}{G} = \frac{10}{4} = 2,5$$

O_i = jumlah data yang termasuk kelas tersebut

Tabel 4-8 Perhitungan Chi-Square (2)

Nilai Batas	O_i	E_i	$(O_i - E_i)^2$	Xh^2
$X \leq 1,91$	4	2.5	2.25	0.9
$1,91 < X \leq 1,97$	2	2.5	0.25	0.1
$1,97 < X \leq 2,03$	1	2.5	2.25	0.9
$X \geq 2,03$	3	2.5	0.25	0.1
	10	10		2

sumber: hasil perhitungan

Diperoleh:

Hitungan *Chi-Square* = 2

Derajat Kebebasan (DK) = 1

Derajat Signifikasi (α) = 5%

Sehingga didapatkan nilai chi teoritis (tabel terlampir) = 3,841

$3,841 > 2 = \text{Chi teoritis} > \text{Chi-square hitung}$ (dapat diterima)

Maka hipotesa yang diuji dapat diterima.

4.5.2 Uji Smirnov-Kolmogorof

Tabel 4-9 Perhitungan Smirnov-Kolmogorof

Tahun	CH (mm)	$x_i = \log(\text{CH})$	m	$P = m/(n+1)$	$P(x<) = 1 - P(x)$	$f(t) = (x_i - x)/sd$	$p'(x)$	$p'(x<)$	D
2010	127	2.104	1	0.09	0.91	1.59	0.0823	0.9177	0.0086
2008	120	2.079	2	0.18	0.82	1.30	0.0845	0.9155	0.0973
2003	117	2.068	3	0.27	0.73	1.17	0.1423	0.8577	0.1304
2007	97	1.987	4	0.36	0.64	0.20	0.3121	0.6879	0.0515
2006	90	1.954	5	0.45	0.55	-0.19	0.6064	0.3936	-0.1519
2012	82	1.914	6	0.55	0.45	-0.67	0.6443	0.3557	-0.0988
2014	81	1.908	7	0.64	0.36	-0.73	0.7324	0.2676	-0.0960
2004	79	1.898	8	0.73	0.27	-0.86	0.7910	0.2090	-0.0637
2005	79	1.898	9	0.82	0.18	-0.86	0.8078	0.1922	0.0104
2009	78	1.892	10	0.91	0.09	-0.93	0.9147	0.0853	-0.0056
	$\sum x_i$	19.70						Dmax	0.1304
	\bar{x}	1.97							
	sd	0.084							

sumber: hasil perhitungan

Dari perhitungan di atas:

Jumlah data (n) = 10

Signifikansi = 8%

Do (tabel terlampir) = 0,41

Karena Do > Dmax maka persamaan distribusi dapat diterima.

Setelah uji Chi-Square dan Smirnov-Kolmogorof, perhitungan curah hujan rencana (tabel 4.5) diolah untuk mencari tinggi hujan pada jam ke-t (R_t') sebagai input ke model. Jam ke-t yang digunakan adalah 4 jam, karena lama hujan yang terjadi di Surabaya tidak kurang dari 4 jam. Rumus perhitungan R_t' adalah sebagai berikut:

$$R_t = \frac{R_{24}}{t} x \left(\frac{t}{t_n}\right)^{2/3}$$

$$R_t' = t \cdot R_t - (t - 1) \cdot (R_{(t-1)})$$

Dimana

R_{24} : tinggi hujan hasil perhitungan log-pearson III (mm)

R_t : tinggi hujan pada waktu ke-t

R'_t : tinggi hujan pada waktu ke-t yang digunakan sebagai input model

Tabel 4-10 Tinggi Hujan Pada Jam ke-t (Input Model)

Rt	PUH			Rt'	PUH		
	2	5	10		2	5	10
jam	mm			jam	mm		
1	57.51	68.52	76.11	1	57.51	68.52	76.11
2	36.23	43.17	47.95	2	14.95	17.81	19.78
3	27.65	32.94	36.59	3	10.49	12.49	13.88
4	22.82	27.19	30.20	4	8.35	9.95	11.05

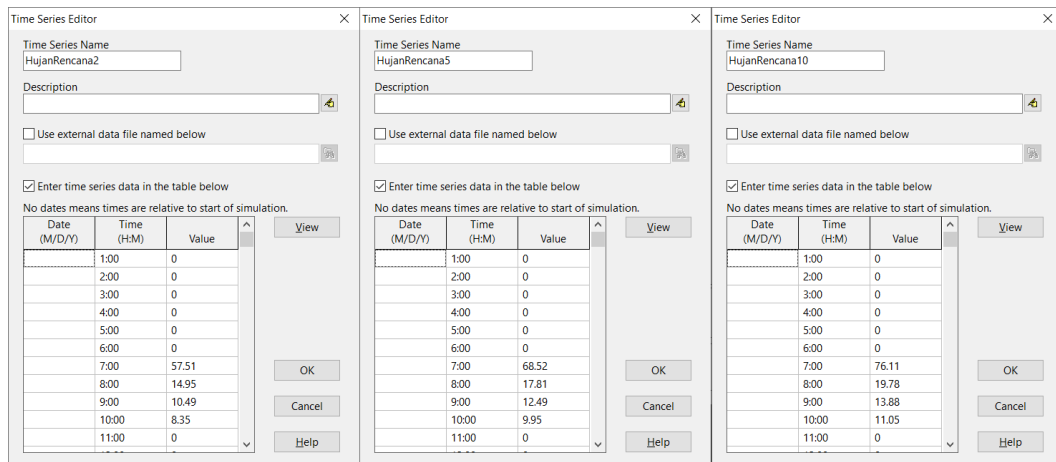
sumber: hasil perhitungan

4.6. Pemodelan dengan Program Bantu SWMM

Perhitungan debit banjir pada studi ini menggunakan program bantu SWMM. Dan untuk mendapatkan data-data yang dibutuhkan dalam input model SWMM menggunakan program bantu lain yaitu QGIS untuk mencari data-data seperti luas area sub-catchment, *slope* (kemiringan), nilai impervious dan nilai CN.

4.6.1 Input Komponen Rain Gage SWMM

Komponen Rain Gage berisi data hujan akan dipakai dalam simulasi. Data hujan yang sudah dihitung menggunakan Log-Pearson III dimasukkan ke dalam masing-masing *Time Series*.



Gambar 4-2 Input Curah Hujan Rencana pada Aplikasi SWMM

Komponen Rain Gage diletakkan pada model dengan konfigurasi seperti pada gambar 4.3 dengan pemanggilan *time series* hujan yang sesuai kebutuhan pada saat *running* simulasi.

Rain Gage PosKandangan	
Property	Value
Name	PosKandangan
X-Coordinate	6134.663
Y-Coordinate	9102.244
Description	
Tag	
Rain Format	INTENSITY
Time Interval	1:00
Snow Catch Factor	1.0
Data Source	TIMESERIES
TIME SERIES:	
- Series Name	HujanRencana5
DATA FILE:	
- File Name	*
- Station ID	*
- Rain Units	MM
Optional category or classification	

Gambar 4-3 Input Rain Gage pada Aplikasi SWMM

4.6.2 Input Komponen *Node* SWMM

Komponen *Node* digunakan sebagai titik dimana hujan yang turun di Sub-Catchment akan dimasukkan ke komponen conduit. *Node-node* akan saling terhubung oleh *conduit* sehingga membentuk sistem jaringan drainase. Data yang dimasukkan ke komponen node terlihat pada gambar 4.4

Junction masjid-1	
Property	Value
Name	masjid-1
X-Coordinate	7012.157
Y-Coordinate	9747.506
Description	
Tag	
Inflows	NO
Treatment	NO
Invert El.	33.90
Max. Depth	1
Initial Depth	0
Surcharge Depth	0
Ponded Area	0
Optional category or classification	

Gambar 4-4 Input Node (Junction) pada Aplikasi SWMM

Komponen yang diisi antara lain:

- a. *Invert Elevation*: elevasi dari node, data didapatkan dari pengolahan DEM dan master plan drainase.
- b. *Max. Depth*: Kedalaman dari node, data didapatkan dari master plan drainase dengan menyesuaikan diameter dari pipa (*conduit*).

4.6.3 Input Komponen *Conduit* SWMM

Komponen *Conduit* adalah penghubung dari node-node. Pada sistem drainase ini, semua *conduit* adalah pipa yang tertanam di bawah tanah dengan diameter bermacam-macam dari ukuran 50-150 cm.

Conduit 1	
Property	Value
Name	1
Inlet Node	masjid-1
Outlet Node	masjid-3
Description	
Tag	
Shape	CIRCULAR
Max. Depth	0.5
Length	37.5
Roughness	0.01
Inlet Offset	0
Outlet Offset	0
Initial Flow	0
Maximum Flow	0
Entry Loss Coeff.	0
Exit Loss Coeff.	0
Avg. Loss Coeff.	0
Seepage Loss Rat	0
Flap Gate	NO
Culvert Code	
Optional category or classification	

Gambar 4-5 Input Conduit pada Aplikasi SWMM

Komponen yang diisi antara lain:

- Shape*: bentuk dari node, data didapatkan dari master plan drainase. Dipilih CIRCULAR karena berbentuk lingkaran (pipa).
- Max. Depth*: kedalaman maksimum dari conduit, karena bentuknya adalah lingkaran maka diisi diameter dari pipa.
- Roughness*: koefisien Manning dari conduit.

4.6.4 Input Komponen *Sub-Catchment* SWMM

Komponen *Sub-Catchment* berisi data dimana hujan akan jatuh dan masuk ke dalam sistem drainase. Setiap satu komponen *subcatchment* akan terhubung dengan satu node junction sebagai tempat masuknya air hujan ke dalam sistem drainase.

Subcatchment amasjid-9	
Property	Value
Name	amasjid-9
X-Coordinate	7818.526
Y-Coordinate	9266.417
Description	
Tag	
Rain Gage	PosKandangan
Outlet	masjid-9
Area	0.4771
Width	63
% Slope	3.69
% Imperv	21.77
N-Imperv	0.01
N-Perv	0.1
Dstore-Imperv	0.05
Dstore-Perv	0.05
%Zero-Imperv	25
Subarea Routing	OUTLET
Percent Routed	100
Infiltration Data	HORTON
Groundwater	NO
Snow Pack	
LID Controls	0
Land Uses	0
Initial Buildup	NONE
Curb Length	0
N-Perv Pattern	
Dstore Pattern	
Infil. Pattern	
Groundwater flow parameters (click to edit)	

Gambar 4-6 Input Subcatchment pada Aplikasi SWMM

Komponen yang diisi antara lain:

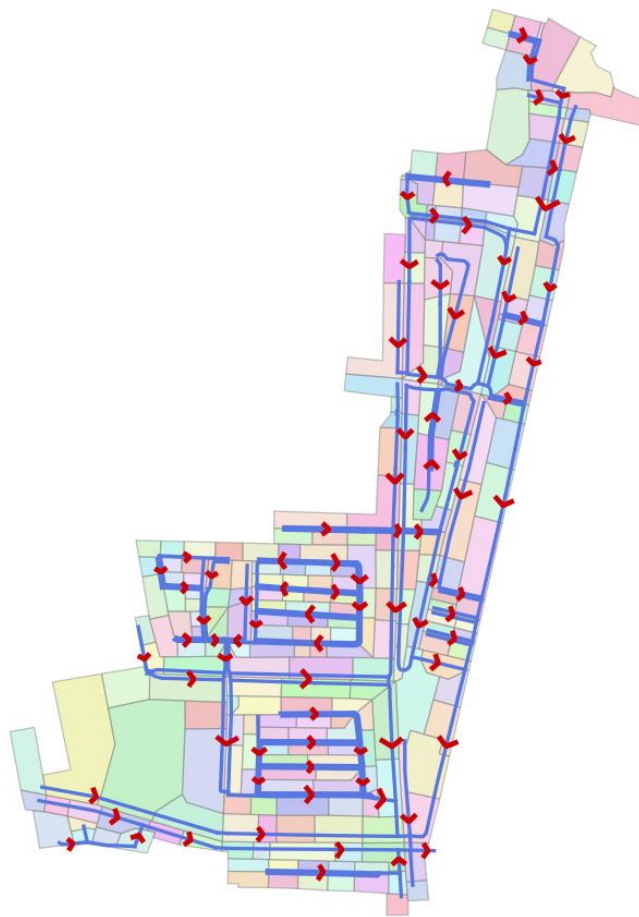
- a. *Outlet*: diisi node yang menjadi titik keluar air dari subcatchment dan masuk ke jaringan drainase.
- b. *Area*: luas dari area, didapatkan dengan program bantu QGIS seperti pada gambar 4.7.
- c. *Width*: lebar dari area, karena saluran drainase tertutup/bawah tanah,

diisi dengan jarak terjauh ujung subcatchment dari titik node inlet.

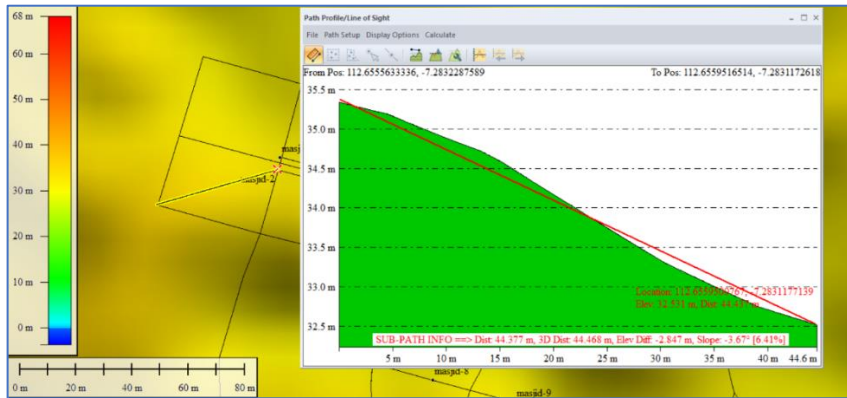
d. % *Slope*: kemiringan dari area subcatchment. Didapatkan dengan program bantu Global Mapper seperti pada gambar 4.8.

e. % *Impervious*: prosentase area yang tidak dapat ditembus air. Didapatkan dengan program bantu QGIS melalui digitasi tata guna lahan, seperti pada gambar 4.9, dan perhitungannya pada tabel 4.11.

Pada aplikasi QGIS akan didapatkan nilai luas area dari masing-masing area pada gambar 4.7 yang menjadi input dalam komponen Subcatchment.



Gambar 4-7 Digitasi Area Subcatchment menggunakan program bantu QGIS



Gambar 4-8 Pencarian nilai Slope masing-masing subcatchment menggunakan program bantu Global Mapper

Pada aplikasi Global Mapper akan didapatkan nilai kemiringan (*slope*) masing-masing area pada gambar di atas yang menjadi input dalam komponen Subcatchment.

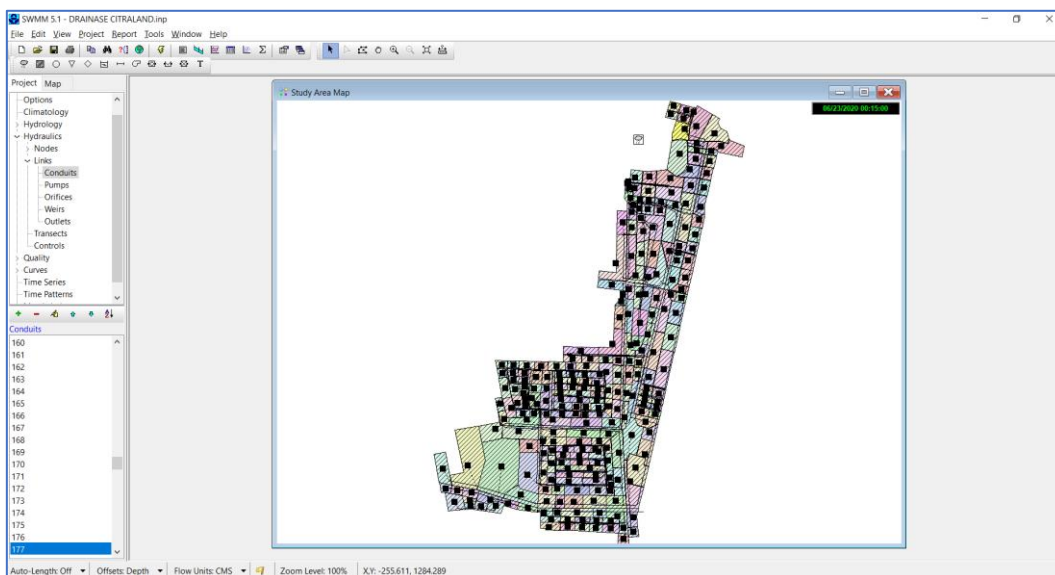


Gambar 4-9 Digitasi Tata Guna Lahan pada program bantu QGIS

Digitasi tata guna lahan membagi area penelitian menjadi 3 tipe yaitu perumahan/permukiman, lahan terbuka, dan jalan dengan masing-masing nilai Imperviousnya adalah perumahan (85%), lahan terbuka (0%), dan jalan (100%) (Sumber: Surabaya Drainage Master Plan Report). Dengan memperhitungkan persentasi masing-masing tata guna lahan di tiap subcatchment maka didapatkan perhitungan seperti pada tabel berikut (tabel lengkap terlampir).

Tabel 4-11 Tabel Perhitungan Inputan Subcatchment SWMM (contoh)

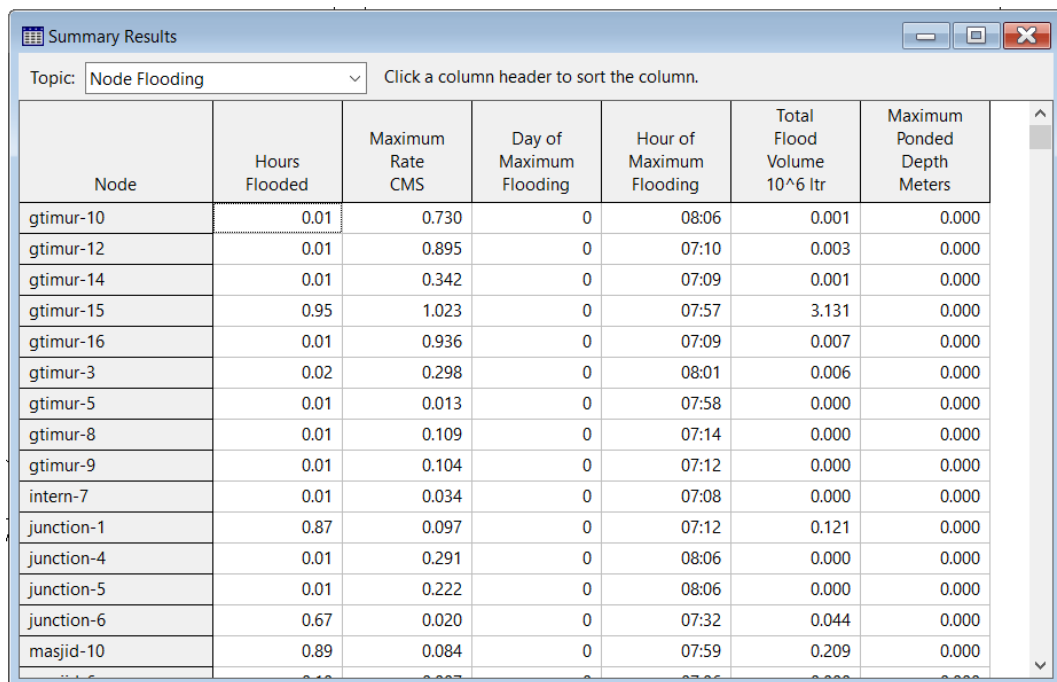
Inlet No	Inlet/Area Name	Area (m ²)	Area (ha)	width (m)	Slope (%)	Impervious (%)	Land Use (m ²)		
							Residential	Roads	Open Field
1	masjid-1	1056.92	0.1057	36	0.9	86.19%	973.004	83.911	0.00
2	masjid-2	951.50	0.0952	44	6.45	86.49%	857.059	94.438	0.00
3	masjid-3	1214.17	0.1214	41.3	1.48	72.09%	924.615	89.43	200.12
4	masjid-4	1058.67	0.1059	46.8	3.31	66.92%	701.571	112.098	245.00
5	masjid-5	144.05	0.0144	28.1	6.15	93.44%	0	134.597	9.45
6	masjid-6	2959.39	0.2959	57	4.11	26.32%	16.794	764.508	2178.09
7	masjid-7	6111.94	0.6112	106	0.71	6.36%	0	388.791	5723.14
8	masjid-8	4906.74	0.4907	100	1.93	36.88%	1802.653	277.234	2826.85
9	masjid-9	4770.98	0.4771	63	3.69	21.77%	312.32	773.409	3685.25
10	masjid-10	1287.32	0.1287	49.1	3.04	51.51%	109.544	570.025	607.76
11	masjid-11	4086.17	0.4086	108	2.16	31.00%	96.857	1184.519	2804.79
12	taman-gapura-1	1004.56	0.1005	52	2.57	65.14%	619.55	127.719	257.29
13	taman-gapura-2	665.57	0.0666	27.5	10.55	80.26%	476.578	129.087	59.90
14	taman-gapura-3	1942.65	0.1943	57	0.47	75.42%	1380.513	291.798	270.34
15	taman-gapura-4	1443.51	0.1444	49	3.83	83.57%	1069.973	296.807	76.73
16	taman-gapura-5	2292.99	0.2293	66	6.91	70.95%	1546.506	312.336	434.15
17	taman-gapura-6	1436.74	0.1437	48.7	10	83.89%	1055.61	308.013	73.11
18	taman-gapura-7	2291.57	0.2292	59	15.19	82.02%	1766.789	377.708	147.07



Gambar 4-10 Tampilan Program SWMM setelah semua data yang diperlukan dimasukkan

4.7. Analisa Kondisi Eksisting

Dengan semua data hidrolika dan data hujan telah dimasukkan ke dalam aplikasi, simulasi dijalankan 3 kali dengan 3 data hujan (periode ulang 2, 5 dan 10 tahun). Hasil yang didapatkan dari simulasi pada aplikasi SWMM adalah data volume banjir yang didapatkan pada *Status Report SWMM* -> Node Flooding (gambar 4.11). Karena sistem drainase pada penelitian ini adalah sistem drainase sub-surface atau pipa di bawah tanah, maka data banjir yang didapatkan adalah data volume air yang tidak dapat masuk ke dalam *node* dan juga air yang keluar dari *node* dikarenakan pipa (*conduit*) yang seharusnya mengalirkan air dari *node* tersebut tidak mampu mengalirkan kelebihan air karena melebihi kapasitasnya.



Node	Hours Flooded	Maximum Rate CMS	Day of Maximum Flooding	Hour of Maximum Flooding	Total Flood Volume 10 ⁶ Itr	Maximum Ponded Depth Meters
gtimur-10	0.01	0.730	0	08:06	0.001	0.000
gtimur-12	0.01	0.895	0	07:10	0.003	0.000
gtimur-14	0.01	0.342	0	07:09	0.001	0.000
gtimur-15	0.95	1.023	0	07:57	3.131	0.000
gtimur-16	0.01	0.936	0	07:09	0.007	0.000
gtimur-3	0.02	0.298	0	08:01	0.006	0.000
gtimur-5	0.01	0.013	0	07:58	0.000	0.000
gtimur-8	0.01	0.109	0	07:14	0.000	0.000
gtimur-9	0.01	0.104	0	07:12	0.000	0.000
intern-7	0.01	0.034	0	07:08	0.000	0.000
junction-1	0.87	0.097	0	07:12	0.121	0.000
junction-4	0.01	0.291	0	08:06	0.000	0.000
junction-5	0.01	0.222	0	08:06	0.000	0.000
junction-6	0.67	0.020	0	07:32	0.044	0.000
masjid-10	0.89	0.084	0	07:59	0.209	0.000

Gambar 4-11 Hasil simulasi SWMM, keluaran berupa waktu dan volume banjir yang terjadi pada Node

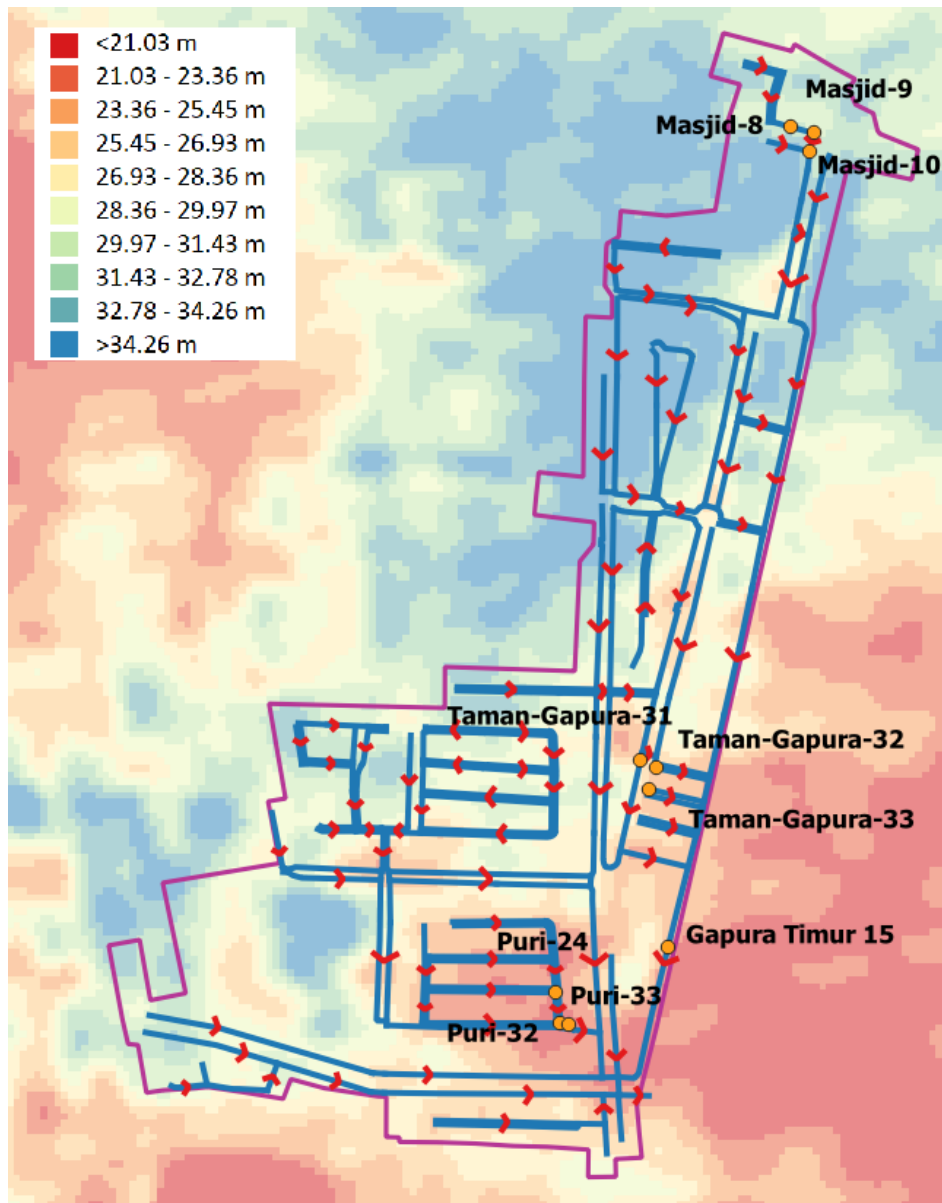
Aplikasi SWMM juga tidak dapat mensimulasikan air yang meluap dari *node* (air banjir) untuk berpindah menuju *node* lain melalui permukaan tanah. Karena pada kejadian banjir dengan area yang memiliki tingkat slope yang cukup besar, seperti pada penelitian ini, air banjir yang ada tentu akan berpindah menuju tempat yang lebih rendah dan mencari jalan masuk kembali ke saluran drainase melalui *node* lain. Namun pada model SWMM ini, air banjir tersebut akan tetap berada di atas *node* tempat air tersebut keluar, menunggu untuk masuk kembali melalui *node* dan dialirkan melalui *conduit* menuju *node* selanjutnya.

Hal ini juga menjadi kendala untuk menentukan tinggi dari genangan banjir yang terjadi. Karena apabila luas area genangan dapat ditentukan, maka tinggi genangan bisa didapatkan dengan rumus sederhana.

$$tinggi\ banjir = \frac{volume\ banjir}{luas\ area\ banjir}$$

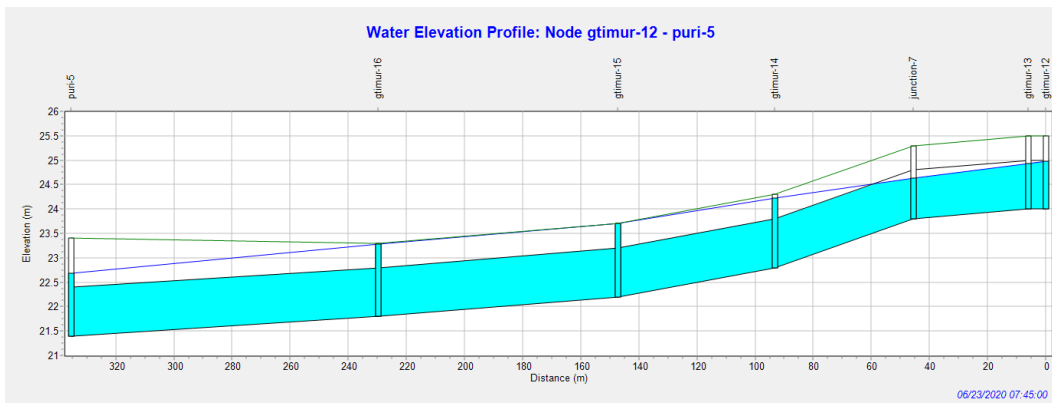
Namun luas area genangan tidak didapatkan dari hasil simulasi, maka untuk perbandingan kondisi drainase existing dan skenario penanganan banjir yang akan dilakukan membandingkan total volume banjir yang terjadi. Dan untuk kondisi drainase existing didapatkan hasil pada tabel hasil simulasi kondisi eksisting (terlampir).

Pada tabel tersebut warna hijau menunjukkan tidak terjadi banjir/luapan air pada node tersebut, pada periode ulang tertentu, namun masih terjadi banjir pada periode ulang lainnya. Dari total 265 node yang ada pada sistem drainase tersebut, terdapat 38 node yang mengalami banjir, dan 10 node (yang diarsir pada tabel) mengalami banjir besar. Berikut sebaran posisi 10 node tersebut:

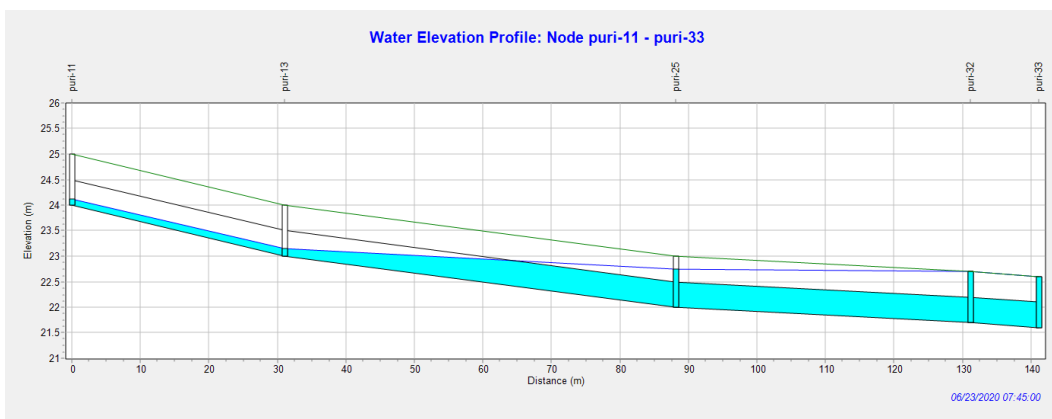


Gambar 4-12 Posisi 10 node yang terjadi banjir dengan volume besar

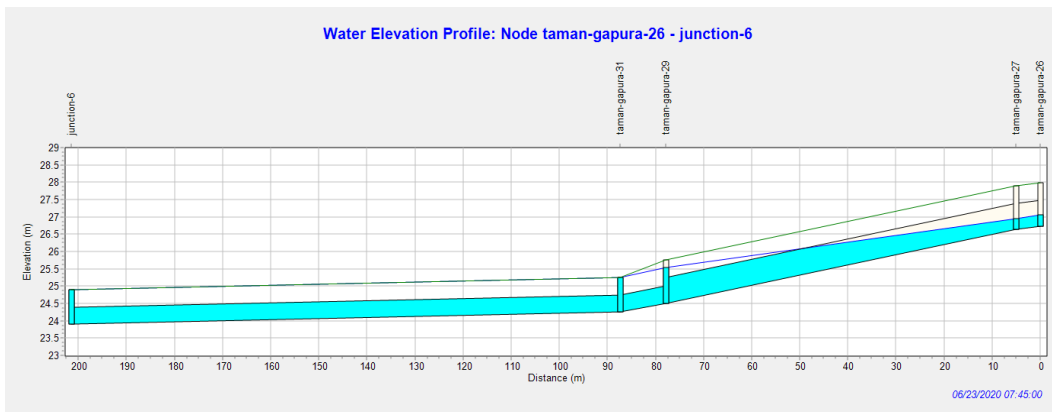
Dari gambar di atas tampak lokasi banjir yang terjadi terpusat pada sekitar area dengan elevasi rendah (warna oranye-merah). Serupa dengan lokasi banjir pada tanggal 31 Januari 2019 yang terpusat pada area sekitar *node* Puri-33 dan Gapura-Timur-15 (area berwarna merah pada gambar 4.12). Berikut adalah tampilan potongan memanjang dari beberapa *node* saluran drainase tersebut pada saat puncak banjir.



Gambar 4-13 Potongan memanjang saluran di sekitar Node Gapura-Timur-15 saat puncak banjir



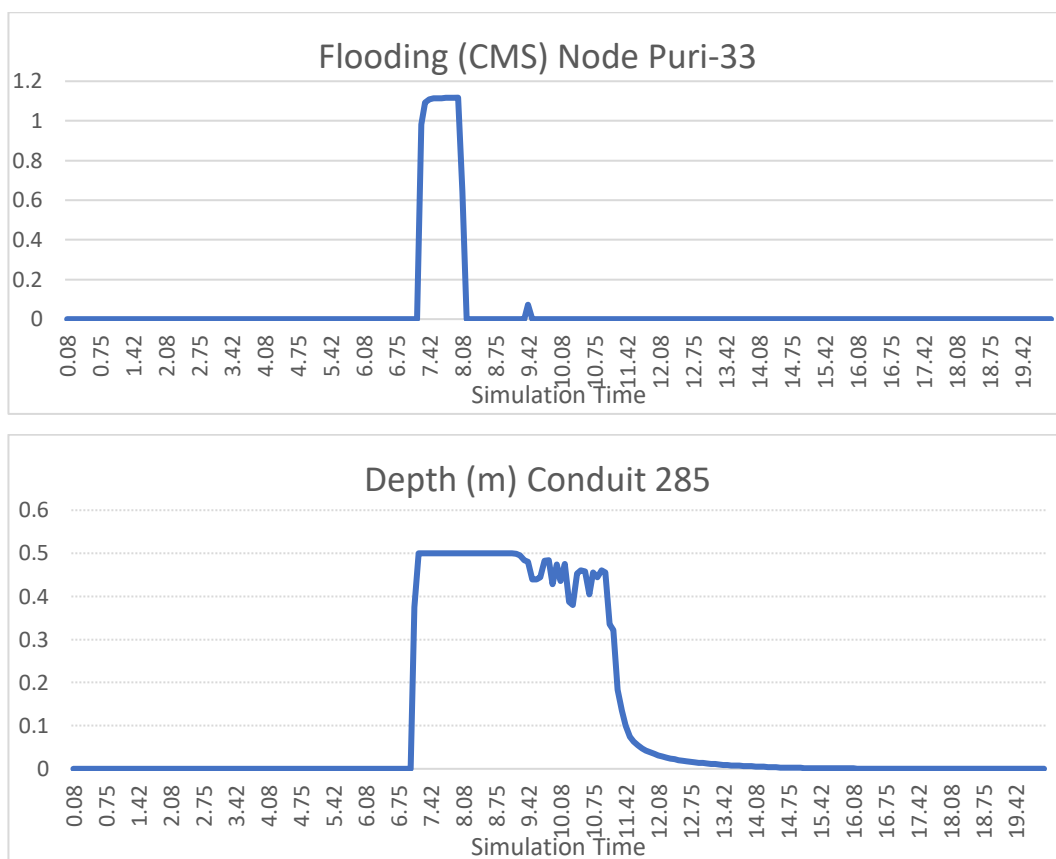
Gambar 4-14 Potongan memanjang saluran di sekitar Node Puri-33 saat puncak banjir



Gambar 4-15 Potongan memanjang saluran di sekitar Node Taman-Gapura-31 saat puncak banjir

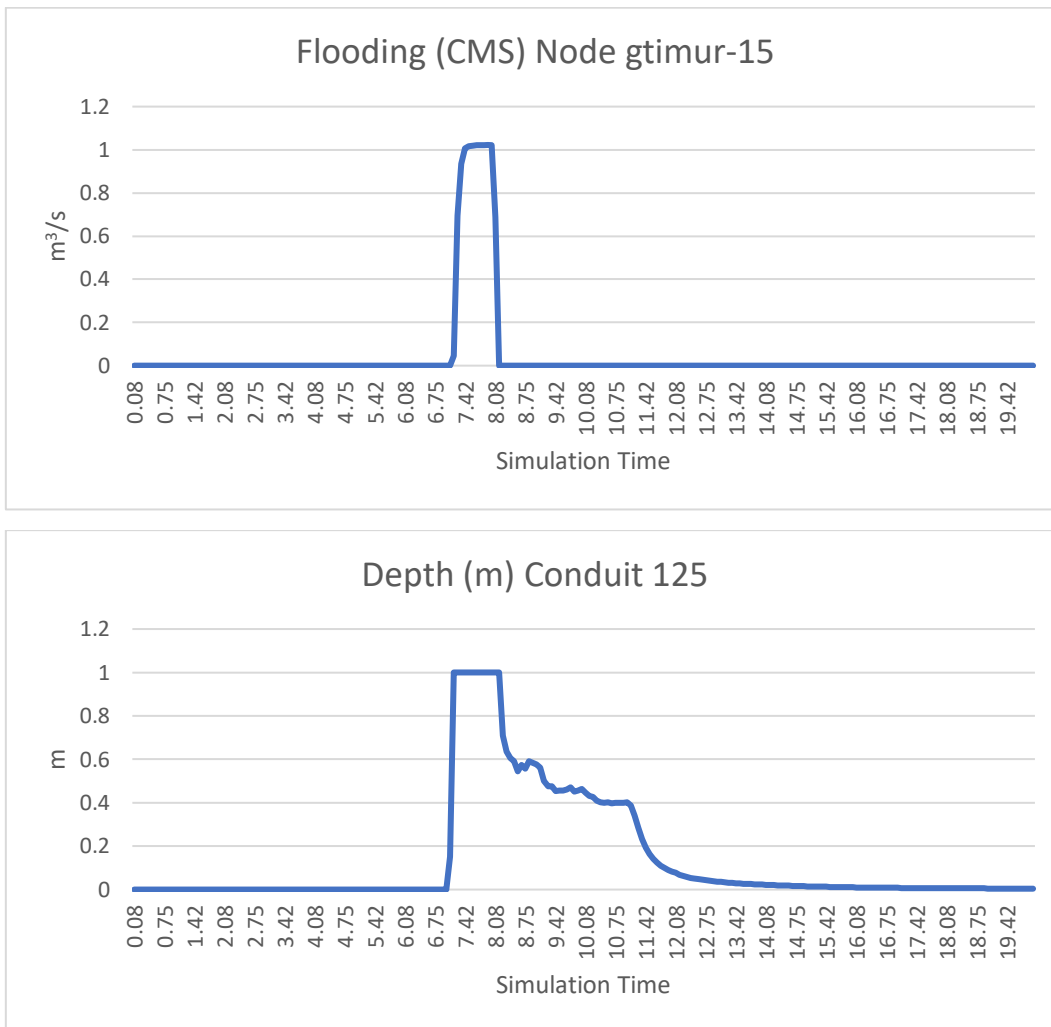
Dari potongan memanjang tersebut dapat diamati bahwa pada saat puncak terjadinya banjir *conduit* yang seharusnya mengalirkan air dalam posisi penuh (*full capacity*), sehingga air yang tidak teralirkan keluar melalui *node* dan terjadi banjir.

Untuk melihat yang terjadi pada tiga *node* tersebut berikut grafik time-series dari banjir yang terjadi pada *node* disandingkan dengan *conduit* yang terhubung dengan *node* tersebut.



Gambar 4-16 Grafik perbandingan debit banjir node Puri-33 dan ketinggian air pada saluran Conduit 285

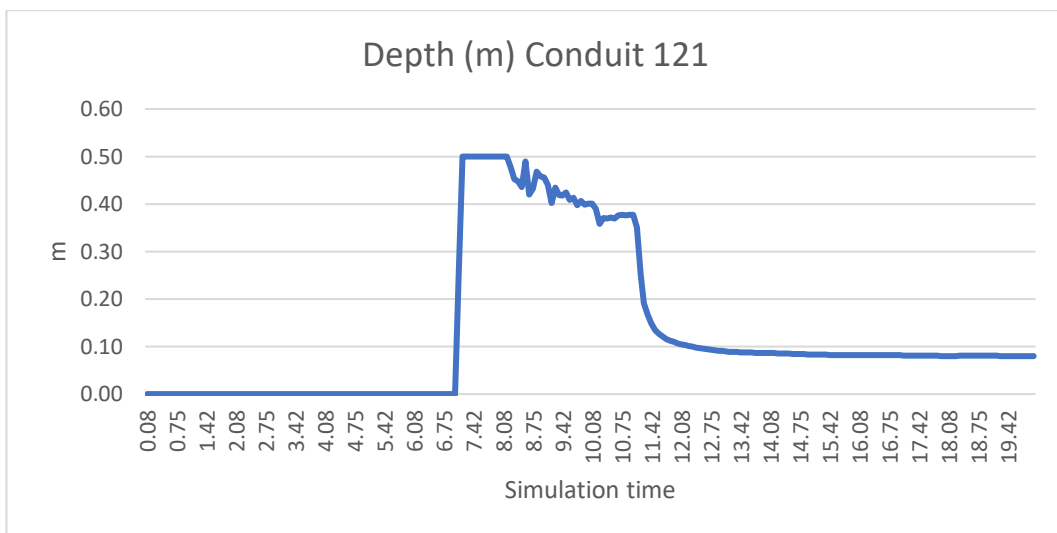
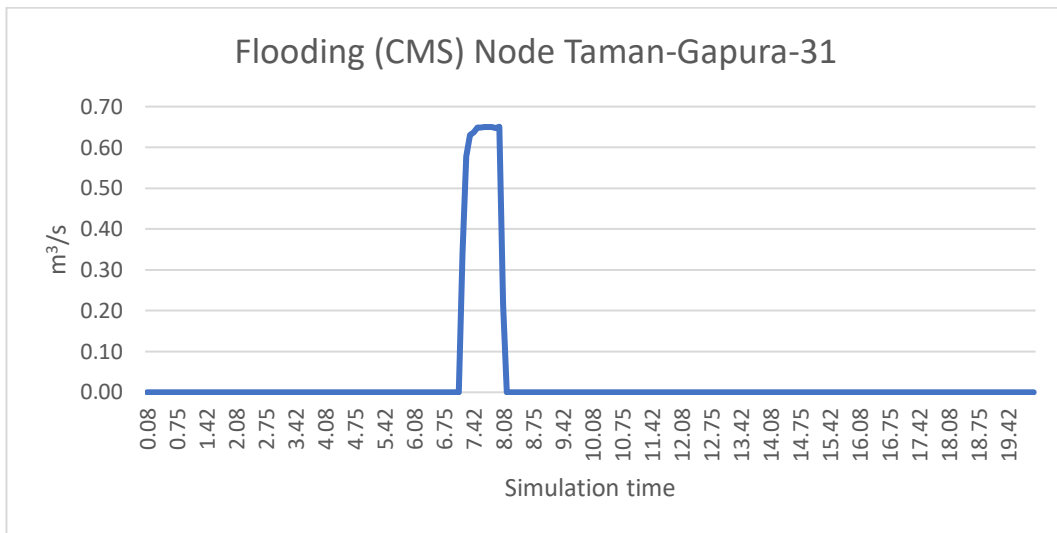
Yang dapat diamati dari penyandingan kedua grafik di atas adalah waktu simulasi saat terjadinya banjir. Saat sekitar jam ke-7 (dimana hujan mulai turun), *node* Puri-33 langsung mengeluarkan air ke permukaan (banjir) secara cukup konstan berkisar sekitar 0,9-1,1 m³/s selama 1 jam hingga jam ke-8. Dari grafik *conduit* didapatkan bahwa pada jam ke-7 tersebut jumlah air yang dilewatkan pada *conduit* adalah maksimum. Terlihat dari nilai *depth* (m) *conduit* berada pada angka 0,5 m, yang adalah diameter dari *conduit* tersebut. Dan tetap berada pada angka tersebut selama 2 jam hingga ke jam ke-9. Berarti mulai pada jam ke-8 *conduit* 285 sudah mulai mengalirkan air banjir yang berada pada *node* Puri-33.



Gambar 4-17 Grafik perbandingan debit banjir node Gtimur-15 dan ketinggian air pada saluran Conduit 125

Dari pengamatan penyandingan kedua grafik diatas (gambar 4.17), didapatkan bahwa pada jam yang sama, yaitu jam ke-7 (saat hujan mulai turun) grafik langsung melonjak. Menunjukkan terjadinya banjir pada *node* gtimur-15, dan kapasitas *conduit* 125 dalam posisi maksimal (diameter *conduit* 1 meter). Setelah satu jam, kapasitas *conduit* mulai berkurang, sehingga air banjir pada permukaan *node* mulai tersalurkan kembali ke dalam *node* dan melalui *conduit*.

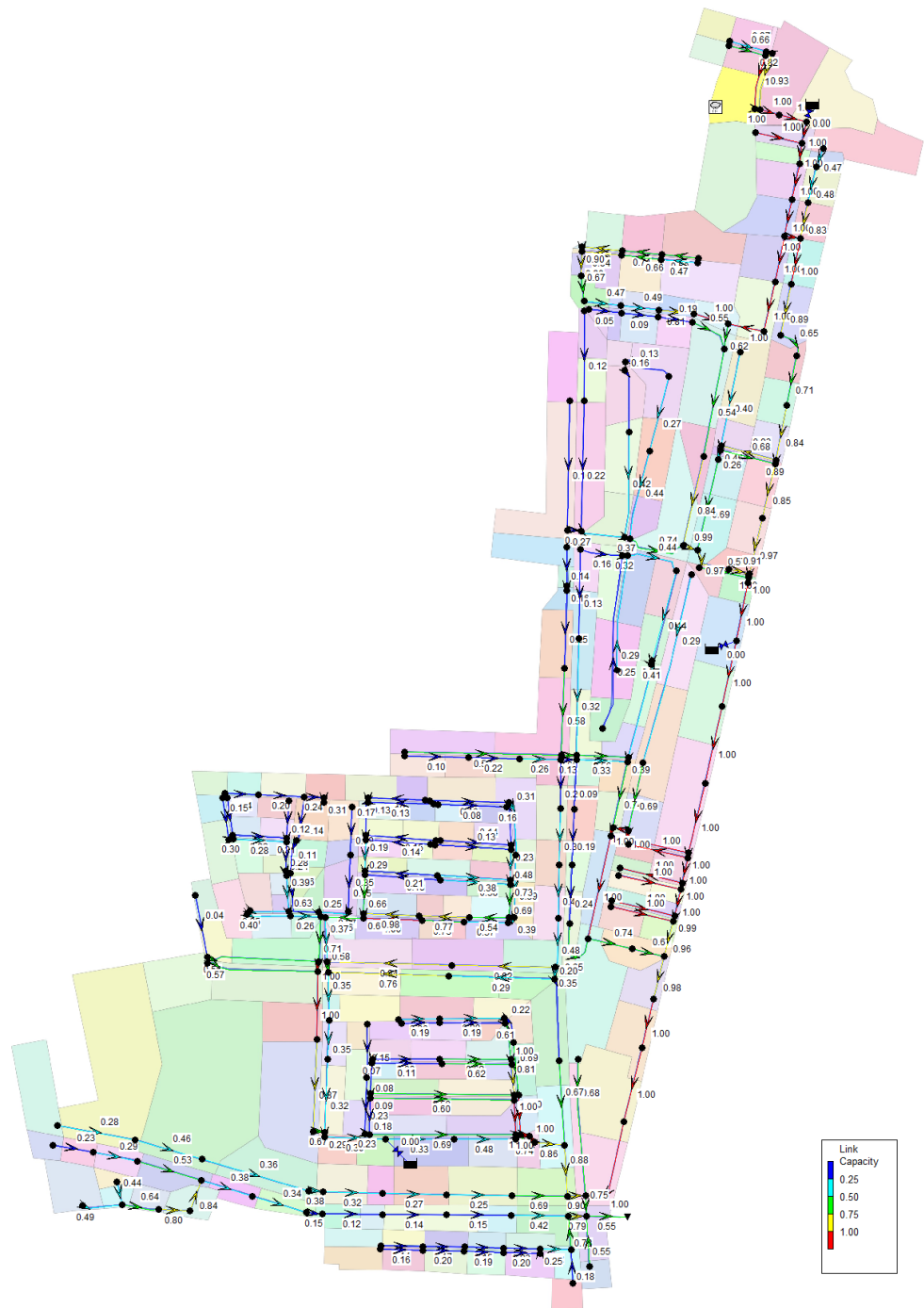
Begitu juga penyandingan kedua grafik pada gambar 4.18, yaitu *node* taman-gapura-31 dan *conduit* 101, saat hujan mulai terjadi, terjadi banjir pada *node* yang disebabkan kapasitas *conduit* 101 dalam posisi maksimal (diameter *conduit* 0,5 meter). Dan mulai berkurang setelah 1 jam, dan mulai mengalirkan air yang meluap ke permukaan.



Gambar 4-18 Grafik perbandingan debit banjir node Gtimur-15 dan ketinggian air pada saluran Conduit 121

Dari perbandingan ketiga *node* tersebut dengan tiga *conduit* penyalurnya maka dapat dinyatakan bahwa penyebab banjir yang terjadi pada sistem drainase yang diteliti ini adalah kurangnya kapasitas pipa penghubung (*conduit*) dalam mengalirkan air hujan, yang menyebabkan air meluap ke jalan.

Pada gambar 4.19 terlihat kondisi conduit pada saat puncak banjir. Dimana warna merah pada conduit menunjukkan kapasitas penuh yang menyebabkan banjir.



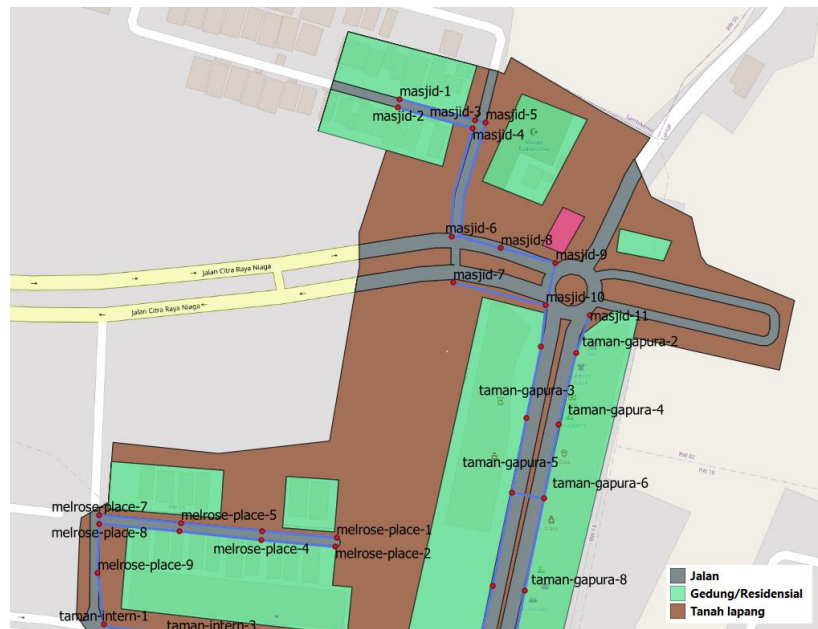
Gambar 4-19 Kapasitas conduit saat puncak banjir pada kondisi eksisting

4.8. Analisa Skenario Pengendalian Banjir 1

Berdasarkan analisa kondisi existing, didapatkan banjir besar berada pada tiga area. Sehingga pada Skenario 1 ini, dimodelkan tampungan air pada masing-masing area tersebut sehingga diketahui seberapa besar pengaruh tampungan air dalam mengurangi volume banjir yang terjadi.

4.8.1. Skenario Pengendalian Banjir 1 - Lokasi 1

Skenario pengendalian banjir yang pertama adalah menambahkan tampungan air pada wilayah Utara dari sistem drainase (Lokasi 1). Mempertimbangkan ketersediaan lahan yang ada dan posisi banjir yang terjadi (sekitar *node* masjid 8, 9, dan 10) maka posisi tampungan air berada seperti pada gambar 4.14 berikut:



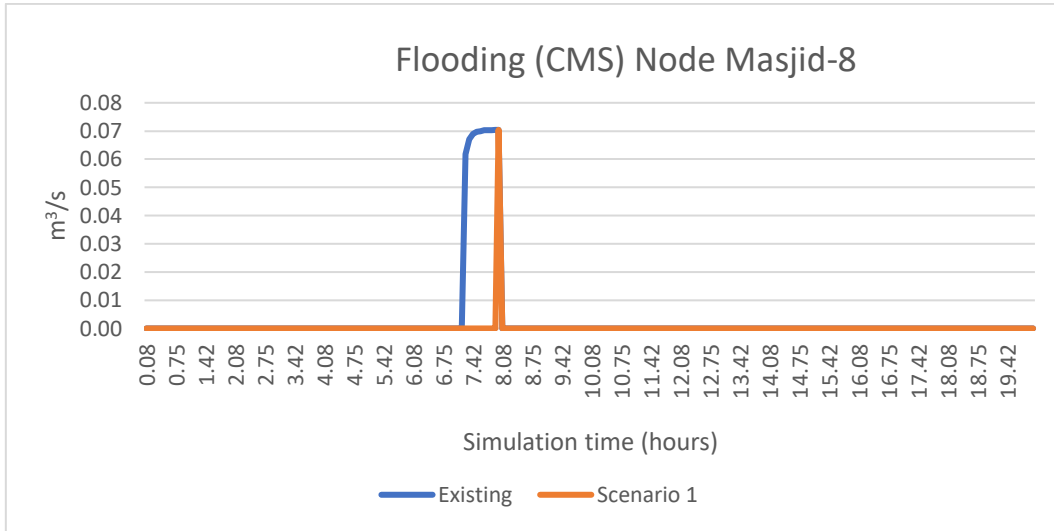
Gambar 4-20 Lokasi tampungan air Skenario 1 lokasi 1 (warna merah muda)

Tampungan air terhubung dengan *node* masjid-9 dengan pengaturan pintu air. Untuk menjaga tinggi air pada tampungan air tidak meluap maka diatur agar tinggi maksimum air pada tampungan adalah 2,8 meter. Apabila ketinggian air pada penampungan mencapai ketinggian 2,8 meter, maka pintu air akan menutup. Dimensi tampungan air adalah luas 250 m² dengan kedalaman 3 meter.

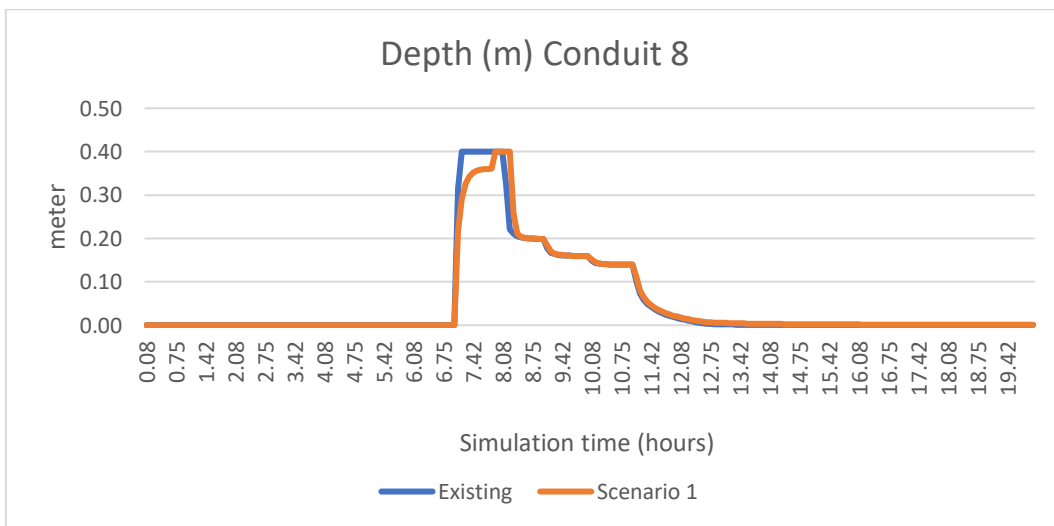
Setelah simulasi dijalankan untuk ketiga hujan rencana maka didapatkan hasil pada Tabel terlampir. Dari 10 *node* banjir besar, didapatkan *node* yang paling

besar pengurangan volume banjirnya yaitu node Masjid 8, Masjid 9 dan Masjid 10. Bahkan pada periode ulang 2 dan 5 tahun, pada ketiga node tersebut sudah tidak terjadi banjir lagi.

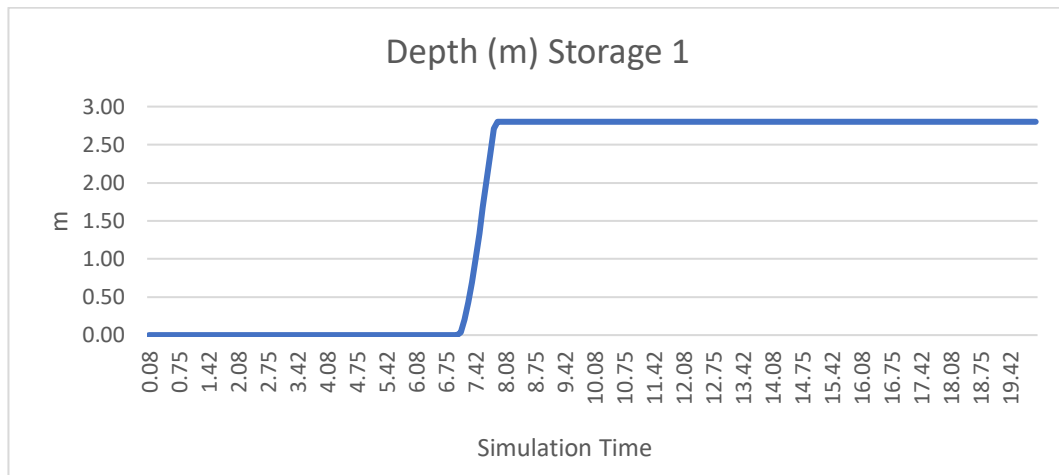
Dan secara volume banjir total, skenario 1 lokasi 1 dapat menurunkan volume banjir sebesar 9.28% (Periode Ulang 2 tahun), 7,29% (Periode Ulang 5 tahun) dan 6.20% (Periode Ulang 10 tahun).



Gambar 4-21 Grafik perbandingan existing dan skenario 1 pada banjir yang terjadi di node masjid-8

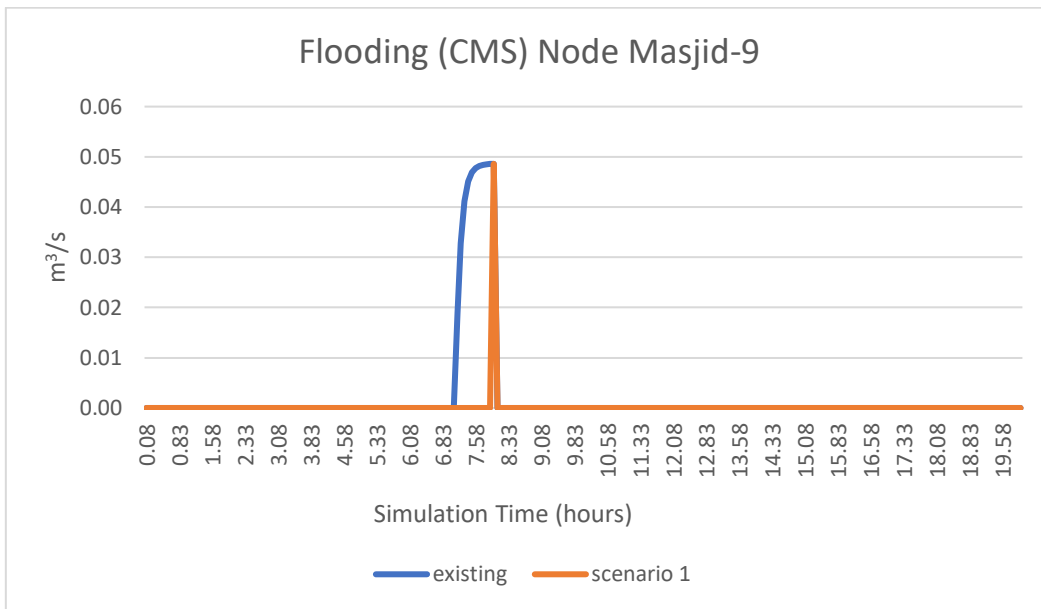


Gambar 4-22 Grafik perbandingan existing dan skenario 1 pada tinggi air di saluran Conduit 8

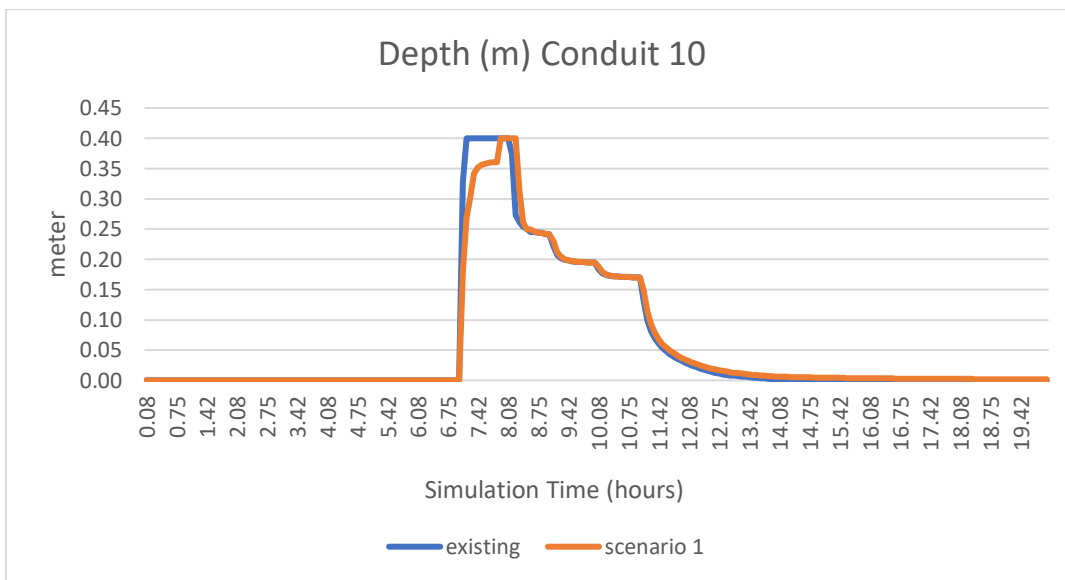


Gambar 4-23 Grafik tinggi air yang berada pada storage pada Skenario 1

Dari grafik gambar 4.20 didapatkan bahwa skenario penambahan tampungan air ini menyebabkan pengurangan banjir yang terjadi. Yang sebelumnya banjir pada kondisi existing terjadi pada sekitar jam ke-7, pada skenario 1 banjir bergeser dan terjadi pada sekitar jam ke-8. Hal ini disebabkan conduit yang berfungsi untuk mengalirkan air dari *node* masjid-8, yaitu *conduit* 8 masih dapat mengalirkan air yang ada. Namun pada sekitar jam ke-8 *conduit* 8 kembali kepada kapasitas maksimalnya (gambar 4.21) sehingga banjir terjadi lagi pada *node* masjid-8. Banjir pada jam ke-8 ini sesuai dengan grafik ketinggian air pada storage 1 (gambar 4.22), yaitu kapasitas *conduit* 8 kembali pada titik maksimal karena tampungan air sudah berada pada posisi penuh, setinggi 2,8 meter. Sehingga aliran air yang sebelumnya dapat dimasukkan ke dalam tampungan air, kembali melalui saluran drainase yang ada.

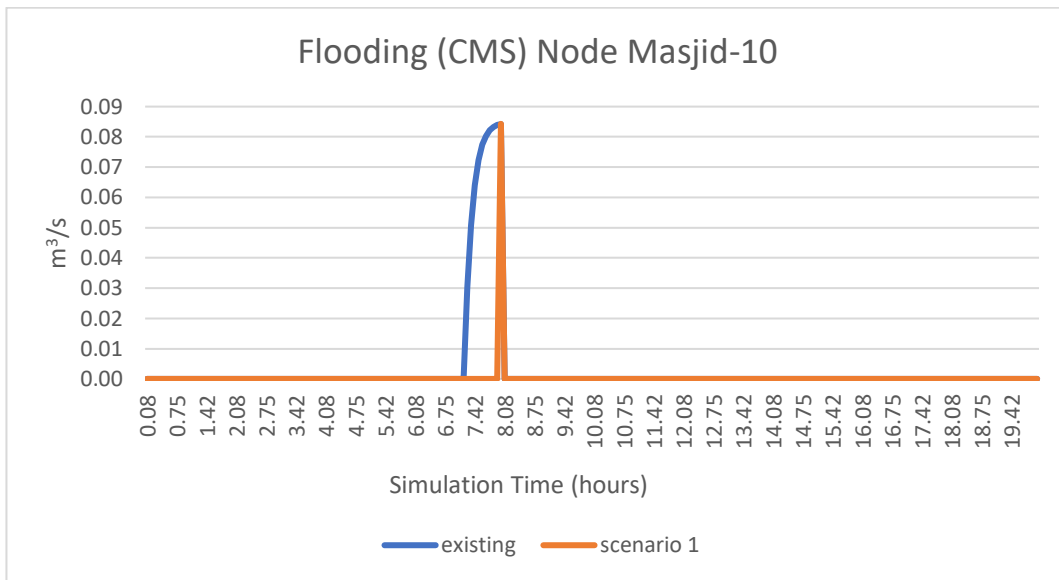


Gambar 4-24 Grafik perbandingan existing dan skenario 1 pada banjir yang terjadi di node masjid-9

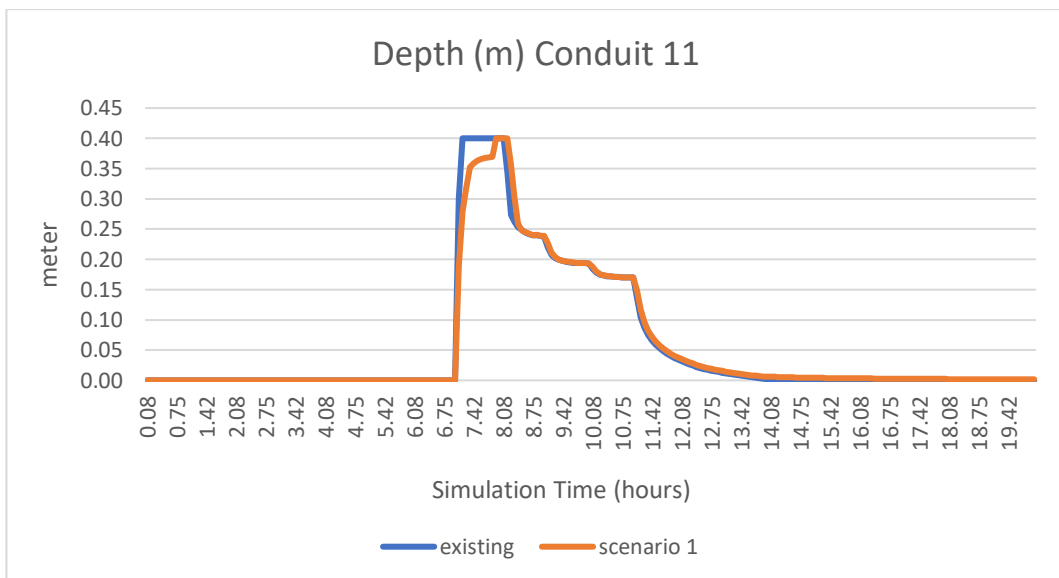


Gambar 4-25 Grafik perbandingan existing dan skenario 1 pada tinggi air di saluran conduit 10

Hal yang serupa dengan *node* Masjid 8 terjadi pada *node* Masjid 9 dan saluran *downstream* yang terhubung, *Conduit* 10. Pada skenario 1, banjir yang terjadi bergeser dari jam ke-7, menjadi jam ke-8, seiring telah penuhnya tampungan air storage 1 pada awal jam ke-8 (gambar 4.22).



Gambar 4-26 Grafik perbandingan existing dan skenario 1 pada banjir yang terjadi di node masjid-10



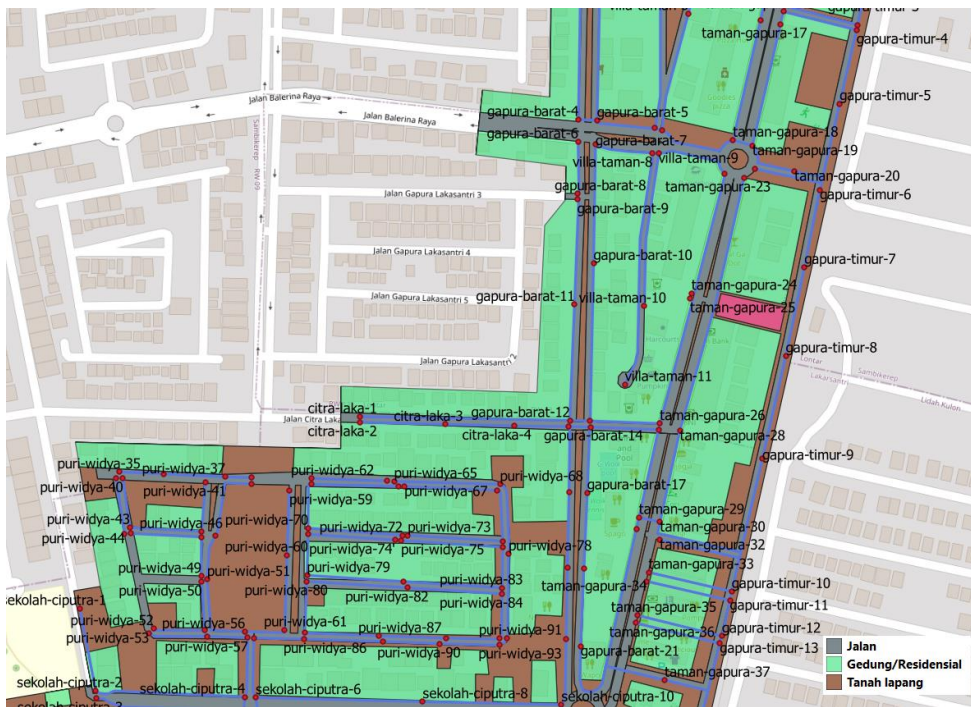
Gambar 4-27 Grafik perbandingan existing dan skenario 1 pada tinggi air di saluran conduit 11

Pada *node* masjid-10 dan saluran *downstream*-nya, *conduit* 11, terjadi pergeseran kejadian banjir serupa dengan dua *node* sebelumnya. Dengan penyebab yang sama yaitu mulai kembali penuhnya kapasitas *conduit* 11 saat tampungan air storage 1 penuh.

Dari perbandingan existing dengan skenario 1 pada tabel 4.13 dapat disimpulkan bahwa tampungan air pada lokasi 1 hanya mempengaruhi volume banjir pada *node* di sekitar lokasi tampungan saja.

4.8.2. Skenario Pengendalian Banjir 1 – Lokasi 2

Skenario pengendalian banjir satu pada lokasi dua adalah menambahkan tampungan air pada wilayah Timur dari sistem drainase. Mempertimbangkan ketersediaan lahan yang ada, topografi lahan yang tidak jauh berbeda tinggi dengan saluran drainase sekitarnya dan posisi banjir yang terjadi (sekitar node taman-gapura 31, 32, dan 33, serta gtimur-15) maka posisi tampungan air berada seperti pada gambar 4.27 berikut:



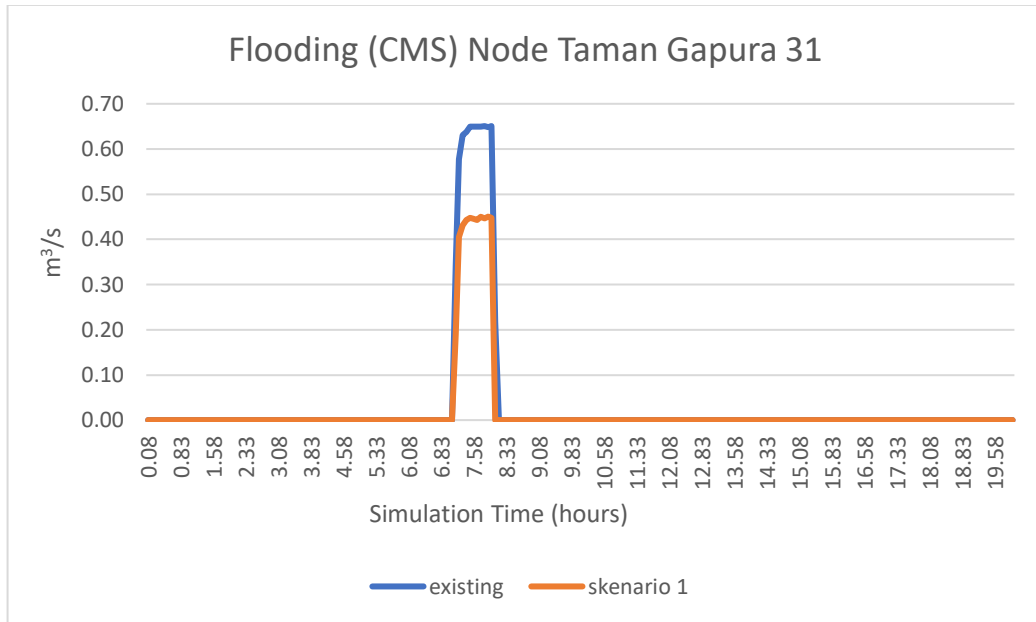
Gambar 4-28 Lokasi tampungan air Skenario 1 lokasi 2 (warna merah muda)

Tampungan air terhubung dengan node gapura-timur-7 dengan pengaturan pintu air. Untuk menjaga tinggi air pada tampungan air tidak meluap maka diatur agar tinggi maksimum air pada tampungan adalah 2,8 meter. Apabila ketinggian air pada penampungan mencapai ketinggian 2,8 meter, maka pintu air akan menutup. Dimensi tampungan air adalah luas 1000 m² dengan kedalaman 3 meter.

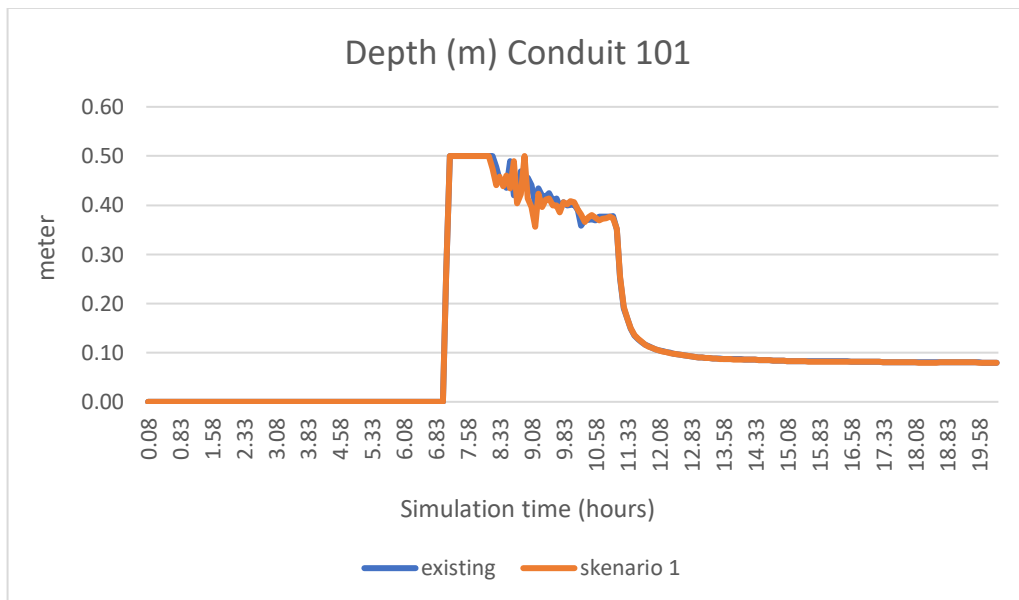
Setelah simulasi dijalankan untuk ketiga hujan rencana maka didapatkan hasil pada Tabel 4.14. Dari 10 node banjir besar, didapatkan node yang paling berkurang volume banjirnya yaitu node Gapura-Timur-15, Taman-Gapura 31, 32 dan 33.

Dan secara volume banjir total, skenario 1 lokasi 2 ini dapat menurunkan volume banjir sebesar 34.61% (Periode Ulang 2 tahun), 25,83% (Periode Ulang 5

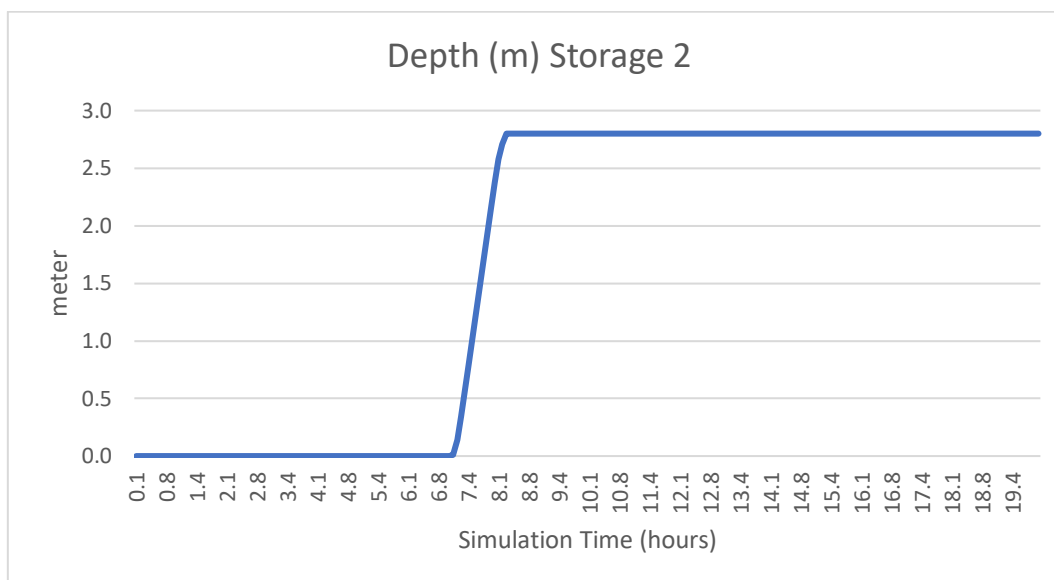
tahun) dan 23% (Periode Ulang 10 tahun).



Gambar 4-29 Grafik perbandingan existing dan skenario 1 pada banjir yang terjadi di node taman gapura 31



Gambar 4-30 Grafik perbandingan existing dan skenario 1 pada tinggi air di saluran conduit 101

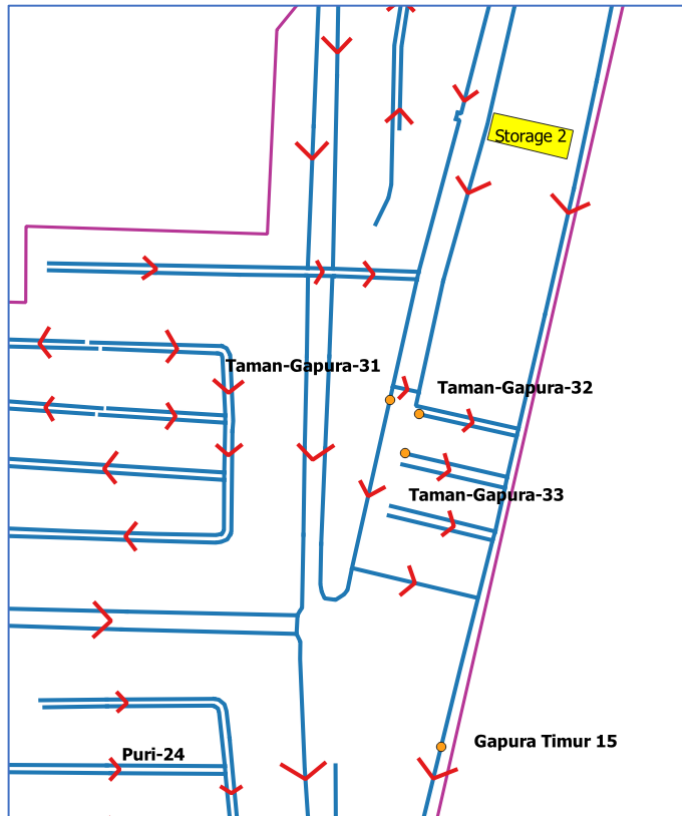


Gambar 4-31 Grafik tinggi air yang berada pada storage 2 pada Skenario 1

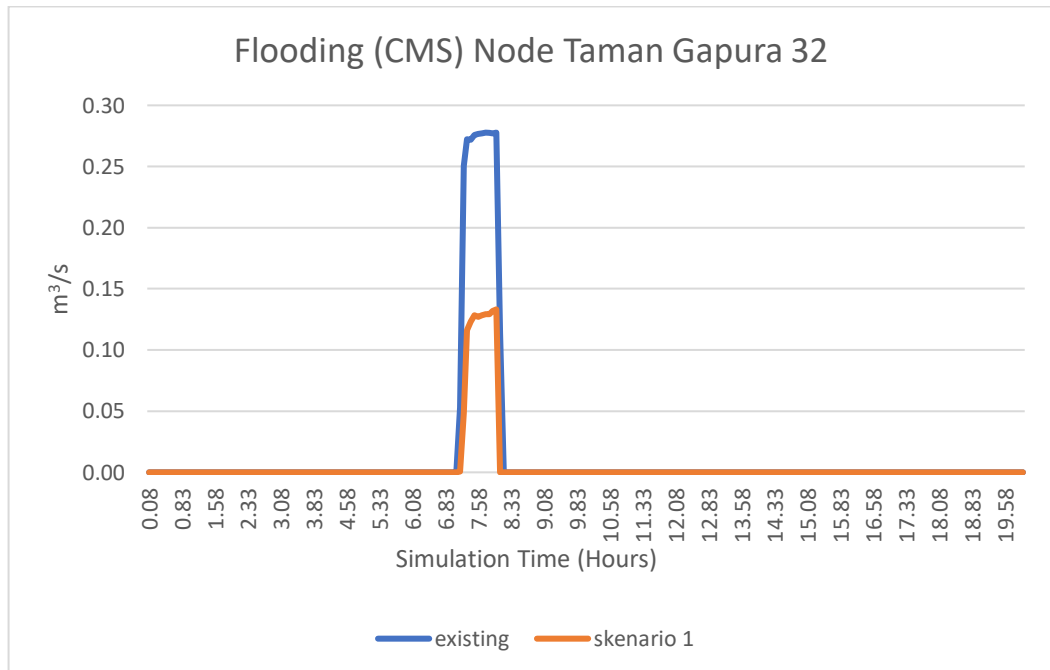
Kejadian banjir pada *node* taman gapura 31 pada skenario 1 lokasi 2 ini berbeda dengan apa yang terjadi pada *node* di skenario 1 lokasi 1. Secara volume banjir sama-sama berkurang, tapi yang terjadi adalah pengurangan debit air yang keluar dari *node*, yang tidak dapat dialirkan oleh *conduit* 101 (grafik 4.28), bukan terjadi pergeseran waktu banjir seperti pada skenario 1 lokasi 1 (grafik 4.25). Hal ini dapat berarti bahwa banjir yang terjadi di permukaan tidak berubah secara waktu (lama banjir) tetapi secara tinggi genangan, karena volume banjir berkurang.

Salah satu penyebabnya adalah posisi dari kolam tampungan air. Dimana kolam tampungan air berada di hulu dari *node* taman gapura 31 tersebut, dan juga tidak berhubungan langsung dengan *node* (gambar 4.31). Pada gambar terlihat bahwa posisi kolam tampungan air juga berada dari hulu *node* taman gapura 32, taman gapura 33 dan gapura timur 15.

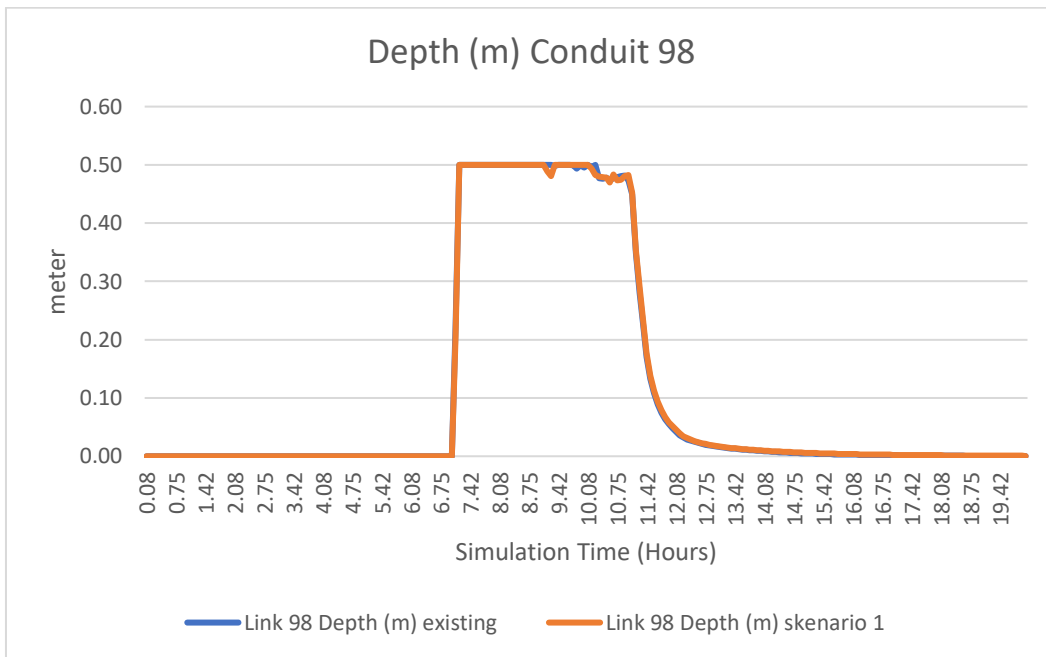
Sama dengan yang terjadi pada *node* taman gapura 31, *node* taman gapura 32 dan *conduit* 98 penghubungnya memiliki model grafik yang serupa (grafik 4.32 dan 4.33). Yaitu terjadi pengurangan debit air yang keluar/meluap dari *node*, tanpa terjadi perubahan waktu lama banjir. Begitu juga pada *node* gapura timur 15 dan saluran penghubungnya, *conduit* 128, yang terjadi adalah juga pengurangan debit banjir (yang berakibat pengurangan volume banjir).



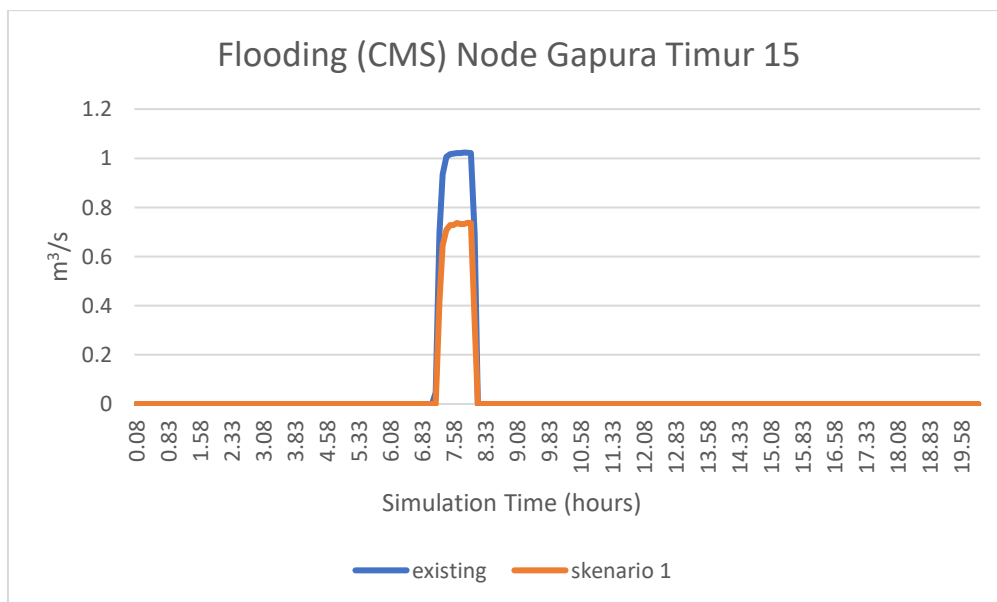
Gambar 4-32 Sistem drainase di sekitar Storage 2 pada Skenario 1 Lokasi 2



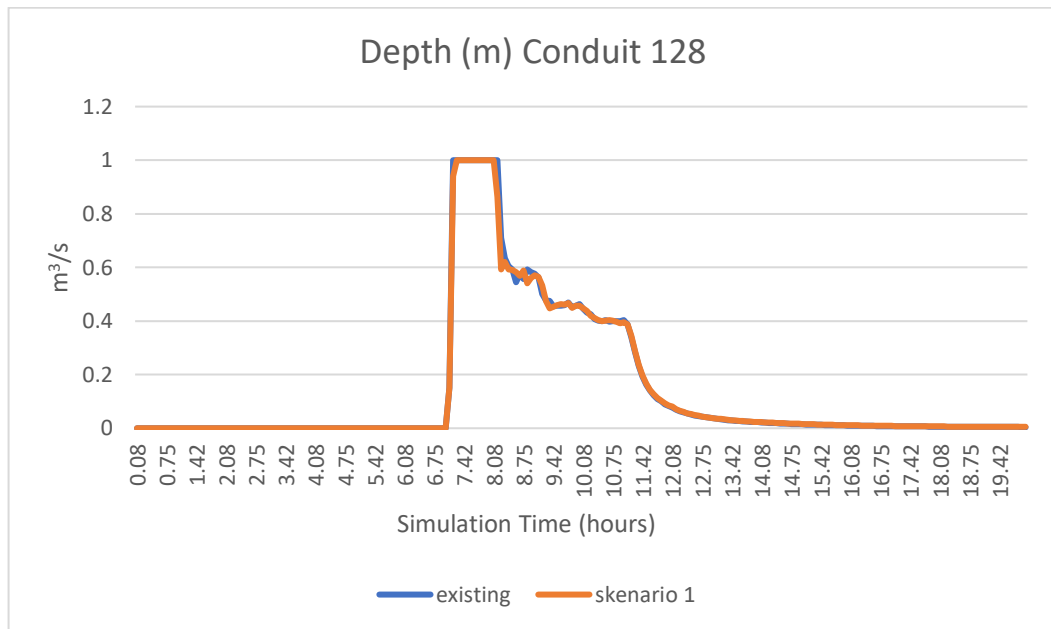
Gambar 4-33 Grafik perbandingan existing dan skenario 1 pada banjir yang terjadi di node taman gapura 32



Gambar 4-34 Grafik perbandingan existing dan skenario 1 pada tinggi air di saluran conduit 98

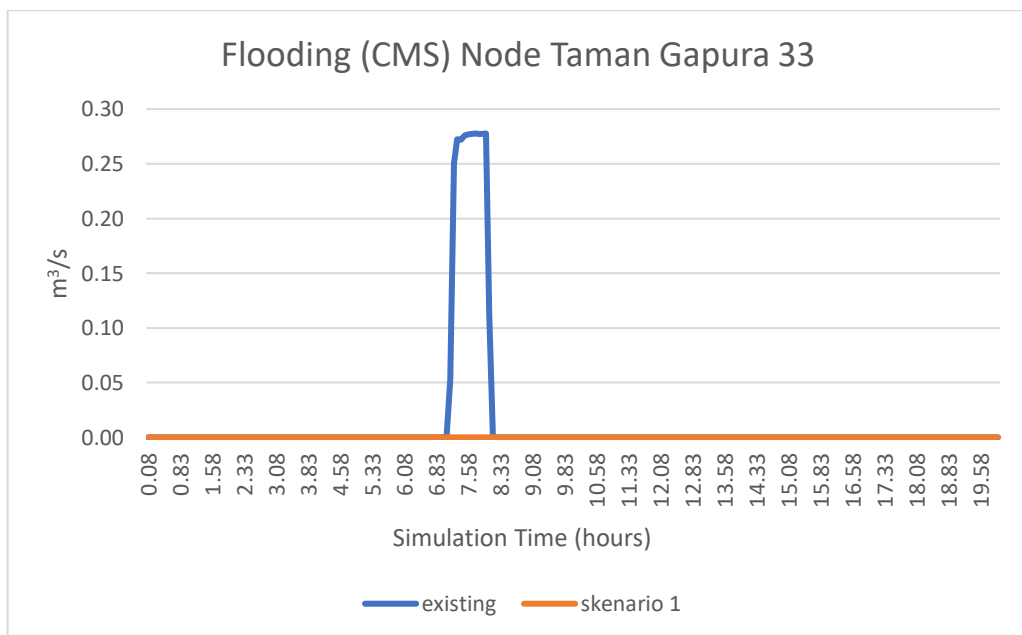


Gambar 4-35 Grafik perbandingan existing dan skenario 1 pada banjir yang terjadi di node gapura timur 15

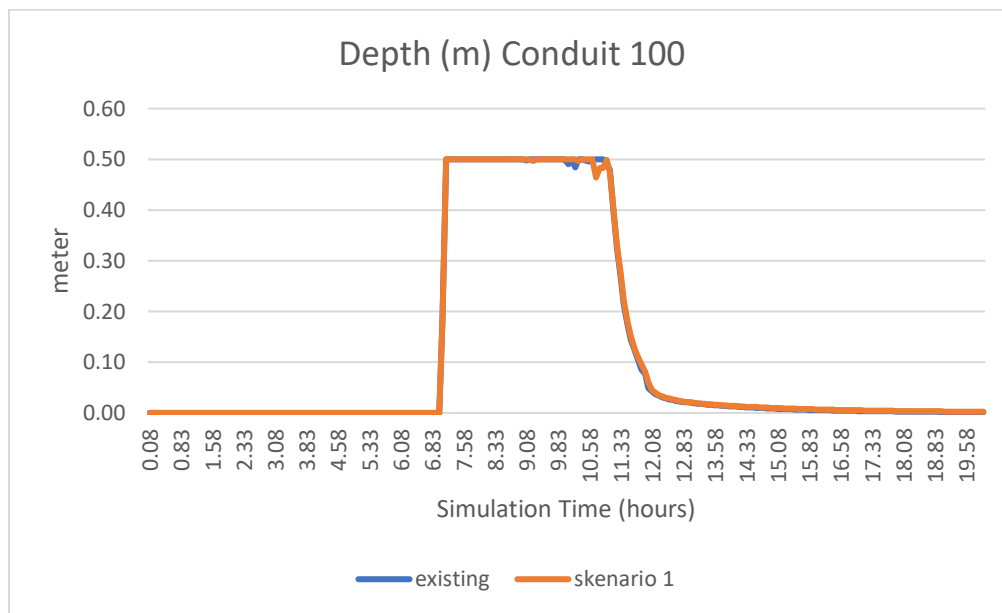


Gambar 4-36 Grafik perbandingan existing dan skenario 1 pada tinggi air di saluran conduit 128

Kondisi berbeda terjadi pada *node* Taman Gapura 33 (gambar 4.36), dimana pada skenario 1 ini, yaitu tidak terjadi lagi banjir pada *node* tersebut. Walaupun demikian tinggi air pada *conduit* 100 yang menghubungkan *node* tersebut dengan saluran selanjutnya, tidak terdapat banyak perbedaan antara existing dan skenario 1 (gambar 4.37).



Gambar 4-37 Grafik perbandingan existing dan skenario 1 pada banjir yang terjadi di node taman gapura



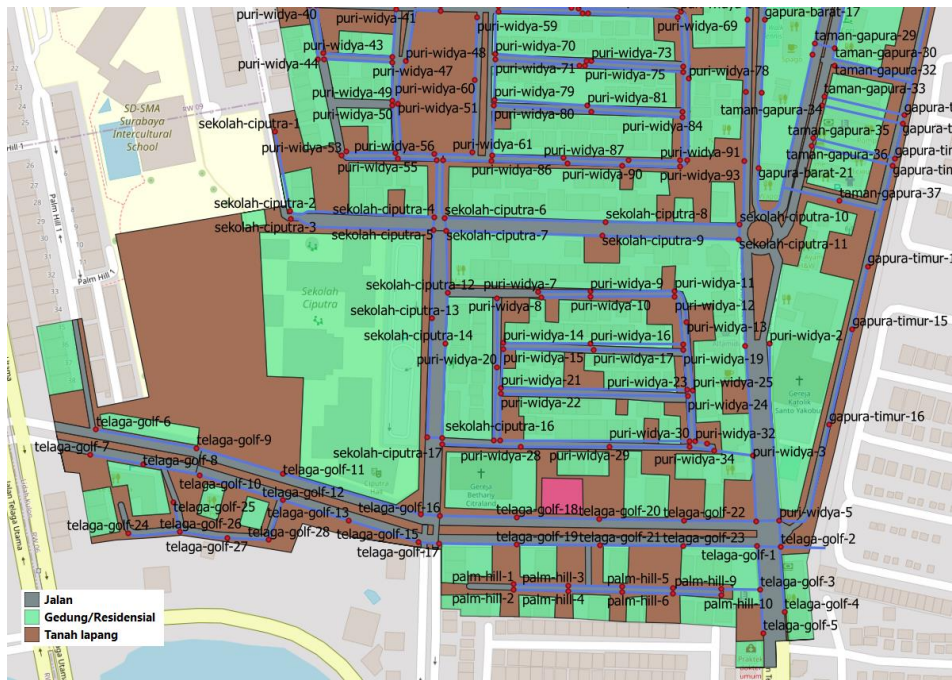
Gambar 4-38 Grafik perbandingan existing dan skenario 1 pada tinggi air pada saluran di conduit 100

Hal ini disebabkan *conduit* yang menjadi penyebab banjir pada kondisi existing bukanlah *conduit* 100. Melainkan *conduit* lain yang berada di hilir dari *node* Taman Gapura 33 tersebut.

Serupa dengan lokasi 1 sebelumnya, dari perbandingan existing dengan skenario 1 pada tabel 4.14 dapat disimpulkan bahwa tampungan air pada lokasi 2 juga hanya mempengaruhi volume banjir pada *node* di sekitar lokasi tampungan saja.

4.8.3. Skenario Pengendalian Banjir 1 – Lokasi 3

Skenario pengendalian banjir satu pada lokasi tiga adalah menambahkan tampungan air pada wilayah Barat dari sistem drainase. Mempertimbangkan ketersediaan lahan yang ada, yaitu lokasi merupakan lahan kosong (warna cokelat pada gambar 4.16), dan posisi banjir yang terjadi (sekitar *node* puri 32 dan 33) maka posisi tampungan air berada seperti pada gambar 4.16 berikut:

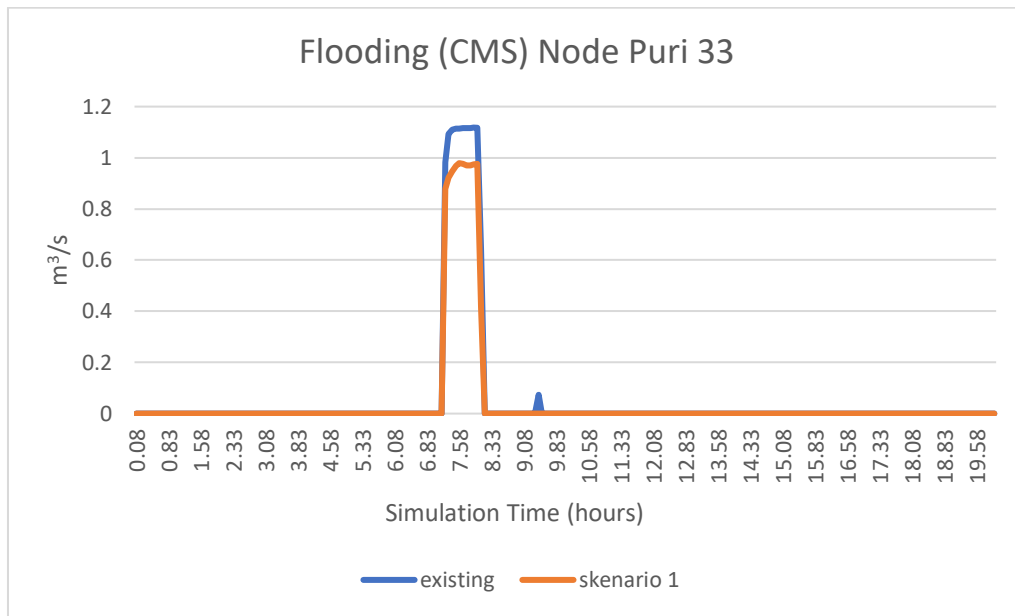


Gambar 4-39 Lokasi Tampungan Air Skenario 1 Lokasi 3 (warna merah muda)

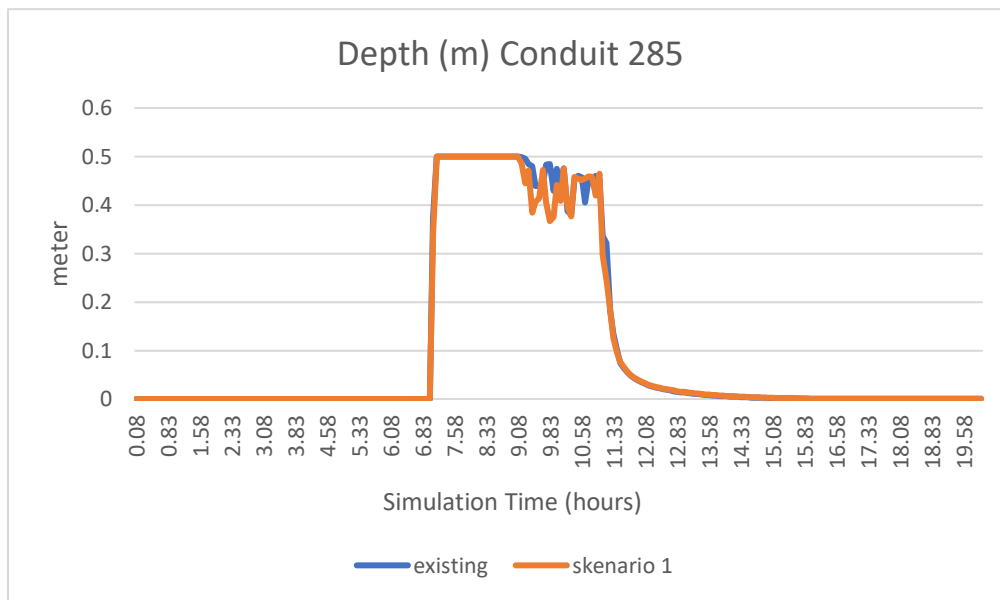
Tampungan air terhubung dengan node puri-28 dengan pengaturan pintu air. Untuk menjaga tinggi air pada tampungan air tidak meluap maka diatur agar tinggi maksimum air pada tampungan adalah 2,8 meter. Apabila ketinggian air pada penampungan mencapai ketinggian 2,8 meter, maka pintu air akan menutup. Dimensi tampungan air adalah luas 1000 m² dengan kedalaman 3 meter.

Setelah simulasi dijalankan untuk ketiga hujan rencana maka didapatkan hasil pada Tabel 4.15. Dari 10 node banjir besar, didapatkan hanya satu node yang paling berkurang volume banjirnya yaitu node Puri-33.

Dan secara volume banjir total, skenario 1 lokasi 3 dapat menurunkan volume banjir sebesar 16% (Periode Ulang 2 tahun), 8,29% (Periode Ulang 5 tahun) dan 6,39% (Periode Ulang 10 tahun).



Gambar 4-40 Grafik perbandingan existing dan skenario 1 pada banjir yang terjadi di no puri 33



Gambar 4-41 Grafik perbandingan existing dan skenario 1 pada tinggi air di saluran conduit 285

Dari grafik 4.40 dan 4.41 dapat disimpulkan bahwa volume banjir yang terjadi di node puri 33 berkurang karena debit air yang keluar meluap dari node 33 berkurang, namun lama dari banjir tidak berubah, seperti yang terjadi pada skenario 1 lokasi 2.

Serupa dengan lokasi 1 & 2 sebelumnya, dari perbandingan existing dengan skenario 1 pada tabel 4.15 dapat disimpulkan bahwa tampungan air pada lokasi 3 juga hanya mempengaruhi volume banjir pada node di sekitar lokasi

tampungan saja.

4.9. Analisa Skenario Pengendalian Banjir 2

Berdasar dari hasil analisa skenario 1, bahwa tampungan air hanya mengurangi volume pada sekitarnya, maka pada skenario selanjutnya dimodelkan kombinasi lokasi tampungan air yang akan dibangun untuk mencari kombinasi yang optimal. Karena lokasi tampungan 3 (storage 3) terpisah secara sistem drainasenya atau tidak menerima air yang berasal dari tampungan 1 dan 2, maka kombinasi yang akan digunakan dalam skenario 2 ini adalah tampungan air 1 dan tampungan air 3.

Setelah simulasi dijalankan untuk ketiga hujan rencana maka didapatkan hasil pada Tabel 4.16. Dalam mengurangi total volume banjir, skenario 2 dapat menurunkan volume banjir sebesar 25,74% (Periode Ulang 2 tahun), 15,81% (Periode Ulang 5 tahun) dan 12,59% (Periode Ulang 10 tahun).

4.10. Analisa Skenario Pengendalian Banjir 3

Melanjutkan kombinasi yang digunakan pada skenario 2, pada skenario 3 ini memodelkan kombinasi tampungan air 2 dan tampungan air 3.

Setelah simulasi dijalankan untuk ketiga hujan rencana maka didapatkan hasil pada tabel terlampir. Dalam mengurangi total volume banjir, skenario 3 dapat menurunkan volume banjir sebesar 49,83% (Periode Ulang 2 tahun), 34,04% (Periode Ulang 5 tahun) dan 29,28% (Periode Ulang 10 tahun).

4.11. Analisa Skenario Pengendalian Banjir 4

Dari ketiga skenario sebelumnya, didapatkan bahwa pembangunan masing-masing tampungan air hanya berpengaruh kepada area sekitar tampungan tersebut. Maka pada skenario 4 ini akan diperhitungkan apabila ketiga skenario tersebut dilaksanakan secara serentak, yaitu dibangun tiga tampungan air secara bersama-sama. Didapatkan seberapa besar dampak pengurangan volume banjir, seperti yang ada pada terlampir.

Analisa tiap node dan conduit yang berkaitan dengan tampungan air tidak berubah dari analisa yang sudah dilakukan pada skenario 1 sampai 3. Karena letak tampungan air yang berjauhan sehingga tidak mempengaruhi tampungan satu dengan yang lain, hanya mempengaruhi node di sekitarnya.

Pembangunan tiga penampungan air tersebut menyebabkan meningkatnya volume banjir yang dapat dikurangi, yaitu sebesar 57,82% (Periode Ulang 2 tahun), 40,59% (Periode Ulang 5 tahun) dan 35,04% (Periode Ulang 10 tahun).

4.12. Analisis Pemilihan Skenario Terbaik

Dengan membandingkan total volume banjir yang dapat dikurangi pada masing-masing periode ulang didapatkan Tabel berikut:

Tabel 4-12 Tabel Perbandingan Volume Banjir yang dikurangi

	Periode Ulang					
	2 tahun		5 tahun		10 tahun	
	m ³	%	m ³	%	m ³	%
Skenario 1 Lokasi 1	488	9.28%	628	7.29%	674	6.20%
Skenario 1 Lokasi 2	1819	34.61%	2225	25.83%	2500	23.00%
Skenario 1 Lokasi 3	841	16.00%	714	8.29%	695	6.39%
Skenario 2	1353	25.74%	1362	15.81%	1369	12.59%
Skenario 3	2619	49.83%	2932	34.04%	3183	29.28%
Skenario 4	3039	57.82%	3496	40.59%	3809	35.04%

Maka dapat disimpulkan bahwa Skenario 4 lebih baik dari skenario yang lainnya dalam mengurangi volume banjir. Namun apabila solusi yang akan dilakukan memiliki batasan hanya satu lokasi yang dapat dibangun tampungan air, maka skenario 1 melalui pembangunan tampungan lokasi 2 menjadi skenario terbaik dalam mengatasi banjir dengan pengurangan volume banjir terbesar. Dan apabila kombinasi dapat dilakukan untuk pembangunan tampungan air maka Skenario 3 dengan pembangunan tampungan air lokasi 2 dan 3 adalah pilihan skenario terbaik.

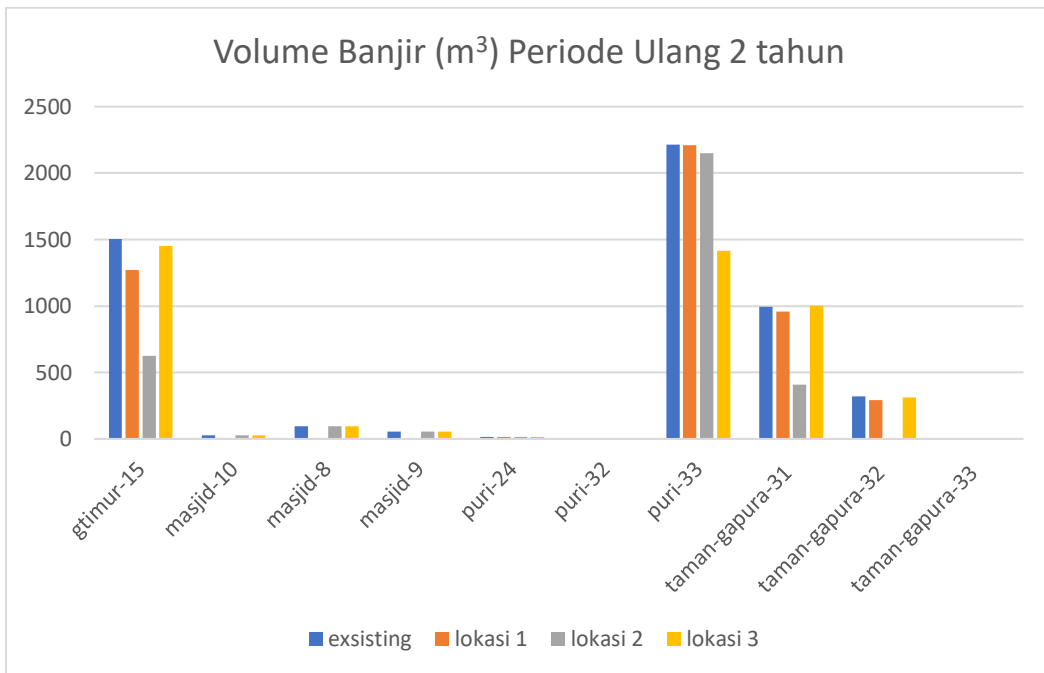
Dan juga dapat menjadi pertimbangan dalam memilih lokasi tampungan terbaik adalah besarnya volume yang dikurangi terhadap 10 Node yang mengalami

banjir besar, karena masing-masing tampungan air tidak dapat mempengaruhi kesepuluh node sekaligus. Seperti yang terlihat pada Tabel 4.20 atau Gambar 4.40 sampai dengan Gambar 4.42 berikut:

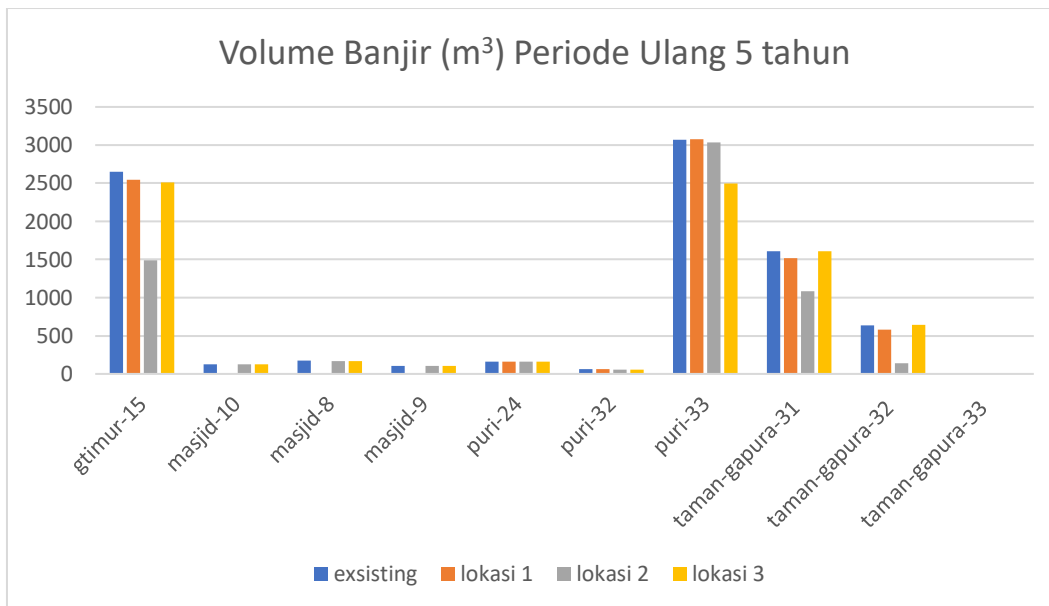
Tabel 4-13 Tabel Perbandingan Volume Banjir pada 10 Node Banjir Besar

Node	2 tahun				5 tahun			
	existing	lokasi 1	lokasi 2	lokasi 3	existing	lokasi 1	lokasi 2	lokasi 3
gtimur-15	1502	1271	626	1452	2651	2548	1492	2511
masjid-10	27	0	27	27	127	0	127	127
masjid-8	96	0	95	95	172	0	171	171
masjid-9	54	0	54	54	105	0	104	104
puri-24	16	16	16	16	161	161	160	158
puri-32	0	0	0	0	60	60	59	58
puri-33	2212	2208	2148	1416	3071	3077	3037	2493
taman-gapura-31	995	959	407	1001	1605	1520	1081	1610
taman-gapura-32	319	290	4	312	639	582	137	644
taman-gapura-33	2	3	1	1	1	1	1	1

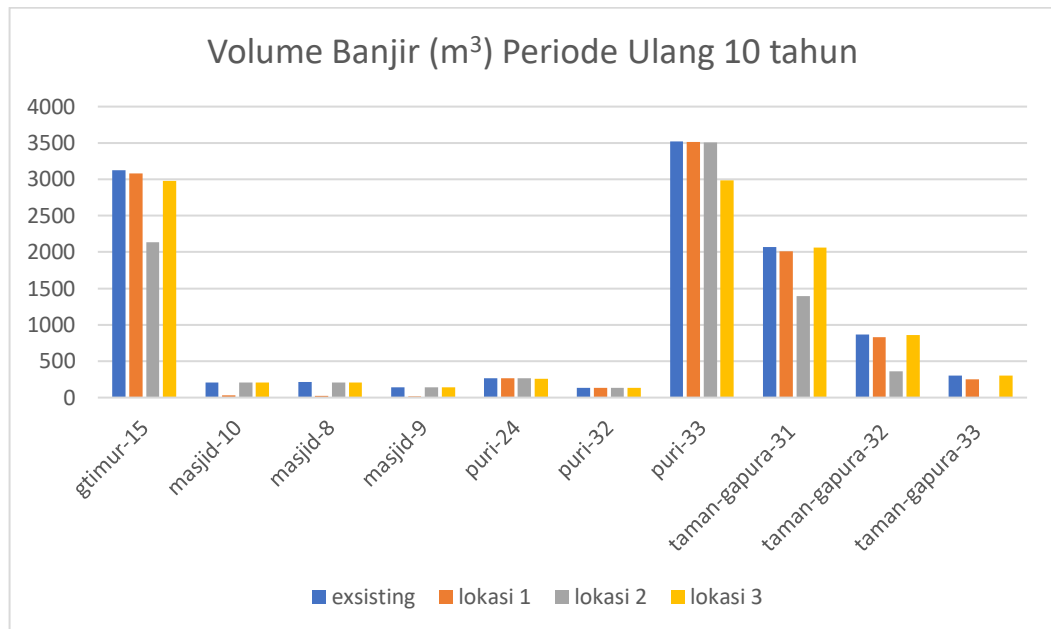
Node	10 tahun			
	existing	lokasi 1	lokasi 2	lokasi 3
gtimur-15	3128	3085	2135	2982
masjid-10	209	29	209	209
masjid-8	211	26	210	210
masjid-9	139	18	139	139
puri-24	264	264	263	260
puri-32	137	137	137	136
puri-33	3520	3513	3503	2988
taman-gapura-31	2069	2013	1392	2064
taman-gapura-32	865	829	360	861
taman-gapura-33	301	252	1	301



Gambar 4-42 Grafik perbandingan volume banjir pada tiap node periode ulang 2 tahun



Gambar 4-43 Grafik perbandingan volume banjir pada tiap node periode ulang 5 tahun



Gambar 4-44 Grafik perbandingan volume banjir pada tiap node periode ulang 10 tahun

Dimana terbaca dari tabel dan grafik tersebut yaitu apabila pemerintah atau pengambil keputusan memfokuskan ingin mengurangi banjir pada sebagian area tertentu, contoh: area sekitar masjid, maka lokasi tampungan air 1 yang dipertimbangkan, atau untuk area taman gapura, maka lokasi tampungan air 2 yang dipertimbangkan, dan seterusnya.

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

BAB 5

KESIMPULAN & SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil analisa didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Dengan menggunakan perhitungan curah hujan rencana periode ulang 2, 5, dan 10 tahun dan pemodelan SWMM didapatkan terjadi banjir pada beberapa titik node yang disebabkan oleh faktor saluran tidak cukup besar untuk mengalirkan debit hujan rencana.
2. Alternatif solusi pengendalian banjir yang dapat diterapkan adalah penambahan tampungan air baru melalui 4 skenario pengendalian banjir. Dari keempat skenario disimpulkan bahwa Skenario 4 paling baik dalam mengatasi banjir karena mengurangi volume banjir paling besar, karena membangun 3 tampungan air sekaligus. Namun apabila terdapat batasan hanya dapat membangun satu tampungan saja maka pembangunan tampungan air pada lokasi 2 lebih baik daripada lokasi 1 dan 3 karena mengurangi volume banjir lebih besar. Dan apabila dapat membangun kombinasi dari 2 tampungan air, maka Skenario 3 lebih baik daripada Skenario 2. Untuk mengurangi banjir secara kawasan tertentu dapat dibangun tampungan air yang menyesuaikan node yang disebut pada masing-masing skenario di atas.

5.2. Saran

Berdasarkan beberapa kesimpulan yang telah disampaikan, saran yang dapat disampaikan antara lain:

1. Untuk mengembangkan studi ini, perlu kajian lebih lanjut untuk pemilihan alternatif cara pengendalian banjir kawasan Citraland, selain skenario yang telah dilakukan dalam penelitian ini.
2. Selain ditinjau dari aspek hidroliknya, pengembangan studi ini perlu juga ditinjau aspek biaya untuk pelaksanaan skenario pengendalian banjir kawasan Citraland, sehingga dipilih skenario yang paling efektif dan efisien yang didasarkan atas aspek-aspek tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Asdak, Chay. (2010). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai: Edisi Revisi Kelima*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press Yogyakarta.
- Bidang Penelitian, Pusat Penelitian Promosi dan Kerjasama, Badan Informasi Geospasial, (2018). Laporan Akhir Penelitian Kebencanaan Hidrologis. Jakarta.
- Brouwer, Steven Valerian. (2017). *Simulasi Penataan Subsistem Untuk Mengurangi Genangan Pada Sistem Drainase Kawasan Perumahan Pepelegi Indah Waru Sidoarjo*. Jurnal ITS, Surabaya.
- Butler, David, John W. Davies (2011). *Urban Drainage Third Edition*. London: Spon Press.
- Hasmar, Halim. (2001). *Drainase Terapan*. Yogyakarta: Penerbit UII Press.
- Idfi, Gilang. (2017). *Simulasi Skenario Kolam Retensi untuk Menurunkan Debit Puncak Banjir Kali Ngotok*. Jurnal ITS, Surabaya.
- James, William, Lewis E. Rossman, W. Robert C. James (2010). *User's Guide to SWMM5 13th Edition*. Ontario: CHI Publisher.
- Kodoatie, Robert J, Roestam Sjarief (2005). *Pengelolaan Sumber Daya Air Terpadu*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Kodoatie, Robert J, Sugiyanto (2002). *Banjir*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Maryono, Agus (2001). *Hidrolika Terapan*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Mulyanto (2010). *Penataan Drainase Perkotaan*. Semarang: Graha Ilmu.
- Norman, Panglima Raizal Mahendra, Edijatno. (2017). *Evaluasi Kapasitas Saluran Drainase UNESA dengan Adanya Pengembangan Kawasan Surabaya Barat*. Jurnal Teknik Hidroteknik Vol. 2. Surabaya.
- Rahayu S, Widodo RH, van Noordwijk M, Suryadi I dan Verbist B. 2009. *Monitoring Air di Daerah Aliran Sungai*. Bogor, Indonesia. World Agroforestry Centre - Southeast Asia Regional Office. 104 p.
- Subarkah, Imam. (1980). *Hidrologi untuk Perencanaan Bangunan Air*. Bandung: Idea Dharma.

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

ANDI OFFSET.

Sabrang, Rangga Adi. (2017). *Alternative study of type and location of flood control infrastructure in the drainage system, Avfour Kelor channel, Tuban regency*.

Jurnal ITS, Surabaya.

Triatmodjo, Bambang. 2014. *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Beta Offset.

Winarno, GD., Hatma dan S.A Soedjoko, (2010), *Hidrologi Hutan*, Bandar Lampung, Penerbit Universitas Lampung.

LAMPIRAN

1. Tabel Data Dasar

Inlet No	Inlet/Area Name	Area (m ²)	Area (ha)	width (m)	Slope (%)	Impervious (%)	Land Use (m ²)		
							Residential	Roads	Open Field
1	masjid-1	1056.92	0.1057	36	0.9	86.19%	973.004	83.911	0.00
2	masjid-2	951.50	0.0952	44	6.45	86.49%	857.059	94.438	0.00
3	masjid-3	1214.17	0.1214	41.3	1.48	72.09%	924.615	89.43	200.12
4	masjid-4	1058.67	0.1059	46.8	3.31	66.92%	701.571	112.098	245.00
5	masjid-5	144.05	0.0144	28.1	6.15	93.44%	0	134.597	9.45
6	masjid-6	2959.39	0.2959	57	4.11	26.32%	16.794	764.508	2178.09
7	masjid-7	6111.94	0.6112	106	0.71	6.36%	0	388.791	5723.14
8	masjid-8	4906.74	0.4907	100	1.93	36.88%	1802.653	277.234	2826.85
9	masjid-9	4770.98	0.4771	63	3.69	21.77%	312.32	773.409	3685.25
10	masjid-10	1287.32	0.1287	49.1	3.04	51.51%	109.544	570.025	607.76
11	masjid-11	4086.17	0.4086	108	2.16	31.00%	96.857	1184.519	2804.79
12	taman-gapura-1	1004.56	0.1005	52	2.57	65.14%	619.55	127.719	257.29
13	taman-gapura-2	665.57	0.0666	27.5	10.55	80.26%	476.578	129.087	59.90
14	taman-gapura-3	1942.65	0.1943	57	0.47	75.42%	1380.513	291.798	270.34
15	taman-gapura-4	1443.51	0.1444	49	3.83	83.57%	1069.973	296.807	76.73
16	taman-gapura-5	2292.99	0.2293	66	6.91	70.95%	1546.506	312.336	434.15
17	taman-gapura-6	1436.74	0.1437	48.7	10	83.89%	1055.61	308.013	73.11
18	taman-gapura-7	2291.57	0.2292	59	15.19	82.02%	1766.789	377.708	147.07

Inlet No	Inlet/Area Name	Area (m ²)	Area (ha)	width (m)	Slope (%)	Impervious (%)	Land Use (m ²)		
							Residential	Roads	Open Field
19	taman-gapura-8	1719.55	0.1720	57	10.26	86.14%	1299.801	376.408	43.34
20	taman-gapura-9	2812.08	0.2812	64	1.31	68.20%	1414.967	715.188	681.93
21	taman-gapura-10	2170.18	0.2170	61	7.56	76.01%	1292.226	551.098	326.86
22	gapura-timur-1	1498.13	0.1498	40.2	0.51	40.17%	457.017	213.38	827.73
23	gapura-timur-2	1750.08	0.1750	38.6	5.98	68.01%	1122.865	235.739	391.47
24	gapura-timur-3	1444.73	0.1445	47.5	10.08	65.00%	798.307	260.458	385.96
25	gapura-barat-1	1235.10	0.1235	56	7.52	83.42%	900.601	264.818	69.68
26	gapura-barat-2	2411.00	0.2411	73	2.71	80.43%	1873.899	346.308	190.80
27	gapura-barat-3	1457.32	0.1457	50	2.7	82.35%	1143.252	228.277	85.79
28	gapura-barat-10	2591.48	0.2591	54	7.17	80.59%	1866.611	501.838	223.03
29	gapura-barat-11	2478.59	0.2479	66	5.1	81.97%	1969.891	357.361	151.34
30	gapura-barat-12	4076.82	0.4077	85	5.37	82.03%	3224.953	603.068	248.80
31	gapura-barat-13	1824.69	0.1825	72	5.5	80.06%	1232.254	413.441	178.99
32	gapura-barat-14	1054.55	0.1055	37.7	10.5	82.63%	670.44	301.473	82.64
33	gapura-barat-15	1023.65	0.1024	36.8	4.34	84.32%	672.748	291.334	59.56
34	gapura-barat-16	1965.35	0.1965	42.6	3.6	68.59%	1248.81	286.496	430.04
35	gapura-barat-17	1857.41	0.1857	35.1	10.65	82.44%	1440.357	306.884	110.16
36	gapura-barat-18	1602.44	0.1602	36.9	5.06	58.45%	817.182	241.953	543.30
37	gapura-barat-19	1289.29	0.1289	34.2	8.58	84.90%	948.315	288.56	52.42
38	gapura-barat-20	1903.80	0.1904	43.2	6.71	36.93%	490.03	286.604	1127.17
39	gapura-barat-21	1433.81	0.1434	53	1.23	75.55%	695.943	491.634	246.24
40	gapura-barat-4	5954.50	0.5954	139	2.59	83.69%	4301.038	1327.565	325.89
41	gapura-barat-5	4244.45	0.4244	140	3.01	79.23%	3131.152	701.431	411.86
42	gapura-barat-6	2475.69	0.2476	81	7.6	87.07%	1646.843	755.832	73.01

Inlet No	Inlet/Area Name	Area (m ²)	Area (ha)	width (m)	Slope (%)	Impervious (%)	Land Use (m ²)		
							Residential	Roads	Open Field
43	gapura-barat-7	1431.01	0.1431	43.3	3.92	83.02%	874.89	444.437	111.68
44	gapura-barat-8	386.86	0.0387	23.79	4.87	81.56%	221.712	127.056	38.09
45	gapura-barat-9	582.52	0.0583	31.8	1.74	84.03%	395.143	153.641	33.73
46	gapura-timur-10	1385.39	0.1385	46.7	5.05	50.27%	532.431	243.822	609.13
47	gapura-timur-11	683.70	0.0684	34.1	6.53	47.70%	278.144	89.695	315.86
48	gapura-timur-12	614.57	0.0615	31.7	3.49	47.11%	247.472	79.143	287.95
49	gapura-timur-13	1013.56	0.1014	38.7	3.52	46.28%	401.684	127.609	484.27
50	gapura-timur-14	1881.20	0.1881	47.7	2.14	17.42%	91.669	249.819	1539.72
51	gapura-timur-15	2806.07	0.2806	56	5.03	57.33%	1453.956	372.835	979.28
52	gapura-timur-16	5459.77	0.5460	93	15.41	72.32%	4230.506	352.817	876.45
53	gapura-timur-4	1875.89	0.1876	56	6.38	27.07%	264.286	283.092	1328.51
54	gapura-timur-5	1984.47	0.1984	32.6	6.52	30.61%	417.792	252.262	1314.41
55	gapura-timur-6	1028.56	0.1029	34.2	3.47	47.25%	339.17	197.706	491.68
56	gapura-timur-7	3199.02	0.3199	57	12	66.52%	2106.743	337.107	755.17
57	gapura-timur-8	3714.26	0.3714	56	2.96	54.13%	1926.021	373.534	1414.70
58	gapura-timur-9	5275.63	0.5276	85	3.26	53.88%	2619.295	615.85	2040.48
59	telaga-golf-28	1607.87	0.1608	38	5.29	28.35%	248.132	244.973	1114.77
60	melrose-place-1	3711.46	0.3711	57	3.61	19.94%	754.618	98.563	2858.28
61	melrose-place-2	3546.44	0.3546	61	8.06	43.72%	1710.719	96.255	1739.46
62	melrose-place-3	1842.17	0.1842	58	3.08	29.77%	517.654	108.451	1216.06
63	melrose-place-4	1793.33	0.1793	56	2.25	85.88%	1687.794	105.531	0.00
64	melrose-place-5	1604.86	0.1605	56	1.52	58.40%	979.649	104.528	520.68
65	melrose-place-6	1129.48	0.1129	44	4.57	81.84%	977.041	93.915	58.52
66	melrose-place-7	60.02	0.0060	4	5.17	54.03%	0	32.427	27.59

Inlet No	Inlet/Area Name	Area (m ²)	Area (ha)	width (m)	Slope (%)	Impervious (%)	Land Use (m ²)		
							Residential	Roads	Open Field
67	melrose-place-8	61.18	0.0061	10.22	2.01	47.23%	0	28.894	32.29
68	melrose-place-9	587.37	0.0587	24.26	3.12	23.77%	30.928	113.326	443.11
69	taman-gapura-11	1205.80	0.1206	43.4	5.07	39.73%	57.497	430.201	718.11
70	taman-gapura-12	4813.22	0.4813	91	5.11	85.82%	3694.774	990.354	128.10
71	taman-gapura-13	3554.33	0.3554	81	2.89	81.34%	2333.781	907.458	313.09
72	taman-gapura-14	1234.57	0.1235	40.6	10.1	81.04%	783.209	334.729	116.63
73	taman-gapura-15	318.76	0.0319	31.9	1.17	90.14%	186.762	128.575	3.42
74	taman-gapura-16	1913.58	0.1914	46.9	11.04	87.99%	1283.655	592.582	37.34
75	taman-gapura-17	1624.15	0.1624	30.7	1.29	78.43%	1112.847	327.849	183.45
76	taman-gapura-18	4474.80	0.4475	133	6.14	71.71%	2908.598	736.402	829.80
77	taman-gapura-19	2651.32	0.2651	68	8.95	76.11%	1635.747	627.595	387.98
78	taman-gapura-21	743.24	0.0743	38	2.6	56.25%	348.834	121.533	272.87
79	taman-gapura-20	1128.97	0.1129	36.4	1.49	19.93%	4.773	220.939	903.26
80	taman-gapura-22	2060.39	0.2060	56	0.27	86.61%	1402.064	592.664	65.66
81	sekolah-ciputra-3	3594.67	0.3595	79	13.44	29.45%	1146.555	84.237	2363.88
82	taman-gapura-26	1229.54	0.1230	32.9	5.48	86.46%	847.376	342.758	39.41
83	taman-intern-2	477.81	0.0478	38.7	9.79	87.17%	408.583	69.236	-0.01
84	taman-intern-1	1156.80	0.1157	30.7	8.27	35.90%	139.487	296.772	720.54
85	taman-intern-3	270.43	0.0270	19.47	6.67	35.87%	80.525	28.56	161.35
86	taman-intern-5	816.86	0.0817	43.6	4.91	38.43%	265.242	88.457	463.16
87	taman-intern-7	743.85	0.0744	40.9	4.35	39.57%	235.445	94.194	414.21
88	villa-taman-10	3829.81	0.3830	60	9.84	86.42%	3468.025	361.793	-0.01
89	villa-taman-2	2324.58	0.2325	63	2.91	66.32%	1471.017	291.337	562.22
90	villa-taman-4	2714.82	0.2715	68	7.33	72.62%	1881.962	371.926	460.93

Inlet No	Inlet/Area Name	Area (m ²)	Area (ha)	width (m)	Slope (%)	Impervious (%)	Land Use (m ²)		
							Residential	Roads	Open Field
91	villa-taman-6	2048.11	0.2048	54	10.12	69.31%	1022.186	550.678	475.24
92	villa-taman-8	1950.75	0.1951	72	8.14	86.11%	1505.954	399.815	44.98
93	villa-taman-9	2476.78	0.2477	77	4.16	86.93%	2155.205	321.158	0.41
94	villa-taman-7	1295.65	0.1296	53	4.2	79.13%	991.273	182.729	121.65
95	villa-taman-5	2959.93	0.2960	36.4	7.06	73.62%	2088.174	404.027	467.73
96	villa-taman-3	3812.47	0.3812	53	4.6	68.67%	2561.126	441.198	810.14
97	villa-taman-11	1651.16	0.1651	43.2	3.22	87.31%	1396.459	254.701	0.00
98	villa-taman-1	703.09	0.0703	30.7	5.93	85.42%	669.847	31.201	2.04
99	taman-intern-8	1226.54	0.1227	48.9	7.58	86.01%	1143.597	82.914	0.03
100	taman-intern-6	1347.57	0.1348	48	5.94	86.16%	1243.206	104.361	0.00
101	taman-intern-4	470.62	0.0471	32.5	10.1	86.19%	433.228	37.39	0.00
102	taman-gapura-28	4533.85	0.4534	90	3.16	86.38%	3490.379	949.673	93.80
103	taman-gapura-27	1209.82	0.1210	44.3	8.86	88.81%	769.88	420.067	19.87
104	taman-gapura-24	1445.50	0.1446	51	7.9	86.72%	1024.88	382.323	38.30
105	taman-gapura-23	4019.76	0.4020	125	1.04	74.44%	2290.455	1045.567	683.74
106	taman-gapura-25	1673.15	0.1673	69	4.95	86.29%	1054.403	547.59	71.16
107	taman-gapura-29	1252.97	0.1253	40.3	5.28	86.34%	875.051	338.011	39.91
108	taman-gapura-30	1967.23	0.1967	48.5	5.36	85.64%	1463.081	441.116	63.03
109	taman-gapura-31	2457.75	0.2458	97	4.51	84.25%	1556.006	748.117	153.63
110	taman-gapura-32	723.75	0.0724	32.7	3.28	61.29%	261.45	221.388	240.91
111	taman-gapura-33	689.11	0.0689	32.9	5.21	79.47%	501.805	121.074	66.23
112	taman-gapura-34	833.75	0.0834	38.6	1.62	80.25%	637.411	127.265	69.08
113	taman-gapura-35	767.84	0.0768	37.8	1.75	80.53%	584.522	121.478	61.84
114	taman-gapura-36	1278.31	0.1278	45.8	4.1	81.36%	983.945	203.682	90.68

Inlet No	Inlet/Area Name	Area (m ²)	Area (ha)	width (m)	Slope (%)	Impervious (%)	Land Use (m ²)		
							Residential	Roads	Open Field
115	taman-gapura-37	2157.71	0.2158	42.6	1.48	51.47%	818.579	414.763	924.37
116	puri-widya-1	3941.15	0.3941	93	4.28	83.97%	2789.361	938.462	213.32
117	puri-widya-2	6263.18	0.6263	146	1.27	64.24%	2921.526	1539.923	1801.73
118	puri-widya-3	3178.86	0.3179	70	2.85	68.63%	1606.275	816.408	756.18
119	puri-widya-4	2525.15	0.2525	63	3.24	45.18%	422.557	781.726	1320.87
120	puri-widya-5	4320.85	0.4321	142	5.02	69.83%	1410.357	1818.297	1092.20
121	telaga-golf-1	2279.49	0.2279	68	7.99	84.63%	1270.575	849.216	159.70
122	telaga-golf-2	1903.78	0.1904	51	8.35	69.67%	847.703	605.805	450.28
123	telaga-golf-3	976.75	0.0977	35.4	6.8	58.84%	268.919	346.149	361.68
124	telaga-golf-4	947.95	0.0948	33.2	2.83	85.54%	632.103	273.547	42.30
125	telaga-golf-5	1061.06	0.1061	36	6.13	70.02%	512.59	307.288	241.19
126	telaga-golf-6	3728.59	0.3729	98	3.29	58.16%	1700.689	723.13	1304.77
127	telaga-golf-7	946.23	0.0946	32.4	3.43	31.01%	0	293.394	652.83
128	telaga-golf-8	949.32	0.0949	37.5	3.34	66.70%	400.881	292.439	256.00
129	telaga-golf-9	14659.28	1.4659	189	4.09	11.04%	1131.716	656.568	12871.00
130	telaga-golf-10	1332.58	0.1333	47.4	7.51	51.62%	219.757	501.045	611.77
131	telaga-golf-11	19450.37	1.9450	181	3.73	49.02%	10439.843	660.999	8349.53
132	telaga-golf-12	2060.93	0.2061	71	2.39	50.61%	505.073	613.741	942.12
133	telaga-golf-13	1154.33	0.1154	48.3	2.62	33.89%	0	391.219	763.11
134	telaga-golf-14	4299.13	0.4299	80	8.66	72.32%	2372.714	1092.165	834.25
135	telaga-golf-15	1178.87	0.1179	54	4.34	42.71%	0	503.527	675.34
136	telaga-golf-16	2320.00	0.2320	56	4.56	66.17%	1034.414	655.883	629.70
137	telaga-golf-17	1153.14	0.1153	43	2.34	79.49%	605.443	401.975	145.72
138	telaga-golf-18	1178.31	0.1178	31.9	6.02	66.81%	666.224	220.936	291.15

Inlet No	Inlet/Area Name	Area (m ²)	Area (ha)	width (m)	Slope (%)	Impervious (%)	Land Use (m ²)		
							Residential	Roads	Open Field
139	telaga-golf-19	676.75	0.0677	28.1	1.38	36.45%	55.263	199.679	421.81
140	telaga-golf-20	2449.33	0.2449	64	4.05	21.67%	89.272	454.802	1905.26
141	telaga-golf-21	2775.38	0.2775	69	0.34	58.30%	870.741	877.951	1026.69
142	telaga-golf-22	3062.44	0.3062	68	2.88	47.48%	1056.663	555.868	1449.91
143	telaga-golf-23	1204.28	0.1204	40	1.11	37.31%	137.979	332.064	734.24
144	palm-hill-1	1202.30	0.1202	63	7.22	49.93%	589.385	99.326	513.59
145	palm-hill-2	1445.54	0.1446	63	2.52	53.07%	778.947	105.066	561.52
146	palm-hill-3	863.01	0.0863	46.3	0.68	44.75%	335.95	100.615	426.45
147	palm-hill-4	1124.57	0.1125	48	1.15	50.76%	522.37	126.874	475.33
148	palm-hill-5	885.33	0.0885	43.6	1.34	47.24%	275.559	184.046	425.72
149	palm-hill-6	1186.83	0.1187	47.5	2.23	55.79%	628.179	128.201	430.45
150	palm-hill-7	758.76	0.0759	40.5	1.68	12.03%	0	91.283	667.48
151	palm-hill-8	1093.24	0.1093	45.4	4.6	36.61%	345.202	106.774	641.26
152	palm-hill-9	1006.47	0.1006	39.4	0.38	62.01%	626.863	91.23	288.37
153	palm-hill-10	1470.57	0.1471	43.5	1.85	71.57%	1125.462	95.812	249.29
154	citra-laka-1	2874.42	0.2874	98	1.65	87.50%	2395.37	479.049	0.00
155	citra-laka-2	1406.20	0.1406	49.5	1.86	86.71%	1245.53	160.667	0.00
156	citra-laka-3	1296.15	0.1296	32.8	4.77	87.35%	1093.464	202.686	0.00
157	citra-laka-4	1024.87	0.1025	32.6	4.66	87.92%	825.086	199.78	0.00
158	sekolah-ciputra-2	1278.32	0.1278	44.6	2.74	65.70%	880.193	91.709	306.42
159	sekolah-ciputra-4	2996.53	0.2997	97	9.89	56.78%	1277.501	615.702	1103.33
160	sekolah-ciputra-6	3161.93	0.3162	95	4.98	78.52%	2154.065	651.684	356.18
161	sekolah-ciputra-7	2448.52	0.2449	82	3.25	85.81%	1757.076	607.507	83.94
162	sekolah-ciputra-8	3315.46	0.3315	50	8	76.95%	2316.308	582.247	416.90

Inlet No	Inlet/Area Name	Area (m ²)	Area (ha)	width (m)	Slope (%)	Impervious (%)	Land Use (m ²)		
							Residential	Roads	Open Field
163	sekolah-ciputra-9	3036.46	0.3036	56	3.12	69.08%	1771.845	591.494	673.12
164	sekolah-ciputra-10	2210.65	0.2211	62	0.6	58.02%	872.902	540.639	797.11
165	sekolah-ciputra-11	1518.17	0.1518	63	2.22	88.36%	1127.436	383.16	7.58
166	sekolah-ciputra-12	459.25	0.0459	78	6.41	76.68%	165.772	211.241	82.23
167	sekolah-ciputra-13	2696.44	0.2696	71	8.1	78.39%	2120.595	311.332	264.51
168	sekolah-ciputra-14	1233.21	0.1233	38.9	10.63	89.06%	899.353	333.856	0.00
169	sekolah-ciputra-15	7778.06	0.7778	110	6.42	79.53%	6091.115	1008.485	678.46
170	sekolah-ciputra-16	1929.24	0.1929	73	2.15	89.23%	1385.433	543.81	0.00
171	sekolah-ciputra-17	1308.26	0.1308	45.6	1.98	74.12%	726.439	352.263	229.56
172	puri-widya-6	733.19	0.0733	34.5	7.15	89.39%	518.698	214.493	0.00
173	puri-widya-7	1905.78	0.1906	69	4.81	81.22%	1355.904	395.281	154.59
174	puri-widya-8	1116.95	0.1117	38.2	0.94	38.30%	343.964	135.465	637.52
175	puri-widya-9	2047.50	0.2048	48.7	4.6	84.21%	1670.148	304.554	72.80
176	puri-widya-10	1113.54	0.1114	39.8	0.47	73.20%	812.158	124.792	176.59
177	puri-widya-11	1173.91	0.1174	39.1	9	70.02%	848.566	100.637	224.70
178	puri-widya-12	621.81	0.0622	34.4	4.66	41.57%	196.688	91.301	333.82
179	puri-widya-13	921.46	0.0921	48.5	15.26	59.68%	498.922	125.824	296.71
180	puri-widya-14	1039.59	0.1040	46.4	0.85	74.88%	744.393	145.676	149.52
181	puri-widya-15	851.02	0.0851	45.2	5.01	67.34%	512.04	137.845	201.13
182	puri-widya-16	1335.99	0.1336	36.2	7.33	85.03%	1260.205	64.826	10.96
183	puri-widya-17	1168.14	0.1168	33.2	5.42	71.77%	605.743	323.534	238.87
184	puri-widya-18	1383.51	0.1384	52	9.55	56.42%	813.759	88.901	480.85
185	puri-widya-19	933.75	0.0934	49.1	3.77	81.36%	494.034	339.779	99.94
186	puri-widya-20	1364.22	0.1364	37.7	6.76	88.28%	1065.632	298.586	0.00

Inlet No	Inlet/Area Name	Area (m ²)	Area (ha)	width (m)	Slope (%)	Impervious (%)	Land Use (m ²)		
							Residential	Roads	Open Field
187	puri-widya-21	1373.48	0.1373	75	2.95	66.33%	791.991	237.827	343.66
188	puri-widya-22	1796.29	0.1796	88	1.1	76.80%	1101.334	443.491	251.47
189	puri-widya-23	1514.78	0.1515	83	0.64	67.75%	1078.135	109.818	326.83
190	puri-widya-24	1305.70	0.1306	71	0.86	73.99%	565.329	485.552	254.81
191	puri-widya-25	1273.45	0.1273	58	0.84	63.12%	708.825	201.3	363.32
192	puri-widya-26	983.63	0.0984	42.6	5.24	88.38%	761.595	221.935	0.10
193	puri-widya-27	1941.93	0.1942	85	1.37	68.64%	1325.383	206.353	410.20
194	puri-widya-28	1247.05	0.1247	41.3	11.05	77.66%	943.776	166.244	137.03
195	puri-widya-29	2561.61	0.2562	71	7.21	48.52%	1026.777	370.043	1164.79
196	puri-widya-30	1881.20	0.1881	78	4.2	64.14%	1221.052	168.734	491.42
197	puri-widya-31	1697.14	0.1697	58	7.29	52.00%	728.649	263.132	705.36
198	puri-widya-32	890.10	0.0890	45.8	9.79	60.12%	467.752	137.584	284.77
199	puri-widya-33	133.51	0.0134	10.73	8.26	27.69%	0	36.969	96.54
200	puri-widya-34	757.97	0.0758	33.3	4.1	73.96%	562.552	82.398	113.02
201	puri-widya-35	905.86	0.0906	42.6	6.46	79.99%	729.971	104.087	71.80
202	puri-widya-36	927.14	0.0927	40.4	4.02	87.62%	765.115	162.023	0.00
203	puri-widya-37	1275.17	0.1275	52	1.2	80.73%	988.042	189.59	97.54
204	puri-widya-38	1152.36	0.1152	31.1	7.1	20.95%	0	241.364	911.00
205	puri-widya-39	845.72	0.0846	35.2	4	41.81%	214.957	170.843	459.92
206	puri-widya-40	745.05	0.0745	38	3.6	26.48%	0	197.267	547.78
207	puri-widya-41	907.68	0.0908	38.2	3.29	29.62%	0	268.87	638.81
208	puri-widya-42	1634.33	0.1634	51	5.15	20.69%	0	338.068	1296.27
209	puri-widya-43	744.76	0.0745	35	0.56	59.05%	308.511	177.547	258.70
210	puri-widya-44	1943.03	0.1943	51	5.21	86.51%	1737.333	204.221	1.48

Inlet No	Inlet/Area Name	Area (m ²)	Area (ha)	width (m)	Slope (%)	Impervious (%)	Land Use (m ²)		
							Residential	Roads	Open Field
211	puri-widya-45	1133.91	0.1134	47.9	4.86	88.83%	844.404	289.507	0.00
212	puri-widya-46	794.70	0.0795	34.8	0.83	83.17%	522.418	216.875	55.41
213	puri-widya-47	492.51	0.0493	28.8	4.21	85.33%	374.062	102.33	16.12
214	puri-widya-48	1130.37	0.1130	41.2	0.58	9.08%	0	102.673	1027.70
215	puri-widya-49	522.28	0.0522	29.9	0.7	86.75%	405.607	108.297	8.37
216	puri-widya-50	451.98	0.0452	25.6	2.11	87.66%	293.141	147.01	11.83
217	puri-widya-51	1008.44	0.1008	37.1	2.52	13.16%	0	132.709	875.73
218	puri-widya-52	1330.03	0.1330	44.4	0.53	58.81%	526.547	334.632	468.85
219	puri-widya-53	1883.94	0.1884	49.4	8.14	41.06%	752.829	133.621	997.49
220	puri-widya-54	402.35	0.0402	26.1	2.8	73.66%	237.827	94.222	70.30
221	puri-widya-55	1115.03	0.1115	41.1	1.64	77.91%	809.943	180.231	124.86
222	puri-widya-56	875.65	0.0876	49.1	6.35	7.51%	0	65.791	809.86
223	puri-widya-57	679.21	0.0679	31.7	5.84	69.53%	401.83	130.707	146.67
224	puri-widya-58	718.40	0.0718	39.3	4.17	68.59%	452.318	108.302	157.78
225	puri-widya-59	1370.65	0.1371	44.9	8.26	20.03%	0	274.508	1096.15
226	puri-widya-60	792.09	0.0792	28	5.75	12.28%	0	97.306	694.79
227	puri-widya-61	2067.73	0.2068	54	8.27	17.11%	0	353.882	1713.85
228	puri-widya-62	1503.45	0.1503	38.1	7.77	77.37%	893.201	404.031	206.21
229	puri-widya-63	867.15	0.0867	38	0.92	85.60%	614.938	219.563	32.65
230	puri-widya-64	895.65	0.0896	38.9	2.69	88.64%	678.596	217.056	0.00
231	puri-widya-65	2020.39	0.2020	75	6.64	88.31%	1574.275	446.115	0.00
232	puri-widya-66	775.72	0.0776	40	3.38	87.61%	640.568	135.152	0.00
233	puri-widya-67	790.46	0.0790	40.9	5.08	87.29%	669.669	120.792	0.00
234	puri-widya-68	2216.53	0.2217	49.3	2.2	50.94%	1092.763	200.275	923.49

Inlet No	Inlet/Area Name	Area (m ²)	Area (ha)	width (m)	Slope (%)	Impervious (%)	Land Use (m ²)		
							Residential	Roads	Open Field
235	puri-widya-69	861.42	0.0861	41.5	5.24	48.20%	312.457	149.66	399.31
236	puri-widya-70	964.77	0.0965	43.3	1.36	84.58%	763.061	167.381	34.33
237	puri-widya-71	959.91	0.0960	43.6	3.44	87.98%	543.25	382.779	33.88
238	puri-widya-72	841.20	0.0841	42	2.26	87.48%	702.139	139.059	0.00
239	puri-widya-73	880.67	0.0881	41.6	9.1	88.17%	694.403	186.27	0.00
240	puri-widya-74	615.38	0.0615	32.3	0.9	89.47%	432.178	183.199	0.00
241	puri-widya-75	746.81	0.0747	42.9	2.75	88.29%	583.183	163.627	0.00
242	puri-widya-76	1043.38	0.1043	40.1	1.38	76.18%	568.265	311.824	163.30
243	puri-widya-77	749.68	0.0750	43.7	2.94	76.79%	525.857	128.703	95.12
244	puri-widya-78	1108.81	0.1109	36.7	2.9	73.89%	797.331	141.597	169.89
245	puri-widya-79	930.11	0.0930	45.1	2.23	83.87%	819.678	83.338	27.09
246	puri-widya-80	1182.01	0.1182	52	2.52	72.66%	480.213	450.682	251.12
247	puri-widya-81	1310.81	0.1311	38.6	1.55	86.95%	1140.815	169.994	0.00
248	puri-widya-82	1172.32	0.1172	36.2	5.83	88.97%	862.34	309.982	0.00
249	puri-widya-83	935.25	0.0935	48.1	0.13	81.29%	601.519	248.984	84.75
250	puri-widya-84	856.77	0.0857	48	0.21	76.64%	548.766	190.201	117.80
251	puri-widya-85	1603.05	0.1603	61	4.27	80.39%	1207.89	261.971	133.19
252	puri-widya-86	1638.36	0.1638	64	3.82	73.40%	1161.022	215.618	261.72
253	puri-widya-87	718.48	0.0718	34.6	9.26	79.61%	589.292	71.11	58.08
254	puri-widya-88	524.42	0.0524	28.9	10.23	75.20%	380.09	71.288	73.05
255	puri-widya-89	755.30	0.0755	36.6	4.23	78.72%	609.505	76.527	69.27
256	puri-widya-90	548.16	0.0548	29.6	4.79	67.11%	342.505	76.752	128.90
257	puri-widya-91	1077.01	0.1077	46.5	5.53	66.04%	659.812	150.398	266.80
258	puri-widya-92	1208.73	0.1209	44	5.92	60.76%	698.093	141.068	369.57

Inlet No	Inlet/Area Name	Area (m2)	Area (ha)	width (m)	Slope (%)	Impervious (%)	Land Use (m ²)		
							Residential	Roads	Open Field
259	puri-widya-93	1268.71	0.1269	49.5	5.86	39.63%	405.97	157.672	705.07
260	telaga-golf-24	2723.21	0.2723	63	1.82	51.34%	1382.967	222.508	1117.73
261	telaga-golf-25	618.47	0.0618	29.2	6.3	55.88%	331.009	64.244	223.22
262	telaga-golf-26	745.42	0.0745	26.9	4	35.89%	55.502	220.344	469.58
263	telaga-golf-27	977.98	0.0978	36.9	4.41	31.33%	153.423	176.026	648.54
264	sekolah-ciputra-5	4750.65	0.4751	118	12.16	73.14%	3034.652	895.387	820.61
265	sekolah-ciputra-1	977.01	0.0977	35.9	2.82	0.00%	0	0	977.01

2. Tabel Hasil Simulasi Kondisi Eksisting

No	Node	Periode Ulang 2 tahun			Periode Ulang 5 tahun			Periode Ulang 10 tahun		
		Banjir (jam)	Jam Puncak Banjir	Volume Banjir (m ³)	Banjir (jam)	Jam Puncak Banjir	Volume Banjir (m ³)	Banjir (jam)	Jam Puncak Banjir	Volume Banjir (m ³)
1	gtimur-10							0.01	08:06	0
2	gtimur-12	0.01	07:09	2	0.01	08:07	3	0.01	08:08	4
3	gtimur-14	0.01	07:13	0	0.01	07:10	0	0.01	07:09	0
4	gtimur-15	0.85	07:54	1502	0.92	07:39	2651	0.95	07:53	3128
5	gtimur-16	0.01	07:11	0	0.01	07:09	2	0.01	07:09	6
6	gtimur-3	0.05	07:51	27	0.02	07:15	9	0.02	07:08	6
7	gtimur-8							0.01	07:14	0
8	gtimur-9							0.01	07:13	0
9	intern-7	0.01	07:11	0	0.01	07:09	0	0.01	07:08	0
10	masjid-10	0.61	07:58	27	0.83	08:00	127	0.89	07:59	209
11	masjid-4				0.01	07:13	0	0.01	07:10	0
12	masjid-6	0.02	07:22	0	0.05	07:08	0	0.1	07:10	0
13	masjid-7	0.01	07:13	0	0.01	07:09	0	0.01	07:08	0
14	masjid-8	0.73	07:59	96	0.85	08:00	172	0.89	08:00	211
15	masjid-9	0.72	08:00	54	0.85	08:00	105	0.9	08:00	139
16	puri-24	0.44	07:32	16	0.7	07:21	161	0.74	07:20	264
17	puri-25	0.01	07:12	0	0.01	07:09	0	0.01	07:09	0
18	puri-32	0.13	07:35	0	0.68	08:52	60	0.72	07:56	137
19	puri-33	0.89	07:33	2212	0.96	07:35	3071	0.98	08:00	3520
20	sekolah-13							0.01	07:13	0
21	sekolah-4							0.01	07:13	0
22	sekolah-5							0.01	07:13	0
23	sekolah-8	0.01	07:06	1	0.01	07:06	2	0.01	07:05	2
24	taman-gapura-1	0.01	07:13	0	0.01	07:09	0	0.01	07:08	0
25	taman-gapura-18							0.01	08:03	1
26	taman-gapura-29	0.01	07:08	0	0.01	07:07	1	0.01	07:07	1
27	taman-gapura-3	0.01	07:13	0	0.01	07:09	0	0.01	07:08	0
28	taman-gapura-30	0.01	07:08	0	0.01	07:07	0	0.01	07:07	1
29	taman-gapura-31	0.92	07:53	995	0.97	07:52	1605	0.98	07:48	2069
30	taman-gapura-32	0.82	07:53	319	0.91	07:59	639	0.97	07:53	865
31	taman-gapura-33	0.17	07:06	2	0.02	07:06	1	0.84	07:54	301
32	taman-gapura-34	0.01	07:07	1	0.01	07:07	1	0.04	07:06	2
33	taman-gapura-35	0.01	07:08	2	0.02	07:07	2	0.02	07:07	2
34	taman-gapura-36	0.01	07:09	0	0.01	07:08	1	0.01	07:08	2
35	taman-gapura-5				0.01	07:09	0	0.01	07:08	0
36	taman-gapura-6							0.01	07:06	0
37	taman-gapura-7				0.01	07:08	0	0.01	07:07	0
38	taman-gapura-8							0.01	07:05	0
	Jumlah			5256			8613			10870

3. Tabel Hasil Simulasi Skenario 1 Lokasi 1

No	Node	Periode Ulang 2 tahun		Periode Ulang 5 tahun		Periode Ulang 10 tahun	
		Existing	Skenario 1 Lokasi 1	Existing	Skenario 1 Lokasi 1	Existing	Skenario 1 Lokasi 1
		Volume Banjir (m ³)	Volume Banjir (m ³)	Volume Banjir (m ³)	Volume Banjir (m ³)	Volume Banjir (m ³)	Volume Banjir (m ³)
1	gtimur-10					0	1
2	gtimur-12	2	3	3	4	4	6
3	gtimur-14	0	0	0	0	0	1
4	gtimur-15	1502	1271	2651	2548	3128	3085
5	gtimur-16	0	1	2	2	6	7
6	gtimur-3	27	13	9	22	6	5
7	gtimur-8					0	0
8	gtimur-9					0	0
9	intern-7	0	0	0	0	0	0
10	masjid-10	27	0	127	0	209	29
11	masjid-4			0	0	0	0
12	masjid-6	0	0	0	0	0	0
13	masjid-7	0	0	0	0	0	0
14	masjid-8	96	0	172	0	211	26
15	masjid-9	54	0	105	0	139	18
16	puri-24	16	16	161	161	264	264
17	puri-25	0	0	0	0	0	0
18	puri-32	0	0	60	60	137	137
19	puri-33	2212	2208	3071	3077	3520	3513
20	sekolah-13					0	0
21	sekolah-4					0	0
22	sekolah-5					0	0
23	sekolah-8	1	1	2	2	2	2
24	taman-gapura-1	0	0	0	0	0	0
25	taman-gapura-18					1	0
26	taman-gapura-29	0	0	1	0	1	1
27	taman-gapura-3	0	0	0	0	0	0
28	taman-gapura-30	0	0	0	0	1	1
29	taman-gapura-31	995	959	1605	1520	2069	2013
30	taman-gapura-32	319	290	639	582	865	829
31	taman-gapura-33	2	3	1	1	301	252
32	taman-gapura-34	1	1	1	2	2	2
33	taman-gapura-35	2	1	2	3	2	3
34	taman-gapura-36	0	1	1	1	2	1
35	taman-gapura-5			0	0	0	0
36	taman-gapura-6					0	0
37	taman-gapura-7			0	0	0	0
38	taman-gapura-8					0	0
	Jumlah	5256	4768	8613	7985	10870	10196
			9.28%		7.29%		6.20%

4. Tabel Hasil Simulasi Skenario 1 Lokasi 2

No	Node	Periode Ulang 2 tahun		Periode Ulang 5 tahun		Periode Ulang 10 tahun	
		Existing	Skenario 1 Lokasi 2	Existing	Skenario 1 Lokasi 2	Existing	Skenario 1 Lokasi 2
		Volume Banjir (m ³)	Volume Banjir (m ³)	Volume Banjir (m ³)	Volume Banjir (m ³)	Volume Banjir (m ³)	Volume Banjir (m ³)
1	gtimur-10					0	
2	gtimur-12	2	29	3	5	4	5
3	gtimur-14	0	0	0	0	0	0
4	gtimur-15	1502	626	2651	1492	3128	2135
5	gtimur-16	0	0	2	1	6	4
6	gtimur-3	27	27	9	7	6	5
7	gtimur-8					0	
8	gtimur-9					0	
9	intern-7	0		0	0	0	0
10	masjid-10	27	27	127	127	209	209
11	masjid-4			0	0	0	0
12	masjid-6	0	0	0	0	0	0
13	masjid-7	0	0	0	0	0	0
14	masjid-8	96	95	172	171	211	210
15	masjid-9	54	54	105	104	139	139
16	puri-24	16	16	161	160	264	263
17	puri-25	0	0	0	0	0	0
18	puri-32	0	0	60	59	137	137
19	puri-33	2212	2148	3071	3037	3520	3503
20	sekolah-13					0	0
21	sekolah-4					0	0
22	sekolah-5					0	0
23	sekolah-8	1	1	2	2	2	2
24	taman-gapura-1	0	0	0	0	0	0
25	taman-gapura-18					1	
26	taman-gapura-29	0	0	1	0	1	0
27	taman-gapura-3	0	0	0	0	0	0
28	taman-gapura-30	0	0	0	0	1	0
29	taman-gapura-31	995	407	1605	1081	2069	1392
30	taman-gapura-32	319	4	639	137	865	360
31	taman-gapura-33	2	1	1	1	301	1
32	taman-gapura-34	1	0	1	1	2	2
33	taman-gapura-35	2	1	2	2	2	2
34	taman-gapura-36	0	1	1	1	2	1
35	taman-gapura-5			0	0	0	0
36	taman-gapura-6					0	
37	taman-gapura-7			0	0	0	0
38	taman-gapura-8					0	0
	Jumlah	5256	3437	8613	6388	10870	8370
			34.61%		25.83%		23.00%

5. Tabel Hasil Simulasi Skenario 1 Lokasi 3

No	Node	Periode Ulang 2 tahun		Periode Ulang 5 tahun		Periode Ulang 10 tahun	
		Existing	Skenario 1 Lokasi 3	Existing	Skenario 1 Lokasi 3	Existing	Skenario 1 Lokasi 3
		Volume Banjir (m ³)	Volume Banjir (m ³)	Volume Banjir (m ³)	Volume Banjir (m ³)	Volume Banjir (m ³)	Volume Banjir (m ³)
1	gtimur-10					0	0
2	gtimur-12	2	6	3	3	4	3
3	gtimur-14	0	0	0	0	0	0
4	gtimur-15	1502	1452	2651	2511	3128	2982
5	gtimur-16	0	0	2	2	6	5
6	gtimur-3	27	31	9	10	6	7
7	gtimur-8					0	0
8	gtimur-9					0	0
9	intern-7	0	0	0	0	0	0
10	masjid-10	27	27	127	127	209	209
11	masjid-4			0	0	0	0
12	masjid-6	0	0	0	0	0	0
13	masjid-7	0	0	0	0	0	0
14	masjid-8	96	95	172	171	211	210
15	masjid-9	54	54	105	104	139	139
16	puri-24	16	16	161	158	264	260
17	puri-25	0	0	0	0	0	0
18	puri-32	0	0	60	58	137	136
19	puri-33	2212	1416	3071	2493	3520	2988
20	sekolah-13					0	0
21	sekolah-4					0	0
22	sekolah-5					0	0
23	sekolah-8	1	1	2	2	2	2
24	taman-gapura-1	0	0	0	0	0	0
25	taman-gapura-18		0			1	
26	taman-gapura-29	0	0	1	0	1	1
27	taman-gapura-3	0	0	0	0	0	0
28	taman-gapura-30	0	0	0	0	1	1
29	taman-gapura-31	995	1001	1605	1610	2069	2064
30	taman-gapura-32	319	312	639	644	865	861
31	taman-gapura-33	2	1	1	1	301	301
32	taman-gapura-34	1	1	1	2	2	2
33	taman-gapura-35	2	2	2	2	2	3
34	taman-gapura-36	0	0	1	1	2	1
35	taman-gapura-5			0	0	0	0
36	taman-gapura-6					0	0
37	taman-gapura-7			0	0	0	0
38	taman-gapura-8					0	0
	Jumlah	5256	4415	8613	7899	10870	10175
			16.00%		8.29%		6.39%

6. Tabel Hasil Simulasi Skenario 2

No	Node	Periode Ulang 2 tahun		Periode Ulang 5 tahun		Periode Ulang 10 tahun	
		Existing	Skenario 2	Existing	Skenario 2	Existing	Skenario 2
		Volume Banjir (m ³)	Volume Banjir (m ³)	Volume Banjir (m ³)	Volume Banjir (m ³)	Volume Banjir (m ³)	Volume Banjir (m ³)
1	gtimur-10					0	0
2	gtimur-12	2	4	3	4	4	6
3	gtimur-14	0	0	0	0	0	0
4	gtimur-15	1502	1217	2651	2416	3128	2942
5	gtimur-16	0	1	2	2	6	5
6	gtimur-3	27	10	9	9	6	5
7	gtimur-8					0	0
8	gtimur-9					0	0
9	intern-7	0	0	0	0	0	0
10	masjid-10	27	0	127	0	209	29
11	masjid-4			0	0	0	0
12	masjid-6	0	0	0	0	0	0
13	masjid-7	0	0	0	0	0	0
14	masjid-8	96	0	172	0	211	26
15	masjid-9	54	0	105	0	139	18
16	puri-24	16	16	161	158	264	260
17	puri-25	0	0	0	0	0	0
18	puri-32	0	0	60	58	137	136
19	puri-33	2212	1412	3071	2489	3520	2983
20	sekolah-13					0	0
21	sekolah-4					0	0
22	sekolah-5					0	0
23	sekolah-8	1	1	2	2	2	2
24	taman-gapura-1	0	0	0	0	0	0
25	taman-gapura-18					1	0
26	taman-gapura-29	0	0	1	1	1	1
27	taman-gapura-3	0	0	0	0	0	0
28	taman-gapura-30	0	0	0	0	1	1
29	taman-gapura-31	995	949	1605	1526	2069	2009
30	taman-gapura-32	319	289	639	581	865	825
31	taman-gapura-33	2	2	1	1	301	246
32	taman-gapura-34	1	1	1	1	2	2
33	taman-gapura-35	2	1	2	2	2	4
34	taman-gapura-36	0	0	1	1	2	1
35	taman-gapura-5			0	0	0	0
36	taman-gapura-6					0	0
37	taman-gapura-7			0	0	0	0
38	taman-gapura-8					0	0
	Jumlah	5256	3903	8613	7251	10870	9501
			25.74%		15.81%		12.59%

7. Tabel Hasil Simulasi Skenario 3

No	Node	Periode Ulang 2 tahun		Periode Ulang 5 tahun		Periode Ulang 10 tahun	
		Existing	Skenario 3	Existing	Skenario 3	Existing	Skenario 3
		Volume Banjir (m ³)	Volume Banjir (m ³)	Volume Banjir (m ³)	Volume Banjir (m ³)	Volume Banjir (m ³)	Volume Banjir (m ³)
1	gtimur-10					0	7
2	gtimur-12	2	35	3	5	4	9
3	gtimur-14	0	0	0	0	0	0
4	gtimur-15	1502	537	2651	1366	3128	1950
5	gtimur-16	0	0	2	1	6	2
6	gtimur-3	27	26	9	9	6	6
7	gtimur-8					0	0
8	gtimur-9					0	0
9	intern-7	0	0	0	0	0	0
10	masjid-10	27	27	127	127	209	209
11	masjid-4			0	0	0	0
12	masjid-6	0	0	0	0	0	0
13	masjid-7	0	0	0	0	0	0
14	masjid-8	96	95	172	171	211	210
15	masjid-9	54	54	105	104	139	139
16	puri-24	16	15	161	157	264	259
17	puri-25	0	0	0	0	0	0
18	puri-32	0	0	60	58	137	135
19	puri-33	2212	1374	3071	2456	3520	2964
20	sekolah-13					0	0
21	sekolah-4					0	0
22	sekolah-5					0	0
23	sekolah-8	1	1	2	2	2	2
24	taman-gapura-1	0	0	0	0	0	0
25	taman-gapura-18					1	0
26	taman-gapura-29	0	0	1	0	1	0
27	taman-gapura-3	0	0	0	0	0	0
28	taman-gapura-30	0	0	0	0	1	0
29	taman-gapura-31	995	466	1605	1084	2069	1408
30	taman-gapura-32	319	4	639	137	865	380
31	taman-gapura-33	2	1	1	1	301	3
32	taman-gapura-34	1	0	1	1	2	1
33	taman-gapura-35	2	1	2	1	2	2
34	taman-gapura-36	0	1	1	1	2	1
35	taman-gapura-5			0	0	0	0
36	taman-gapura-6					0	0
37	taman-gapura-7			0	0	0	0
38	taman-gapura-8					0	0
	Jumlah	5256	2637	8613	5681	10870	7687
			49.83%		34.04%		29.28%

8. Tabel Hasil Simulasi Skenario 4

No	Node	Periode Ulang 2 tahun		Periode Ulang 5 tahun		Periode Ulang 10 tahun	
		Existing	Skenario 4	Existing	Skenario 4	Existing	Skenario 4
		Volume Banjir (m ³)	Volume Banjir (m ³)	Volume Banjir (m ³)	Volume Banjir (m ³)	Volume Banjir (m ³)	Volume Banjir (m ³)
1	gtimur-10					0	
2	gtimur-12	2	27	3	4	4	4
3	gtimur-14	0	0	0	0	0	0
4	gtimur-15	1502	424	2651	1334	3128	1944
5	gtimur-16	0	0	2	1	6	3
6	gtimur-3	27	12	9	17	6	5
7	gtimur-8					0	0
8	gtimur-9					0	0
9	intern-7	0	0	0	0	0	0
10	masjid-10	27	0	127		209	29
11	masjid-4			0	0	0	0
12	masjid-6	0	0	0	0	0	0
13	masjid-7	0	0	0	0	0	0
14	masjid-8	96	0	172	0	211	26
15	masjid-9	54	0	105	0	139	18
16	puri-24	16	15	161	157	264	259
17	puri-25	0	0	0	0	0	0
18	puri-32	0	0	60	58	137	135
19	puri-33	2212	1359	3071	2454	3520	2964
20	sekolah-13		1			0	0
21	sekolah-4					0	0
22	sekolah-5					0	0
23	sekolah-8	1	0	2	2	2	2
24	taman-gapura-1	0	0	0	0	0	0
25	taman-gapura-18					1	0
26	taman-gapura-29	0	0	1	0	1	0
27	taman-gapura-3	0	0	0	0	0	0
28	taman-gapura-30	0	0	0	0	1	1
29	taman-gapura-31	995	371	1605	1039	2069	1353
30	taman-gapura-32	319	4	639	47	865	312
31	taman-gapura-33	2	1	1	1	301	2
32	taman-gapura-34	1	1	1	1	2	1
33	taman-gapura-35	2	1	2	1	2	2
34	taman-gapura-36	0	1	1	1	2	1
35	taman-gapura-5			0	0	0	0
36	taman-gapura-6					0	0
37	taman-gapura-7			0	0	0	0
38	taman-gapura-8					0	0
	Jumlah	5256	2217	8613	5117	10870	7061
			57.82%		40.59%		35.04%

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Malang, 27 Juni 1984, merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal SD, SMP, dan SMU di Malang.

Penulis menamatkan pendidikan S1 pada program studi Teknik Informatika di Sekolah Tinggi Teknologi TELKOM (Sekarang TELKOM University) Bandung pada tahun 2009.

Penulis mulai bekerja sebagai Pegawai Negeri Sipil (PNS) pada Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) terhitung masa kerja sejak 2009 pada Direktorat Jenderal Cipta Karya hingga saat ini. Pada 2018 penulis mendapatkan kesempatan untuk melanjutkan pendidikan Strata 2 (S2) melalui jalur beasiswa yang diselenggarakan oleh Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia (BPSDM) Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) di Institut teknologi Sepuluh Nopember bidang studi Hidroinformatika, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan dengan masa studi tahun 2018-2020. Apabila ingin berkorespondensi dengan penulis, pembaca dapat menghubungi penulis di alamat email sihdwiuntoroadi@gmail.com