

TUGAS AKHIR

PEMODELAN BANJIR DI KECAMATAN BANJARSARI, SURAKARTA, JAWA TENGAH DENGAN MENGGUNAKAN APLIKASI *EPA SWMM* 5.2 (*FLOOD MODELING IN BANJARSARI DISTRICT, SURAKARTA, CENTRAL JAVA USING THE EPA SWMM 5.2 APPLICATION*)

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**Ratna Ningtyas Wikandhani
19 511 003**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL - PROGRAM SARJANA
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2024**

TUGAS AKHIR

PEMODELAN BANJIR DI KECAMATAN BANJARSARI, SURAKARTA, JAWA TENGAH DENGAN MENGGUNAKAN APLIKASI EPA SWMM

5.2

(FLOOD MODELING IN BANJARSARI DISTRICT, SURAKARTA, JAWA TENGAH USING THE EPA SWMM 5.2 APPLICATION)

Disusun oleh

Ratna Ningtyas Wikandhani
19511003

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 29 Juli 2024

Oleh Dewan Penguji:

Pembimbing I

Dinia Anggraheni, S.T., M.Eng
NIK: 165110105

Penguji I

Pradipta Nandi Wardhana, S.T., M.Eng.
NIK: 135111102

Penguji II

Shofwatul Fadilah, S.T.P., M.Eng.
NIK: 215111308



Mengesahkan

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Ir. Yunalia Muntari, S.T., M.T., Ph.D. (Eng.), IPM.
NIK: 095110101

18/5/2024

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 17 Juli 2024
Yang membuat pernyataan,



Ratna Ningtyas w

(19511003)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warhmatullahi Wabarakatuh

Segala puji syukur saya haturkan kepada Allah SWT karena limpahan rahmat serta anugerah darinya sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“Pemodelan Banjir di Kecamatan Banjarsari, Surakarta, Jawa Tengah dengan Menggunakan Aplikasi EPA SWMM 5.2”**. Shalawat serta salam selalu kita ucapkan dan curahkan untuk junjungan kita Nabi Muhammad SAW yang sudah menyampaikan petunjuk Allah SWT kepada kita semua, yang merupakan petunjuk yang paling benar berupa agama Islam yang sempurna dan satu-satunya karunia paling besar kepada seluruh alam semesta. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini tidak lepas dari dukungan berbagai pihak, baik dukungan spiritual maupun material. Maka dalam kesempatan kali ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang tidak terhingga kepada:

1. Ibu Dinia Anggraheni, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing, terimakasih telah memberikan dorongan, motivasi, dan bimbingannya yang membantu penulis dalam penyusunan Tugas Akhir ini mulai dari judul hingga tahapan berikutnya.
2. Seluruh dosen dan pengajar Program Studi Teknik Sipil UII yang telah memberikan ilmu dan pengalamannya selama kuliah.
3. Kedua orang tua dan adik yang selalu mendo'akan serta memberikan dukungan kepada saya sehingga saya bisa menyelesaikan Tugas Akhir.
4. Pak Ridho S.T. dan Mbak Hafizah S.T. yang telah membantu saya dalam menggunakan aplikasi SWMM, karena penulis baru pertama kali menggunakan aplikasi tersebut.

5. Teman seperjuangan Tabri Budi Darmawan, Harfat Rahmayuda dan Pratisto Ganang Nugroho yang telah memberikan dukungan dan kebersamaan sejak semester 1 sampai sekarang. Semoga kita selalu diberikan keberkahan dan kesuksesan untuk kedepannya.
6. Tetangga kamar, yaitu Ate yang telah memberikan dukungan dan traktiran dikala penulis mengalami kesuntukan dalam melakukan revisi.
7. *Mood Booster* penulis, yaitu Deanki, Ade Jago dan Ko Jo dengan live streamingnya yang selalu menemani dalam menyelesaikan Tugas Akhir terimakasih sudah ada meledaggh.

Disadari bahwa Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan oleh karena itu saran dan kritik yang sifatnya membangun diharapkan demi perbaikan dan semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penyusun dan semua pihak yang membutuhkan

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Yogyakarta, 17 Juli 2024

Penulis,



Ratna Ningtyas Wikandhani

(19511003)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR GRAFIK DAN DIAGRAM	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR NOTASI	xiv
ABSTRAK	xv
<i>ABSTRACT</i>	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.1.1 Analisis Drainase dengan Menggunakan EPA SWMM	5
2.1.2 Analisis Genangan dengan Menggunakan EPA SWMM	6
2.1.3 Analisis Drainase dengan Menggunakan Hec-Ras	7
2.1.4 Analisis Genangan dengan Menggunakan Hec-Ras	8
2.2 Penelitian Sekarang	9
2.3 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu	10

BAB III LANDASAN TEORI	14
3.1 Siklus Hidrologi	14
3.2 Analisis Frekuensi dan Probabilitas	15
3.2.1 Distribusi Normal	17
3.2.2 Distribusi Log Normal	18
3.2.3 Distribusi Log Pearson III	19
3.2.4 Distribusi Gumbel	20
3.3 Uji Kecocokan Distribusi Data	22
3.3.1 Uji Chi-Kuadrat	22
3.3.2 Uji Smirnov-Kolmogorov	24
3.4 Analisis Intensitas Hujan	25
3.5 Aplikasi SWMM	26
3.5.1 Pengerjaan Menggunakan Aplikasi SWMM	27
BAB IV METODE PENELITIAN	34
4.1 Jenis Penelitian	34
4.2 Pengumpulan Data	34
4.3 Gambaran Umum Daerah Penelitian	34
4.3.1 Kondisi dan Letak Geografis	34
4.3.2 Wilayah Administrasi	36
4.3.3 Kondisi Topografi	37
4.3.4 Lokasi Penelitian	38
4.4 Waktu Penelitian	39
4.5 Langkah-langkah Penelitian	39
BAB V METODE PENELITIAN	42
5.1 Pengolahan Data Curah Hujan	42
5.2 Analisis Frekuensi	44
5.2.1 Perhitungan Dispersi	45
5.2.2 Penentuan Jenis Distribusi	46
5.2.3 Distribusi Log Pearson III	47
5.3 Uji Kecocokan Sebaran Distribusi	50
5.3.1 Uji Chi Square	50

5.3.2 Uji Smirnov Kolmogorov	53
5.4 Hujan Rancangan	55
5.5 Simulasi SWMM	57
5.5.1 Penggambaran Sistem	57
5.5.2 Input Data	60
5.6 Hasil Simulasi	72
5.7 Pembahasan	78
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	80
6.1 Kesimpulan	80
6.2 Saran	80
DAFTAR PUSTAKA	81
LAMPIRAN	83

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu	10
Tabel 3.1	Kriteria Desain Hidrologi Sistem Drainase Perkotaan	16
Tabel 3.2	Parameter Statistik	17
Tabel 3.3	Nilai Variabel Reduksi Gauss	18
Tabel 3.4	Nilai K untuk Distribusi Log Pearson III	20
Tabel 3.5	<i>Reduced Mean, Y_n</i>	21
Tabel 3.6	<i>Reduced Standard Deviation, S_n</i>	21
Tabel 3.7	<i>Reduced Variate, Y_{Tr}</i> Sebagai Fungsi Periode Ulang	22
Tabel 3.8	Titik Persentase Distribusi Chi Kuadrat	23
Tabel 3.9	Nilai Kritis D ₀ untuk Uji Smirnov-Kolmogorov	24
Tabel 3.10	Koefisien Limpasan	29
Tabel 3.11	<i>Manning Overland Flow</i>	30
Tabel 3.12	<i>Depression Storage</i>	31
Tabel 3.13	<i>Manning Open Channels</i>	32
Tabel 4.1	Rincian Kecamatan dan Kelurahan yang Terkait	36
Tabel 4.2	Drainase pada Kecamatan Banjarsari	38
Tabel 5.1	Hujan Harian Maksimum Stasiun Pabelan	43
Tabel 5.2	Perhitungan Data Hujan Normal	46
Tabel 5.3	Nilai Sebaran Hujan	47
Tabel 5.4	Perhitungan Data Hujan Log	49
Tabel 5.5	Curah Hujan Rancangan Distribusi Log Pearson III	50
Tabel 5.6	Pembagian Kelas Distribusi	52
Tabel 5.7	Chi Square untuk Distribusi Log Pearson III	52
Tabel 5.8	Smirnov Kolmogorov pada Distribusi Log Pearson III	53
Tabel 5.9	Nilai Sebaran Hujan Kala Ulang 5 Tahun	57
Tabel 5.10	Luas dari Masing-masing <i>Subcatchment</i>	61

Tabel 5.11	Nilai Panjang dan <i>Width</i> dari Masing-masing <i>Subcatchment</i>	62
Tabel 5.12	% <i>Slope</i> dari Masing-masing <i>Subcatchment</i>	64
Tabel 5.13	% <i>Impervious</i> dari Masing-masing <i>Subcatchment</i>	65
Tabel 5.14	% <i>Zero-impervious</i> dari Setiap <i>Subcatchment</i>	67
Tabel 5.15	<i>Outlet</i> dari Setiap <i>Subcatchment</i>	68
Tabel 5.16	Parameter pada Setiap <i>Junction</i>	69
Tabel 5.17	Parameter pada Setiap <i>Conduit</i>	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Siklus Hidrologi	14
Gambar 4.1	Peta Lokasi Sungai Kota Surakarta	35
Gambar 4.2	Banjir Kali Pepe Hulu Kel. Nusukan, 2015	36
Gambar 4.3	Banjir Kali Pepe Hulu Kel. Banyu Anyar, 2015	36
Gambar 4.4	Peta Administrasi Kecamatan Banjarsari	37
Gambar 4.5	Peta Topografi Kota Surakarta	38
Gambar 4.6	Peta Sub Sistem Drainase pada Kecamatan Banjarsari	39
Gambar 4.7	Skema Sub Sistem Drainase pada Kecamatan Banjarsari	39
Gambar 4.8	Bagian Alir	41
Gambar 5.1	Hasil Pembagian <i>Subcatchment</i> pada Qgis	58
Gambar 5.2	Ekspor Peta dari Qgis	59
Gambar 5.3	Penggambaran pada SWMM	59
Gambar 5.4	Pembagian <i>Subcatchment</i> pada SWMM	60
Gambar 5.5	<i>Calculate Geometry</i> pada <i>Software</i> Qgis untuk Area	61
Gambar 5.6	<i>Average Slope</i> pada <i>Software Google Earth</i> untuk % <i>Slope</i>	63
Gambar 5.7	Tata Guna Lahan Kecamatan Banjarsari	64
Gambar 5.8	Letak <i>Outfall</i> dalam Pemodelan	69
Gambar 5.9	Letak <i>Conduit</i> dalam Pemodelan	70
Gambar 5.10	Letak <i>Conduit</i> dalam Pemodelan	72
Gambar 5.11	<i>Summary Result Subcatchment Runoff</i>	73
Gambar 5.12	<i>Summary Result Link Flow</i> untuk Drainase	73
Gambar 5.13	<i>Summary Result Conduit Surcharge</i>	74
Gambar 5.14	<i>Summary Result Node Flooding</i>	74
Gambar 5.15	Profil Aliran dari <i>Node J7_Hulu - O7</i>	75
Gambar 5.16	Tampilan Hasil Menggunakan <i>Map</i>	75
Gambar 5.17	Kondisi Kritis Drainase	76

DAFTAR GRAFIK DAN DIAGRAM

Diagram 5.1	Curah Hujan Maksimum Stasiun Pabelan 2008-2022	44
Grafik 5.1	Log Pearson III dengan AProb	55
Grafik 5.2	ABM Kala Ulang 5 Tahun	56

DAFTAR LAMPRAN

Lampiran 1	Jadwal Rencana Kegiatan	84
Lampiran 2	Profil Aliran dari <i>Node</i> J2_Hulu - O2	85
Lampiran 3	Profil Aliran dari <i>Node</i> J14_Hulu - J9	85
Lampiran 4	Profil Aliran dari <i>Node</i> J11_Hulu - O12	85
Lampiran 5	Profil Aliran dari <i>Node</i> J18_Hulu - O18	86
Lampiran 6	Saluran Drainase pada Kecamatan Banjarsari	86
Lampiran 7	Saluran Drainase pada A2	87

DAFTAR NOTASI

A = *subcatchment*

C = *conduit*

E_i = jumlah nilai teoritis pada sub kelompok i

I = intensitas hujan (mm/jam)

G = jumlah sub kelompok

J = *junction*

K_T = faktor frekuensi, untuk nilai K_T

n = banyaknya hujan yang terjadi

O_i = jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok i

R_{24} = curah hujan maksimum harian (selama 24 jam) (mm)

S = standar deviasi

S_n = *reduced standard deviation* yang tergantung jumlah sampel atau data

t = lamanya hujan (jam)

χ = nilai rata-rata curah hujan

χ_h^2 = parameter chi-kuadrat terhitung

xi = curah hujan ke- i (mm)

X_T = curah hujan pada kala ulang T tahun (mm)

Y = data curah hujan logaritma

Y_n = *reduced mean* yang tergantung jumlah sampel atau data n

Y_{T_r} = *reduced variate*

Δt = durasi waktu

ABSTRAK

Berdasarkan data dari Badan Penanggulangan Bencana Daerah Kota Surakarta tahun 2022 dinyatakan bahwa terjadi banjir pada wilayah tersebut yang terdapat pada Kelurahan Kadipiro dan Kelurahan Banyuanyar. Maka dari itu dilakukan Pemodelan banjir di Kecamatan Banjarsari untuk mengetahui pengaruh hujan terhadap debit aliran pada saluran drainase serta pemodelan banjir dengan menggunakan simulasi EPA SWMM.

Curah hujan rancangan dalam penelitian ini didapatkan dengan analisis distribusi Log Pearson III dimana kala ulang yang digunakan adalah 5 tahun sesuai dengan kriteria luas DAS. Selain itu dilakukan Uji kesesuaian distribusi menggunakan *Chi Square* dan *Smirnov Kolmogorov*, sedangkan untuk menghitung intensitas hujan dilakukan dengan metode Mononobe dan ABM. Dalam melakukan analisis dibantu oleh aplikasi EPA SWMM dimana aplikasi ini dapat menghitung baik dari aspek hidrologi dan hidrolika.

Hasil dari penelitian ini diketahui bahwa terdapat beberapa drainase yang sudah tidak mampu menampung aliran air. Debit maksimum pada saluran drainase terletak pada C7_Hulu sebesar 10,021 m³/s. Selain itu dari simulasi juga diketahui bahwa daerah tersebut memang terjadi banjir, hal ini juga sudah dikonfirmasi dengan memberikan aliran maksimum atau kondisi kritis pada bagian *outfall* untuk memastikan kejadian banjir tersebut.

Kata kunci: Saluran Drainase, Banjir, SWMM.

ABSTRACT

Based on data from the Surakarta City Regional Disaster Management Agency in 2022, it was stated that there was flooding in the area in Kadipiro Village and Banyuanyar Village. Therefore, flood modeling was carried out in Banjarsari District to determine the effect of rain on flow discharge in drainage channels and flood modeling using EPA SWMM simulation.

The rainfall design in this study was obtained by analyzing the distribution of Pearson III Log where the reage used was 5 years in accordance with the watershed area criteria. In addition, a distribution suitability test was carried out using Chi Square and Smirnov Kolmogorov, while to calculate the intensity of rain was carried out using the Mononobe and ABM methods. In conducting the analysis, it is assisted by the EPA SWMM application where this application can calculate both from the hydrological and hydraulic aspects.

The results of this study are known that there are several drainages that are no longer able to accommodate water flow. The maximum discharge in the drainage channel is located at C7_Hulu of 10,021 m³/s. In addition, from the simulation, it is also known that the area is indeed flooded, this has also been confirmed by providing maximum flow or critical conditions in the outfall to ensure the flood event.

Keywords: Drainage Channel, Flood, SWMM.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Drainase memiliki fungsi penting untuk mengelola dan mengendalikan aliran permukaan khususnya pada saat musim penghujan. Jika sistem drainase itu tidak memadai dapat menyebabkan terjadinya banjir yang nantinya akan menimbulkan bermacam-macam kerugian, contohnya berupa mengganggu aktivitas sekitar, kehilangan harta benda, merusak fasilitas-fasilitas umum, bahkan sampai merenggut korban jiwa. Oleh karena itu, sistem drainase yang memadai merupakan infrastruktur kota yang wajib disediakan dan dipastikan dapat berfungsi dengan baik untuk meminimalkan terjadinya banjir.

Banjir didefinisikan sebagai fenomena alam meluapnya air dari badan air seperti sungai, danau, waduk, laut, dan saluran serta tampungan air lainnya termasuk saluran drainase yang mengakibatkan genangan di lahan sekitarnya. Banjir sendiri dapat diakibatkan oleh beberapa faktor yaitu, curah hujan yang tinggi, saluran drainase yang rusak, saluran yang tidak mampu lagi menampung aliran air hujan, dan lain-lain (Hendy, 2018). Kejadian banjir juga terjadi di sejumlah titik pada wilayah Surakarta akibat dari hujan deras yang disertai angin.

Secara geografis, Kota Surakarta merupakan wilayah dataran rendah yang berada di ± 92 m dari permukaan laut. Tanah di sekitar kota ini dapat dikatakan subur karena dikelilingi oleh Bengawan Solo, yakni sungai terpanjang di Pulau Jawa. Sungai Bengawan Solo memiliki beberapa anak sungai, hal ini didapat dalam situs resmi DPUPR Kota Surakarta bahwa Kota Surakarta memiliki 8 sub sistem sungai. Batas administrasi untuk Kota Surakarta meliputi Kelurahan Banyuanyar, Sumber, Nusukan, dan Kadipiro, yang termasuk Kecamatan Banjarsari, Kota Surakarta. Berdasarkan data dari Badan Penanggulangan Bencana Daerah Kota Surakarta tahun 2022 untuk Kelurahan Kadipiro dan Kelurahan Banyuanyar ini selalu terjadi banjir.

Hal ini terjadi karena banyaknya alih fungsi lahan, pengaspalan jalan, serta penggunaan paving yang membuat berkurangnya daerah resapan air. Maka dari itu dilakukanlah pemodelan banjir pada Kecamatan Banjarsari untuk mengetahui pengaruh hujan terhadap debit aliran pada saluran drainase dimana dalam melakukan pemodelan banjir dibantu dengan aplikasi EPA SWMM.

Dalam mempermudah pelaksanaan penelitian digunakanlah salah satu *software* yang bernama SWMM. SWMM merupakan model dinamik simulasi hujan-aliran (*rainfall-runoff*) yang digunakan untuk simulasi kuantitas maupun kualitas limpasan permukaan terutama pada daerah perkotaan. Limpasan permukaan yang dihasilkan berasal dari daerah tangkapan hujan yang menerima hujan. Beban limpasan permukaan tersebut kemudian dialirkan melalui sistem saluran pipa, saluran terbuka, dan lain sebagainya. Berikut ini beberapa alasan mengapa SWMM dipilih:

1. Gratis

Program SWMM merupakan perangkat lunak yang dikembangkan oleh pemerintah Amerika Serikat melalui *Environmental Protection Agency* (EPA). Oleh karena itu, program ini bersifat *public domain* yang berarti dapat diperoleh dan digunakan secara bebas tanpa membayar.

2. *Software* yang ringan

Ukuran file instalasi dari program SWMM terbilang cukup kecil dan dapat dijalankan dengan lancar bahkan pada komputer yang memiliki spesifikasi rendah.

3. *User friendly*

Halaman kerja dari program SWMM cukup sederhana dan terbilang mudah untuk dipahami oleh pengguna baru.

4. Kapabilitas yang lengkap

Program SWMM dapat mensimulasikan berbagai jenis aliran di saluran baik aliran saluran terbuka maupun tertutup (pipa), serta pada komponen sistem drainase lainnya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka rumusan masalah adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh hujan di saluran drainase terhadap debit aliran?
2. Bagaimana hasil pemodelan banjir dengan menggunakan aplikasi SWMM?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh hujan pada saluran drainase terhadap debit aliran.
2. Mengetahui hasil pemodelan banjir pada Kecamatan Banjarsari dengan bantuan aplikasi SWMM.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat kepada penduduk sekitar mengenai pembangunan saluran drainase, serta dapat berfungsi dengan sebagaimana mestinya demi kenyamanan bersama.
2. Mengaplikasikan ilmu yang didapat dari perkuliahan dan diterapkan secara langsung ke lapangan agar dapat memahami metode-metode pengelolaan drainase secara terpadu menggunakan aplikasi EPA SWMM 5.2.

1.5 Batasan Penelitian

Agar penelitian ini dapat berjalan dengan lancar dan sistematis maka permasalahan yang sedang diamati akan dibatasi, dengan batasan-batasan sebagai berikut:

1. Wilayah yang akan diamati dan diteliti hanya pada Kecamatan Banjarsari.
2. Data hujan yang digunakan adalah data hujan hasil dari Stasiun Hujan Pabelan selama 15 tahun terakhir yang didapat dari Balai Besar Wilayah Sungai Bengawan Solo.
3. Perangkat lunak yang digunakan untuk analisis berupa aplikasi EPA SWMM 5.2.
4. Dalam melakukan penelitian dilakukan kalibrasi dengan mengatur kondisi muka air pada badan penerima dalam kondisi penuh atau banjir.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Tinjauan pustaka digunakan untuk mendapatkan hasil penelitian yang lebih baik dan sudah pernah dilakukan sebelumnya, dimana hal ini mengacu pada penelitian-penelitian terdahulu. Penelitian terdahulu yang digunakan antara lain sebagai berikut:

2.1.1 Analisis Drainase dengan Menggunakan EPA SWMM

Zarkani (2016) melakukan penelitian di kawasan Perumahan Mutiara Witayu dengan menggunakan EPA SWMM. Dimana kawasan tersebut merupakan kawasan yang sering terjadi banjir dan genangan yang disebabkan oleh meluapnya Sungai Siak, tingginya curah hujan, dan pengaruh dari pasang air laut. Saluran drainase untuk kawasan ini juga masih berupa galian tanah dan belum disedimenisasi. Maka dari itu tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kemampuan kapasitas drainase dalam menampung air limpasan di kawasan Perumahan Mutiara Witayu.

Sama halnya dengan penelitian yang dilakukan oleh Suprpti (2022), yaitu melakukan penelitian pada Perumahan Cemarajaya dengan aplikasi EPA SWMM. Dimana pada lokasi tersebut sudah terletak pada zona kuning berdasarkan data Strategi Sanitasi Kota (SSK) yang merupakan wilayah rawan genangan sebesar 25% - 50%. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui faktor-faktor penyebab genangan banjir pada Perumahan Cemarajaya, serta mengevaluasi kapasitas saluran drainase pada wilayah tersebut.

Perbedaan dari kedua penelitian diatas adalah pada tahap metode, dimana Zarkani (2016) menggunakan metode mononobe untuk memperoleh grafik IDF, dan untuk analisis frekuensi menggunakan metode *maximum annual series*, sedangkan metode yang digunakan oleh Suprpti (2022) adalah metode rasional, dan untuk perhitungan dimensi saluran dilakukan dengan rumus Manning.

Hasil dari penelitian yang dilakukan oleh Zarkani (2016) adalah diketahui bahwa kapasitas drainase sudah tidak mampu lagi menampung debit air hujan yang ada. Maka dari itu alternatif yang dilakukan berupa perubahan dimensi saluran yaitu dengan mengatur kemiringan memanjang saluran yang dimana dalam simulasinya dapat mengurangi banjir hingga 82,635%, dan mengganti pompa dengan debit 6 m³/s.

Lain halnya dengan hasil penelitian yang dilakukan Suprpti (2022) disimpulkan bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya genangan atau banjir adalah dimensi saluran yang lebih kecil dibandingkan dengan rencana debit banjir, sehingga harus dilakukan perhitungan ulang pada dimensi saluran. Dengan perhitungan dimensi yang mampu menampung debit banjir rencana adalah 80 x 80 cm. Namun aplikasi di lapangan dengan dimensi tersebut tidak dapat dibangun karena akan memakan ruang jalan, sehingga diberikan solusi dengan membangun sumur resapan.

2.1.2 Analisis Genangan dengan Menggunakan EPA SWMM

Fajri (2022) melakukan penelitian pada drainase yang terdapat di sepanjang jalan Soekarno Hatta dengan menggunakan EPA SWMM. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan pendekatan dengan pemodelan EPA SWMM guna membantu mengevaluasi sistem drainase yang sudah ada. Dimana pada jalan tersebut sering terjadi genangan selama 40-60 menit yang disebabkan oleh air hujan yang *overload*.

Penelitian yang sama juga dilakukan oleh Suprpto (2018) dengan lokasi yang berbeda yaitu, pada Kabupaten Magetan. Pada Kabupaten Magetan setiap tahunnya selalu mengalami permasalahan genangan saat musim penghujan, dimana permasalahan genangan ini sudah sampai menimbulkan kerugian ekonomi. Maka dari itu penelitian ini bertujuan untuk melakukan kajian sistem drainase secara menyeluruh pada saluran yang terpengaruh genangan. Dimana hasil dari kajian ini akan digunakan untuk membuat konsep penanganan dari masalah genangan sesuai dengan kondisi lapangan.

Perbedaan metode yang mereka gunakan adalah untuk Fajri (2022) melakukan Uji konsistensi menggunakan metode RAPS, dan untuk analisis distribusi frekuensi menggunakan Log Pearson III, sedangkan metode yang digunakan oleh Suprpto (2018) adalah untuk analisis distribusi frekuensi menggunakan Log Normal, dan untuk mencari waktu yang digunakan dalam intensitas hujan rencana digunakan metode Kirpich. Tetapi keduanya sama-sama menggunakan metode mononobe untuk mencari intensitas hujan.

Dari hasil penelitian Fajri (2022) menyimpulkan bahwa terdapat 2 saluran yang bermasalah, sehingga perlu dilakukan desain ulang dengan merubah ukuran dimensi saluran tersebut.

Berbeda dengan hasil penelitian yang dilakukan Suprpto (2018) disimpulkan bahwa terdapat 5 saluran yang tidak dapat menampung debit hujan. Kelima saluran tersebut perlu dilakukan penambahan kapasitas saluran, baik dengan penambahan lebar, kedalaman atau gabungan dari keduanya.

2.1.3 Analisis Drainase dengan Menggunakan Hec-Ras

Nurhadi (2022) melakukan penelitian pada drainase Sungai Nyirih yang berada di Kecamatan Selakau Kabupaten Sambas Kalimantan Barat. Dimana pada daerah tersebut memiliki resiko yang sangat tinggi terhadap banjir Rob. Hal ini disebabkan karena kawasan tersebut memiliki topografi yang rendah, sehingga potensi drainase cukup kecil dan daerah tersebut berada di pesisir pantai sehingga sangat dipengaruhi oleh pasang surut air laut. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui apakah kapasitas tampungan debit saluran mampu menampung debit rencana dari curah hujan maksimum pada periode ulang 2, 5, 10, dan 20 tahun dengan menggunakan pemodelan simulasi aliran hidrodinamik dengan program Hec-Ras.

Sama Halnya dengan Ubaidillah (2022) yang melakukan penelitian mengenai analisis drainase dengan Hec-Ras, tetapi lokasi penelitian saluran drainase berada di Kelurahan Tlogopojok. Genangan ini disebabkan oleh air yang mengalir di saluran drainase tersebut telah melebihi kapasitas tampungan, sehingga air meluap dan memunculkan genangan di wilayah sekitar.

Maka dari itu tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui debit banjir yang mengalir dan mengetahui kapasitas tampung pada drainase di ruas Jalan Gubernur Suryo untuk kala ulang 2, 5, dan 10 tahun serta untuk mengetahui bentuk muka air banjir di saluran.

Perbedaan dari metode yang mereka gunakan adalah untuk Nurhadi (2022) dalam penelitian ini adalah untuk menghitung debit banjir menggunakan metode HSS Snyder, dan untuk analisis distribusi frekuensi menggunakan Log Normal, sedangkan metode yang digunakan oleh Ubaidillah (2022) dalam penelitian ini adalah untuk analisis distribusi frekuensi menggunakan Log Pearson III. Tetapi untuk mencari intensitas hujan keduanya sama-sama menggunakan metode mononobe.

Dari hasil penelitian yang dilakukan Nurhadi (2022) diketahui bahwa pada sta. 0 - 1 kapasitas debit saluran belum mampu menampung debit rencana, sehingga saluran penuh dan meluap yang akhirnya terjadilah genangan. Sedangkan untuk sta. 1 - 2 mampu menampung debit rencana, sehingga tidak menyebabkan genangan.

Berbeda dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Ubaidillah (2022) diketahui bahwa kapasitas saluran eksisting pada hilir terjadi luapan atau banjir dikarenakan kapasitas tampung eksisting saluran lebih kecil dari debit rencana baik dalam kala ulang 2, 5 dan 10 tahun, berbanding terbalik dengan saluran yang berada di hulu. Upaya yang diberikan oleh Ahmad Ubaidillah adalah perlunya pembuatan instalasi saluran baru, karena tidak memungkinkan untuk melakukan pelebaran saluran dengan kondisi saluran yang berada pada tepi jalan raya.

2.1.4 Analisis Genangan dengan Menggunakan Hec Ras

Nuzul (2021) melakukan penelitian pada kawasan bantaran Sungai Baubau. Penelitian ini dilakukan karena banjir yang selalu terjadi di wilayah tersebut, bahkan sampai merendam bangunan masyarakat sekitar, sedangkan sudah banyak penelitian yang dilakukan sebelumnya tetapi tidak mendapatkan hasil yang signifikan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat peta informasi potensi sebaran lokasi rawan banjir dengan tampilan visual serta estimasi kerugian fisik, sosial, dan ekonomi yang dilakukan dengan pendekatan hidraulika dikombinasi dengan analisis hidrologi.

Metode yang digunakan oleh Nuzul (2021) dalam penelitian ini adalah untuk analisis debit banjir rancangan menggunakan metode Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu, untuk analisis distribusi frekuensi menggunakan Log Pearson III, dan dalam melakukan analisis dibantu dengan software ArcGis.

Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Nuzul (2021) diperoleh nilai debit banjir rancangan maksimum pada periode Q_5 , Q_{20} , Q_{25} , Q_{50} , dan Q_{100} yang telah melebihi kapasitas sungai atau memiliki potensi ancaman banjir yang dapat menimbulkan ketinggian banjir sekitar 1 - 5 m dari tinggi muka air normal, selain itu penelitian ini juga menghasilkan informasi mengenai zonasi daerah genangan banjir.

2.2 Penelitian Sekarang

Untuk penelitian yang akan peneliti lakukan memiliki lokasi yang berbeda dengan penelitian terdahulu. Referensi yang akan diambil dari penelitian terdahulu adalah penelitian Fajri (2022) dan Suprpto (2018). Alasan peneliti menggunakan referensi tersebut karena sama-sama melakukan analisis pada drainase dengan menggunakan aplikasi EPA SWMM. Selain itu metode yang akan peneliti gunakan yaitu, metode mononobe dan ABM untuk mencari intensitas hujan, menggunakan distribusi Log Pearson III untuk analisis distribusi, dan dalam pelaksanaannya akan dibantu oleh aplikasi AProb, Qgis serta EPA SWMM 5.2.

2.3 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Berikut adalah perbandingan dari penelitian terdahulu dibandingkan dengan sekarang.

Tabel 2.1 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

No.	Aspek	Peneliti							
		Zarkani (2016)	Suprpti (2022)	Fajri (2022)	Suprpto (2018)	Nurhadi (2022)	Ubaidillah (2022)	Nuzul (2021)	Peneliti (2024)
1.	Judul	Analisa Drainase untuk Penanggulangan Banjir Menggunakan EPA SWMM (Studi Kasus Perumahan Mutiara Witayu, Kecamatan Rumbai Pekanbaru)	<i>Drainage System Capacity Analysis with Storm Water Management Model (SWMM) at Cemarajaya Housing, Karawang, Regency West Java</i>	Kajian Evaluasi Genangan Menggunakan Metode SWMM di Daerah Jalan Soekarno Hatta (RS UB hingga Patung Pesawat), Kota Malang	Analisis Sistem Drainase untuk Penanganan Genangan di Kecamatan Magetan Bagian Utara	Analisis Kapasitas Saluran Drainase Sungai Nyirih Kecamatan Selakau dengan Aplikasi Hec-Ras	Analisis Kapasitas Tampung Saluran Drainase dengan Menggunakan Software Hec-Ras 5.0.3 (Studi Kasus Sistem Jaringan Drainase Kelurahan Tlogopojok, Kabupaten Gresik)	Analisis Genangan Banjir Akibat Debit Puncak di DAS Baubau Menggunakan Hec-Ras dan GIS	Pemodelan Banjir di Kecamatan Banjarsari, Surakarta, Jawa Tengah dengan Menggunakan Aplikasi EPA SWMM 5.2

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

No.	Aspek	Peneliti							
		Zarkani (2016)	Suprpti (2022)	Fajri (2022)	Suprpto (2018)	Nurhadi (2022)	Ubaidillah (2022)	Nuzul (2021)	Peneliti (2024)
2.	Tujuan Penelitian	Mengevaluasi kapasitas drainase dalam menampung air limpasan di Kawasan Perumahan Mutiara Witayu	Mengetahui faktor penyebab genangan banjir pada Perumahan Cemarajaya, serta mengevaluasi kapasitas saluran drainase pada wilayah tersebut	Mengevaluasi sistem drainase pada Jalan Soekarno Hatta	Melakukan kajian sistem drainase yang terpengaruh genangan, yang akan digunakan untuk membuat konsep penanganan sesuai dengan kondisi lapangan	Mengetahui apakah kapasitas debit saluran mampu menampung debit rencana dari curah hujan maksimum periode ulang 2, 5, 10, dan 20 tahun	Mengetahui debit banjir yang mengalir dan mengetahui kapasitas tampung pada drainase dengan kala ulang 2, 5, dan 10 tahun	Membuat peta informasi potensi sebaran lokasi rawan banjir dengan tampilan visual serta estimasi kerugian fisik, sosial, dan ekonomi	Mengetahui pengaruh hujan pada drainase, melakukan pemodelan banjir dengan menggunakan simulasi EPA SWMM

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

No.	Aspek	Peneliti							
		Zarkani (2016)	Suprpti (2022)	Fajri (2022)	Suprpto (2018)	Nurhadi (2022)	Ubaidillah (2022)	Nuzul (2021)	Peneliti (2024)
3.	Metode Penelitian	Untuk memperoleh grafik IDF dilakukan dengan metode mononobe. Sedangkan untuk analisis frekuensi menggunakan metode <i>maximum annual series</i>	Untuk mencari debit rencana desain menggunakan metode rasional, sedangkan untuk perhitungan dimensi saluran dilakukan dengan rumus <i>mannig</i>	Uji konsistensi menggunakan metode RAPS, intensitas hujan dengan metode mononobe, dan analisis distribusi frekuensi dengan Log Pearson III	Untuk intensitas hujan menggunakan metode mononobe, analisis distribusi frekuensi menggunakan Log Normal, dan untuk mencari waktu yang digunakan dalam intensitas hujan rencana digunakan metode Kirpich	Untuk intensitas hujan menggunakan metode mononobe, untuk debit banjir menggunakan metode HSS Snyder, dan analisis distribusi frekuensi menggunakan Log Normal	Untuk intensitas hujan menggunakan metode mononobe, dan untuk analisis distribusi frekuensi menggunakan Log Pearson III	Untuk analisis debit banjir rancangan menggunakan metode Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu, untuk analisis distribusi frekuensi menggunakan Log Pearson III	Menggunakan distribusi Log Pearson III, uji kesesuaian distribusi <i>Chi Square</i> , <i>Smirnov Kolmogorov</i> , AProb dan menghitung intensitas hujan dengan metode mononobe dan ABM

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

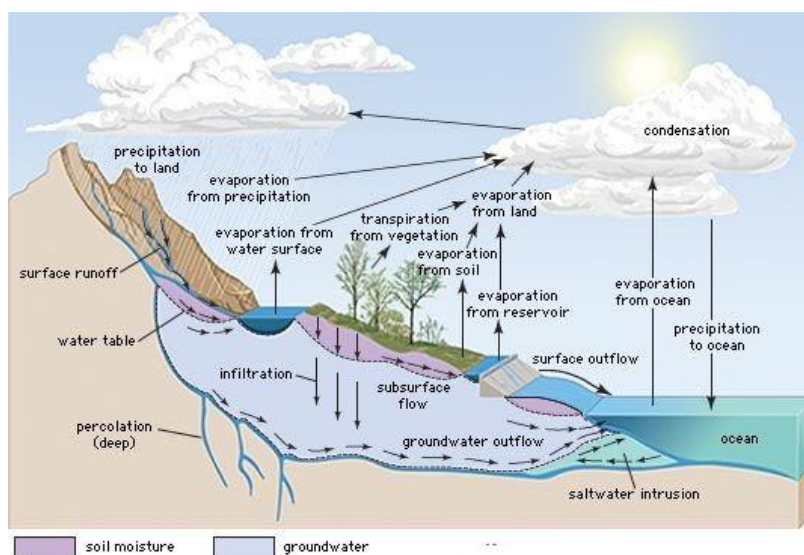
No.	Aspek	Peneliti							
		Zarkani (2016)	Suprpti (2022)	Fajri (2022)	Suprpto (2018)	Nurhadi (2022)	Ubaidillah (2022)	Nuzul (2021)	Peneliti (2024)
4.	Hasil Penelitian	Disimpulkan bahwa kapasitas drainase sudah tidak mampu menampung debit air hujan. Alternatif yang dilakukan berupa perubahan dimensi saluran atau mengganti pompa	Faktor yang mempengaruhi terjadinya genangan adalah dimensi saluran yang lebih kecil dibandingkan dengan rencana debit banjir. Solusinya berupa perubahan dimensi saluran menjadi 80 x 80 cm atau membangun sumur resapan	Disimpulkan bahwa terdapat 2 saluran yang bermasalah. Solusi yang dilakukan berupa perubahan pada dimensi saluran.	Disimpulkan bahwa terdapat 5 saluran yang tidak dapat menampung debit hujan. Penanganan yang dilakukan berupa perbesaran dimensi pada saluran	Diketahui bahwa pada Sta. 0 - 1 kapasitas debit saluran belum mampu menampung debit rencana, yang akhirnya meluap dan terjadi genangan, sedangkan untuk Sta. 1 - 2 tidak meluap	Saluran eksisting hilir meluap karena kapasitas tampung eksisting saluran lebih kecil daripada debit rencana dalam kala ulang 2, 5 dan 10 tahun, berbanding terbalik dengan saluran di hulu. Alternatif yang dilakukan dengan membuat instalasi saluran baru	Diperoleh nilai debit banjir rancangan maksimum telah melebihi kapasitas sungai dan berpotensi banjir. Menghasilkan informasi mengenai zonasi daerah genangan banjir	Diketahui bahwa terdapat beberapa drainase yang sudah tidak mampu lagi menampung aliran air yang masuk.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Siklus Hidrologi

Secara keseluruhan jumlah air di bumi ini relatif tetap dari masa ke masa. Air di bumi mengalami suatu siklus atau serangkaian peristiwa yang berlangsung terus-menerus. Menurut Suripin (2004) kondisi ini dikenal dengan nama siklus hidrologi (*hydrologic cycle*).



Gambar 3.1 Siklus Hidrologi

(Sumber: zonegeologi.blogspot.com)

Siklus hidrologi juga digambarkan pada Gambar 3.1, dimana air menguap dari permukaan samudera akibat energi panas matahari. Uap air yang dihasilkan dibawa udara yang bergerak. Dalam kondisi yang memungkinkan, uap tersebut mengalami kondensasi dan membentuk butir-butir air yang akan jatuh kembali sebagai presipitasi berupa hujan atau salju. Presipitasi ada yang jatuh di samudera, di darat, dan sebagian langsung menguap kembali sebelum mencapai ke permukaan bumi (Suripin, 2004).

Presipitasi yang jatuh di permukaan bumi menyebar ke berbagai arah dengan beberapa cara. Sebagian akan tertahan sementara di permukaan bumi sebagai genangan air, es atau salju, yang dikenal dengan saluran atau sungai. Hal ini disebut aliran atau limpasan permukaan. Jika permukaan tanah porous, maka sebagian air akan meresap ke dalam tanah melalui peristiwa yang disebut infiltrasi. Sebagian lagi akan kembali ke atmosfer melalui penguapan dan transpirasi oleh tanaman (evapotranspirasi).

Di bawah permukaan tanah, pori-pori tanah berisi air dan udara. Daerah ini dikenal sebagai zona kapiler (*vadoze zone*), atau zona aerasi. Air yang tersimpan di zona ini disebut kelengasan tanah (*soil moisture*), atau air kapiler. Pada kondisi tertentu air dapat mengalir secara lateral pada zona kapiler, proses ini disebut *interflow*. Uap air dalam zona kapiler dapat juga kembali ke permukaan tanah, kemudian menguap.

Air yang mengalir dalam saluran atau sungai dapat berasal dari aliran permukaan atau dari air tanah yang merembes di dasar sungai. Kontribusi air tanah pada aliran sungai disebut aliran dasar (*baseflow*), sementara total aliran disebut debit (*runoff*). Air yang tersimpan di waduk, danau, dan sungai disebut air permukaan (*surface water*) (Suripin, 2004).

3.2 Analisis Frekuensi dan Probabilitas

Frekuensi hujan adalah besarnya kemungkinan suatu besaran hujan disamai atau dilampaui. Sebaliknya, kala ulang (*return period*) adalah waktu hipotetik di mana hujan dengan suatu besaran tertentu akan disamai atau dilampaui. Dalam hal ini tidak terkandung pengertian bahwa kejadian tersebut akan berulang secara teratur setiap kala ulang tersebut. Kala ulang yang digunakan untuk desain hidrologi sistem drainase perkotaan berpedoman pada standar yang telah ditetapkan pada Tabel 3.1 sebagai berikut (Suripin, 2004).

Tabel 3.1 Kriteria Desain Hidrologi Sistem Drainase Perkotaan

Luas DAS (Ha)	Kala Ulang (Tahun)
< 10	2
10 - 100	2 - 5
101 - 500	5 - 20

Sumber: Suripin, (2004)

Analisis frekuensi diperlukan seri data hujan yang diperoleh dari pos penakar hujan, baik yang manual maupun otomatis. Analisis frekuensi ini didasarkan pada sifat statistik data kejadian yang telah lalu untuk memperoleh probabilitas besaran hujan di masa yang akan datang. Dengan anggapan bahwa sifat statistik kejadian hujan yang akan datang masih sama dengan sifat statistik kejadian hujan masa lalu.

Salah satu macam dari seri data yang dipergunakan dalam analisis frekuensi adalah penggunaan data maksimum tahunan. Dimana tiap tahun hanya diambil satu besaran maksimum yang dianggap berpengaruh pada analisis selanjutnya. Jumlah data dalam seri akan sama dengan panjang data yang tersedia. Dalam cara ini, besaran data maksimum kedua dalam suatu tahun yang mungkin lebih besar dari besaran data maksimum dalam tahun yang lain tidak diperhitungkan pengaruhnya dalam analisis ini.

Dalam ilmu statistik dikenal beberapa macam distribusi frekuensi yang banyak digunakan dalam bidang hidrologi adalah: (Suripin, 2004).

1. Distribusi Normal,
2. Distribusi Log Normal,
3. Distribusi Log-Pearson III, dan
4. Distribusi Gumbel.

Tabel 3.2 dibawah menunjukkan parameter statistik yang diperlukan.

Tabel 3.2 Parameter Statistik

Parameter atau Statistik	Sampel
Rata-rata	$\chi = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n xi$
Simpangan Baku	$S = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (xi - \chi)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$
Koefisien Variasi	$Cv = \frac{S}{\chi}$
Koefisien <i>Skewness</i>	$Cs = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (xi - \chi)^3}{(n-1)(n-2)S^3}$
Kurtosis (Ck)	$Ck = \alpha_4 = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (xi - \chi)^4}{S^4}$

Sumber: Suripin, (2004)

3.2.1 Distribusi Normal

Distribusi normal atau kurva normal disebut pula distribusi Gauss. Dengan rumus sebagai berikut: (Suripin, 2004).

$$X_T = \chi + K_T S \quad (3.1)$$

$$K_T = \frac{X_T - \chi}{S} \quad (3.2)$$

Keterangan:

X_T = curah hujan pada kala ulang T tahun (mm)

χ = nilai rata-rata curah hujan

S = standar deviasi

K_T = faktor frekuensi, untuk nilai K_T dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Nilai Variabel Reduksi *Gauss*

No.	Periode Ulang, T (tahun)	Peluang	K_T
1	1,001	0,999	-3,05
2	1,005	0,995	-2,58
3	1,01	0,99	-2,33
4	1,05	0,95	-1,64
5	1,11	0,9	-1,28
6	1,25	0,8	-0,84
7	1,33	0,75	-0,67
8	1,43	0,7	-0,52
9	1,67	0,6	-0,25
10	2	0,5	0
11	2,5	0,4	0,25
12	3,33	0,3	0,52
13	4	0,25	0,67
14	5	0,2	0,84
15	10	0,1	1,28

Sumber: Suripin, (2004)

3.2.2 Distribusi Log Normal

Jika variabel acak $y = \text{Log } X$ terdistribusi secara normal, maka X dikatakan mengikuti distribusi Log Normal. Berikut merupakan persamaan yang digunakan dalam Log Normal: (Suripin, 2004).

- a. Ubah data ke bentuk logaritmis

$$y = \log xi \quad (3.3)$$

- b. Harga rata-rata

$$\text{Log } \chi = \frac{\sum_{i=1}^n \log xi}{n} \quad (3.4)$$

c. Curah hujan

$$\text{Log } X_T = \log \chi + K_T \times S_{\log} \quad (3.5)$$

Dimana:

$$K_T = \frac{\text{Log } X_T - \log \chi}{S_{\log}} \quad (3.6)$$

Keterangan:

x_i = curah hujan ke-i (mm)

y = data curah hujan logaritma

X_T = curah hujan dalam kala ulang T tahun (mm)

χ = nilai rerata data curah hujan

K_T = faktor frekuensi

S = standar deviasi

3.2.3 Distribusi Log Pearson III

Tidak seperti konsep yang melatarbelakangi pemakaian distribusi Log Normal untuk banjir puncak, maka distribusi probabilitas ini hampir tidak berbasis teori. Distribusi ini masih tetap dipakai karena fleksibilitasnya. Jika koefisien kemencengan sama dengan nol, distribusi kembali ke distribusi Log Normal. Berikut adalah parameter yang penting dalam Log Pearson III: (Suripin, 2004).

1) Ubah data dalam bentuk logaritmis, $X = \log X$

2) Hitung harga rata-rata:

$$\text{Log } \chi = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Log } x_i}{n} \quad (3.7)$$

3) Hitung harga simpangan baku:

$$S = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\text{Log } x_i - \text{Log } \chi)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.8)$$

4) Hitung koefisien kemencengan:

$$CS = \frac{n \sum_{i=1}^n (\text{Log } x_i - \text{Log } \chi)^3}{(n-1)(n-2)S^3} \quad (3.9)$$

- 5) Hitung logaritma hujan atau banjir dengan periode ulang T dengan rumus:

$$\text{Log } X_T = \text{Log } \chi + K_T \times S_{\log} \quad (3.10)$$

Dimana nilai K adalah variabel standar (*standardized variable*) untuk X yang besarnya tergantung koefisien kemencengan G yang terdapat pada Tabel 3.4 memperlihatkan harga K untuk berbagai nilai kemencengan G.

Tabel 3.4 Nilai K untuk Distribusi Log Pearson III

Kof. G	Periode Ulang (Tahun)							
	1,0101	1,25	2	5	10	25	50	100
	Presentase Peluang Terlampaui							
	99	80	50	20	10	4	2	1
0,6	-1,88	-0,857	-0,099	0,8	1,328	1,939	2,359	2,755
0,4	-2,029	-0,855	-0,066	0,816	1,317	1,88	2,261	2,615
0,2	-2,178	-0,85	-0,033	0,83	1,301	1,818	2,159	2,472
0	-2,326	-0,842	0	0,842	1,282	1,751	2,051	2,326
-0,2	-2,472	-0,83	0,033	0,85	1,258	1,68	1,945	2,178
-0,4	-2,615	-0,816	0,066	0,855	1,231	1,606	1,834	2,029
-0,6	-2,755	-0,8	0,099	0,857	1,2	1,528	1,72	1,88
-0,8	-2,891	-0,78	0,132	0,856	1,166	1,448	1,606	1,733

Sumber: Suripin, (2004)

3.2.4 Distribusi Gumbel

Gumbel menggunakan harga ekstrim untuk menunjukkan bahwa dalam deret harga-harga ekstrim $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ mempunyai fungsi distribusi eksponensial ganda. Faktor probabilitas K untuk harga-harga ekstrim gumbel dapat dinyatakan dalam persamaan: (Suripin, 2004).

$$K = \frac{Y_{T_r} - Y_n}{S_n} \quad (3.11)$$

Keterangan:

Y_n = *reduced mean* yang tergantung jumlah sampel atau data.

S_n = *reduced standard deviation* yang tergantung jumlah sampel atau data.

Y_{T_r} = *reduced variate* yang dapat dihitung dengan persamaan berikut,

$$Y_{T_r} = -\ln\left\{-\ln\frac{T_r-1}{T_r}\right\} \quad (3.12)$$

Untuk nilai Y_n , S_n , dan Y_{T_r} dapat dilihat pada Tabel 3.5, 3.6, 3.7 berikut ini.

Tabel 3.5 Reduced Mean, Y_n

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,4952	0,4996	0,5035	0,507	0,51	0,5128	0,5157	0,5181	0,5202	0,522
20	0,5236	0,5252	0,5268	0,5283	0,5296	0,5309	0,532	0,5332	0,5343	0,5353
30	0,5362	0,5371	0,538	0,5388	0,8396	0,5403	0,541	0,5418	0,5424	0,5436
40	0,5436	0,5442	0,5448	0,5453	0,5458	0,5463	0,5468	0,5473	0,5477	0,5481
50	0,5485	0,5489	0,5493	0,5497	0,5501	0,5504	0,5508	0,5511	0,5515	0,5518
60	0,5521	0,5524	0,5527	0,553	0,5533	0,5535	0,5538	0,554	0,5543	0,5545
70	0,5548	0,5550	0,5552	0,5555	0,5557	0,5559	0,5561	0,5563	0,5565	0,5567

Sumber: Suripin, (2004)

Tabel 3.6 Reduced Standard Deviation, S_n

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,9496	0,9676	0,9833	0,9971	1,0095	1,0206	1,0316	1,0411	1,0493	1,0565
20	1,0628	1,0696	1,0754	1,0811	1,0864	1,0915	1,0961	1,1004	1,1047	1,108
30	1,1124	1,1159	1,1193	1,1226	1,1255	1,1285	1,1313	1,1339	1,1363	1,1388
40	1,1413	1,1436	1,1458	1,148	1,1499	1,1519	1,1538	1,1557	1,1574	1,159
50	1,1607	1,1623	1,1638	1,1658	1,1667	1,1681	1,1696	1,1708	1,1721	1,1734
60	1,1747	1,1759	1,177	1,1782	1,1793	1,1803	1,1814	1,1824	1,1834	1,1844

Sumber: Suripin, (2004)

Tabel 3.7 Reduced Variate, Y_{Tr} Sebagai Fungsi Periode Ulang

Periode Ulang Tr (tahun)	Reduced Variate Y_{Tr}	Periode Ulang Tr (tahun)	Reduced Variate Y_{Tr}
2	0,3668	100	4,6012
5	1,5004	200	5,2969
10	2,251	250	5,5206
20	2,9709	500	6,2149
25	3,1993	1000	6,9087
50	3,9028	5000	8,5188
75	4,3117	10000	9,2121

Sumber: Suripin, (2004)

3.3 Uji Kecocokan Distribusi Data

3.3.1 Uji Chi-Kuadrat

Uji chi-kuadrat dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi yang telah dipilih dapat mewakili distribusi statistik sampel data yang dianalisis. Dapat dihitung dengan rumus berikut: (Suripin, 2004).

$$\chi_h^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (3.13)$$

Keterangan:

χ_h^2 = parameter chi-kuadrat terhitung.

G = jumlah sub kelompok.

O_i = jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok i.

E_i = jumlah nilai teoritis pada sub kelompok i.

Prosedur uji chi-kuadrat adalah sebagai berikut: (Suripin, 2004).

- 1) Urutkan data pengamatan (dari besar ke kecil atau sebaliknya),
- 2) Kelompokkan data menjadi G sub-grup yang masing-masing beranggotakan minimal 4 data pengamatan,
- 3) Jumlahkan data pengamatan sebesar O_i tiap-tiap sub-grup,

- 4) Jumlahkan data dari persamaan distribusi yang digunakan sebesar E_i ,
- 5) Pada tiap sub-grup hitung nilai:
 $(O_i - E_i)^2$ dan $\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$
- 6) Jumlah seluruh G subgrup nilai $\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$ untuk menentukan nilai chi-kuadrat hitung,
- 7) Tentukan derajat kebebasan $dk = G - R - 1$ (nilai $R = 2$, untuk distribusi normal dan binomial).

Interpretasi hasil uji adalah sebagai berikut:

- 1) Apabila peluang lebih dari 5%, maka persamaan distribusi yang digunakan dapat diterima,
- 2) Apabila peluang kurang dari 1%, maka persamaan distribusi yang digunakan tidak dapat diterima,
- 3) Apabila peluang berada di antara 1 - 5%, maka tidak mungkin mengambil keputusan, diperlukan data tambahan.

Tabel 3.8 Titik Persentase Distribusi Chi Kuadrat

<i>Degrees of Freedom</i>	<i>Probability of a larger value of x^2</i>								
	0,99	0,95	0,9	0,75	0,5	0,25	0,1	0,05	0,01
1	0	0,004	0,016	0,102	0,455	1,32	2,71	3,84	6,63
2	0,02	0,103	0,211	0,575	1,386	2,77	4,61	5,99	9,21
3	0,115	0,352	0,584	1,211	2,366	4,11	6,25	7,81	11,34
4	0,297	0,711	1,064	1,923	3,357	5,39	7,78	9,49	13,28
5	0,554	1,145	1,61	2,675	4,351	6,63	9,24	11,07	15,09
6	0,872	1,635	2,204	3,455	5,348	7,84	10,64	12,59	16,81
7	1,239	2,167	2,833	4,255	6,346	9,04	12,02	14,07	18,48
8	1,647	2,733	3,49	5,071	7,344	10,22	13,36	15,51	20,09
9	2,088	3,325	4,168	5,899	8,343	11,39	14,68	16,92	21,67

Sumber: Suripin, (2004)

3.3.2 Uji Smirnov-Kolmogorov

Uji kecocokan Smirnov-Kolmogorov sering disebut juga uji kecocokan non parametrik, karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu. Prosedur pelaksanaannya adalah sebagai berikut: (Suripin, 2004).

- 1) Urutkan data (dari besar ke kecil atau sebaliknya) dan tentukan besarnya peluang dari masing-masing data tersebut.

$$X_1 = P(X_1)$$

$$X_2 = P(X_2)$$

$$X_3 = P(X_3), \text{ dan seterusnya}$$

- 2) Urutkan nilai masing-masing peluang teoritis dari hasil penggambaran data (persamaan distribusinya).

$$X_1 = P'(X_1)$$

$$X_2 = P'(X_2), \text{ dan seterusnya.}$$

- 3) Dari kedua nilai peluang tersebut, tentukan selisih terbesarnya antar peluang pengamatan dengan peluang teoritis.

$$D = \text{maksimum } (P(X_n) - P'(X_n))$$

- 4) Berdasarkan tabel nilai kritis (D_0) dari *Smirnov-Kolmogorov* dapat ditentukan melalui Tabel 3.9 berikut.

Tabel 3.9 Nilai Kritis D_0 untuk Uji Smirnov-Kolmogorov

v	0,2	0,1	0,05	0,01
5	0,45	0,51	0,56	0,67
10	0,32	0,37	0,41	0,49
15	0,27	0,3	0,34	0,4
30	0,19	0,22	0,24	0,29
40	0,17	0,19	0,21	0,25
50	0,15	0,17	0,19	0,23
n > 50	$\frac{1,07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,63}{\sqrt{n}}$

Sumber: Suripin, (2004)

3.4 Analisis Intensitas Hujan

Intensitas hujan adalah tinggi atau kedalaman air hujan per satuan waktu. Sifat umum hujan adalah semakin singkat hujan berlangsung intensitasnya cenderung semakin tinggi dan semakin besar periode ulangnya maka semakin tinggi pula intensitasnya. Hubungan antara intensitas, lama hujan, dan frekuensi hujan biasanya dinyatakan dalam lengkung Intensitas-Durasi-Frekuensi (IDF). Diperlukan data hujan jangka pendek, misalnya 5 menit, 10 menit, 60 menit, dan jam-jaman untuk membentuk lengkung IDF. Data hujan jenis ini hanya dapat diperoleh dari pos penakar hujan otomatis. Jika data hujan jam-jaman tidak tersedia, maka untuk membentuk pola distribusi hujan dapat menggunakan metode-metode sebagai berikut: (Suripin, 2004).

1) Mononobe

Apabila data hujan jangka pendek tidak tersedia, yang ada hanya data hujan harian. Maka menggunakan rumus sebagai berikut:

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (3.14)$$

Keterangan:

I = intensitas hujan (mm/jam).

t = lamanya hujan (jam).

R_{24} = curah hujan maksimum harian (selama 24 jam) (mm).

2) *Alternating Block Method* (ABM)

ABM adalah cara sederhana untuk membuat *hyetograph* rencana dari kurva Intensitas-Durasi-Frekuensi (IDF) (Chow dkk., 1998). Hyetograph rencana yang dihasilkan oleh metode ini adalah hujan yang terjadi dalam interval waktu yang berurutan:

$$Td = n \times \Delta t \quad (3.15)$$

Keterangan:

n = banyaknya hujan yang terjadi

Δt = durasi waktu

Untuk periode ulang tertentu, intensitas hujan diperoleh dari kurva IDF pada setiap durasi waktu Δt , $2\Delta t$,, $n\Delta t$. Ketebalan hujan diperoleh dari perkalian antara intensitas hujan dan durasi waktu tersebut. Perbedaan antara nilai ketebalan hujan yang berurutan merupakan pertambahan hujan dalam interval waktu Δt . Pertambahan hujan tersebut (blok-blok), diurutkan kembali kedalam rangkaian waktu dengan intensitas maksimum berada pada tengah-tengah durasi hujan T_d dan blok blok sisanya disusun dalam urutan menurun secara bolak-balik pada kanan dan kiri dari blok tengah. (Bambang Triatmodjo, 2008).

3.5 Aplikasi SWMM

Storm Water Management Model (SWMM) merupakan model dinamik simulasi hujan aliran (*rainfall runoff*) yang digunakan untuk simulasi kuantitas maupun kualitas limpasan permukaan terutama pada daerah perkotaan. Beban limpasan ini kemudian dialirkan melalui sistem saluran pipa, saluran terbuka, tampungan, pompa, dan sebagainya. SWMM menghitung kuantitas dan kualitas limpasan permukaan di setiap tangkapan hujan, debit, kedalaman, kecepatan dan variabel lainnya dalam tiap saluran selama periode simulasi dengan tahapan waktu tertentu.

SWMM memiliki kemampuan untuk menghitung baik aspek hidrologi maupun hidrolika dari suatu sistem drainase. Perangkat lunak ini dapat menghitung berbagai proses hidrologi untuk menghasilkan limpasan yang mencakupi (Baitullah, 2020):

1. Hujan bervariasi fungsi waktu atau *hyetograph*.
2. Evaporasi.
3. Infiltrasi dari lapisan tanah yang tak jenuh, dll.

SWMM juga dapat menghitung proses hidrolika untuk menelusuri limpasan dan aliran masuk lainnya melalui jaringan sistem drainase pipa, saluran, tampungan atau kolam, dan struktur hidrolik lainnya yang mencakupi:

1. Dapat mensimulasikan dengan ukuran jaringan yang tidak terbatas.
2. Metode penelusuran aliran tersedia untuk aliran mantap, gelombang kinematik, dan gelombang dinamik.
3. Mampu memodelkan berbagai rezim aliran seperti aliran terbendung (*backwater*), penggenangan, aliran balik, dan genangan permukaan.

SWMM sendiri juga sudah digunakan secara meluas dan diterapkan dalam beberapa studi drainase yang ada, dimana dalam penggunaannya SWMM banyak diaplikasikan untuk:

1. Perancangan komponen sistem drainase untuk pengendalian banjir.
2. Pemetaan genangan banjir dari sistem saluran alami atau sungai.
3. Evaluasi dampak aliran masuk dan infiltrasi terhadap luapan saluran limbah, dll.

3.5.1 Pengerjaan Menggunakan Aplikasi SWMM

EPA SWMM adalah perangkat lunak yang dimanfaatkan sebagai stimulasi dan pembuatan model limpasan atau hujan yang terdapat di suatu daerah. Langkah untuk pengolahan data tersebut dapat menggunakan EPA SWMM versi 5.2 dengan tahapan seperti berikut (Rossman, 2015):

1. Mencari informasi alur DAS dan batas-batas DAS.
2. Pembagian menjadi beberapa *subcatchment*, *junction*, *conduit*, dan *outfall* dilakukan setelah mendapatkan data dan informasi alur dan batas DAS melalui software Qgis.
3. Mencari semua parameter yang dibutuhkan serta nilainya mulai dari parameter *Subcatchment*, *junction*, *conduit*, dan *outfall* yang didapat dari *attribute table* pada Qgis.
4. Ekspor *map* dari Qgis digunakan untuk menggambar *subcatchment*, *junction*, *conduit* dan *outfall* secara manual pada SWMM dikarenakan tidak dapat melakukan ubah format file.

5. *Area subcatchment* dimanfaatkan untuk menggambar daerah tangkapan hujan. *Junction* dimanfaatkan sebagai pintu masuk bagi air limpasan menuju ke saluran. *Conduit* dimanfaatkan sebagai saluran yang berasal dari *rain gage* dan limpasan air yang ditempatkan di stasiun hujan sebagai simulasi.
6. Setelah menggambar secara manual pada *software* SWMM, dilanjutkan dengan memasukkan parameter-parameter yang dibutuhkan oleh SWMM.
7. Berikut adalah beberapa parameter yang dibutuhkan:

- a. *Subcatchment* (Daerah Tangkapan Air)

Parameter ini ditentukan setelah menemukan bagian-bagian sungai sekitar. Dalam pembuatan *subcatchment* tidak boleh saling menumpuk dengan *subcatchment* lainnya. Pembagian setiap *subcatchment* harus memperhatikan kontur tanah, jika kontur tanah tidak jelas maka dapat menggunakan alur jalan atau alur anak sungai. Parameter yang diperlukan dalam *Subcatchment* adalah luas (*area*), *width* (lebar), *%slope*, *%impervious*, *n-impervious*, *n-pervious*, *d store-impervious*, *d store-pervious*, *%zero-impervious*, dan *outlet*.

- 1) *Area* (luas)

Merupakan luas setiap *subcatchment*.

- 2) *Width* (lebar)

Merupakan lebar dari setiap *subcatchment*. Dalam menentukan *width* harus memperhatikan alur aliran air setiap *subcatchment* dan memperhatikan saluran utama di dalam setiap *subcatchment*. Untuk menentukan alur aliran air dari setiap *subcatchment* dilakukan survei dan pengamatan secara langsung.

- 3) *%Slope*

Adalah kemiringan dari *subcatchment*. Cara yang digunakan dalam menentukan nilai *%slope* ini didapat dari *software google earth* dengan langkah-langkah seperti berikut:

- Klik kanan pada salah satu *path*,
- Klik *show elevation profile*.

4) %*Impervious*

Adalah luas dari daerah *subcatchment* yang dimana lahan itu merupakan daerah yang kedap air atau tidak dapat menyerap air. Contoh dari %*impervious* adalah jalan beraspal, rumah tinggal, perkantoran, pabrik ataupun perkotaan. Dimana nilainya ditentukan berdasarkan persentase. Untuk nilai koefisien limpasan dapat dilihat pada Tabel 3.10 di bawah.

Tabel 3.10 Koefisien Limpasan

No.	Deskripsi Lahan / Karakter Permukaan	Koefisien C
1	Bisnis Perkotaan Pinggiran	0,7 - 0,95 0,5 - 0,7
2	Perumahan Rumah tinggal Multi unit terpisah, terpisah Multi unit, tergabung Perkampungan Apartemen	0,3 - 0,5 0,4 - 0,6 0,6 - 0,75 0,25 - 0,4 0,5 - 0,7
3	Industri Ringan Berat	0,5 - 0,8 0,6 - 0,9
	Perkerasan Aspal dan beton Batu bata, paving	0,7 - 0,95 0,5 - 0,7
	Atap	0,75 - 0,95
	Halaman, tanah berpasir Datar 2% Rata-rata 2-7% Curam 7%	0,5 - 0,1 0,1 - 0,15 0,15 - 0,2
	Halaman, tanah berat Datar 2% Rata-rata 2-7% Curam 7%	0,13 - 0,17 0,18 - 0,22 0,25 - 0,35
	Taman tempat bermain	0,1 - 0,35
	Taman, pekuburan	0,1 - 0,25

Sumber: Suripin, (2004)

5) *N-impervious*

Adalah koefisien angka *manning* untuk daerah yang kedap air. Contoh dari *N-impervious* adalah jalan raya, perumahan, perkantoran, perkotaan, dll.

6) *N-Pervious*

Adalah koefisien angka *manning* untuk daerah yang tidak kedap air. Contohnya sawah, kebun, hutan, ruang terbuka hijau dan taman. Untuk menentukan angka *manning* dari *N-impervious* dan *N-Pervious* dapat dilihat pada Tabel 3.11 berikut.

Tabel 3.11 Manning Overland Flow

<i>Surface</i>	<i>n</i>
<i>Smooth asphalt</i>	0,011
<i>Smooth concrete</i>	0,012
<i>Ordinary concrete lining</i>	0,013
<i>Good wood</i>	0,014
<i>Brick with cement mortar</i>	0,014
<i>Vitrified clay</i>	0,015
<i>Cast iron</i>	0,015
<i>Corrugated metal pipes</i>	0,024
<i>Cement rubble surface</i>	0,024
<i>Fallow soils (no residue)</i>	0,05
<i>Cultivated soils</i>	
<i>Residue cover < 20%</i>	0,06
<i>Residue cover > 20%</i>	0,17
<i>Range (natural)</i>	0,13
<i>Grass</i>	
<i>Short, prairie</i>	0,15
<i>Dense</i>	0,24
<i>Bermuda grass</i>	0,41

Sumber: Rossman, (2015)

7) %Zero-impervious

Merupakan bagian dari *subcatchment* yang sangat kedap air. Dimana dalam mementukannya menggunakan cara yang hampir sama dengan tahapan mencari nilai *N-impervious* dan *N-pervious* yaitu dengan pemilihan area tata guna lahan. Setelah menentukan area terpilih maka dapat ditentukan nilai %Zero-impervious.

8) Outlet

Dalam menentukan titik *outlet* dari suatu *subcatchment* diharuskan untuk memperhatikan arah aliran air pada kontur serta *conduit* dari kali. Penentuan *outlet subcatchment* langsung menuju ke *junction*.

9) D store-impervious dan D store-pervious

Dalam menentukan nilai *D store-impervious* dan *D store-pervious* dapat dilihat pada Tabel 3.12 berikut.

Tabel 3.12 Depression Storage

<i>Impervious surface</i>	0,05 - 0,1 inc
<i>Lawns</i>	0,1 - 0,2 inc
<i>Pasture</i>	0,2 inc
<i>Forest litter</i>	0,3 inc

Sumber: ASCE, (1982)

b. Junction

Merupakan titik pertemuan yang menggabungkan dua atau lebih saluran. *Junction* memiliki beberapa parameter yang harus diperhatikan dalam pemodelan SWMM salah satunya yaitu elevasi dasar saluran.

d. Outfall

Merupakan titik terakhir dari sebuah sistem drainase dalam pemodelan EPA SWMM. Parameter yang dibutuhkan dalam *outfall* adalah elevasi.

e. *Conduit*

Adalah saluran penghubung antara *junction* satu dengan *junction* yang lain. *Conduit* memiliki parameter yang harus diperhatikan dalam pemodelan SWMM yaitu *inlet node*, *outlet node*, *shape*, *max depth*, *bottom width*, *length*, dan *roughness*. Untuk nilai *manning roughness* dapat dilihat pada Tabel 3.13 berikut.

Tabel 3.13 Manning Open Channels

<i>Channel type</i>	Manning (n)
<i>Lined channels</i>	
<i>Asphalt</i>	0,013 - 0,017
<i>Brick</i>	0,012 - 0,018
<i>Concrete</i>	0,011 - 0,02
<i>Rubble or riprap</i>	0,02 - 0,035
<i>Vegetal</i>	0,03 - 0,4
<i>Excavated or dredged</i>	
<i>Earth, straight and uniform</i>	0,02 - 0,03
<i>Earth, winding, fairly uniform</i>	0,025 - 0,04
<i>Excavated or dredged</i>	
<i>Rock</i>	0,03 - 0,045
<i>Unmaintained</i>	0,05 - 0,14
<i>Natural channels (minor streams, top width at flood stage < 100 ft)</i>	
Fairly regular section	0,03 - 0,07
Irregular section with pools	0,04 - 0,1

Sumber: ASCE, (1982)

f. *Rain gage*

Menggunakan data yang diambil dari *time series* yang sudah diolah pada tahap perhitungan rasio hujan. Intensitas hujan jam-jaman yang digunakan dapat menggunakan metode mononobe dan ABM, dalam simulasi ini dibutuhkan intensitas hujan tiap 1 jam.

8. Masukkan tabel *time series* pada *software* SWMM dengan menggunakan data hujan yang sudah dihitung sebelumnya.
9. Pada *simulation option* atur *infiltration* model dengan horton dan pada *Routing Model* menjadi *Dynamic wave* serta date atur *end analysis*.
10. Setelah diatur pemodelannya lalu *run simulation*.

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Jenis Penelitian

Penelitian yang dilakukan akan menggunakan metode analisis deskriptif kuantitatif. Dimana metode ini dilakukan secara spesifik, terstruktur dan terencana menggunakan angka yang dianalisis, kemudian dipresentasikan berdasarkan kajian teoritis. Data yang didapat di lapangan diolah dan dijabarkan sesuai hasil perhitungan.

4.2 Pengumpulan Data

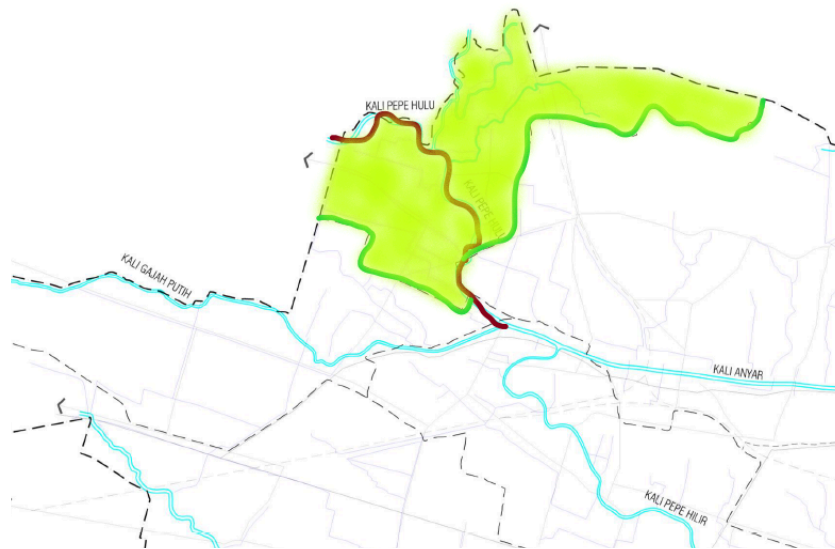
Penelitian ini dilakukan pada Kecamatan Banjarsari yang berada di wilayah Surakarta. Dimana pada wilayah tersebut memiliki 11 saluran drainase yang mengarah ke Kali Pepe Hulu. Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini berupa data curah hujan 15 tahun terakhir, data tata guna lahan, peta topografi yang diperoleh dari beberapa instansi baik dari pihak BBWS Bengawan Solo serta DPUPR Surakarta.

4.3 Gambaran Umum Daerah Penelitian

Dalam gambaran umum ini akan dijelaskan mengenai lokasi penelitian baik dari segi geografis, administrasi, topografi serta saluran drainase mana saja yang akan dianalisis.

4.3.1 Kondisi dan Letak Geografis

Kota Surakarta memiliki luas wilayah mencapai 44,04 km². Hal ini menjadikan Kota Surakarta sebagai salah satu kota besar di Jawa Tengah yang menunjang kota-kota lain seperti Semarang dan Yogyakarta. Kota Surakarta terbagi menjadi 5 kecamatan yaitu, Kecamatan Laweyan, Kecamatan Pasar Kliwon, Kecamatan Serengan, Kecamatan Jebres dan Kecamatan Banjarsari (DPMPTSP Kota Surakarta).



(Sumber: Masterplan Drainase Kota Surakarta)

Gambar 4.1 Peta Lokasi Sungai Kota Surakarta

Pada Gambar 4.1 terdapat beberapa kali dan sungai yang melintasi Kota Surakarta, antara lain Kali Pepe Hulu, Kali Pepe Hilir, Kali Gajah Putih, Kali Anyar, Kali Premulung dan Sungai Bengawan Solo yang lebih jelasnya dapat dilihat pada Lampiran. Tercatat beberapa kali Kota Surakarta dilanda kejadian banjir yaitu pada Februari 1993, Desember 2007, Tahun 2011, Tahun 2013, Tahun 2015 dan awal tahun 2016. Dalam penelitian ini dilakukan pemodelan banjir terhadap saluran-saluran drainase yang berada pada Kecamatan Banjarsari, yang dimana pernah terjadi salah kejadian banjir satunya pada tahun 2022 di Kelurahan Nusukan dan Kelurahan Banyuanyar yang dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan 4.3 (BBWS Bengawan Solo 2022).



(Sumber: BBWS Bengawan Solo, 2022)

Gambar 4.2 Banjir Kali Pepe Hulu Kel. Nusukan, 2022



(Sumber: BBWS Bengawan Solo, 2022)

Gambar 4.3 Banjir Kali Pepe Hulu Kel. Banyu Anyar, 2022

4.3.2 Wilayah Administrasi

Wilayah administrasi yang berada pada Kecamatan Banjarsari dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Gambar 4.4 berikut.

Tabel 4.1 Rincian Kecamatan dan Kelurahan yang Terkait

No.	Kecamatan	Kelurahan
1.	Banjarsari	Banyuanyar
		Sumber
		Nusukan
		Kadipiro

(Sumber: DPUPR Kota Surakarta, 2016)

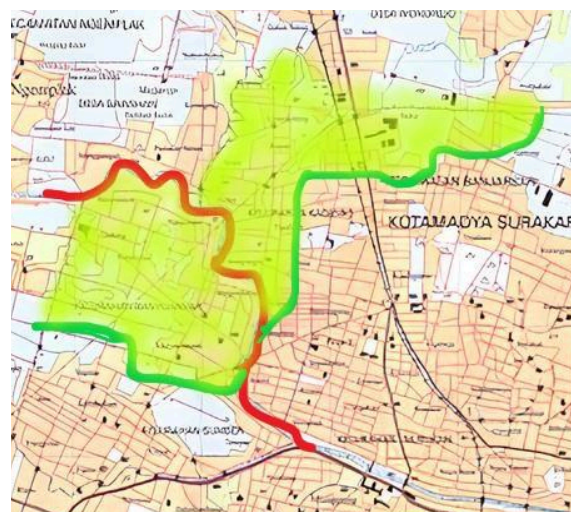


(Sumber: surakarta.go.id/)

Gambar 4.4 Peta Administrasi Kecamatan Banjarsari

4.3.3 Kondisi Topografi

Ditinjau dari ketinggiannya, wilayah Kota Surakarta terdiri dari dataran dengan ketinggian rata-rata 92 m dari permukaan air laut (dpl), walaupun wilayah terendah berada di Kecamatan Pasar Kliwon yang hanya 80 m diatas permukaan laut (dpl) dan wilayah tertinggi berada di Kecamatan Jebres yang mencapai 130 m diatas permukaan laut (dpl). Kondisi topografi Kota Surakarta dapat dilihat pada Gambar 4.5 berikut.



(Sumber: Takjub Indonesia, Peta Topografi Surakarta)

Gambar 4.5 Peta Topografi Kota Surakarta

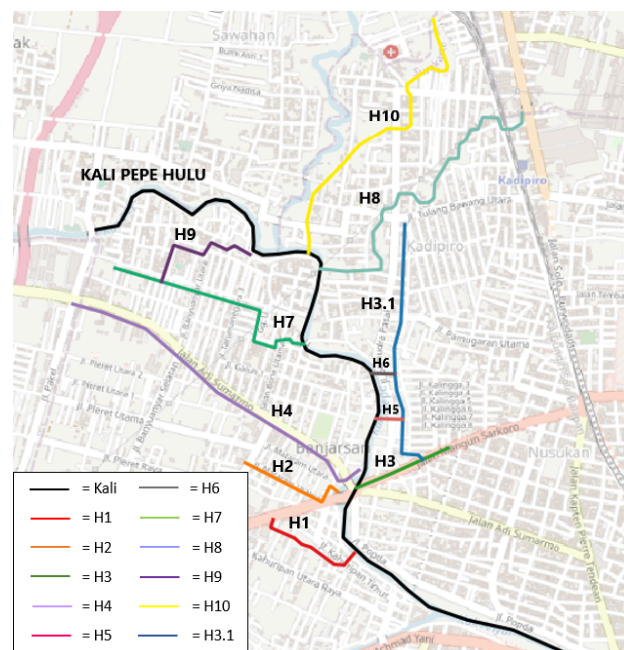
4.3.4 Lokasi Penelitian

Wilayah Banjarsari memiliki 11 saluran drainase yang dapat dilihat pada Gambar 4.6 dan 4.7, sedangkan untuk daftar saluran terdapat pada Tabel 4.2 berikut:

Tabel 4.2 Drainase pada Kecamatan Banjarsari

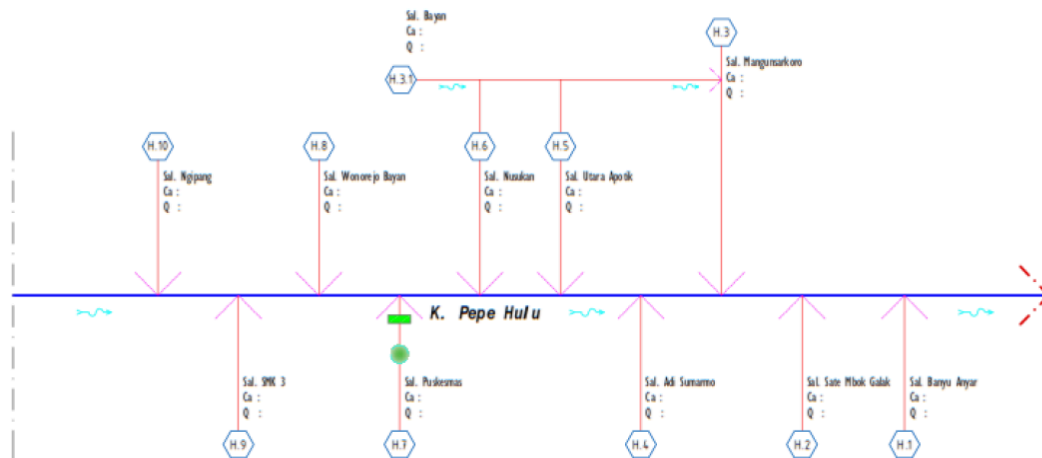
No.	Saluran	Sub DAS	Luas (Ha)	Hulu (m)			Tengah (m)			Hilir (m)		
				b	h	l	b	h	l	b	h	l
1.	H1	A1	25,97	2	1,5	445						
2.	H2	A2	15,953	0,9	1	87	2	2,7	400			
3.	H3	A5 dan A3	4,525	1,8	2,4	100	2	2,03	200	1,8	2,3	197
4.	H3.1	A14, A10, dan A4	35,708	1	1,3	169	1,1	1	900	1,8	1,2	100
5.	H4	A6	43,451	2,7	1,8	437	1,3	0,8	300	1,3	0,4	800
6.	H5	A8	1,789	1	1,3	117						
7.	H6	A9	1,488	1,5	1	108						
8.	H7	A11 dan A12	31,48	0,6	0,8	1060						
9.	H8	A17	44,405	4	3,3	130	3,8	1,7	700	4	3,7	800
10.	H9	A15	20,226	1,8	2,1	550						
11.	H10	A18	38,441	2,4	0,3	200	3,6	1,8	700	2,8	2,6	700

(Sumber: DPUPR Kota Surakarta, 2016)



(Sumber: Open street map Qgis)

Gambar 4.6 Peta Sub Sistem Drainase pada Kecamatan Banjarsari



(Sumber: DPUPR Surakarta)

Gambar 4.7 Skema Sub Sistem Drainase pada Kecamatan Banjarsari

4.4 Waktu Penelitian

Waktu studi dilaksanakan $\pm$ 6 bulan, yang meliputi pengumpulan data primer dan sekunder, pengolahan dan analisis data serta penulisan tugas akhir. Jadwal rencana kegiatan secara ringkas dapat dilihat pada Lampiran 1.

4.5 Langkah-langkah Penelitian

Sistematis pendekatan masalah penelitian mengikuti alur kerangka pikir penelitian, sebagai langkah awal penelitian diperlukan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Persiapan

Persiapan yang dilakukan dalam tahap ini berupa mencari studi literatur, dimana dalam studi literatur ini dilakukan melalui beberapa sumber baik dari tugas akhir, jurnal nasional maupun internasional, buku atau referensi lain yang berkaitan dengan analisis genangan.

2. Survei Lokasi

Survei lokasi dilakukan 27 Juni 2023. Dimana dalam survei tersebut dilakukan pengecekan data yang diperoleh dari pihak terkait dan pengukuran elevasi untuk masing-masing saluran drainase. Selain itu survei lokasi juga berguna agar kita mengetahui secara langsung kondisi lapangan.

3. Pengumpulan Data

Pengumpulan data baik sekunder maupun primer dilakukan untuk memperoleh data berupa data curah hujan, peta topografi, data hidrologi, dan data eksisting.

4. Analisis Data

Dalam tahapan analisis data dilakukan dalam rangkaian berupa analisis banjir maupun kapasitas, dilanjutkan dengan melakukan analisis distribusi frekuensi, melakukan uji kesesuaian distribusi, dan menghitung intensitas hujan dengan metode mononobe.

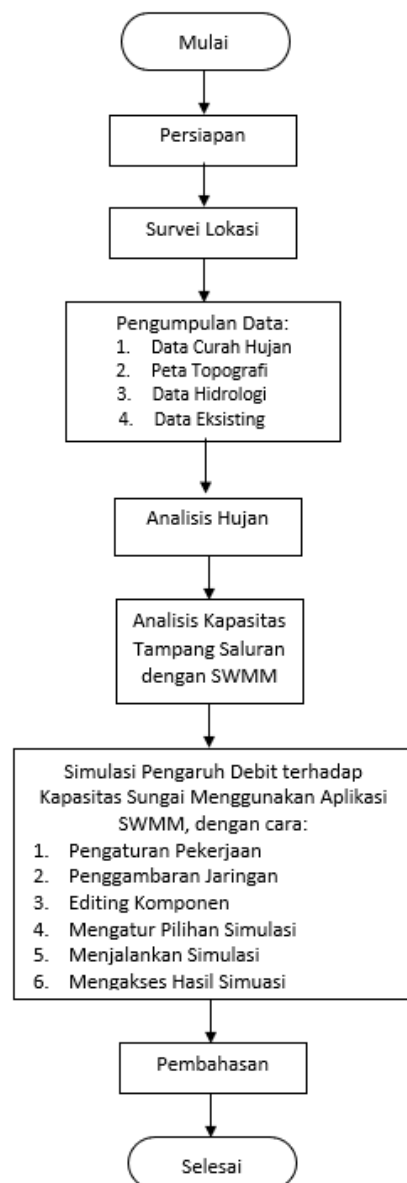
5. Simulasi Menggunakan EPA SWMM

Tahapan umum yang dilakukan dalam setiap simulasi EPA SWMM secara berurutan adalah pengaturan pekerjaan (*project setup*), penggambaran jaringan dan komponen sistem, editing komponen, mengatur pilihan simulasi, menjalankan simulasi, dan mengakses hasil simulasi.

6. Pembahasan

Hasil dari penelitian kemudian akan disajikan dalam bentuk sederhana yang ditulis dalam pembahasan dan diakhiri dengan kesimpulan dari analisis penelitian.

Tahapan penelitian secara ringkas dapat dilihat pada bagian alir yang ditunjukkan pada Gambar 4.8 sebagai berikut:



Gambar 4.8 Bagian Alir

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

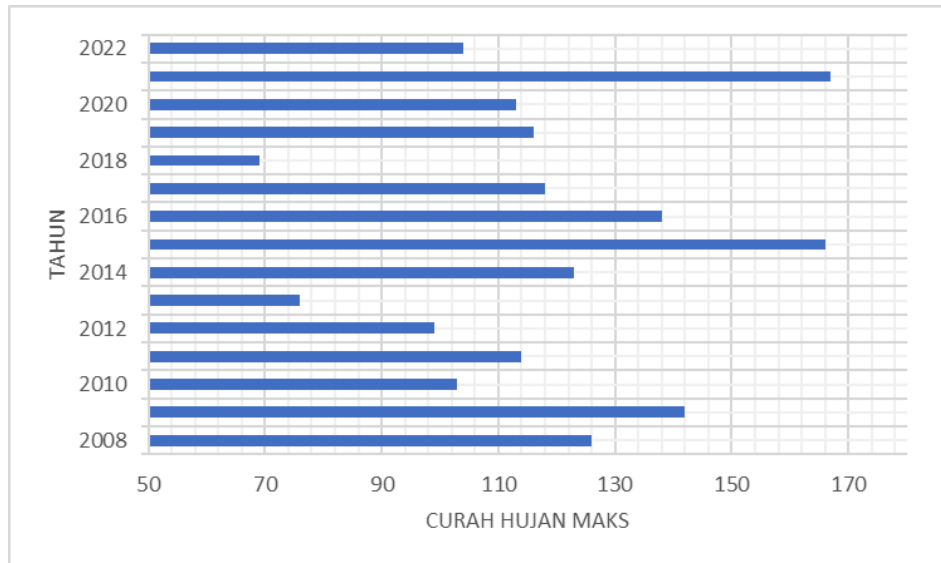
5.1 Pengolahan Data Curah Hujan

Data hujan yang digunakan hanya berasal dari satu stasiun hujan, hal ini dilakukan karena stasiun tersebut telah mencakup wilayah yang ditinjau. Data hujan diperoleh dari stasiun Pabelan selama 15 tahun terakhir, mulai dari tahun 2008-2022. Data hujan yang digunakan dalam perhitungan adalah data curah hujan harian maksimum (R_{24} maksimum) tiap tahunnya. Data curah hujan maksimum dapat dilihat pada Tabel 5.1 Berikut ini.

Tabel 5.1 Hujan Harian Maksimum Stasiun Pabelan

No.	Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nov	Des	Maks
1	2008	47	77	119	53	24	23	0	0	3	109	63	126	126
2	2009	142	68	49	47	61	84	0	0	3	51	43	50	142
3	2010	64	86	91	103	45	48	25	21	58	65	68	58	103
4	2011	108	65	83	46	29	6	53	0	5	84	37	114	114
5	2012	99	77	53	95	65	26	0	0	0	36	38	70	99
6	2013	73	65	69	76	61	0	21	1	0	69	27	49	76
7	2014	41	26	0	0	64	123	27	13	0	48	61	108	123
8	2015	87	77	166	112	61	25	0	0	0	4	36	123	166
9	2016	66	97	59	76	95	131	138	42	61	100	88	60	138
10	2017	74	100	78	95	57	54	4	0	55	79	72	118	118
11	2018	49	69	69	31	29	50	0	0	27	2	47	39	69
12	2019	97	76	116	95	43	0	0	0	0	1	38	80	116
13	2020	77	76	75	63	44	15	13	51	2	113	47	77	113
14	2021	93	43	75	42	167	61	23	32	52	34	97	69	167
15	2022	104	75	84	49	102	57	38	18	25	64	52	77	104

(Sumber: Stasiun Hujan Pabelan)



(Sumber: Hasil Analisis, 2024)

Diagram 5.1 Curah Hujan Maksimum Stasiun Pabelan 2008-2022

Diagram 5.1 di atas merupakan curah hujan harian maksimum Stasiun Pabelan mulai tahun 2008 hingga tahun 2022. Dalam diagram akan terlihat hubungan antara curah hujan maksimum dengan waktu dari tahun ke tahun. Dari Tabel 5.1 dan Diagram 5.1 dapat dilihat bahwa curah hujan harian maksimum (R_{24} maksimum) tertinggi di Stasiun Pabelan terjadi pada tahun 2021 sebesar 167 mm dan terendah terjadi pada tahun 2018 sebesar 69 mm.

5.2 Analisis Frekuensi

Untuk menentukan besarnya curah hujan rencana diperlukan perhitungan dispersi. Dimana terdapat beberapa jenis distribusi statistik yang dapat dipakai, yaitu distribusi *Gumbel*, Log *Pearson* III, Log Normal, dan distribusi Normal. Dari metode-metode tersebut harus diuji satu persatu untuk menentukan metode mana yang dapat digunakan dalam perhitungan. Perhitungan distribusi ini akan digunakan untuk mencari nilai curah hujan rancangan dengan kala ulang 5 tahun sesuai dengan standar yang ditetapkan yang terdapat pada Tabel 3.4, karena luas DAS Kali Pepe Hulu > 101 Ha yaitu sebesar 294,709 Ha.

5.2.1 Perhitungan Dispersi

Dalam perhitungan dispersi dibagi menjadi deviasi rata-rata, varians (*variance*), deviasi standar, koefisien variasi, kemencengan (*skewness*), dan koefisien kurtosis. Berikut adalah perhitungannya.

1. Deviasi rata-rata (*mean deviation, average deviation*)

$$\begin{aligned}\bar{X} &= \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} \\ &= \frac{126 + 142 + 103 + 114 + 99 + 76 + 123 + 166 + 138 + 118 + 69 + 116 + 113 + 167 + 104}{15} \\ &= 118,27 \text{ mm}\end{aligned}$$

2. Deviasi standar (*standard deviation*)

$$\begin{aligned}Sd &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1}} \\ &= \sqrt{\frac{(10760,93)}{15-1}} = 27,72\end{aligned}$$

3. Koefisien variasi (*variation coefficient*)

$$\begin{aligned}Cv &= \frac{s}{\bar{X}} \\ &= \frac{27,72}{118,27} \\ &= 0,23\end{aligned}$$

4. Kemencengan (*skewness*)

$$\begin{aligned}Cs &= \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)s^3} \\ &= \frac{15 \times 37180,969}{(15-1)(15-2)(27,72)^3} \\ &= 0,144\end{aligned}$$

5. Koefisien Kurtosis

$$\begin{aligned}Ck &= \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)s^4} \\ &= \frac{(15)^2 \times 20622218,89}{(15-1)(15-2)(15-3)(27,72)^4} \\ &= 3,6\end{aligned}$$

Hasil rekapitulasi perhitungan dispersi di atas dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut.

Tabel 5.2 Perhitungan Data Hujan Normal

No.	Tahun	X_{max} (mm)	X - Xrata-rata (mm)	(X - Xrata-rata) ² (mm)	(X - Xrata-rata) ³ (mm)	(X - Xrata-rata) ⁴ (mm)
1	2008	126	7,73	59,8	462,49	3576,57
2	2009	142	23,73	563,27	13368,3	317274,34
3	2010	103	-15,27	233,07	-3558,22	54322,14
4	2011	114	-4,27	18,2	-77,67	331,4
5	2012	99	-19,27	371,2	-7151,87	137792,74
6	2013	76	-42,27	1786,47	-75508,18	3191479,03
7	2014	123	4,73	22,4	106,05	501,96
8	2015	166	47,73	2278,47	108759,02	5191430,6
9	2016	138	19,73	389,4	7684,25	151635,82
10	2017	118	-0,27	0,07	-0,02	0,01
11	2018	69	-49,27	2427,2	-119580,27	5891321,42
12	2019	116	-2,27	5,14	-11,65	26,4
13	2020	113	-5,27	27,74	-146,09	769,38
14	2021	167	48,73	2374,94	115738,63	5640329,45
15	2022	104	-14,27	203,54	-2903,81	41427,63
Total		1774	0	10760,93	37180,97	20622218,89

(Sumber: Hasil Analisis, 2024)

5.2.2 Penentuan Jenis Distribusi

Penentuan jenis distribusi ini dilakukan dengan mencocokkan hasil yang didapat dari perhitungan dispersi dengan syarat dari masing-masing jenis distribusi. Penentuan jenis distribusi dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut.

Tabel 5.3 Nilai Sebaran Hujan

Jenis Sebaran	Syarat	Nilai	Hasil Parameter Statistik	Keterangan	
Normal	$C_s \approx 0$	0	0,1438	No	No
	$C_k \approx 3$	3	3,596	No	
Log Normal	$C_s = C_v^3 + 3C_v = 0,4$	0,4	-0,528	No	No
	$C_k = C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3 = 3,3$	3,3	3,9609	No	
Gumbel	$C_s \approx 1,14$	1,14	0,1438	No	No
	$C_k \approx 5,4$	5,4	3,596	No	
Log Pearson III	Bila tidak ada parameter statistik yang sesuai dengan ketentuan distribusi sebelumnya			Yes	Yes
				Yes	

(Sumber: Hasil Analisis, 2024)

Berdasarkan perhitungan diatas maka dipilih distribusi Log Pearson III karena memenuhi persyaratan yang ada.

5.2.3 Distribusi Log Pearson III

Untuk menghitung distribusi Log Pearson III digunakan parameter statistik yang berbeda dengan distribusi log normal. Dimana data hujan pada distribusi log pearson III diubah menjadi log. Berikut adalah perhitungannya.

1. Deviasi rata-rata (*mean deviation, average deviation*)

Ubah data hujan 2008 ke dalam skala logaritma:

$$y = \log X_i$$

$$= \log 126 = 2,1$$

Untuk menghitung nilai rata-rata dapat menggunakan rumus:

$$\begin{aligned}
 \log \bar{X} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log X_i \\
 &= \frac{30,92}{15} \\
 &= 2,06
 \end{aligned}$$

2. Deviasi standar (*standard deviation*)

$$\begin{aligned} Sd &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \log (xi - \bar{X})^2}{n-1}} \\ &= \sqrt{\frac{(0,159)}{15-1}} \\ &= 0,107 \end{aligned}$$

3. Koefisien variasi (*variation coefficient*)

$$\begin{aligned} Cv &= \frac{S}{\bar{X}} \\ &= \frac{0,107}{2,061} \\ &= 0,052 \end{aligned}$$

4. Kemencengan (*skewness*)

$$\begin{aligned} Cs &= \frac{n \sum_{i=1}^n \log (xi - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)S^3} \\ &= \frac{15 \times (-0,008)}{(15-1)(15-2)(0,107)^3} \\ &= -0,528 \end{aligned}$$

5. Koefisien Kurtosis

$$\begin{aligned} Ck &= \frac{n^2 \sum_{i=1}^n \log (xi - \bar{X})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)S^4} \\ &= \frac{(15)^2 \times (-0,005)}{(15-1)(15-2)(15-3)(0,107)^4} \\ &= 3,961 \end{aligned}$$

Berikut merupakan rekapitulasi distribusi Log Pearson III yang dapat dilihat pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Perhitungan Data Hujan Log

No.	Tahun	Xmax (mm)	Log X (mm)	(Log X - Log Xrt) (mm)	(Log X - Log Xrt) ² (mm)	(Log X - Log Xrt) ³ (mm)	(Log X - Log Xrt) ⁴ (mm)
1	2008	126	2,1	0,0393	0,0015	0,0001	0
2	2009	142	2,15	0,0912	0,0083	0,0008	0,0001
3	2010	103	2,01	-0,0483	0,0023	-0,0001	0
4	2011	114	2,06	-0,0042	0	0	0
5	2012	99	2	-0,0655	0,0043	-0,0003	0
6	2013	76	1,88	-0,1803	0,0325	-0,0059	0,0011
7	2014	123	2,09	0,0288	0,0008	0	0
8	2015	166	2,22	0,159	0,0253	0,004	0,0006
9	2016	138	2,14	0,0788	0,0062	0,0005	0
10	2017	118	2,07	0,0108	0,0001	0	0
11	2018	69	1,84	-0,2223	0,0494	-0,011	0,0024
12	2019	116	2,06	0,0033	0	0	0
13	2020	113	2,05	-0,008	0,0001	0	0
14	2021	167	2,22	0,1616	0,0261	0,0042	0,0007
15	2022	104	2,02	-0,0441	0,0019	-0,0001	0
Total		1774	30,92	0	0,1590	-0,0078	0,005

(Sumber: Hasil Analisis, 2024)

Setelah mengetahui nilai-nilai yang dibutuhkan dapat dilanjutkan dengan mencari curah hujan rancangan untuk masing-masing kala ulang. Berikut adalah langkah perhitungannya:

- Dalam menentukan nilai k dapat dengan membandingkannya dengan nilai koefisien kemencengan pada Tabel 3.5 dengan cara membandingkan nilai CS dan periode ulang.
- Menghitung nilai curah hujan rancangan distribusi Log Pearson III menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Kala Ulang 5 tahun (LogX)} &= \bar{X} + Kt \times S \\
 &= 2,06 + 0,855 \times 0,107 \\
 &= 2,152
 \end{aligned}$$

- c. Tentukan nilai anti Log dari Log X

$$\begin{aligned}
 \text{Kala Ulang 5 tahun (X)} &= 10^{\text{LogX}} \\
 &= 10^{2,152} \\
 &= 141,986
 \end{aligned}$$

Berikut merupakan hasil rekapitulasi dari curah hujan rancangan distribusi Log Pearson III dapat dilihat pada Tabel 5.5

Tabel 5.5 Curah Hujan Rancangan Distribusi Log Pearson III

T (tahun)	Pr (%)	Xt	K	S	Log X	X (mm)
5	20	2,06	0,855	0,107	2,152	141,986

(Sumber: Hasil Analisis, 2024)

Dari perhitungan distribusi Log Pearson III diatas didapatkan nilai hujan rancangan untuk kala ulang 5 tahun sebesar 141,986 mm.

5.3 Uji Kecocokan Sebaran Distribusi

Dalam melakukan pengujian distribusi menggunakan metode *Chi Square* dan *Smirnov Kolmogorov*.

5.3.1 Uji *Chi Square*

Dalam melakukan pengujian ini diperlukan tingkat kecocokan statistik atau derajat kepercayaan (α) sebesar 5%. Berikut adalah langkah-langkah dalam melakukan perhitungan uji *Chi Square*:

- a. Menghitung banyaknya sub kelompok (G), derajat kebebasan (Dk)

$$\begin{aligned}
 n &= 15 \\
 K &= 1 + (3,322 \times \log n) \\
 &= 1 + (3,322 \times \log 15) \\
 &= 4,907 \approx 5
 \end{aligned}$$

$$Dk = K - (p + 1)$$

$$= 5 - (2 + 1)$$

$$= 2$$

$$X_{kritis} = 5,99 \text{ (didapat dari Tabel 3.10)}$$

- b. Menentukan data yang muncul pada tiap kelas

Dalam menentukan jumlah data yang muncul pada setiap kelas (O_i), langkah pertama dengan mengurutkan data hujan maksimum (R_{24}). Curah hujan maksimum harus diurutkan mulai dari yang terkecil ke terbesar. Berikut adalah perhitungannya:

1. Mencari nilai $KTR = 0,5733 \times (\ln P_UH) - 0,4145$

$$KTR = 0,5733 \times (\ln P_UH) - 0,4145$$

$$= 0,5733 \times (\ln 1) - 0,4145$$

$$= -0,4145$$

Untuk perhitungan berikutnya dilakukan dengan cara yang sama.

2. Mencari nilai $\log X = \log X_{rt} + (KTR \times S_d)$

$$\log X = \log X_{rt} + (KTR \times S_d)$$

$$= 2,06 + (0,50819 \times 0,107)$$

$$= 2,11527$$

Untuk perhitungan berikutnya dilakukan dengan cara yang sama.

3. Mencari nilai $X = 10^{\log X}$

$$X = 10^{\log X}$$

$$= 10^{\log 2,11527}$$

$$= 130,397$$

Untuk perhitungan berikutnya dilakukan dengan cara yang sama. Hasil rekapitulasi dari perhitungan diatas dapat dilihat pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Pembagian Kelas Distribusi

No.	Kelas Distribusi (%)	P _x	KTR	Log X	X
1	20	5	0,508	2,115	130,397
2	40	2,5	0,111	2,073	118,284
3	60	1,667	-0,122	2,048	111,726
4	80	1,25	-0,287	2,031	107,295

(Sumber: Hasil Analisis, 2024)

Berikut adalah hasil akhir pengujian chi square untuk distribusi Log Pearson III yang dapat dilihat pada Tabel 5.7.

Tabel 5.7 Chi Square untuk Distribusi Log Pearson III

Kelas	Interval	E _i	O _i	E _i - O _i	(E _i -O _i) ² /E _i
1	> 130,3973	3	4	-1	0,333
2	118,2837 - 130,3973	3	3	0	0
3	111,7263 - 118,2837	3	3	0	0
4	107,2954 - 111,7263	3	0	3	3
5	< 107,2954	3	5	-2	1,333
Jumlah		15	15	X_{hitung}	4,667
				X_{hitung}	= 4,667
				X_{kritis}	= 5,99

(Sumber: Hasil Analisis, 2024)

Dari perhitungan diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa analisis distribusi dengan Log Pearson III dapat diterima karena memenuhi syarat Uji *Chi Square* dengan $X_{hitung} < X_{kritis}$ yaitu, $4,667 < 5,99$.

5.3.2 Uji *Smirnov Kolmogorov*

Dalam pengujian *Smirnov Kolmogorov* tingkat kecocokan statistik atau derajat kepercayaan (α) sebesar 5%. Berikut merupakan langkah-langkah dalam perhitungan *smirnov kolmogorov*.

a. Mencari nilai $Pe[X] = \frac{m}{1+n}$

$$\begin{aligned} \text{Tahun 2008, } Pe[X] &= \frac{1}{1+15} \\ &= 0,063 \end{aligned}$$

b. Mencari nilai $K = \frac{\log X - X_{rt}}{Sd}$

$$\begin{aligned} \text{Tahun 2008, } K &= \frac{2,223 - 2,061}{0,1066} \\ &= 1,517 \end{aligned}$$

c. Mencari nilai $Pe[X]$ = didapat dari Tabel 3.12

d. D_{max} = nilai maksimum dari perhitungan $Pe[X] - Pt[X]$
 $= 0,07764$ (data pada tahun 2012)

e. Nilai kritis (D_0) untuk derajat kepercayaan (α) = 0,01 dengan $n = 15$ didapatkan nilai sebesar 0,4 sedangkan untuk derajat kepercayaan (α) = 0,05 nilai kritisnya sebesar 0,34.

Hasil rekapitulasi dari perhitungan diatas dapat dilihat pada Tabel 5.8.

Tabel 5.8 Smirnov Kolmogorov pada Distribusi Log Pearson III

No.	X	Urutan Max-Min	Log X	m	Pe [X]	K	Pt [X]	Pe [X] - Pt [X]
1	126	167	2,223	1	0,063	1,517	0,046648	0,015852382
2	142	166	2,22	2	0,125	1,492	0,050906	0,074094267
3	103	142	2,152	3	0,188	0,856	0,199885	0,012384943
4	114	138	2,14	4	0,25	0,739	0,245327	0,004673443
5	99	126	2,1	5	0,313	0,368	0,390144	0,077644464
6	76	123	2,09	6	0,375	0,27	0,428505	0,053505339
7	123	118	2,072	7	0,438	0,101	0,494569	0,05706873
8	166	116	2,064	8	0,5	0,031	0,518752	0,018752119

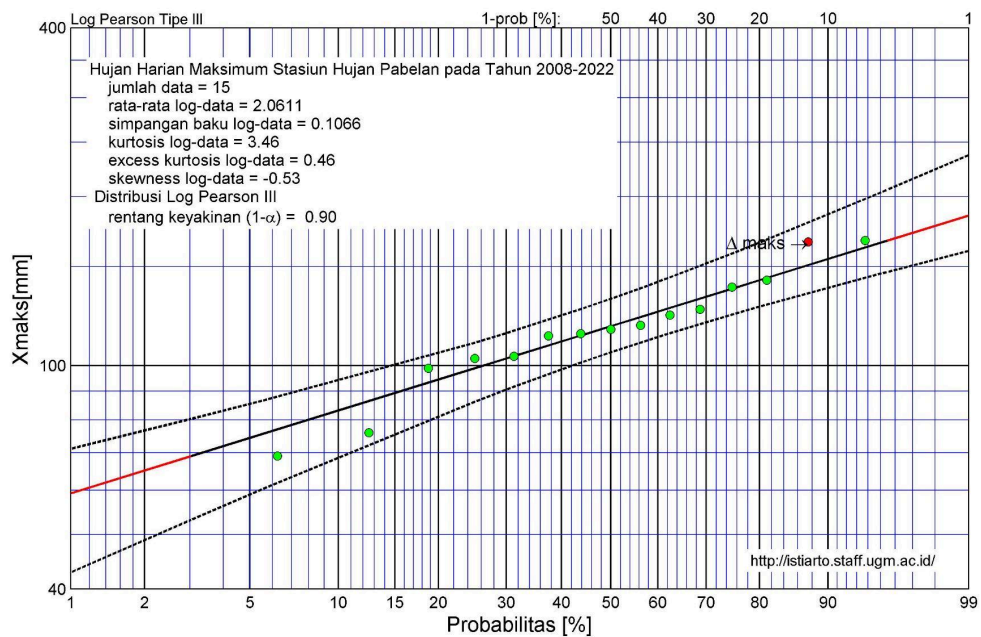
Lanjutan Tabel 5.8 Smirnov Kolmogorov pada Distribusi Log Pearson III

No.	X	Urutan Max-Min	Log X	m	Pe [X]	K	Pt [X]	Pe [X] - Pt [X]
9	138	114	2,057	9	0,563	-0,04	0,542588	0,019912378
10	118	113	2,053	10	0,625	-0,075	0,554663	0,070337349
11	69	104	2,017	11	0,688	-0,414	0,668411	0,019089498
12	116	103	2,013	12	0,75	-0,453	0,681652	0,068347783
13	113	99	1,996	13	0,813	-0,615	0,735937	0,076563186
14	167	76	1,881	14	0,875	-1,692	0,888776	0,013776039
15	104	69	1,839	15	0,938	-2,086	0,92819	0,009309998
Jumlah			30,917				Dmax	0,077644464
Xrt			2,0611				α	5%
Sd			0,1066				Dcr	0,34
n			15				α	Δkritis
Cs			-0,528				5%	0,34
							1%	0,4
								Diterima
								Diterima

(Sumber: Hasil Analisis, 2024)

Dari perhitungan diatas disimpulkan bahwa analisis distribusi dengan Log Pearson III dapat diterima karena memenuhi syarat uji *Smirnov Kolmogorov* dengan $X_{hitung} < X_{kritis}$ yaitu, $0,07764 < 0,4$ untuk derajat kepercayaan 0,01 dan $X_{hitung} < X_{kritis}$ yaitu, $0,07764 < 0,34$ untuk derajat kepercayaan 0,05.

Dibuktikan juga dengan Grafik 5.1 dibawah yang diperoleh dari aplikasi AProb_41.exe dimana aplikasi ini digunakan untuk melakukan analisis frekuensi dan data hidrologi ekstrem. Dari Grafik 5.1 terlihat bahwa analisis distribusi yang dapat digunakan dalam penelitian ini berupa Log Pearson III karena didapatkan Δ_{max} dengan selisih maksimum 0,076 tidak melebihi Δ_{kritis} , maka dinyatakan lolos uji.



(Sumber: Hasil Analisis, 2024)

Grafik 5.1 Log Pearson III dengan AProb

5.4 Hujan Rancangan

Setelah melakukan perhitungan curah hujan harian maka selanjutnya dapat menentukan nilai distribusi jam-jaman. Dalam intensitas hujan (I) dapat ditentukan durasi hujan yaitu sepanjang 6 jam dengan interval perhitungan 1 jam. Durasi waktu diambil selama 6 jam karena berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Ropri (2010) di wilayah Surakarta menunjukkan hasil bahwa hujan yang terjadi di wilayah Bengawan Solo didominasi oleh kejadian hujan jam-jaman dengan durasi 6 jam. Berikut adalah langkah-langkah perhitungan untuk menghitung distribusi jam-jaman:

- Intensitas hujan jam-jaman dengan metode Mononobe kala ulang 5 tahun:

$$\begin{aligned}
 \text{Jam ke-1} &= \frac{X_i}{n} \times \left(\frac{n}{t}\right)^{2/3} \\
 &= \frac{141,986}{6} \times \left(\frac{6}{1}\right)^{2/3} \\
 &= 78,138
 \end{aligned}$$

- b. Setelah mendapatkan hasil untuk intensitas hujan jam-jaman dilanjutkan dengan membuat *hyetograph* rencana dengan ABM. Perhitungan ABM kala ulang 5 tahun dengan Curah hujan 141,986 mm adalah sebagai berikut.

- 1) Mencari nilai $X = I \times t$

$$\begin{aligned} X \text{ jam ke-1} &= 78,138 \times 1 \\ &= 78,138 \end{aligned}$$

- 2) Mencari nilai ΔX (mm)

$$\begin{aligned} \Delta X \text{ (mm) jam ke-1} &= 78,138 \\ \Delta X \text{ (mm) jam ke-2} &= 98,447 - 78,138 \\ &= 20,31 \text{ mm} \end{aligned}$$

- 3) Mencari nilai ΔX (%) = $\frac{\Delta X \text{ (mm)}}{\Delta X_{tot}} \times 100$

$$\begin{aligned} \Delta X \text{ (%) jam ke-1} &= \frac{78,138}{141,986} \times 100 \\ &= 55,032 \% \end{aligned}$$

- 4) $Hyetograph \text{ (mm) jam ke-1} = \frac{Hyetograph \text{ (%) } \times X_{tot}}{100}$
- $$\begin{aligned} &= \frac{6,746 \times 141,986}{100} \\ &= 9,578 \text{ mm} \end{aligned}$$

Hyetograph ABM dari perhitungan di atas dapat dilihat pada Diagram 5.2 berikut.

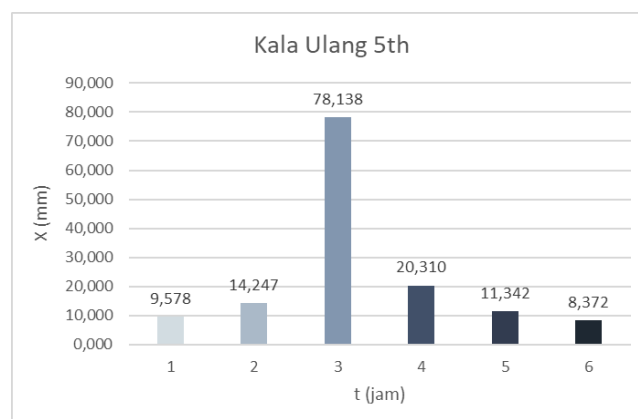


Diagram 5.2 ABM Kala Ulang 5 tahun

(Sumber: Hasil Analisis, 2024)

Hasil rekapitulasi untuk nilai sebaran hujan dengan kala ulang 5 tahun dapat dilihat pada Tabel 5.9.

Tabel 5.9 Nilai Sebaran Hujan Kala Ulang 5 Tahun

Kala Ulang	5	Curah Hujan	141,986			Hyetograph	
Jam ke, t (jam)	Δt (jam)	It (mm/jam)	$P = It * t$ (mm)	ΔP (mm)	Pt (%)	%	mm
1	1	78,138	78,138	78,138	55,032	6,746	9,578
2	1	49,224	98,447	20,31	14,304	10,034	14,247
3	1	37,565	112,694	14,247	10,034	55,032	78,138
4	1	31,009	124,036	11,342	7,988	14,304	20,31
5	1	26,723	133,614	9,578	6,746	7,988	11,342
6	1	23,664	141,986	8,372	5,896	5,896	8,372
			Total	141,986			

(Sumber: Hasil Analisis, 2024)

5.5 Simulasi SWMM

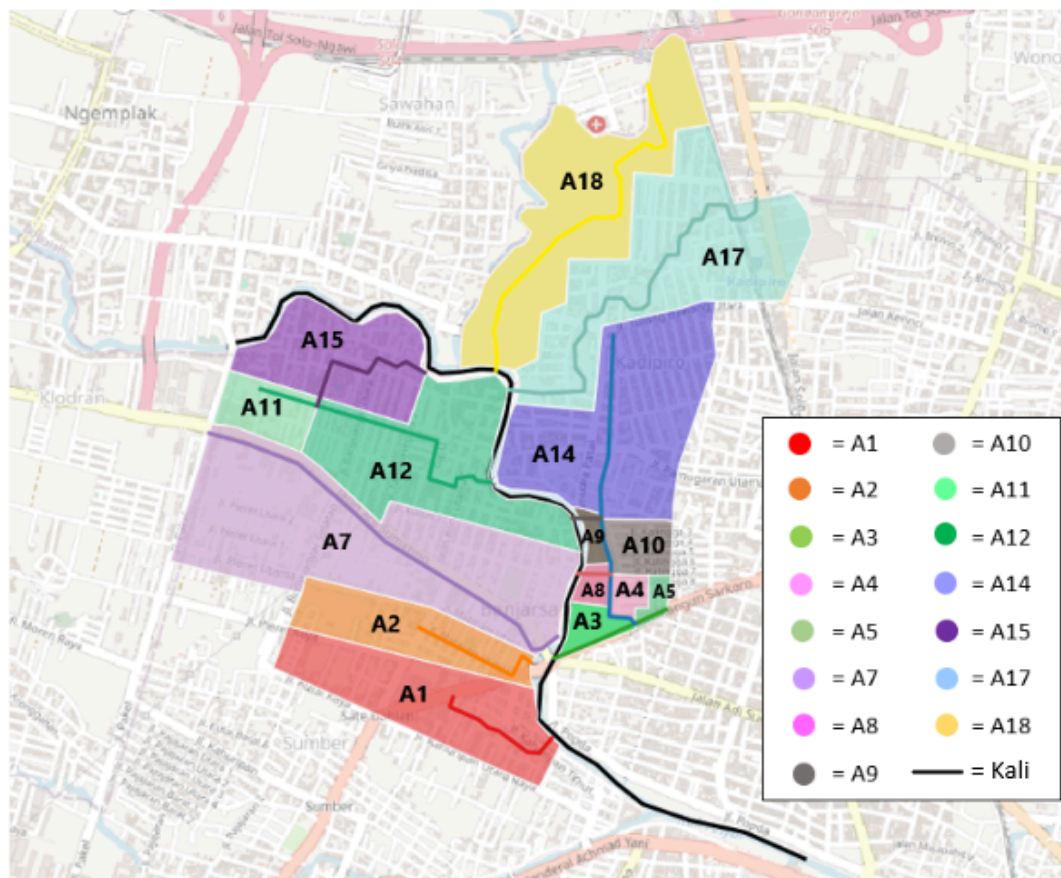
5.5.1 Penggambaran Sistem

Berikut ini yang harus disiapkan dan harus dilakukan sebelum melakukan pemodelan pada Drainase:

1. Penggambaran menggunakan Qgis

Sebelum melakukan pemodelan pada EPA SWMM, dilakukanlah pembagian *subcatchment*, *junction*, *conduit*, dan *outfall* menggunakan *software* Qgis. Dimana dalam melakukan pembagian ini harus *download* dan memasukkan peta lokasi Kecamatan Banjarsari terlebih dahulu. Setelah itu dilanjutkan dengan menentukan letak drainase sesuai dengan kondisi aslinya yang dapat dilihat pada Gambar 4.6.

Setelah menentukan letak drainase, dilanjutkan dengan menentukan batas-batas daerah aliran pada Drainase Kali Pepe Hulu serta membagi batas-batas untuk masing-masing *subcatchment*. Dalam menentukan *subcatchment* harus memperhatikan batas antar *subcatchment*. Dimana dalam pembagian *subcatchment* dapat dilihat pada Gambar 5.1.

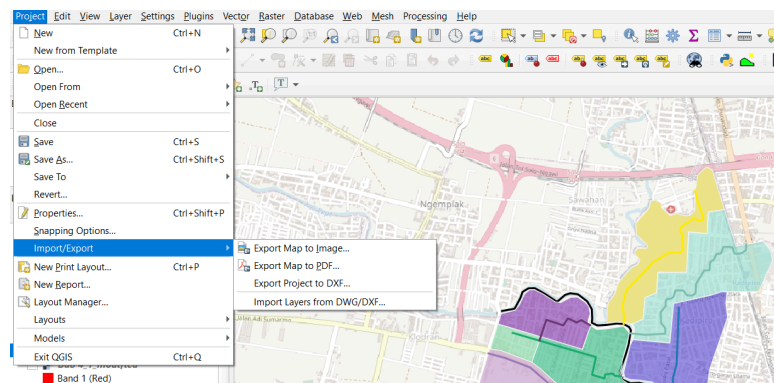


Gambar 5.1 Hasil Pembagian *Subcatchment* pada Qgis

(Sumber: Hasil Analisis, 2024)

2. Pemodelan manual menggunakan EPA SWMM

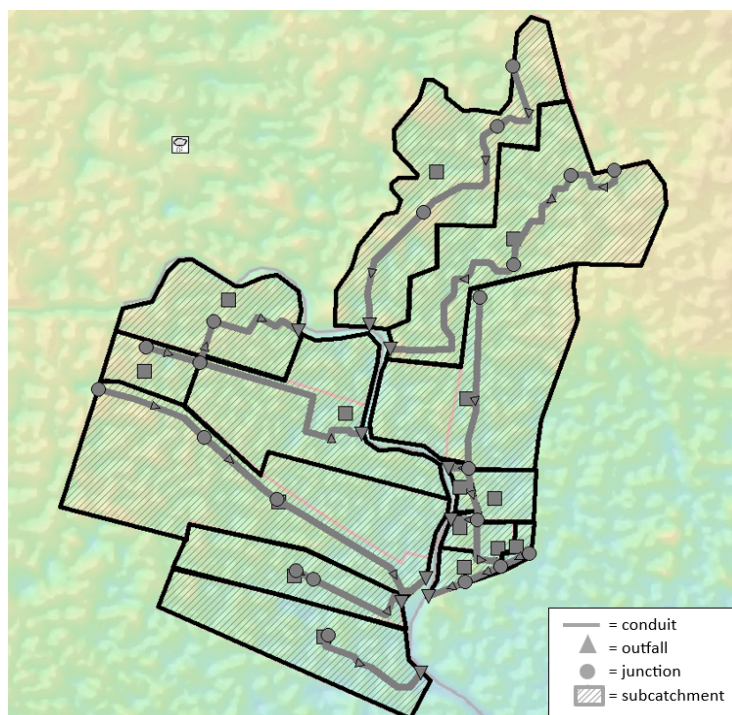
Sebelum menggambar manual pada *software* SWMM, peta yang sebelumnya dibuat pada Qgis harus diekspor dengan mengubah format jpg menjadi jgw cara mengubahnya seperti pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2 Ekspor Peta dari Qgis

(Sumber: Hasil Analisis, 2024)

Setelah diekspor dilakukan penggambaran *subcatchment*, *conduit*, *junction*, dan *outfall* pada SWMM secara manual sesuai dengan peta lokasi pemodelan pada Qgis, kemudian dilanjutkan dengan memasukkan parameter yang telah dihitung sebelumnya pada SWMM. Gambar 5.3 berikut merupakan hasil akhir dari penggambaran manual pada *Software* SWMM.



Gambar 5.3 Penggambaran pada SWMM

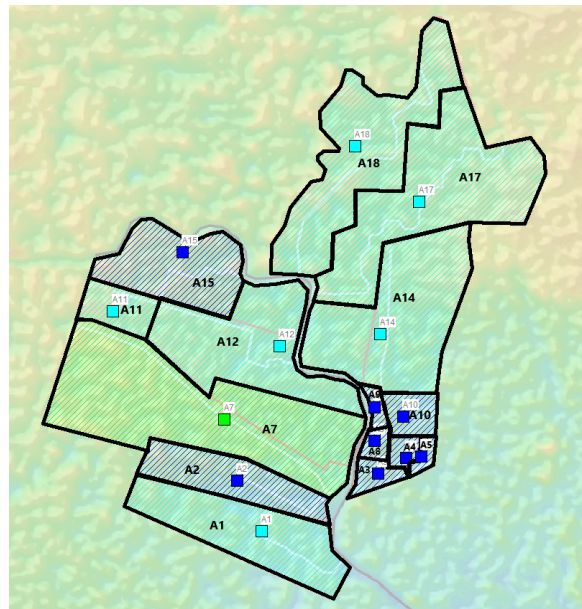
(Sumber: Hasil Analisis, 2024)

5.5.2 Input Data

Beberapa nilai variabel untuk setiap objek yang sudah dijelaskan sebelumnya akan dijelaskan pada bagian ini. Nilai variabel tersebut digunakan sebagai input data dalam sistem yang telah dimodelkan. Berikut macam-macam parameternya.

1. *Subcatchment* (Daerah Tangkapan Air)

Pada Kecamatan Banjarsari dilakukan pembagian *subcatchment* sebanyak 15 area. Gambar 5.4 merupakan pembagian *subcatchment*.



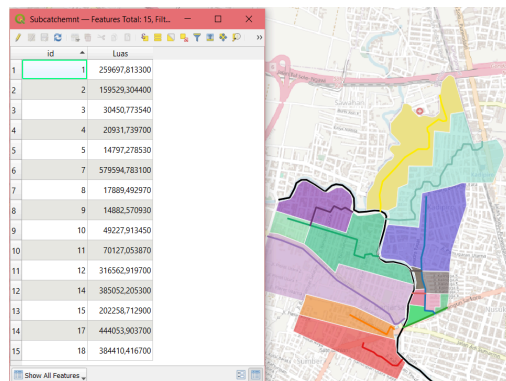
Gambar 5.4 Pembagian *Subcatchment* pada SWMM

(Sumber: Hasil Analisis, 2024)

Untuk komponen *subcatchment* sendiri memiliki beberapa parameter yang harus diketahui parameter tersebut adalah *area*, *width*, *%slope*, *%impervious*, *n-impervious*, *n-pervious*, *d store-impervious*, *d store-pervious*, *%zero-impervious*, dan *outlet*.

a. *Area* (luas)

Luas area untuk masing-masing *subcatchment* didapat dengan menggunakan analisis *calculate geometry* pada *software* Qgis yang dapat dilihat pada Gambar 5.5.



Gambar 5.5 Calculate Geometry pada Software Qgis untuk Area

(Sumber: Hasil Analisis, 2024)

Hasil rekapitulasi untuk luas area masing-masing *subcatchment* dapat dilihat pada Tabel 5.10.

Tabel 5.10 Luas dari Masing-masing Subcatchment

Sub Das	Luas Area (Ha)	Sub Das	Luas Area (Ha)
A1	25,970	A10	4,923
A2	15,953	A11	7,0127
A3	3,045	A12	31,656
A4	2,093	A14	38,505
A5	1,48	A15	20,226
A7	57,959	A17	44,405
A8	1,789	A18	38,441
Total		294,945	

(Sumber: Hasil Analisis, 2024)

Dari Tabel 5.10 di atas dapat dilihat bahwa luas dari setiap *subcatchment* sangat bervariasi. *Subcatchment* dengan luas terbesar adalah A7 sebesar 57,959 Ha, sedangkan *subcatchment* terkecil adalah A5 dengan luas 1,48 Ha.

b. *Width* (lebar)

Dalam menentukan *width* dapat dilakukan dengan mengukur panjang dari masing-masing *subcatchment* yang didapat dari *calculate geometry* yang , kemudian dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$width = \frac{luas\ subcatchment}{panjang\ subcatchment}$$

$$width\ A1 = \frac{259697}{799,855} = 324,68\ m$$

Untuk selanjutnya dilakukan perhitungan dengan cara yang sama. Tabel 5.11 berikut merupakan rekapitulasi dari nilai panjang dan *width* dari masing-masing *subcatchment*.

Tabel 5.11 Nilai Panjang dan *Width* dari Masing-masing *Subcatchment*

Sub Das	Panjang (m)	<i>Width</i> (m)
A1	799,855	324,68
A2	808,924	197,21
A3	157,568	193,25
A4	149,807	139,72
A5	84,699	174,7
A7	1080,196	536,56
A8	113,653	157,4
A9	72,454	205,4
A10	189,3	260,05
A11	1239,441	209,53
A12	584,091	541,97
A14	579,86	664,04
A15	529,36	382,08
A17	617,873	718,68
A18	687,256	559,34

(Sumber: Hasil Analisis, 2024)

Dalam Tabel 5.11 dapat dilihat bahwa nilai *width* dari setiap *subcatchment* sangat bervariasi. Nilai *width* terbesar terletak pada A17 sebesar 718,68 m, sedangkan nilai *width* terkecil terletak pada A4 sebesar 139,72 m.

c. *%Slope*

Cara menentukan nilai *%slope* didapat dari *software google earth* seperti pada Gambar 5.6 sebagai berikut. Dari gambar di bawah diketahui bahwa nilai *%slope* untuk *subcatchment* 12 adalah sebesar 4,3%.



Gambar 5.6 Average Slope pada Software Google Earth untuk *%Slope*

(Sumber: Hasil Analisis, 2024)

Tabel 5.12 berikut adalah hasil rekapitulasi untuk masing-masing *%slope* pada setiap *subcatchment*.

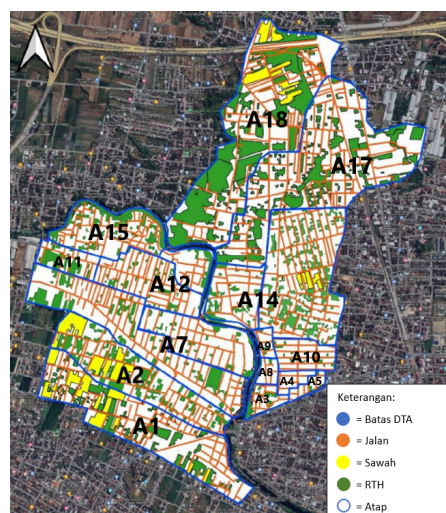
Tabel 5.12 %Slope dari Masing-masing *Subcatchment*

Sub Das	%Slope	Sub Das	%Slope
A1	4,5	A9	2,8
A2	4,7	A10	4
A3	7,5	A11	3,6
A4	0	A12 B	4,3
A5	0,7	A14 B	5,3
A7 B	4,3	A15	4,4
A8	0,6	A17	5,6
		A18	5,6

(Sumber: Hasil Analisis, 2024)

d. %*Impervious*

Dalam menentukan %*impervious* dari masing-masing *subcatchment* dilakukan analisis menggunakan *software* Qgis, yaitu dengan melakukan pemetaan tata guna lahan sesuai dengan Gambar 5.7. Kemudian dilanjutkan dengan perhitungan untuk mengetahui luas dari masing-masing bagian.



Gambar 5.7 Tata Guna Lahan Kecamatan Banjarsari

(Sumber: Hasil Analisis, 2024)

Setelah melakukan pembagian tata guna lahan maka dilakukan *calculate geometry* untuk mengetahui luas tiap pembagian wilayah. Dalam pemetaan *subcatchment* 1 pembagian wilayah jalan yang diperoleh seluas 32.600,3 m². Sedangkan untuk nilai masing-masing koefisien dapat dilihat pada Tabel 3.10 Setelah mengetahui luas dan koefisien maka dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$\%impervious = \frac{(luas\ atap \times c\ atap) + (luas\ jalan \times c\ jalan)}{(luas\ atap + luas\ jalan)} \times 100$$

$$\%impervious\ A1 = \frac{(118198,8 \times 0,75) + (32600,3 \times 0,7)}{(118198,8 + 32600,3)} \times 100$$

$$= 73,92 \%$$

Untuk data selanjutnya dilakukan perhitungan dengan cara yang sama. Hasil rekapitulasi dari perhitungan *%impervious* dapat dilihat pada Tabel 5.13 berikut.

Tabel 5.13 %Impervious dari Masing-masing Subcatchment

Sub Das	Atap			Jalan			%imprv
	Luas (m ²)	C	Total	Luas (m ²)	C	Total	
A1	118198,81	0,75	88649,11	32600,3	0,7	22820,2	73,92
A2	38400,25	0,75	28800,19	25527,75	0,7	2,55	45,05
A3	20776,8	0,75	15582,6	3013,2	0,7	0,3	65,5
A4	19155,8	0,75	14366,85	1775,2	0,7	0,18	68,64
A5	4715,6	0,75	3536,7	8081,4	0,7	0,81	27,64
A7	355690	0,75	266767,5	166300	0,7	16,63	51,11
A8	15100,65	0,75	11325,49	1288,35	0,7	0,13	69,1
A9	11203,25	0,75	8402,44	1478,75	0,7	0,15	66,26
A10	36343	0,75	27257,25	9534	0,7	0,95	59,42
A11	202900	0,75	152175	25600	0,7	2,56	66,6
A12	282557,15	0,75	211917,86	20172,85	0,7	2,02	70

Lanjutan Tabel 5.13 %*Impervious* dari Masing-masing *Subcatchment*

Sub Das	Atap			Jalan			%imprv
	Luas (m ²)	C	Total	Luas (m ²)	C	Total	
A14	258450	0,75	193837,5	45700	0,7	4,57	63,73
A15	143929,2	0,75	107946,9	15698,8	0,7	1,57	67,63
A17	262143,2	0,75	196607,4	42239,8	0,7	4,22	64,59
A18	57150,4	0,75	42862,8	62679,6	0,7	6,27	35,77

(Sumber: Hasil Analisis, 2024)

e. *N-impervious* dan *N-Pervious*

Nilai *N-impervious* dan *N-Pervious* didapat dari Tabel 3.11 dapat diketahui bahwa nilai *N-impervious* untuk *smooth asphalt* sebesar 0,011 sedangkan untuk *N-Pervious* berupa *grass short, prairie* sebesar 0,15. Jadi untuk setiap *subcatchment* memiliki nilai yang sama untuk parameter *N-impervious* dan *N-Pervious*.

f. %*Zero-impervious*

Dalam menentukan nilai %*zero-impervious* menggunakan cara yang hampir sama dengan tahapan mencari nilai *N-impervious* dan *N-pervious* yaitu dengan pemilihan area tata guna lahan. Setelah menentukan area terpilih maka dapat ditentukan nilai %*zero-impervious*. Dalam pemetaan tata guna lahan dalam *subcatchment* 1 pada Gambar 5.7 yang termasuk kedalam %*zero-impervious* adalah jalan dan area komersial. Berikut adalah perhitungannya:

$$\begin{aligned} \%Zero - impervious &= \frac{\text{jumlah \%zero-impervious dari setiap wilayah}}{\text{luas subcatchment}} \times 100 \\ \%Zero - impervious A1 &= \frac{(118198,8 + 32600,3)}{259697} \times 100 \\ &= 58,07 \% \end{aligned}$$

Untuk data selanjutnya dilakukan perhitungan dengan cara yang sama. Hasil rekapitulasi dari perhitungan *%zero-impervious* dapat dilihat pada Tabel 5.14 berikut.

Tabel 5.14 %Zero-impervious dari Setiap Subcatchment

Sub Das	Luas Area (m ²)	Luas Atap (m ²)	Luas Jalan (m ²)	%Zero-impervious
A1	259697	118198,81	32600,3	58,07
A2	159528	38400,25	25527,75	40,07
A3	30450	20776,8	3013,2	78,13
A4	20931	19155,8	1775,2	100
A5	14797	4715,6	8081,4	86,48
A7	579590	355690	166300	90,06
A8	17889	15100,65	1288,35	91,61
A9	14882	11203,25	1478,75	85,22
A10	49227	36343	9534	93,19
A11	259700	202900	25600	87,99
A12	316560	282557,15	20172,85	95,63
A14	385050	258450	45700	78,99
A15	202258	143929,2	15698,8	78,92
A17	444053	262143,2	42239,8	68,55
A18	384410	57150,4	62679,6	31,17

(Sumber: Hasil Analisis, 2024)

g. Outlet

Dalam menentukan *outlet subcatchment* harus memperhatikan arah aliran air pada *contour*, *conduit* dari kali dan survei secara langsung.

Tabel 5.15 Merupakan *Outlet* pada Drainase Kali Pepe Hulu.

Tabel 5.15 Outlet dari Setiap Subcatchment

Sub Das	Outlet	Sub Das	Outlet
A1	J1	A10	J8
A2	J2_Hulu	A11	J11
A3	J5_Hilir	A12	J12
A4	J5_Hilir	A14	J14
A5	J5_Hulu	A15	O15
A7	J7_Hulu	A17	J17_Hulu
A8	J8	A18	J18_Hulu
A9	J9		

(Sumber: Hasil Analisis, 2024)

h. *D store-impervious* dan *D store-pervious*

Untuk menentukan nilai *D store-impervious* dan *D store-pervious* dapat dilihat pada Tabel 3.12. Dimana untuk nilai *D Store-Impervious* pada daerah yang kedap air sebesar 0,05 inc, yaitu 1,27 mm sedangkan untuk nilai *D Store-Pervious* pada daerah yang tidak kedap air sebesar 0,1 inc, yaitu 2,54 mm. Nilai tersebut digunakan untuk seluruh *subcatchment* selama melakukan pemodelan menggunakan *software* SWMM.

2. Junction

Dalam menentukan elevasi (*invert el*) *junction* menggunakan data yang didapat dari DPUPR Kota Surakarta pada tahun 2016. Hasil rekapitulasi untuk parameter yang dibutuhkan masing-masing *junction* dapat dilihat pada Tabel 5.16 berikut.

Tabel 5.16 Parameter pada Setiap *Junction*

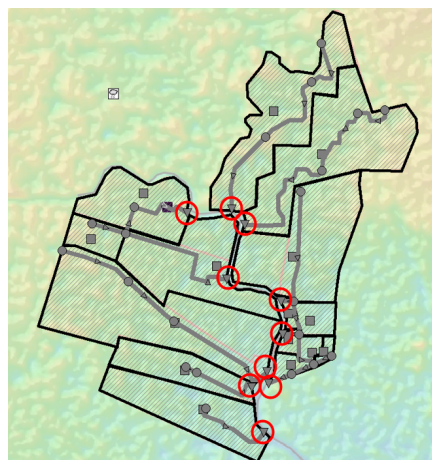
<i>Junction</i>	<i>Invert el.</i>	<i>Junction</i>	<i>Invert el.</i>	<i>Junction</i>	<i>Invert el.</i>
J1	95	J7_Tengah	99,48	J15	98,95
J2_Hulu	95,45	J7_Hilir	98,78	J17_Hulu	100,85
J2_Hilir	95,12	J8	96,37	J17_Tengah	96,08
J3	94,14	J9	97,53	J17_Hilir	95,57
J5_Hulu	94,55	J11	99,67	J18_Hulu	96,96
J5_Hilir	94,23	J12	99	J18_Tengah	96,29
J7_Hulu	100,53	J14	98,15	J18_Hilir	95,64

(Sumber: Hasil Analisis, 2024)

Melalui Tabel 5.16 Dapat dilihat bahwa *junction* memiliki elevasi tertinggi berada pada J17_Hulu sebesar 100,85 dan elevasi terendah terletak pada J3 sebesar 94,14.

3. *Outfall*

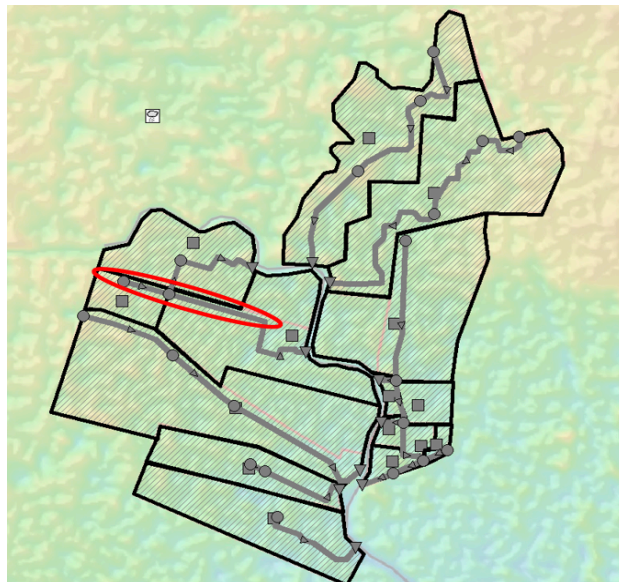
Letak *outfall* masing-masing drainase mengarah pada Kali Pepe Hulu. Gambar 5.8 adalah letak masing-masing *outfall* dalam pemodelan EPA SWMM.

**Gambar 5.8 Letak *Outfall* dalam Pemodelan**

(Sumber: Hasil Analisis, 2024)

4. *Conduit*

Parameter yang dibutuhkan berupa *inlet node*, *outlet node*, bentuk saluran (*shape*), Kedalaman saluran (*max depth*), lebar saluran (*bottom width*), panjang saluran (*length*), dan kekasaran saluran (*roughness*). Untuk saluran drainase pada wilayah tersebut memiliki bentuk yang sama yaitu *rectangular* sedangkan untuk nilai kekasaran saluran didapat nilai 0,02 sesuai pada Tabel 3.13. Gambar 5.9 adalah letak masing-masing *conduit* dalam pemodelan EPA SWMM.



Gambar 5.9 Letak *Conduit* dalam Pemodelan

(Sumber: Hasil Analisis, 2024)

Hasil rekapitulasi parameter masing-masing *conduit* dapat dilihat pada Tabel 5.17 berikut.

Tabel 5.17 Parameter pada Setiap Conduit

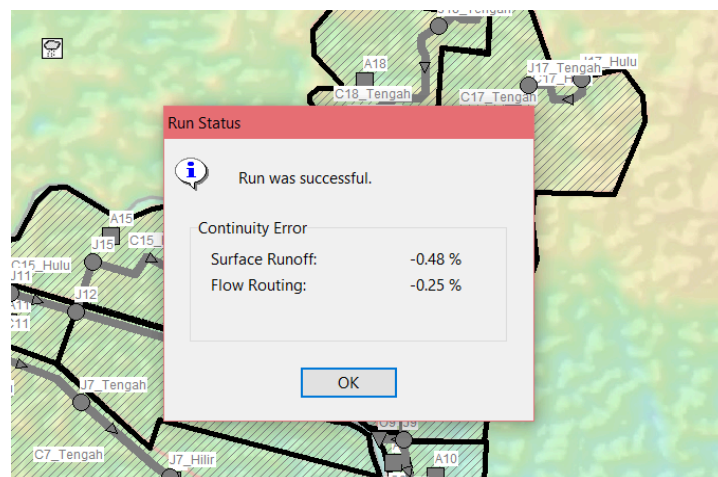
<i>Conduit</i>	<i>Inlet Node</i>	<i>Outlet Node</i>	<i>Max Depth (m)</i>	<i>Bottom Width (m)</i>	<i>Length (m)</i>
C1	J1	O1	1,5	2	445
C2_Hulu	J2_Hulu	J2_Hilir	1	0,9	87
C2_Hilir	J2_Hilir	O2	2,7	2	400
C3_Hulu	J5_Hilir	J3	2,03	2	200
C3_Hilir	J3	O3	2,3	1,8	197
C5	J5_Hulu	J5_Hilir	2,4	1,8	100
C7_Hulu	J7_Hulu	J7_Tengah	1,8	2,7	437
C7_Tengah	J7_Tengah	J7_Hilir	0,8	1,3	300
C7_Hilir	J7_Hilir	O7	0,4	1,3	800
C8	J8	O8	1,3	1	117
C9	J9	O9	1	1,5	108
C11	J11	J12	0,8	0,6	220
C12	J12	O12	0,8	0,6	840
C14_Hulu	J14	J9	1,3	1	169
C14_Tengah	J9	J8	1	1,1	900
C14_Hilir	J8	J5_Hilir	1,2	1,8	100
C15_Hulu	J12	J15	2,1	1,8	145
C15_Hilir	J15	O15	2,1	1,8	405
C17_Hulu	J17_Hulu	J17_Tengah	3,3	4	130
C17_Tengah	J17_Tengah	J17_Hilir	1,7	3,8	700
C17_Hilir	J17_Hilir	O17	3,7	4	800
C18_Hulu	J18_Hulu	J18_Tengah	0,3	2,4	200
C18_Tengah	J18_Tengah	J18_Hilir	1,8	3,6	700
C18_Hilir	J18_Hilir	O18	2,6	2,8	700

(Sumber: Hasil Analisis, 2024)

Dari Tabel 5.17 dapat dilihat bahwa dalam parameter *max depth* (kedalaman maksimal) memiliki nilai yang bervariasi. *Max depth conduit* saluran drainase terkecil terletak pada C18_Hulu sebesar 0,3 m. Sedangkan untuk *max depth* terbesar terletak pada C17_Hilir sebesar 3,7 m. parameter *bottom width* (lebar saluran) juga memiliki nilai yang bervariasi, *bottom width* dengan nilai terkecil terletak pada C11 dan C12 dengan besar 0,6 m sedangkan nilai *bottom width* terbesar terletak pada C17_Tengah sebesar 3,8 m. Parameter *length* (panjang saluran) juga memiliki nilai yang bervariasi untuk masing-masing saluran drainase yang terdapat di Kali Pepe Hulu, untuk *conduit* terpanjang terletak pada C14_Tengah sebesar 900 m, sedangkan untuk terpendek terletak pada C2_Hulu sebesar 87 m.

5.6. Hasil Simulasi

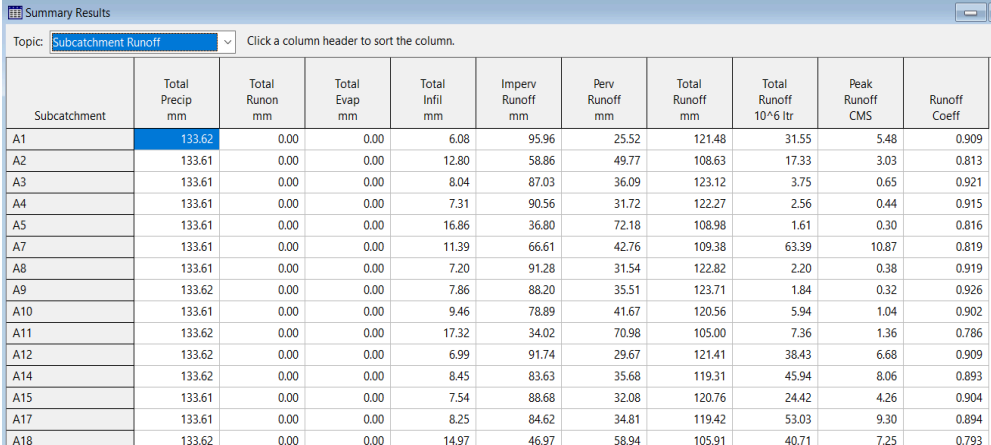
Simulasi dikatakan berhasil dengan ditampilkannya jendela *run* status seperti pada Gambar 5.10 Dimana nilai untuk *continuity error* untuk limpasan (*surface runoff*) dan penelusuran aliran (*flow routing*) masing-masing adalah -0,48 % dan -0,25 % yang menunjukkan bahwa kualitas hasil simulasi adalah sangat baik, karena kualitas simulasi dikatakan kurang baik jika *continuity error* > 5%.



Gambar 5.10 Letak Conduit dalam Pemodelan

(Sumber: Hasil Analisis, 2024)

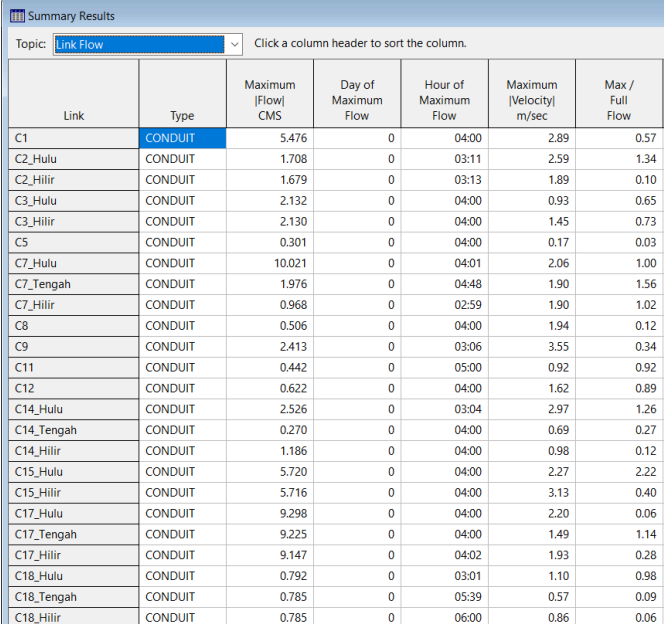
Hasil simulasi dari pemodelan di atas menunjukkan bahwa pada Gambar 5.11 yaitu pada topik *subcatchment runoff* terlihat bahwa dari total hujan sebesar 133,61 mm selama 6 jam tidak semuanya menjadi limpasan permukaan. Sebagian hujan hilang sebagai infiltrasi yang besarnya tergantung pada karakteristik masing-masing *subcatchment*.



Subcatchment	Total Precip mm	Total Runon mm	Total Evap mm	Total Infil mm	Imperv Runoff mm	Perv Runoff mm	Total Runoff mm	Total Runoff 10 ⁶ ltr	Peak Runoff CMS	Runoff Coeff
A1	133.62	0.00	0.00	6.08	95.96	25.52	121.48	31.55	5.48	0.909
A2	133.61	0.00	0.00	12.80	58.86	49.77	108.63	17.33	3.03	0.813
A3	133.61	0.00	0.00	8.04	87.03	36.09	123.12	3.75	0.65	0.921
A4	133.61	0.00	0.00	7.31	90.56	31.72	122.27	2.56	0.44	0.915
A5	133.61	0.00	0.00	16.86	36.80	72.18	108.98	1.61	0.30	0.816
A7	133.61	0.00	0.00	11.39	66.61	42.76	109.38	63.39	10.87	0.819
A8	133.61	0.00	0.00	7.20	91.28	31.54	122.82	2.20	0.38	0.919
A9	133.62	0.00	0.00	7.86	88.20	35.51	123.71	1.84	0.32	0.926
A10	133.61	0.00	0.00	9.46	78.89	41.67	120.56	5.94	1.04	0.902
A11	133.62	0.00	0.00	17.32	34.02	70.98	105.00	7.36	1.36	0.786
A12	133.62	0.00	0.00	6.99	91.74	29.67	121.41	38.43	6.68	0.909
A14	133.62	0.00	0.00	8.45	83.63	35.68	119.31	45.94	8.06	0.893
A15	133.61	0.00	0.00	7.54	88.68	32.08	120.76	24.42	4.26	0.904
A17	133.61	0.00	0.00	8.25	84.62	34.81	119.42	53.03	9.30	0.894
A18	133.62	0.00	0.00	14.97	46.97	58.94	105.91	40.71	7.25	0.793

Gambar 5.11 Summary Result Subcatchment Runoff

(Sumber: Hasil Analisis, 2024)

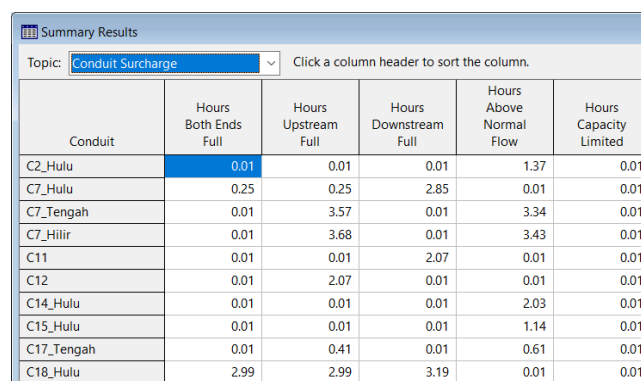


Link	Type	Maximum [Flow] CMS	Day of Maximum Flow	Hour of Maximum Flow	Maximum [Velocity] m/sec	Max / Full Flow
C1	CONDUIT	5.476	0	04:00	2.89	0.57
C2_Hulu	CONDUIT	1.708	0	03:11	2.59	1.34
C2_Hilir	CONDUIT	1.679	0	03:13	1.89	0.10
C3_Hulu	CONDUIT	2.132	0	04:00	0.93	0.65
C3_Hilir	CONDUIT	2.130	0	04:00	1.45	0.73
C5	CONDUIT	0.301	0	04:00	0.17	0.03
C7_Hulu	CONDUIT	10.021	0	04:01	2.06	1.00
C7_Tengah	CONDUIT	1.976	0	04:48	1.90	1.56
C7_Hilir	CONDUIT	0.968	0	02:59	1.90	1.02
C8	CONDUIT	0.506	0	04:00	1.94	0.12
C9	CONDUIT	2.413	0	03:06	3.55	0.34
C11	CONDUIT	0.442	0	05:00	0.92	0.92
C12	CONDUIT	0.622	0	04:00	1.62	0.89
C14_Hulu	CONDUIT	2.526	0	03:04	2.97	1.26
C14_Tengah	CONDUIT	0.270	0	04:00	0.69	0.27
C14_Hilir	CONDUIT	1.186	0	04:00	0.98	0.12
C15_Hulu	CONDUIT	5.720	0	04:00	2.27	2.22
C15_Hilir	CONDUIT	5.716	0	04:00	3.13	0.40
C17_Hulu	CONDUIT	9.298	0	04:00	2.20	0.06
C17_Tengah	CONDUIT	9.225	0	04:00	1.49	1.14
C17_Hilir	CONDUIT	9.147	0	04:02	1.93	0.28
C18_Hulu	CONDUIT	0.792	0	03:01	1.10	0.98
C18_Tengah	CONDUIT	0.785	0	05:39	0.57	0.09
C18_Hilir	CONDUIT	0.785	0	06:00	0.86	0.06

Gambar 5.12 Summary Result Link Flow untuk Drainase

(Sumber: Hasil Analisis, 2024)

Pada Gambar 5.12 yaitu pada topik *link flow* berisikan besaran debit dan kecepatan aliran di setiap saluran. Debit aliran terbesar terletak pada C7_Hulu sebesar 10,021 m³/s. Nilai rasio kapasitas saluran terhadap debit maksimum pada beberapa saluran telah melebihi nilai 0,9. Sebagai contoh saluran C2_Hulu dimana nilainya sebesar 1,34 yang menunjukkan debit aliran telah melampaui kapasitas air sehingga air meluap dari saluran yang menyebabkan genangan. Hal ini diperjelas pada Gambar 5.13.

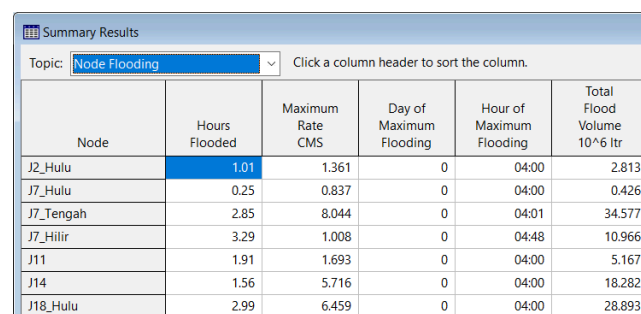


Conduit	Hours Both Ends Full	Hours Upstream Full	Hours Downstream Full	Hours Above Normal Flow	Hours Capacity Limited
C2_Hulu	0.01	0.01	0.01	1.37	0.01
C7_Hulu	0.25	0.25	2.85	0.01	0.01
C7_Tengah	0.01	3.57	0.01	3.34	0.01
C7_Hilir	0.01	3.68	0.01	3.43	0.01
C11	0.01	0.01	2.07	0.01	0.01
C12	0.01	2.07	0.01	0.01	0.01
C14_Hulu	0.01	0.01	0.01	2.03	0.01
C15_Hulu	0.01	0.01	0.01	1.14	0.01
C17_Tengah	0.01	0.41	0.01	0.61	0.01
C18_Hulu	2.99	2.99	3.19	0.01	0.01

Gambar 5.13 Summary Result Conduit Surchage

(Sumber: Hasil Analisis, 2024)

Pada Gambar 5.14 yaitu pada topik *Node Flooding* dapat diketahui *node* mana saja yang terjadi luapan. Salah satunya adalah luapan yang terjadi pada J18_Hulu yang memiliki volume puncak sebesar 6,459 m³/s dan durasi genangan selama 2,99 jam.

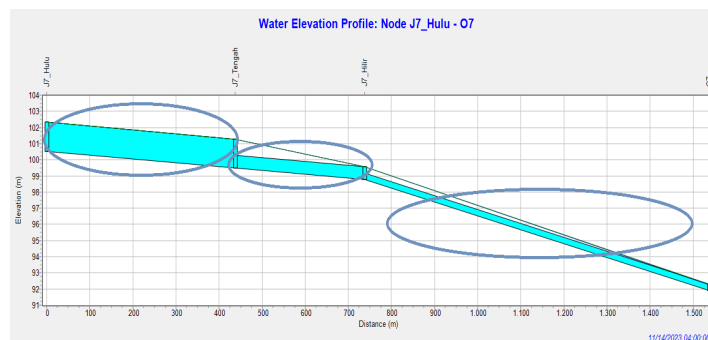


Node	Hours Flooded	Maximum Rate CMS	Day of Maximum Flooding	Hour of Maximum Flooding	Total Flood Volume 10 ⁶ ltr
J2_Hulu	1.01	1.361	0	04:00	2.813
J7_Hulu	0.25	0.837	0	04:00	0.426
J7_Tengah	2.85	8.044	0	04:01	34.577
J7_Hilir	3.29	1.008	0	04:48	10.966
J11	1.91	1.693	0	04:00	5.167
J14	1.56	5.716	0	04:00	18.282
J18_Hulu	2.99	6.459	0	04:00	28.893

Gambar 5.14 Summary Result Node Flooding

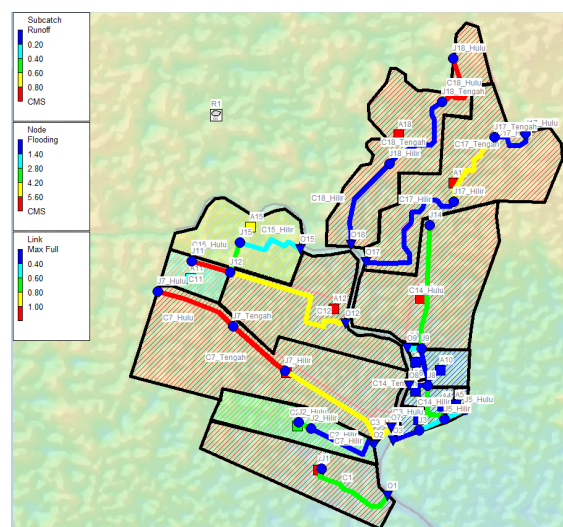
(Sumber: Hasil Analisis, 2024)

Hasil simulasi pada saluran juga dapat ditampilkan sebagai profil aliran (*profile plot*) yang menunjukkan perubahan kedalaman aliran dalam potongan memanjang saluran yang dapat dilihat pada Lampiran. Salah satu contoh profil aliran yang mengalami genangan yaitu pada titik J7_Hulu - O7, terdapat luapan pada 3 titik tersebut yang kemungkinan dikarenakan aliran air masuk sudah melebihi kapasitas saluran sehingga menyebabkan terjadinya luapan dan mengakibatkan genangan di area tersebut. Profil aliran pada titik J7_Hulu - O7 dapat dilihat pada Gambar 5.15 sedangkan untuk hasil keseluruhan melalui *map* pada SWMM dapat dilihat pada Gambar 5.16.



Gambar 5.15 Profil Aliran dari Node J7_Hulu - O7

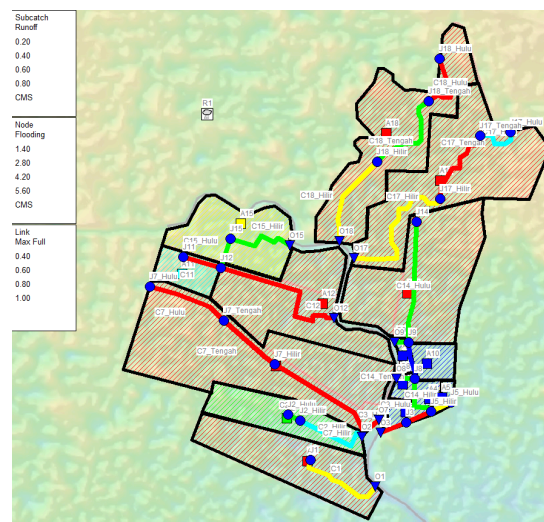
(Sumber: Hasil Analisis, 2024)



Gambar 5.16 Tampilan Hasil Menggunakan Map

(Sumber: Hasil Analisis, 2024)

Selain melakukan *running* pada saluran drainase, peneliti juga melakukan kalibrasi dengan memaksimalkan aliran pada bagian *outfall*. Berdasarkan simulasi dengan kondisi kritis dimana Kali Pepe mengalami banjir sehingga air dari drainase tidak dapat masuk ke kali. Hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah hasil simulasi sesuai dengan data yang diperoleh dari Badan Penanggulangan Bencana Daerah Kota Surakarta tahun 2022 yang menyatakan bahwa daerah tersebut banjir. Gambar 5.17 adalah hasil simulasi dengan memaksimalkan aliran pada outfall.



Gambar 5.17 Kondisi Kritis Drainase

(Sumber: Hasil Analisis, 2024)

Dari Gambar 5.17 di atas dapat terlihat bahwa untuk Kelurahan Banyuanyar dan Kelurahan Kadipiro terjadi banjir. Hal ini sesuai dengan data yang didapat bahwa daerah tersebut rawan banjir.

5.7 Pembahasan

Dari hasil perhitungan dan analisis menggunakan EPA SWMM ditemukan beberapa titik-titik saluran yang terjadi genangan. Saluran drainase yang mengalami genangan terjadi pada titik C2_Hulu, C7_Hulu, C7_Tengah, C7_Hilir, C11, C12, C14_Hulu, C17_Tengah, dan C18_Hulu. Simulasi ini juga sesuai dengan pernyataan dari Badan Penanggulangan Bencana Daerah Kota Surakarta pada tahun 2022 bahwa daerah pada Kecamatan Banjarsari terjadi banjir. Sedangkan untuk kalibrasi yang dilakukan adalah dengan memaksimalkan atau mengkondisikan *outfall* pada kondisi kritis, maka terjadilah banjir pada wilayah tersebut sehingga untuk menangani hal ini perlu dilakukan integrasi atau perbaikan sistem secara menyeluruh dari hulu ke hilir.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan diatas maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengaruh hujan terhadap saluran drainase beragam-ragam, ada beberapa saluran yang aman, tetapi juga ada yang terjadi luapan. Debit maksimum pada saluran drainase terletak pada C7_Hulu sebesar 10,021 m³/s.
2. Pemodelan banjir yang dilakukan dengan simulasi SWMM sesuai dengan data yang didapat dari Badan Penanggulangan Bencana Daerah Kota Surakarta bahwa daerah tersebut memang terjadi banjir.

6.2 Saran

Adapun saran-saran yang ingin disampaikan terkait dengan permasalahan diatas antara lain:

1. Agar dapat diaplikasikan ke saluran drainase, kali ataupun sungai lainnya.
2. Untuk dikembangkan lagi dengan parameter yang lebih lengkap, baik menggunakan polutan atau kala ulang yang lebih besar lagi.
3. Dapat memberikan perhitungan dan perencanaan untuk penanganan atau solusi banjir seperti pembuatan sumur resapan, saluran baru, pompa, dan lain sebagainya.

DAFTAR PUSTAKA

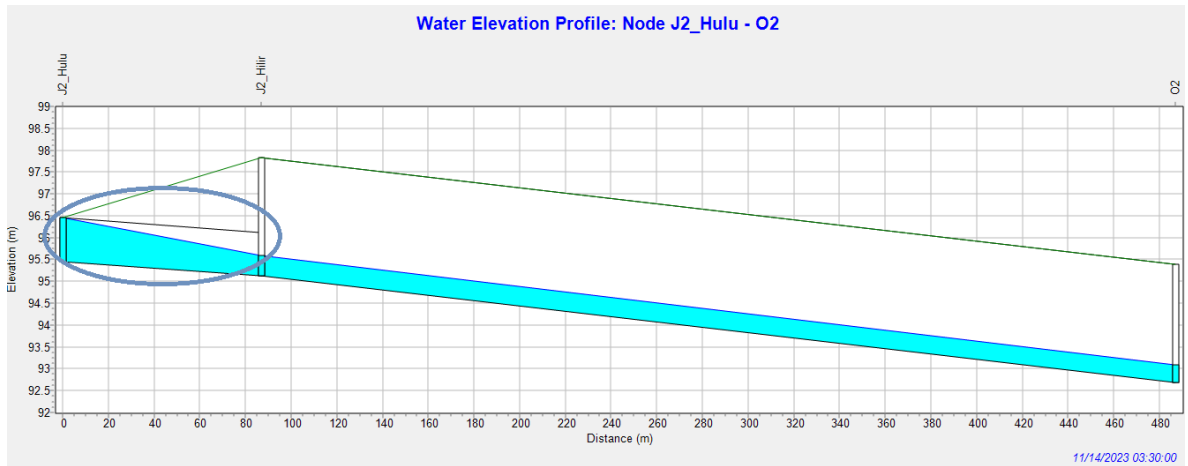
- Al Amin, M. B. (2020). *Pemodelan Sistem Drainase Perkotaan Menggunakan SWMM*. Yogyakarta: Deepublish.
- Andawayanti, U., Lufira, R. D., & Suhardjono. (2022). *Aplikasi SWMM dalam Perencanaan Drainase Perkotaan*. Malang: UB Press.
- Apriyanza, H., Amri, K., & Gunawan, G. (2018). Analisis Kemampuan Saluran Drainase terhadap Genangan Banjir di Jalan Gunung Bungbuk Kota Bengkulu dengan Menggunakan Aplikasi EPA SWMM 5.1. *Jurnal Inersia*, 41-51.
- Fajri, Novansyah., Ussy, Andawayanti., & Lufira, R. D. (2022). Kajian Evaluasi Genangan Menggunakan Metode SWMM (Storm Water Management Model) di Daerah Jalan Soekarno Hatta (RS UB hingga Patung Pesawat), Kota Malang. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 259-272.
- Nurhadi, Gunarto. Danang., & Umar. (2022). Analisis Kapasitas Saluran Drainase Sungai Nyirih Kecamatan Selakau dengan Aplikasi Hec-Ras.
- Nurhidayah, R. (2010). Pola Distribusi Hujan Jam-jaman di Sub DAS Alang. *UPT Perpustakaan UNS*.
- Nuzul, Muhammad., Achmad, Mahmud., & Soma, A. S. (2021). Analisis Genangan Banjir Akibat Debit Puncak di DAS Baubau Menggunakan Hec-Ras dan GIS. *Jurnal Pembangunan Wilayah dan Kota*, 192-206.
- Rossman, L. A. (2015). *Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1*. Cincinnati: U.S Environmental Protection Agency.
- Rossman, L. A. (2016). *Storm Water Management Model Reference Manual (Vol. I Hydrology)*. Cincinnati: U.S Environmental Protection Agency.
- Rossman, L. A. (2017). *Storm Water Management Model Reference Manual (Vol. II Hydraulics)*. Cincinnati: U.S Environmental Protection Agency.

- Suprpti, & Hamzah, Muhammad. (2022). Drainage System Capacity Analysis with Storm Water Management Model (SWMM) at Cemarajaya Housing, Karawang Regency West Java. *IJEED*, 380-394.
- Suprpto, Mamok., M, Adi, Yusuf., & Prilbista, A. S. (2018). Analisis Sistem Drainase untuk Penanganan Genangan di Kecamatan Magetan Bagian Utara. *Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 231-237.
- Suripin. (2004). *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Yogyakarta: Ansi Offset.
- Ubaidillah, Ahmad. (2022). Analisis Kapasitas Tampung Saluran Drainase dengan Menggunakan Software Hec-Ras 5.0.3 (Studi Kasus Sistem Jaringan Drainase Kelurahan Tlogopojok, Kabupaten Gresik). *Jurnal Extrapolasi*, 1-12.
- Triatmodjo, B. (2006). *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Beta Offset Yogyakarta.
- Zarkani, M. R., Sujatmoko, Bambang., & Rinaldi. (2016). Analisa Drainase untuk Penanggulangan Banjir Menggunakan EPA SWMM (Studi Kasus Perumahan Mutiara Witayu, Kecamatan Rumbai Pekanbaru). *FTEKNIK*, 1-12.

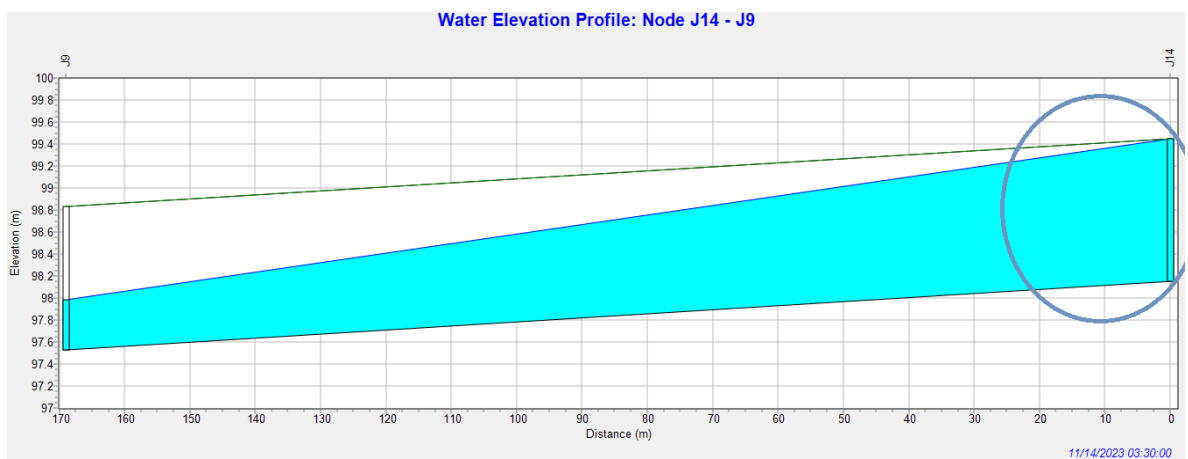
LAMPIRAN

No	Uraian Kegiatan	Jam Kerja	Maret				April				Mei				Juni				Juli				Agustus			
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Persiapan																									
	Menentukan Lokasi Penelitian	9	3	3	3																					
	Studi Literatur	12			4	4	4																			
	Survei Lokasi	20									5	5	5	5												
2	Pengumpulan Data																									
	Pengumpulan Data Curah Hujan	9					3	3	3																	
	Pengumpulan Data Dimensi Saluran	9							3	3	3															
	Pengumpulan Peta Topografi	9									3	3	3													
	Pengumpulan Data Hidrologi dan Eksisting	9											3	3	3											
3	Analisis dan Pembahasan																									
	Analisis Genangan, Banjir dan Kapasitas	12												4	4	4										
	Analisis Frekuensi Hujan	7														2	2	3								
	Perhitungan Debit Rencana	6														3	3									
	Simulasi EPA SWMM	30															5	5	5	5	5	5				
	Running EPA SWMM	12																	2	5	5					
	Pembahasan dan Kesimpulan	10																		5	5					
4	Penyusunan Tugas Akhir																									
	Bab V	18																				3	5	5	5	
	Bab VI	12																						2	5	5
Jumlah		184	3	3	7	4	7	3	6	3	11	8	11	8	7	9	14	8	5	7	15	18	5	7	10	5
Jumlah Kumulatif			3	6	13	17	24	27	33	36	47	55	66	74	81	90	104	112	117	124	139	157	162	169	179	184

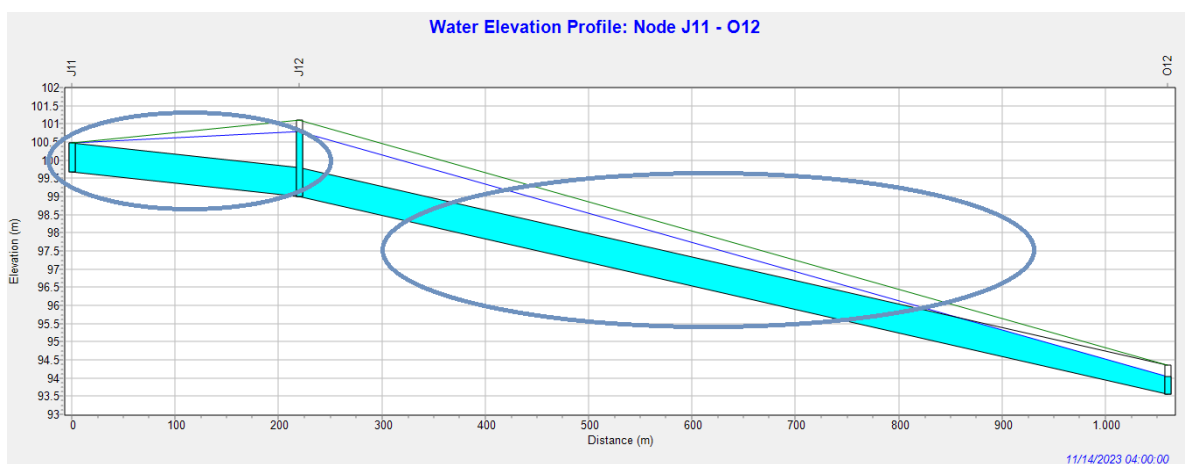
Lampiran 1 Jadwal Rencana Kegiatan



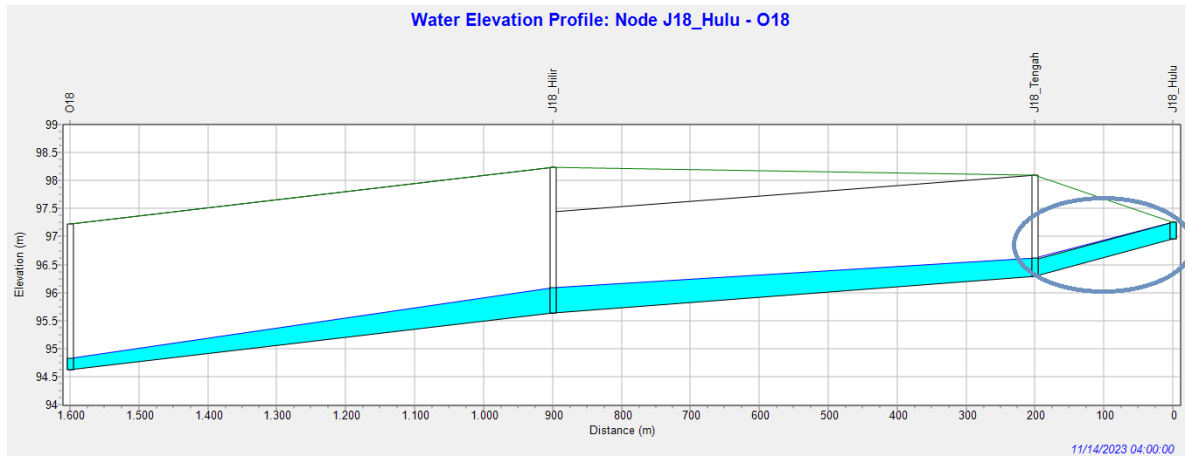
Lampiran 2 Profil Aliran dari *Node J2_Hulu - O2*



Lampiran 3 Profil Aliran dari *Node J14_Hulu - J9*



Lampiran 4 Profil Aliran dari *Node J11 - O12*



Lampiran 5 Profil Aliran dari *Node* J18 - O18



Lampiran 6 Saluran Drainase pada Kecamatan Banjarsari



Lampiran 7 Saluran Drainase pada A2