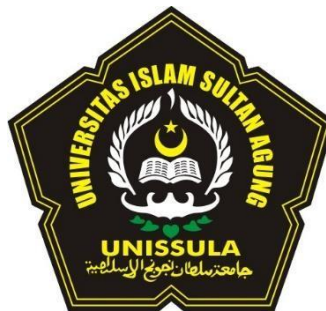


TESIS

**EVALUASI KINERJA SALURAN DRAINASE DAN
PEMODELAN OPERASI POMPA BANJIR PADA
KAWASAN JL. MADUKORO KOTA SEMARANG**

**Disusun dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Guna Mencapai Gelar Magister Teknik (MT)**



Oleh :

FARIDIAN BAKHTIAR

NIM : 20202000035

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG**

2024

LEMBAR PERSETUJUAN TESIS

**EVALUASI KINERJA SALURAN DRAINASE DAN
PEMODELAN OPERASI POMPA BANJIR PADA KAWASAN
JL. MADUKORO KOTA SEMARANG**

Disusun oleh :

FARIDIAN BAKHTIAR

NIM : 20202000035

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Tanggal, 04-09-2024

Pembimbing I

Prof. Dr. Ir. S. Imam Wahyudi, DEA

NIK.210291014

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

EVALUASI KINERJA SALURAN DRAINASE DAN PEMODELAN OPERASI POMPA BANJIR PADA KAWASAN JL. MADUKORO KOTA SEMARANG

Disusun oleh :
FARIDIAN BAKHTIAR
NIM : 20202000035


Dipertahankan di depan Tim Penguji Tanggal :
(30 Agustus 2024)

Tim Penguji :


1. Ketua :


Prof. Dr. Ir. S. Imam Wahyudi, DEA.

2. Anggota :


Prof. Ir. Pratikso, MST., Ph.D.


3. Anggota :


Dr. Ir. Henny Pratiwi Adi, ST., MT.

Tesis ini diterima sebagai salah satu persyaratan untuk
memperoleh gelar Magister Teknik (MT)

Semarang, 4/9/2024

Mengetahui,
Ketua Program Studi

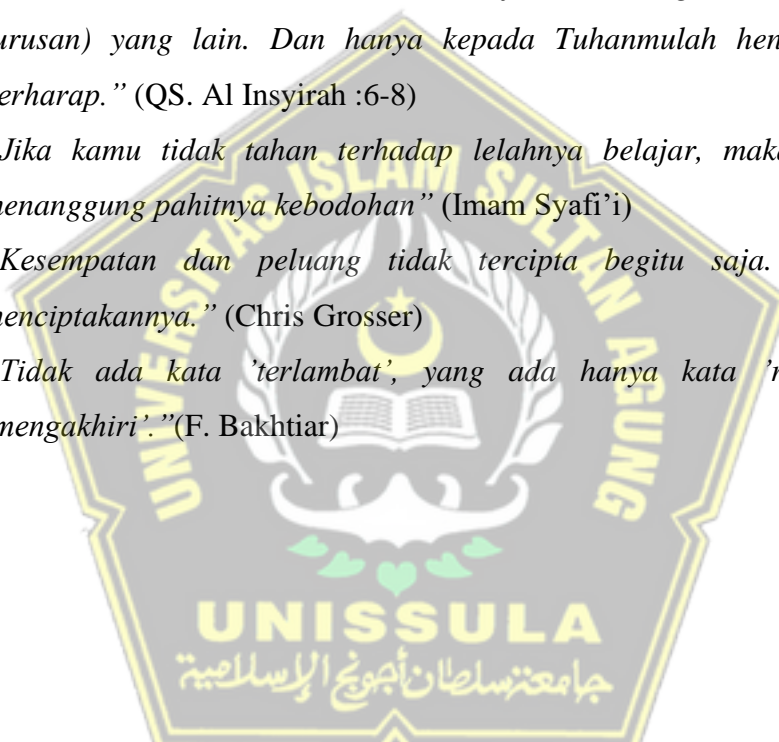

Prof. Dr. Ir. Antonius, MT
NIK 210202033

Mengesahkan,
Dekan Fakultas Teknik


Dr. Abdul Rochim, ST., MT
NIK 210200031

MOTTO

- *"Kamu (wahai ummat Muhammad) adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia, menyuruh kepada yang ma'ruf, dan mencegah dari yang munkar, serta kamu pula beriman kepada Allah (dengan sebenar-benar iman)." (QS. Ali Imran : 110).*
- *"Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila kamu telah selesai (dari sesuatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain. Dan hanya kepada Tuhanmulah hendaknya kamu berharap." (QS. Al Insyirah :6-8)*
- *"Jika kamu tidak tahan terhadap lelahnya belajar, maka kamu akan menanggung pahitnya kebodohan" (Imam Syafi'i)*
- *"Kesempatan dan peluang tidak tercipta begitu saja. Kamu yang menciptakannya." (Chris Grosser)*
- *"Tidak ada kata 'terlambat', yang ada hanya kata 'memulai' dan 'mengakhiri'." (F. Bakhtiar)*



HALAMAN PERSEMBAHAN

- *Persembahan kepada kedua orang tua tercinta, Almarhum Bp. M. Zoekri dan Almarhumah Ibu Suharti, semoga tenang di sana, amiin. Al Fatihah*
- *Persembahan kepada Istri tercinta, Noor Arifah yang telah mendukung, mendoakan keberhasilan saya selama ini baik dalam suka maupun duka*
- *Kepada anak-anakku yang kusayangi, Safa Almira, Khazindar Fardzannur Almair, dan Kayvano Khalifa Alfaridzi, semoga dapat memicu semangatmu untuk terus belajar dan belajar*
- *Rekan-rekanku seperjuangan Magister Teknik Sipil Angkatan 46 Klas PU, semoga support dan motivasi yang telah diberikan menjadi amalan yang baik dan tetap sehat selalu*



ABSTRAK

Kawasan Madukoro di Kota Semarang merupakan kawasan perumahan, bisnis, pertokoan, pendidikan, perkantoran, dan pergudangan yang berada di daerah pesisir pantai utara Kelurahan Tawangmas di Kecamatan Semarang Barat. Permasalahan banjir menyebabkan aktivitas wilayah tersebut praktis tertanggu. Sistem drainase menjadi biang keladi permasalahan ditambah dengan kontur dan topografi tanah yang hampir datar tanpa kemiringan sehingga membutuhkan evaluasi sistem drainase dengan menghitung ulang aspek hidrologi dan hidrolika serta kebutuhan kinerja pompa banjir yang mencukupi untuk menanggulangi permasalahan banjir di kawasan Madukoro.

Perencanaan sistem drainase meliputi perencanaan long storage, tanggul, dan pompa banjir. Perhitungan debit banjir rencana menggunakan permodelan EPA SWMM versi 5.1 untuk periode 5 tahunan dan saluran disimulasi dengan menggunakan HEC-RAS dan untuk menghitung analisis frekuensi data hidrologi menggunakan Aprob_4.1. Pemodelan kawasan seluas 55 ha dengan pembatasan daerah tangkapan saluran khusus wilayah Madukoro yang dibatasi dengan saluran Semarang Indah di sisi Selatan, sisi Baratsampai dengan Utara dibatasi oleh Jl. Arteri Yos Sudarso, dan sisi Timur dibatasi oleh Kanal Banjir Barat.

Perhitungan debit banjir rencana sebesar 12,36 m³/s pada long storage Madukoro. Dari hasil debit banjir rencana, long storage Madukoro didesain menggunakan 2 pompa berkapasitas 1,5 m³/s dengan mempertahankan 1 buah pompa eksisting yang terpasang dilokasi berkapasitas 1,5 m³/s dan memanfaatkan 2 pompa eksisting berkapasitas 0,6 m³/s. Untuk perencanaan long storage, dimensi disesuaikan dengan kondisi eksisting yaitu lebar 6 m dengan kedalaman didesain 1,8 m sampai 3,00 m, panjang 551 m dan ketinggian air dijaga pada kedalaman 0,4 m sampai 1 m dari dasar saluran. Sedangkan perencanaan elevasi tanggul tetap menggunakan elevasi eksisting yang ada. Pintu air dibuat di persimpangan aliran saluran Semarang Indah dan saluran Madukoro, dan di lokasi pergudangan berbatasan dengan Kanal Banjir Barat.

Kata kunci : Long storage, Pompa Banjir, Saluran Drainase

ABSTRACT

Madukoro area in Semarang City is a residential, business, shopping, education, office, and warehousing area located in the northern coastal area of Tawangmas Village in West Semarang District. Flooding problems have practically disrupted the activities of the area. The drainage system is the root cause of the problem, coupled with the contour and topography of the land which is almost flat without slopes, so it requires an evaluation of the drainage system by recalculating the hydrological and hydraulic aspects and the need for sufficient flood pump performance to overcome flood problems in the Madukoro area.

Drainage system planning includes planning for long storage, embankments, and flood pumps. The calculation of the planned flood discharge uses EPA SWMM version 5.1 modeling for the 5-year period and the channel is simulated using HEC-RAS, to calculate the frequency analysis of hydrological data using Aprob_4.1. The modeling of an area of 55 ha with restrictions on the catchment area of the Madukoro area which is limited by the Semarang Indah channel on the South side, and the West to North sides are limited by Jl. Arteri Yos Sudarso, and the East side is limited by Kanal Banjir Barat.

The calculation of the planned flood discharge is 12.36 m³/s at the Madukoro long storage. From the results of the planned flood discharge, the Madukoro long storage is designed using 2 pumps with a capacity of 1.5 m³/s by maintaining 1 existing pump installed at the location with a capacity of 1.5 m³/s and utilizing 2 existing pumps with a capacity of 0.6 m³/s. For long storage planning, the dimensions are adjusted to existing conditions, namely a width of 6 m with a designed depth of 1.8 m to 3.00 m, length 551 m and the water level is maintained at a depth of 0.4 m to 1.0 m from the bottom of the channel. Meanwhile, the elevation planning of the embankment still uses the existing elevation. Water gates are made at the intersection of the Semarang Indah channel and the Madukoro channel, and at the warehouse location bordering Kanal Banjir Barat.

Keywords: Long storage, Flood Pump, Drainage Channel

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

Yang Bertanda tangan di bawah ini :

Nama : FARIDIAN BAKHTIAR

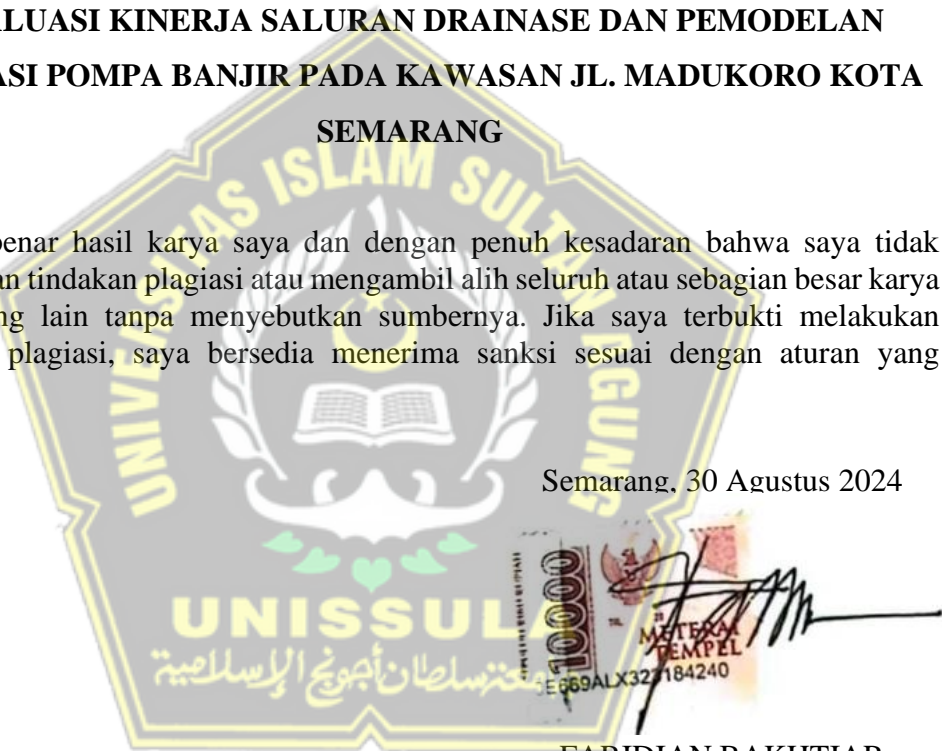
NIM : 20202000035

Dengan ini Saya nyatakan bahwa Tesis yang berjudul :

**EVALUASI KINERJA SALURAN DRAINASE DAN PEMODELAN
OPERASI POMPA BANJIR PADA KAWASAN JL. MADUKORO KOTA
SEMARANG**

Adalah benar hasil karya saya dan dengan penuh kesadaran bahwa saya tidak melakukan tindakan plagiasi atau mengambil alih seluruh atau sebagian besar karya tulis orang lain tanpa menyebutkan sumbernya. Jika saya terbukti melakukan tindakan plagiasi, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan aturan yang berlaku.

Semarang, 30 Agustus 2024



FARIDIAN BAKHTIAR

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kepada Allah SWT. Shalawat serta salam teruntuk Nabi Muhammad SAW, yang telah memberikan dan menyampaikan kepada kita semua ajaran Islam yang telah terbukti kebenarannya, sehingga Tesis ini dapat penulis selesaikan.

Dalam penyusunan Tesis ini penulis telah berusaha dengan segala daya dan upaya, namun tanpa bantuan dari berbagai pihak penyusunan Tesis ini tidak mungkin dapat terselesaikan dengan baik. Untuk itu, dengan kerendahan hati penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terimakasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. S. Imam Wahyudi, DEA sebagai pembimbing yang telah memberikan bimbingannya dalam penyusunan Tesis ini.
2. Prof. Ir. Pratikso, MST., Ph.D. sebagai dosen penguji Tesis yang telah memberikan masukan dan kritih terhadap kelengkapan Tesis ini.
3. Ir. Rachmat Mudiyono, MT, Ph.D sebagai dosen penguji proposal tesis yang telah memberikan masukannya guna sempurnanya Tesis ini.
4. Ir. Moh Faiqun Ni'am, MT, Ph.D sebagai dosen penguji proposal dan draft tesis yang telah juga menyampaikan saran guna kesempurnaan Tesis ini.
5. Dr. Henny Pratiwi Adi, ST., MT. sebagai dosen penguji draft tesis yang telah menyampaikan kritik dan saran guna kesempurnaan tesis ini
6. Istriku tercinta Noor Arifah, yang telah memberi semangatnya terus menerus sehingga dapat menyelesaikan kuliah S2 Penulis.
7. Anak-anakku, Safa Almira, Khazindar F. Almair, dan Kayvano K. Alfaridzi yang dapat memberi semangat untuk menyelesaikan Tesis ini.
8. Rekan-rekan Magister Teknik Sipil UNISSULA angkatan 46 yang banyak memberikan dorongan dan motivasi

Atas semua bantuan tersebut penulis tidak mampu untuk membalasnya, kecuali ucapan terima kasih serta teriring doa terbaik semoga mendapat balasan dari Allah SWT. "Jazaakumullahu Khoiran", Semoga Allah SWT membalas kalian dengan kebaikan (HR. At-Tirmidzi).

Semarang, Agustus 2024

Faridian Bakhtiar

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN TESIS.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN TESIS.....	iii
MOTTO.....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
ABSTRAK.....	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN.....	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Keaslian Penelitian.....	2
1.5 Tujuan Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Gambaran Umum.....	4
2.2 Drainase.....	6
2.3 Sistem Drainase.....	6
2.4 SubSistem Drainase.....	7
2.5 Analisis Hidrologi.....	8
2.6 Komponen Meteorologi.....	20
2.7 Model <i>HEC-RAS</i>	24
2.8 Pemodelan <i>EPA SWMM</i>	27
2.9 <i>AProb_4.1</i>	38
2.10 Sistem Pompa.....	40
BAB III METODE PENELITIAN.....	56

3.1	Pendekatan Umum.....	56
3.2	Perangkat Pendukung Penelitian.....	56
3.3	Tahapan Pelaksanaan Penelitian.....	57
3.4	Metode Pengumpulan Data.....	59
3.5	Metode Pengolahan Data.....	60
3.6	Metode Analisis Data.....	62
3.7	Diagram Alir Penelitian.....	64
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		65
4.1	Analisis Hidrologi.....	65
4.2	Analisis Pola Aliran.....	66
4.3	Analisis Curah Hujan Kawasan Madukoro.....	67
4.4	Analisis Frekuensi Curah Hujan.....	68
4.5	Analisis Waktu Konsentrasi Curah Hujan.....	72
4.6	Analisis Intensitas Hujan Rencana.....	73
4.7	Analisis Kapasitas <i>Long Storage</i> Eksisting.....	74
4.8	Analisis Debit.....	75
4.9	Analisis Hidrolika.....	79
4.10	Rencana Dimensi <i>Longstorage</i>	83
4.11	Simulasi Pompa Banjir.....	84
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		92
5.1	Kesimpulan.....	92
5.2	Saran.....	92
DAFTAR PUSTAKA.....		93
LAMPIRAN.....		97

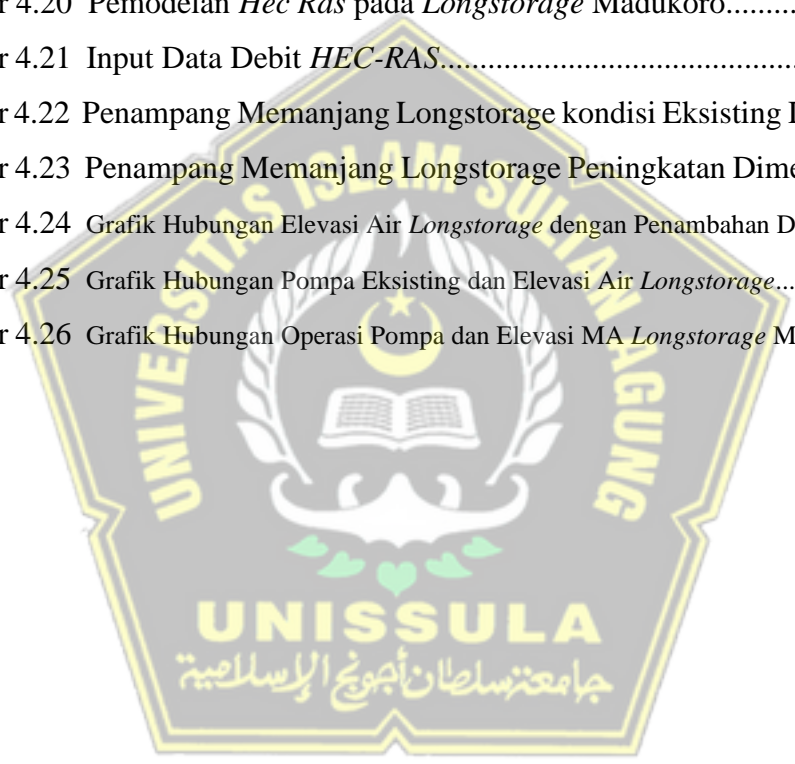
DAFTAR TABEL

Tabel 2-1	Desain Kriteria Hidrologi Sistem Drainase Perkotaan.....	17
Tabel 2-2	Koefisien Limpasan Untuk Metode Rasional.....	18
Tabel 2-3	Koefisien Aliran Untuk Metode Rasional.....	20
Tabel 2-4	Angka Kekasaran <i>Manning</i> (<i>n</i>) untuk Aliran Permukaan.....	29
Tabel 2-5	Bilangan kekasaran <i>Manning</i> untuk saluran.....	30
Tabel 2-6	Nilai <i>K</i> , <i>f_o</i> dan <i>f_c</i> untuk jenis tanah.....	31
Tabel 2-7	Bentuk penampang melintang saluran dalam <i>SWMM</i>	37
Tabel 2-8	Tahap Estimasi dan Kapasitas Kebutuhan Pompa.....	42
Tabel 2-9	Rentang Nilai <i>n_s</i> untuk Setiap Tipe Pompa.....	46
Tabel 2-10	Tabel Perbandingan Pompa Ulir dan <i>Impeller</i>	52
Tabel 2-11	Tabel Penelitian Terdahulu.....	54
Tabel 3-1	Tabel Periode Ulang Hujan.....	61
Tabel 4-1	Curah Hujan Maksimum Tahunan Stasiun Madukoro.....	68
Tabel 4-2	Hujan DAS Kawasan Madukoro.....	68
Tabel 4-3	Hujan Kala Ulang Kawasan Madukoro.....	72
Tabel 4-4	Hasil Perhitungan Intensitas Hujan.....	73
Tabel 4-5	Kala Ulang Hujan DAS Kawasan Madukoro.....	74
Tabel 4-6	Data <i>Long storage</i> Madukoro.....	74
Tabel 4-7	Perhitungan Kapasitas <i>Long Storage</i> Madukoro.....	74
Tabel 4-8	Muka Air <i>Long Storage</i> Madukoro dengan Debit Q 5th.....	82
Tabel 4-9	Muka Air <i>Long Storage</i> Rencana Madukoro dengan Debit Q 5th.....	83
Tabel 4-10	Perhitungan Elevasi Muka Air Longstorage Tanpa Operasi Pompa.....	85
Tabel 4-11	Perhitungan Elevasi Muka Air Longstorage dengan Perubahan Dimensi.....	86
Tabel 4-12	Tabel Simulasi Pompa Eksisting.....	88
Tabel 4-13	Simulasi Pompa dan Elevasi Muka Air Penambahan Pompa 1,5 m ³ /det.....	90

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Lokasi Penelitian.....	4
Gambar 2.2 <i>Cathment Area</i> sub sistem Siangker.....	5
Gambar 2.3 Pompa Madukoro.....	6
Gambar 2.4 Metode <i>Thiessen</i>	10
Gambar 2.5 Metode <i>Isohyet</i>	11
Gambar 2.6 Komponen Meteorologi.....	22
Gambar 2.7 Tampilan Antar Muka <i>Hec RAS</i>	25
Gambar 2.8 Model simulasi aliran pada <i>SWMM</i>	29
Gambar 2.9 Pemodelan Rangkaian Sistem Drainase pada <i>SWMM</i>	32
Gambar 2.10 Grafik Distribusi Frekuensi data Hidrofologi <i>AProb_4.1</i>	39
Gambar 2.11 Komponen Dalam Skema <i>TDH</i>	43
Gambar 2.12 Klasifikasi Pompa Drainase.....	48
Gambar 2.13 Pompa Ulir/ <i>screw</i>	48
Gambar 2.14 Gambar Pompa Aliran Aksial.....	49
Gambar 2.15 Gambar Pompa Aliran Radial (<i>single volut casing</i>).....	50
Gambar 2.16 Gambar Pompa Aliran Campur dan <i>Impelernya</i>	51
Gambar 2.17 Gambar Pompa Submersibel.....	52
Gambar 2.18 Gambar Pompa <i>Gate</i>	52
Gambar 2.19 Gambar Pengaliran Air dengan Pompa.....	53
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	64
Gambar 4.1 Pola Aliran.....	66
Gambar 4.2 Analisis <i>Polygon Thiessen</i>	67
Gambar 4.3 Hasil Uji Kecocokan dan Hujan Rencana <i>AProb</i>	69
Gambar 4.4 Plotting <i>Gumbel Probability Paper</i>	70
Gambar 4.5 Plotting <i>Log Person III Probability Paper</i>	70
Gambar 4.6 Plotting <i>Normal Probability Paper</i>	71
Gambar 4.7 Plotting <i>Log Normal Probability Paper</i>	71
Gambar 4.8 Diagram <i>Hydrograph</i> 1 Jam STA Madukoro.....	73
Gambar 4.9 Pemodelan <i>SWMM</i> pada Kawasan Madukoro.....	75
Gambar 4.10 Contoh Inputan <i>SubCathment</i> pada Model <i>SWMM</i>	76

Gambar 4.11	Contoh Inputan <i>Junction</i> pada Model SWMM.....	77
Gambar 4.12	Contoh Inputan <i>Conduit</i> pada Model SWMM.....	77
Gambar 4.13	Contoh Inputan Intensitas Hujan pada Model SWMM.....	78
Gambar 4.14	Pemodelan <i>Hidrograph</i> Debit pada Kawasan Madukoro.....	78
Gambar 4.15	Situasi <i>Long storage</i> Madukoro.....	79
Gambar 4.16	Potongan Melintang <i>Long storage</i> Madukoro B0+50.....	80
Gambar 4.17	Potongan Melintang <i>Long storage</i> Madukoro B3.....	80
Gambar 4.18	Potongan Melintang <i>Long storage</i> Madukoro B5.....	80
Gambar 4.19	Potongan Melintang <i>Long storage</i> Madukoro B5+82.....	80
Gambar 4.20	Pemodelan <i>Hec Ras</i> pada <i>Longstorage</i> Madukoro.....	81
Gambar 4.21	Input Data Debit <i>HEC-RAS</i>	81
Gambar 4.22	Penampang Memanjang Longstorage kondisi Eksisting Debit 5 th ...	83
Gambar 4.23	Penampang Memanjang Longstorage Peningkatan Dimensi.....	84
Gambar 4.24	Grafik Hubungan Elevasi Air <i>Longstorage</i> dengan Penambahan Dimensi.....	87
Gambar 4.25	Grafik Hubungan Pompa Eksisting dan Elevasi Air <i>Longstorage</i>	89
Gambar 4.26	Grafik Hubungan Operasi Pompa dan Elevasi MA <i>Longstorage</i> Madukoro.....	91



DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN I	Data Curah Hujan Harian 2010.....	97
LAMPIRAN II	Data Curah Hujn Harian 2011.....	98
LAMPIRAN III	Data Curah Hujan Harian 2012.....	99
LAMPIRAN IV	Data Curah Hujan Harian 2013.....	100
LAMPIRAN V	Data Curah Hujan Harian 2014.....	101
LAMPIRAN VI	Data Curah Hujan Harian 2015.....	102
LAMPIRAN VII	Data Curah Hujan Harian 2016.....	103
LAMPIRAN VIII	Data Curah Hujan Harian 2017.....	104
LAMPIRAN IX	Data Curah Hujan Harian 2018.....	105
LAMPIRAN X	Data Curah Hujan Harian 2019.....	106
LAMPIRAN XI	Data Curah Hujan Harian 2020.....	107
LAMPIRAN XII	Data Curah Hujan Harian 2021.....	108
LAMPIRAN XIII	Data Curah Hujan Harian 2022.....	109
LAMPIRAN XIV	Diskripsi Bench Mark Rumah Pompa Tawangmas.....	110
LAMPIRAN XV	Diskripsi Bench Mark Rumah Pompa Madukoro.....	111



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kota Semarang merupakan salah satu kota dengan wilayah pesisir yang cukup luas. Dalam beberapa tahun terakhir, banjir dan kerusakan akibat gelombang pasang sering terjadi di wilayah pesisir Pulau Jawa, termasuk Kota Semarang. Bencana banjir di Kota Semarang yang semakin parah dalam beberapa tahun terakhir ini menimbulkan permasalahan bagi masyarakat sekitar dan Pemerintah Kota Semarang (Huda, 2013). Kerusakan akibat pasang surut air laut di Kota Semarang disebabkan oleh penurunan permukaan tanah yang parah dan kenaikan permukaan air laut (Nugroho, 2013). Dampak yang ditimbulkan berdampak pada aspek kehidupan dan penghidupan masyarakat, meliputi aspek fisik, sosial, ekonomi, lingkungan, dan kesehatan (Nugroho, 2013).

Banjir sering terjadi terutama pada musim hujan, akibat debit berlebihan melampaui kapasitas penampang sungai/ saluran. Hal ini disebabkan oleh hasil erosi dari hulu DAS atau Sub DAS-nya. Selain sedimentasi, penurunan fungsi & kapasitas Sungai dan Drainase Perkotaan juga disebabkan oleh adanya bangunan ilegal di bantaran sungai dan percepatan waktu konsentrasi debit akibat menurunnya fungsi resapan daerah tangkapan air saat musim hujan. Sebaliknya, penurunan base flow debit andalan menyebabkan kekeringan di musim kemarau di beberapa wilayah di Kota Semarang (DPU Kota Semarang, 2018).

Pengendalian banjir secara teknis melibatkan normalisasi alur sungai dan tanggul, pembuatan alur pengendali banjir (*floodway*), *retarding basin*, sudetan (*short cut*), perbaikan sistem drainase, dan penambahan pompa banjir untuk membuang debit pada wilayah yang terendam banjir.

Kawasan Madukoro mempunyai luas genangan sebesar 91,49 ha, dengan pembuangan akhir berupa Pompa Madukoro dengan kapasitas 1,2 m³/det dan 1500 l/det, serta Pompa Tawangmas dengan kapasitas 10 m³/det. Kondisi eksisting sekarang masih dalam keadaan banjir dan genangan bila

debit air hujan tinggi, maka perlu dilakukan evaluasi menyeluruh dan sistemik terhadap system drainase dan pola operasi pompabanjir kawasan tersebut.

1.2 Perumusan Masalah

Sebagaimana telah dijelaskan pada bab sebelumnya, permasalahan yang perlu dipecahkan adalah :

1. Berdasarkan perhitungan hidrologi dan hidrolika, berapa besaran debit kawasan yang ideal dan dapat ditampung dalam *long storage* ?
2. Berapa dimensi penampang dari *long storage* yang mencukupi untuk menopang kapasitas pompa banjir?
3. Berapa kapasitas pompa untuk pengendalian banjir yang dibutuhkan di Kawasan Madukoro?

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi agar tidak menyimpang dari tujuan penelitiannya. Adapun ruang lingkup penelitan dibatasi pada hal-hal sebagai berikut:

1. Penelitian berada di lokasi *catchmen area* Pompa Banjir Madukoro Tawangmas
2. *Long storage* maupun saluran yang diteliti berada di layanan Pompa Madukoro Tawangmas

1.4 Keaslian Penelitian

Penelitian ini memerlukan kajian penelitian-penelitian sebelumnya guna sebagai acuan dan referensi dalam pelaksanaannya. Penelitian terdahulu diharapkan dapat membantu kita mengidentifikasi perbedaan antara penelitian terdahulu dengan penelitian yang sudah pernah dilakukan. Diharapkan juga mempertimbangkan kelebihan dan kelemahan penelitian sebelumnya.

1.5 Tujuan Penelitian

Penelitian ini mempunyai tujuan sebagai berikut :

1. Menghitung hidrologi dan hidrolika di area penelitian.
2. Melakukan evaluasi sistem drainase, dan kapasitas atau daya tampung saluran.
3. Menganalisis kebutuhan pompa banjir pada sistem polder daerah penelitian.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

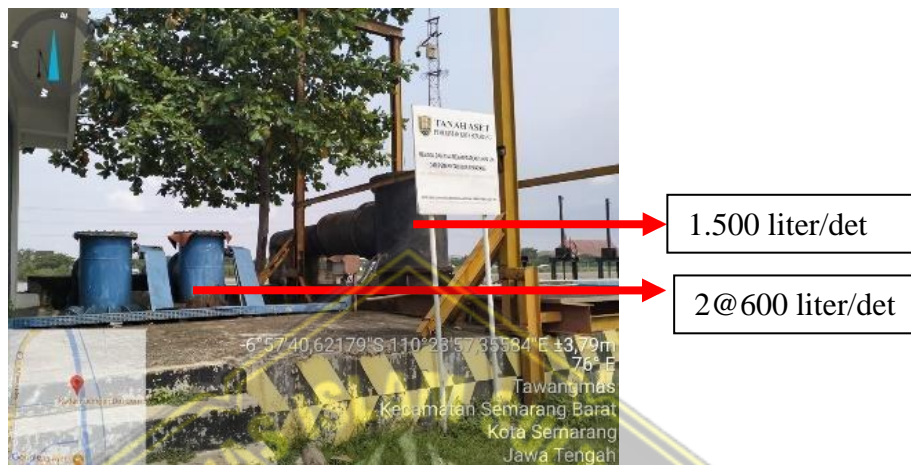
2.1 Gambaran Umum

2.1.1 Lokasi Penelitian



Gambar 2.1 Lokasi Penelitian (Google Earth, 2024)

Besar Wilayah Sungai (BBWS) Pemali Juwana pada tahun 2014. Bahkan terdapat pompa banjir lagi disebelahnya yang terpasang sekitar tahun 2021, dimana pompa tersebut merupakan eks pompa banjir Sedompyong berkapasitas 1.500 liter/det, namun kondisi pompa cenderung sering mengalami kerusakan.



Gambar 2.3 Pompa Madukoro

2.2 Drainase

Drainase berasal dari Bahasa Inggris “*drainage*” yang berarti mengalirkan, mengubur, atau mengalihkan air. Secara umum hal ini dapat diartikan sebagai suatu tindakan teknis untuk mengurangi kelebihan air akibat air hujan, resapan atau kelebihan air aliran pada suatu wilayah/negara sehingga tidak mempengaruhi operasional wilayah/negara tersebut.

Drainase juga dapat diartikan sebagai upaya pengendalian kualitas air tanah dalam kaitannya dengan salinitas. Oleh karena itu, drainase tidak hanya menyangkut air permukaan saja tetapi juga air tanah (Suripin, 2004).

2.3 Sistem Drainase

Sistem drainase dapat didefinisikan sebagai suatu instalasi tetap, satuan unit aliran yang memungkinkan orang atau benda mengalirkan air karena gesekan, dalam suatu sistem kendali. Mengatasi ruang geografis secara efisien untuk berpartisipasi dalam aktivitas kegiatan yang diinginkan pada waktu yang tepat.

Secara umum, sistem drainase dapat diartikan sebagai sekumpulan bangunan air yang dirancang untuk mengurangi dan/atau mengalirkan kelebihan air dari suatu area atau lahan sehingga lahan tersebut dapat dimanfaatkan secara optimal. Bahwa bangunan drainase terdiri atas saluran penahan (*blocking channel*), saluran pengumpul (*collecting channel*), saluran pembawa (*carrying channel*), saluran induk/utama (*main channel*), dan saluran penerima (*receive channel*) (Th. D.Wismarini dan Dewi Handayani U., 2010). Bangunan lain juga sering terlihat di sepanjang sistem, antara lain gorong-gorong, sifon, jembatan air (saluran), pelimpah, pintu air/kanal, bangunan terjunan, kolam tando, dan stasiun pompa (Suripin, 2004).

2.4 Subsistem Drainase

Subsistem drainase adalah bagian dari sistem drainase yang lebih besar, yang dirancang untuk mengelola dan mengatur aliran air di wilayah tertentu. Berikut adalah beberapa komponen utama dari subsistem drainase (DPU Kota Semarang, 2019) :

- a. Saluran Primer
Saluran utama yang menampung air dari berbagai saluran sekunder dan mengalirkannya ke tempat pembuangan akhir seperti sungai atau laut.
- b. Saluran Sekunder
Saluran yang menampung air dari saluran tersier dan mengalirkannya ke saluran primer.
- c. Saluran Tersier
Saluran kecil yang menampung air dari area permukaan seperti jalan dan halaman rumah, kemudian mengalirkannya ke saluran sekunder.
- d. Kolam Retensi
Kolam tersebut dirancang untuk menampung air sementara waktu sebelum dialirkan ke saluran utama, sehingga membantu mengurangi risiko banjir.
- e. Sumur Resapan
Struktur yang memungkinkan air hujan meresap ke dalam tanah,

membantu mengurangi limpasan aliran permukaan dan mengisi ulang air tanah.

f. **Pompa Banjir**

Pompa digunakan di daerah dataran rendah untuk memompa air keluar dari daerah yang tergenang atau banjir ke saluran drainase utama. Subsistem drainase ini bekerja secara bersama untuk mengelola aliran air secara efektif dan mencegah banjir di wilayah perkotaan.

2.5 Analisis hidrologi

2.5.1 Analisis Sebaran Curah Hujan

Hal terpenting dalam mendesain atau perencanaan yakni perencanaan distribusi atau sebaran curah hujan. Sebaran curah hujan yang dipakai adalah curah hujan tahunan (curah hujan setahun), curah hujan bulanan (curah hujan sebulan), curah hujan harian (curah hujan 24 jam), dan curah hujan seriap jam. Distribusi curah hujan tergantung pada periodenya. Analisis frekuensi memerlukan kumpulan data curah hujan dari alat pengukur hujan manual dan otomatis. Analisis frekuensi ini menentukan probabilitas curah hujan di masa depan berdasarkan karakteristik statistik data tentang peristiwa masa lalu. Perkiraan bahwa karakteristik statistik kejadian hujan di masa depan akan selalu sama dengan kejadian hujan di masa lalu (Suripin, 2004).

Perencanaan sungai umumnya dilakukan setelah penetapan batas hidrologi yang disebabkan oleh fenomena alam yang secara mengejutkan dan tidak biasa. Oleh sebab itu, perlu dihitung peluang terjadinya limpasan atau curah hujan lebih kecil atau lebih besar dari nilai tertentu berdasarkan data yang diperoleh sebelumnya .

Metode yang digunakan harus ditentukan berdasarkan karakteristik sebaran wilayah curah hujan regional. Kejadian ulang yang dihitung dengan masing-masing metode adalah 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 atau 1000 tahun (Sri Harto, 2000).

2.5.2 Perhitungan Curah Hujan Wilayah

Data curah hujan dan limpasan merupakan data paling dasar untuk

perencanaan dan kajian survei hidrograf banjir. Keputusan pemilihan lokasi dan peralatan merupakan faktor penentu kualitas data yang diperoleh, baik curah hujan maupun *run off*. Tujuan analisis data curah hujan adalah untuk menentukan jumlah curah hujan dan analisis statistik yang perlu dipertimbangkan saat menghitung perkiraan *run off* banjir. Data curah hujan yang digunakan untuk menghitung debit banjir adalah jumlah curah hujan yang turun secara sekaligus di wilayah sungai.

Ada tiga metode yang digunakan dalam perhitungan curah hujan rata-rata wilayah daerah aliran sungai (DAS) ada tiga macam cara :

A. Rata-rata Aljabar

Rata-rata curah hujan yang diperoleh rerata perhitungan pengukuran hujan di pos penakar-penakar hujan didalam wilayah tersebut. Oleh karena itu, cara ini akan memberikan hasil yang dapat dipercaya jika tempat-tempat penakarnya ditempatkan secara merata di wilayah tersebut, dan hasil pengukuran masing-masing pos penakar tidak menyimpang jauh dari nilai rerata seluruh tempat di seluruh wilayah (CD Soemarto, 1999).

$$\bar{d} = \frac{d_1 + d_2 + \dots + d_n}{n} = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{n} \dots\dots\dots (2-1)$$

- keterangan :
- \bar{d} = tinggi curah hujan rata-rata
 - d_1, d_2, d_n = tinggi curah hujan pada pos penakar 1, 2,n
 - n = banyaknya stasiun pengukuran

B. Poligon Thiessen

Menurut *Kiyotaka Mori* dkk. (1977), metode ini sering digunakan dalam analisis hidrologi karena metode ini lebih lengkap, detail dan obyektif dibandingkan metode lainnya dan metode ini dapat digunakan pada daerah yang memiliki titik pengamatannya yang tidak merata. Metode ini terdiri dari memasukkan faktor pengaruh daerah yang diwakili oleh stasiun curah hujan yang disebut faktor pembobotan atau koefisien *Thiessen*. Untuk memilih stasiun curah hujan yang ditetapkan harus mencakup wilayah aliran sungai yang akan dibangun. Besar kecilnya koefisien *Thiessen* tergantung dari luas wilayah pengaruh stasiun hujan yang dibatasi oleh beberapa

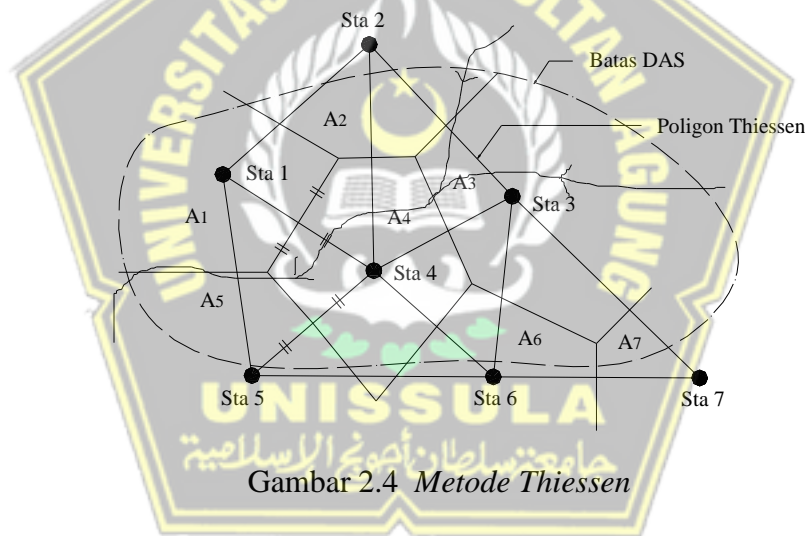
poligon yang berpotongan tegak lurus pada tengah-tengah garis penghubung stasiun-stasiun tersebut. Setelah diperoleh luas pengaruh tiap-tiap stasiun tersebut, maka koefisien *Thiessen* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut (CD Soemarto, 1999):

$$C = \frac{A_i}{A_{\text{total}}} \dots\dots\dots (2-2)$$

$$\bar{R} = \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + \dots + A_n R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots\dots\dots (2-3)$$

Keterangan :

- C = Koefisien *Thiessen*
- A_i = Luas pengaruh dari stasiun pengamatan i
- A = Luas total dari DAS
- \bar{R} = Curah hujan rata-rata
- R₁, R₂, ..., R_n = Curah hujan pada setiap titik pengukuran (stasiun)



Gambar 2.4 Metode Thiessen

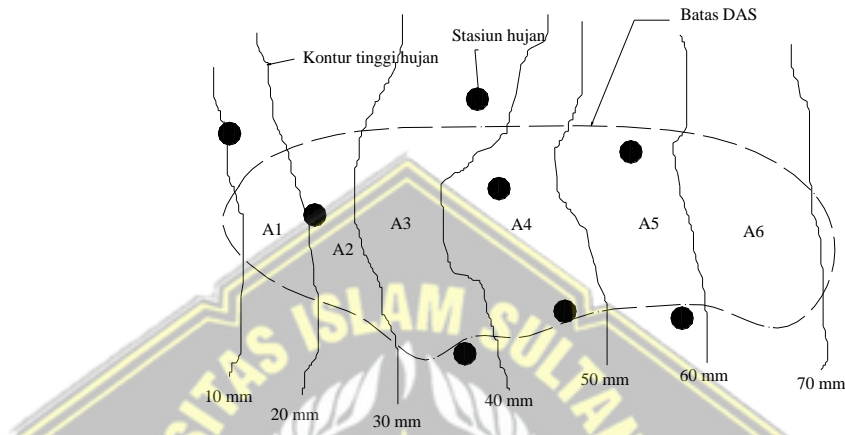
C. Metode Isohyet

Dengan cara ini, pertama-tama kita dapat menggambar dulu kontur dengan nilai curah hujan yang sama (*isohyet*), seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5, kemudian mengukur luas bagian *isohyet-isohyet* yang berdekatan, dan nilai rata-ratanya dihitung sebagai nilai rata-rata tertimbang dari nilai kontur, seperti sebagai berikut (CD Soemarto, 1999) :

$$\bar{d} = \frac{\frac{d_0+d_1}{2} A_1 + \frac{d_1+d_2}{2} A_2 + \dots + \frac{d_{n-1}+d_n}{2} A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots\dots\dots (2-4)$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^n \frac{d_{i-1}+d_i}{2} A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{d_{i-1}+d_i}{2} A_i}{A} \dots\dots\dots (2-5)$$

keterangan :
 A = A1+A2+...+An (luas total area)
 =tinggi curah hujan rata-rata di daerah tersebut
 d0, d1, dn =curah hujan pada *isohyet* 0, 1, 2,..., n



Gambar 2.5 Metode Isohyet

D. Dispersi

Dalam analisis frekuensi curah hujan data hidrologi dikumpulkan, dihitung, dan disajikan, serta diinterpretasikan dengan prosedur tertentu, yaitu metode statistik. Faktanya tidak semua variasi dari suatu variabel hidrologi terletak sama atau sama dengan nilai rata-ratanya. Variasi atau dispersi adalah derajat atau besarnya varian di sekitar nilai rata-ratanya. Cara mengukur besarnya dispersi disebut pengukuran dispersi (Soewarno, 1995).

Adapun metode mengukur dispersi meliputi :

- Deviasi Standar (S)
- Koefisien Skewness (Cs)
- Pengukuran Kurtosis (Ck)
- Koefisien Variasi (Cv)

1). Deviasi Standar (S)

Umumnya ukuran dispersi yang paling banyak digunakan adalah deviasi standar (*standard deviation*) dan varian (*variance*). *Variance* dihitung

sebagai nilai kuadrat dari deviasi standar. Jika sebaran data sangat besar dibanding nilai rata-rata maka nilai simpangan bakunya akan besar, akan tetapi apabila sebaran data sangatlah kecil terhadap nilai rata-rata maka standar deviasi atau simpangan bakunya akan kecil.

Rumus :

$$S = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}}{(n - 1)} \dots\dots\dots (2-6)$$

Keterangan :

- S = deviasi standar/simpangan baku
- Xi = nilai varian
- \bar{X} = nilai rata-rata
- n = jumlah data

2). *Koefisien Skewness (Cs)*

Kemencengan (*skewness*) merupakan suatu nilai yang menunjukkan derajat asimetri (*assymetry*) dari suatu bentuk distribusi. Secara umum ukuran kemencengan/asimetri dinyatakan dengan besarnya koefisien asimetri (*coefficient of skewness*).

Rumus :

$$Cs = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n - 1)(n - 2)S^3} \dots\dots\dots (2-7)$$

Keterangan :

- CS = koefisien asimetri
- Xi = nilai variat
- \bar{X} = nilai rata-rata
- n = jumlah data
- S = simpangan baku/standar deviasi

3) Pengukuran *Kurtosis (Ck)*

Pengukuran *kurtosis* dimaksudkan untuk mengukur keruncingan dari bentuk kurva distribusi, yang biasanya dibandingkan dengan distribusi normal.

Rumus :

$$Ck = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{S^4} \dots\dots\dots (2-8)$$

Keterangan :

Ck = koefisien kurtosis

Xi = nilai variat

\bar{x} = nilai rata-rata

n = jumlah data

S = simpangan baku / standar deviasi

4) Koefisien Variasi (Cv)

Koefisien variasi (*variation coefficient*) adalah nilai perbandingan antara simpangan baku / deviasi standar dengan nilai rata-rata hitung dari suatu distribusi.

Rumus :

$$Cv = \frac{S}{\bar{x}} \dots\dots\dots (2-9)$$

Keterangan :

Cv = koefisien variasi

S = standar deviasi

\bar{x} = nilai rata-rata

Dari nilai-nilai di atas, kemudian memilih jenis sebaran distribusi dengan membandingkan koefisien distribusi dari metode yang akan digunakan.

2.5.3 Perhitungan Curah Hujan Rencana

Ada berbagai macam distribusi teoritis yang kesemuanya dapat dibagi menjadi dua yaitu distribusi diskrit dan distribusi kontinyu. Yang diskrit adalah *binomial* dan *poisson*, sedangkan yang kontinyu adalah *Normal*, *Log Normal*, *Pearson* dan *Gumbel* (Soewarno, 1995).

Berikut ini adalah beberapa macam distribusi yang sering digunakan, yaitu:

A. Distribusi Normal

Dalam analisis hidrologi distribusi normal banyak digunakan untuk menganalisis frekuensi curah hujan, analisis statistik dari distribusi curah hujan tahunan, debit rata-rata tahunan. Distribusi normal atau kurva normal disebut pula distribusi *Gauss*.

Rumus :

$$X_t = X_{rt} + k.S \dots\dots\dots (2-10)$$

Keterangan :

- Xt = curah hujan rencana
- Xrt = curah hujan rata-rata
- k = koefisien untuk distribusi Normal
- S = standar deviasi

B. Distribusi Log Normal

Distribusi *Log Normal*, merupakan hasil transformasi dari distribusi Normal, yaitu dengan mengubah varian X menjadi nilai logaritmik varian X.

Rumus :

$$\text{Log}X_t = \text{Log}X_{rt} + k * S \dots\dots\dots(2-11)$$

$$X_t = 10^{\text{Log}X_t} \dots\dots\dots(2-12)$$

Keterangan :

- Xt = curah hujan rencana
- Xrt = curah hujan rata-rata
- k = koefisien untuk distribusi Normal
- S = standar deviasi

C. Distribusi Gumbel 1

Distribusi Tipe I Gumbel atau Distribusi Extrim Tipe I (extreme type I distribution) digunakan untuk analisis data maksimum, misalnya untuk analisis frekuensi banjir.

Rumus :

$$X_t = X_{rt} + \left(\frac{Y - Y_n}{S_n} \right) * S \dots\dots\dots(2-13)$$

Keterangan :

- Xt = curah hujan rencana
- Xrt = curah hujan rata-rata
- S = standar deviasi
- Sn = standar deviasi ke n
- Y = koefisien untuk distribusi Gumbel
- Yn = koefisien untuk distribusi Gumbel ke n

D. Distribusi Log Person Tipe III

Distribusi log-Pearson tipe III banyak digunakan dalam analisis hidrologi, terutama dalam analisis data maksimum (banjir) dan minimum (debit minimum) dengan nilai ekstrim. Bentuk distribusi log-Pearson tipe III merupakan hasil transformasi dari distribusi Pearson tipe III dengan menggantikan variat menjadi nilai logaritmik.

Rumus :

$$\text{Log}X_t = \text{Log}X_{rt} + k * S \quad \dots\dots\dots(2-14)$$

$$X_t = 10^{\text{Log}X_t} \quad \dots\dots\dots(2-15)$$

Keterangan :

- Xt = curah hujan rencana
- Xrt = curah hujan rata-rata
- k = koefisien untuk distribusi *Log Pearson*
- S = standar deviasi

2.5.4 Pengujian Kesesuaian Sebaran

Untuk mengetahui kesesuaian (*the goodness of fit test*) distribusi frekuensi dari sampel data dengan fungsi distribusi peluang/probabilitas yang diperkirakan dapat menggambarkan/mewakili distribusi frekuensi tersebut, maka diperlukan uji parameter. Uji parameter dapat dilakukan dengan dua cara, yakni uji *Chi-Kuadrat* atau dengan *Smirnov-Kolmogorov*. Biasanya pengujian dilaksanakan dengan cara menggambarkan data pada kertas peluang dan menentukan apakah data tersebut merupakan garis lurus atau perbandingan kurva frekuensi dari data pengamatan terhadap kurva frekuensi teoritisnya (Soewarno, 1995).

A. Uji *Chi-Kuadrat*

Uji *chi-kuadrat* (*chi-square*) bertujuan untuk mengetahui apakah persamaan distribusi peluang/probabilitas yang dipilih dapat mewakili dari distribusi statistik sampel data yang dianalisis. Uji ini menggunakan parameter χ^2 , sehingga disebut dengan uji *Chi-Kuadrat* (Soewarno, 1995).

Kriteria untuk mengetahui hasilnya adalah sebagai berikut :

1. Bila peluang probabilitas > 5 % maka persamaan distribusi teoritis

- yang digunakan dapat diterima.
2. Bila peluang probabilitas $< 1\%$ maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan dapat diterima.
 3. Bila peluang probabilitas berada diantara $1\% - 5\%$, maka tidak mungkin mengambil keputusan, perlu penambahan data.

B. Uji Smirnov-Kolmogorov

Uji kesesuaian *Smirnov-Kolmogorov*, sering disebut juga uji kecocokan nonparametrik (*non parametric test*), karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu.

Pengujian kesesuaian sebaran dengan metode ini dinilai lebih sederhana dibandingkan pengujian dengan cara *Chi-Kuadrat*. Membandingkan kemungkinan (*probability*) setiap variabel, dari distribusi empiris dan teoritisnya, akan terdapat perbedaan (Δ) tertentu.

Bila harga Δ max yang terbaca pada kertas grafik probabilitas lebih kecil dari Δ kritis, maka distribusi teoritis yang digunakan untuk menentukan persamaan distribusi dapat diterima, dan jika Δ max lebih besar dari Δ kritis, maka distribusi teoritis yang digunakan untuk menentukan persamaan distribusi tersebut tidak dapat diterima (Soewarno, 1995).

2.5.5 Debit Banjir Rencana

A. Periode Ulang

Perhitungan debit rencana pada saluran drainase perkotaan dapat dengan menggunakan rumus rasional atau hidrograf satuan. Pada saat menghitung waktu konsentrasi dan koefisien limpasan, maka perlu memperhitungkan perubahan tata guna lahan di masa mendatang.

Dalam perencanaan saluran drainase, dapat digunakan standar yang telah ditetapkan, mengacu kepada standar desain saluran drainase berdasar Penyelenggaraan Sistem Drainase Perkotaan yang dikeluarkan oleh Kementrian PUPR tahun 2014.

Tabel 2-1 Desain Kriteria Hidrologi Sistem Drainase Perkotaan

Luas DAS (ha)	Periode Ulang (Tahun)	Metode Perhitungan Debit Banjir
< 10	2	Rasional
10 – 100	2 – 5	Rasional
101 – 500	5 – 20	Rasional
> 500	10 – 25	Hidrograf satuan

Sumber : PUPR, 2014

B. Waktu Konsentrasi

Waktu konsentrasi suatu DAS adalah waktu yang diperlukan curah hujan yang jatuh untuk mengalir dari titik terjauh sampai ke keluaran DAS (titik kontrol) setelah tanah menjadi jenuh dan depresi-depresi kecil terpenuhi. Dalam hal ini diasumsikan bahwa jika durasi hujan sama dengan waktu konsentrasi, kemudian setiap bagian DAS secara simultan telah menyumbangkan aliran terhadap titik kontrol. Salah satu metode untuk memperkirakan waktu konsentrasi adalah rumus yang dikembangkan oleh Kirpich (1940), yang dapat ditulis sebagai berikut:

$$t_c = \left(\frac{0,885 \times L^2}{S} \right)^{0,385} \dots\dots\dots(2-16)$$

t_c adalah waktu konsentrasi dalam jam. L adalah panjang saluran utama dari hulu sampai saluran penguras dalam km, dan S adalah rata-rata saluran utama dalam meter.

Waktu konsentrasi juga dapat dihitung dengan membaginya menjadi dua komponen, yaitu (1) waktu yang diperlukan air untuk mengalir di permukaan lahan sampai saluran terdekat t_o , dan (2) waktu perjalanan dari awala masuk saluran sampai titik keluaran t_d , sehingga:

$$t_c = t_o + t_d \dots\dots\dots(2-17)$$

dimana:

$$t_o = \left[\frac{2}{3} \times 3,28 \times L \times \frac{n}{\sqrt{S}} \right] \text{ menit} \dots\dots\dots(2-18)$$

Dan $t_d = \frac{L_s}{60V}$ menit $\dots\dots\dots(2-19)$

keterangan :

n	=	koefisien kekasaran Manning.
S	=	kemiringan tanah/lahan.
L	=	panjang lintasan aliran di atas permukaan lahan (m).
Ls	=	panjang lintasan aliran pada saluran/sungai (m).
V	=	kecepatan aliran di dalam saluran (m/detik).

C. Koefisien limpasan permukaan (C)

Koefisien C didefinisikan sebagai perbandingan antara puncak aliran permukaan terhadap intensitas curah hujan. Faktor inilah yang menadikan variabel paling menentukan hasil perhitungan debit banjir. Pemilihan nilai C yang sesuai memerlukan pengalaman hidrologi yang luas dan lama. Faktor utama yang mempengaruhi C adalah laju infiltrasi tanah atau prosentase tanah/lahan kedap air, kemiringan tanah/lahan, tanaman penutup tanah, dan intensitas curah hujan. Permukaan yang kedap air, seperti perkerasan aspal dan atap bangunan, akan menghasilkan aliran hampir mendekati 100% setelah permukaan menjadi basah dengan seluruh potensi variasi kemiringan lerengnya. Koefisien limpasan juga bergantung kepada sifat dan kondisi tanah. Laju infiltrasi menurun seiring dengan berlanjutnya curah hujan, dan juga dipengaruhi oleh kondisi kejenuhan air sebelumnya. Faktor lain yang mempengaruhi nilai C adalah air tanah, derajat kepadatan tanah, porositas tanah, dan simpanan depresi. Nilai C untuk berbagai jenis tanah dan penggunaan lahan disajikan pada tabel berikut ini (PUPR,2014)

Tabel 2-2 Koefisien Limpasan Untuk Metode Rasional

Diskripsi lahan/karakter permukaan	Koefisien aliran. C
Kawasan Usaha	
- Perkotaan	0,70 – 0,95
- Pinggiran	0,50 – 0,70
Perumahan	
- Rumah tunggal	0,30 – 0,50
- Multiunit terpisah	0,40 – 0,60
- Multiunit tergabung	0,60 – 0,75
- Perkampungan	0,25 – 0,40

- Apartemen	0,50 – 0,70
Industri	
- Ringan	0,50 – 0,80
- Berat	0,60 – 0,90
Perkerasan	
- Aspal dan beton	0,70 – 0,95
- Batu bata, paving	0,50 – 0,70
- Atap	0,75 – 0,95
Halaman. tanah berpasir	
- Datar 2%	0,05 – 0,10
- Rata-rata. 2 - 7%	0,10 – 0,15
- Curam. 7%	0,15 – 0,20
Halaman. tanah berat	
- Datar 2%	0,13 – 0,17
- Rata-rata 2 - 7%	0,18 – 0,22
- Curam 7%	0,25 – 0,35
Halaman kereta api	0,10 – 0,35
Taman tempat bermain	0,20 – 0,35
Diskripsi lahan/karakter permukaan	Koefisien aliran. C
Taman. pekuburan	0,10 – 0,25
Hutan Datar (0 - 5%)	0,10 – 0,40
Hutan Bergelombang (5 - 10%)	0,25 – 0,50
Hutan Berbukit (10 – 30%)	0,30 – 0,60

Sumber : Permen PUPR, 2014

Nilai C pada tabel diatas belum memberikan rincian masing-masing faktor yang mempengaruhi nilai C. Oleh karena itu, cara menentukan faktor C yang mengintegrasikan nilai yang merepresentasikan beberapa faktor yang mempengaruhi hubungan antara hujan dan aliran, yaitu topografi, *permeabilitas* tanah, penutup lahan dan tataguna lahan. Nilai koefisien C merupakan gabungan dari beberapa faktor yang dapat dihitung berdasarkan tabel di bawah ini.

Tabel 2-3 Koefisien Aliran Untuk Metode Rasional

Koefisien aliran $C = C_t + C_s + C_v$					
Topografi. C_t		Tanah. C_s		Vegetasi. C_v	
Datar (<1%)	0,03	Pasir dan gravel	0,04	Hutan	0,04
Bergelombang (1-10%)	0,08	Lempungberpasir	0,08	Pertanian	0,11
Perbukitan (10-20%)	0,16	Lempung danlanau	0,16	Padang rumput	0,21
Pegunungan (>20%)	0,26	Lapisan batu	0,26	Tanpa tanaman	0,28

Sumber : Hassing, 1995

Jika suatu DAS terdiri dari berbagai macam penggunaan lahan yang berbeda dengan koefisien aliran permukaan yang berbeda pula, maka C yang digunakan adalah koefisien DAS dan dapat dihitung dengan persamaan:

$$C_{DAS} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \dots\dots\dots(2-20)$$

keterangan :

- A_i = luas lahan dengan jenis penutup tanah i.
- C_i = koefisien aliran permukaan jenis penutup tanah i.
- n = jumlah jenis penutup lahan.

Cara lain penggunaan rumus Rasional untuk DAS dengan tata guna lahan tidak homogen adalah dengan substitusi persamaan

$$C_{DAS} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \text{ kedalam persamaan } Q_p = 0,002778 C I A \dots(2-21)$$

menjadi $Q_p = 0,002778 I \sum_{i=1}^n C_i A_i \dots\dots\dots(2-22)$

2.6 Komponen Meteorologi

2.6.1 Umum

Penentuan metode perhitungan aliran debit puncak dilakukan berdasarkan luas daerah tangkapan air di wilayah penelitian dengan menggunakan metode *Hidrograf* Satuan. Pendekatan yang digunakan sistem DAS yang dapat digambarkan bahwa hujan merupakan input yang diproses berdasarkan sifat-sifat dari sistem DAS sehingga menghasilkan keluaran berupa debit (Hidayah 2012).

Komponen utama dalam model Debit puncak adalah sebagai berikut:

- a. Basin model – berisi elemen-elemen DAS, hubungan antar elemen dan parameter aliran
- b. *Meteorologic model* – berisi data curah hujan dan penguapan
- c. *Control Specifications* –berisi waktu mulai dan berakhirnya hitungan
- d. *Time series data* – berisi masukan data antara lain curah hujan, debit
- e. *Paired data* – berisi pasangan data seperti *hidrograf satuan*

Menurut Chow et all (1988) *Alternating Block Method (ABM)* merupakan salah satu model distribusi hujan yang dikembangkan untuk mengalihragamkan curah hujan harian ke hujan jam – jaman. Apabila tidak tersedia data hujan jangka pendek, yang ada hanya data hujan harian, maka intensitas hujan dapat dihitung sesuai karakteristik curah hujan per jam di lokasi kajian.

$$I = (R24/24) \times (24/t)^{2/3} \dots\dots\dots (2-23)$$

Keterangan:

- I = Intensitas curah hujan (mm/jam)
- R24 = Curah hujan maksimum selama 24 jam (mm)
- t = Lama hujan (jam)

Kedalaman hujan diperoleh dengan megalikan antara intensitas hujan dan lamanya waktu tersebut. Perbedaan nilai kedalaman hujan yang berurutan merupakan pertambahan hujan dalam interval waktu Δt . Pertambahan hujan tersebut (blok-blok), diurutkan kembali ke dalam rangkaian waktu dengan intensitas hujan maksimum berada pada pertengahan durasi hujan T_d dan blok-blok sisanya disusun dalam urutan menurun secara bolak-balik pada kanan dan kiri dari blok tengah.

Keterangan:

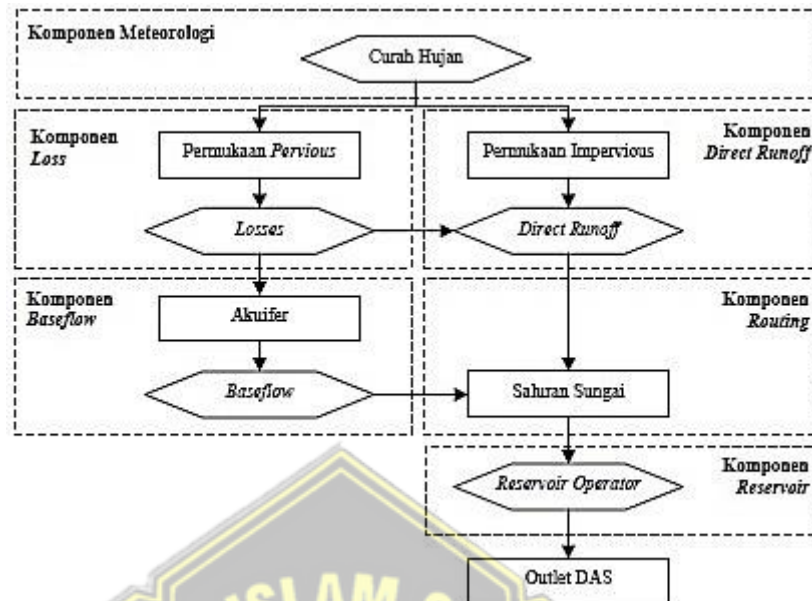
$$T_d = n \times \Delta t \dots\dots\dots(2-24)$$

$$I_t T_d = I_t \times T_d \dots\dots\dots(2-25)$$

dimana:

- n = data
- Δt = Pertambahan hujan dalam interval waktu
- I_t = Intensitas (mm/jam)
- T_d = waktu (jam)

2.6.2 Komponen-komponen model



Gambar 2.6 Komponen Meteorologi (USACE,2013)

Menurut USACE (2013), bahwa komponen model yang digunakan untuk mensimulasikan respon hidrologi DAS, yaitu:

A. *Basin Model Component*

Merupakan proses penyiapan model basin dengan tahap deliniasi batas DAS dan merupakan bagian fisik dari DAS. Proses ini diawali dengan menentukan posisi titik outlet pada DAS dengan *Generate Project* yang mendeliniasi batas DAS secara otomatis pada model. Komponen-komponen ini akan di *export* ke dalam format HMS sebagai komponen penyusun model basin. Komponen deliniasi DAS yang dihasilkan dari analisis ini menghubungkan beberapa elemen-elemen masing-masing hidrologi yaitu *subbasin*, *reach*, *junction*, dan *sink*. Elemen-elemen hidrologi membentuk formasi yang mempresentasikan gambaran fisik suatu DAS.

Komponen-komponen basin model terdapat 4 parameter utama yang sekaligus merupakan metode yaitu *Metode Loss* (Metode SCS CN), *Metode Transform* (Metode SCS Unit Hydrograph), *Metode Baseflow* (Metode *Recession*) dan *Metode Routing* (Lag Time). Keempat parameter tersebut adalah :

a) *Metode Loss*

Metode kerja yang berfungsi untuk memperhitungkan bagian curah hujan yang hilang akibat infiltrasi, intersepsi, evaporasi, dan limpasan serta untuk mencari curah hujan yang efektif. Hujan efektif atau curah hujan lebih (*excess precipitation*) merupakan hujan yang menyebabkan limpasan (*runoff*). Metode *Loss* yang digunakan adalah Metode *SCS CN*, dengan parameter yang diperlukan yaitu *Initial Abtraction/Initial Loss* (abstraksi awal), *Curve Number/CN* (bilangan kurva), dan *Persen Impervious/PctImp*. Pemilihan Metode *SCS* didasarkan pada penggunaan lahan di sebuah DAS akan mempengaruhi limpasan atau bagian curah hujan yang hilang. Metode *SCS (Soil Conservation Service)* merupakan metode konservasi tanah yang dikembangkan oleh *US Soil Conservation Service*. Konsep dasar dari metode ini yaitu menghitung rata-rata kehilangan air hujan yang terjadi selama hujan berlangsung melalui proses infiltrasi/permeabilitas dan tutupan lahan sehingga berpengaruh pada debit yang mengalir pada sungai.

b) *Metode Transform*

Metode hidrograf satuan yang akan digunakan untuk menghitung besarnya limpasan. Metode ini digunakan yaitu metode *SCS Unit Hydrograph*. Metode ini membutuhkan parameter seperti *time lag* yaitu tenggang waktu antara titik berat hujan efektif dengan titik berat *hidograf* (debit puncak).

c) *Metode Baseflow*

Merupakan aliran dasar pada saat limpasan sehingga dapat dihitung ketinggian puncak *hidograf* yang terjadi. Metode *Baseflow* yang digunakan yaitu metode *Recession* dengan asumsi aliran dasar ada sepanjang tahun dan memiliki puncak *hidograf* pada satuan waktu terkait dengan curah hujan. Metode ini memerlukan parameter seperti *initial discharge* (debit awal), *recession constant* (konstanta resesi) dan *ratio to peak*. Perhitungan metode *baseflow* diperoleh dari *hidograf* data observasi SPAS yang terletak dilokasi penelitian dengan menggunakan pemisahan aliran dasar dengan persamaan garis lurus.

d) *Metode Routing*

Persamaan ini menggunakan Metode Lag. Perhitungannya seperti pada persamaan dibawah.

$$O_t = \{ I_t \ t < \text{lag} \} \dots\dots\dots(2-26)$$

$$O_t = \{ I_{t-\text{lag}} \ t \geq \text{lag} \} \dots\dots\dots(2-27)$$

dengan:

- O_t = outflow hidograf ordinat;
- I_t = inflow hidograf ordinat;
- lag = time lag.

B. Control Spesification Component

Mengatur rentang waktu menjalankan simulasi yaitu menentukan jangka waktu (*time period*) dan langkah waktu (*time step*) untuk menjalankan simulasi. Periode menunjukkan informasi model saat dimulai dan mengakhiri waktu simulasi. *Time step* menunjukkan informasi model interval waktu yang digunakan.

C. Input Data Component

Model Component berisi parameter data curah hujan dan data debit. Curah hujan yang digunakan dalam kajian ini yaitu dari pembacaan kertas pias (*fluviograf*) dari stasiun penakar hujan otomatis. Masukkan data curah hujan harian berdasarkan model hujan yang digunakan segmen akumulasi hujan dan hitung intensitas hujan yang terjadi (dalam jam)

D. Meteorologic Component

Menghitung data meteorologi yang dibutuhkan oleh setiap Subbasin element. Metode yang digunakan yaitu *Specified Hyetograph* pada *Precipitation*, yaitu mendefinisikan nama-nama stasiun curah hujan yang digunakan untuk setiap spesifikasi Subbasin element.

2.7 Model HEC-RAS

2.7.1 Umum

Dalam kegiatan ini, HEC-RAS digunakan untuk melakukan simulasi kejadian banjir dengan cara penelusuran banjir. Penelusuran banjir atau lebih dikenal dengan *flood routing* merupakan penelusuran yang memperhatikan fungsi ruang dan waktu. Perhitungan ini meingatkan bahwa melalui alur sungai merupakan proses distribusi, karena laju aliran

merupakan fungsi dari kecepatan, kedalaman, dan ruang. Pada analisa DAS Madukoro dilakukan dengan menggunakan simulasi fisik yang dirumuskan secara matematis dengan pendekatan numerik menggunakan bantuan *software HEC- RAS*.

Simulasi *flood routing* membantu menjelaskan kondisi banjir yang dapat terjadi pada sungai bersangkutan. Selain itu, *HEC-RAS* juga mampu membantu simulasi dalam skenario pengendalian dengan menyediakan bangunan fisik pada sepanjang sungai. Simulasi yang digunakan dalam penelitian ini dilakukan dengan bantuan *software HEC-RAS* versi 5.0.7 yang dikeluarkan oleh *U.S. Army Corps of Engineers (USACE,2013)*.

2.7.1 Pemodelan

HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center-River Analysis System) adalah sistem permodelan aliran sungai yang dikembangkan oleh *Hydrologic Engineering Center (HEC)* dibawah *USACE*. Program ini dapat digunakan untuk memodelkan simulasi *steady flow* (aliran tetap) maupun *unsteady flow* (aliran tak tetap). *HEC-RAS* merupakan program aplikasi yang mengintegrasikan fitur *graphical user interface*, analisis hidraulik, manajemen dan penyimpanan data, grafik visual.



Gambar 2.7 Tampilan Antar Muka *Hec RAS (USACE, 2013)*

Karakteristik hidrolis aliran di sungai dengan peristiwa banjir merupakan tipe aliran tidak tetap dimana dengan program ini dapat mengetahui kedalaman dan kecepatan aliran dari satu titik *cross section* ke titik berikutnya yang bervariasi terhadap waktu. Perhitungan dalam model numerik ini dilakukan berdasarkan persamaan energi secara umum, yaitu:

$$y_1 + z_1 + (\alpha_1 v_1^2) / 2g = y_2 + z_2 + (\alpha_2 v_2^2) / 2g + h_e \quad \dots\dots\dots(2-28)$$

dimana,

y_1, y_2 : kedalaman air (m)

z_1, z_2 : elevasi dasar sungai (m)

α_1, α_2 : koefisien koreksi kecepatan

G : percepatan gravitasi bumi

h_e : kehilangan energi (*energy head loss*) (m)

Dengan memodelkan sistem sungai pada *HEC RAS*, dibuat *project* yaitu kumpulan beberapa file yang membangun model simulasi. Pada umumnya data yang disiapkan untuk suatu proyek mencakup data geometri, data aliran, dan data rencana. Skema sungai dibangun atas *river* dan *reach*. *River* dapat terdiri satu atau lebih *reach*. *Reach* digambar dengan titik koordinat (USACE, 2013). Elemen dalam simulasi model *HEC-RAS* dijelaskan sebagai berikut:

A. Geometri

File Geometri memiliki *extension* dari G01 sampai dengan G99. Huruf “G” menunjukkan file geometri, sedangkan angka menunjukkan nomor urut file sesuai dengan waktu penyusunan dan penyimpanannya. File geometri berisi data geometri seperti penampang melintang, penampang memanjang, koefisien, bangunan. File geometri disimpan dalam format *ASCII*. File geometri terbentuk setelah pengguna meng-klik *icon New Geometry Data* atau *Save Geometry Data As* pada jendela editor.

B. Unsteady Flow

File data *unsteady flow* memiliki *extension* U01 sampai dengan U99. Huruf “U” menunjukkan file data *unsteady flow*, sedangkan angka menunjukkan nomor urut file berdasarkan waktu penyusunan dan penyimpanannya dalam suatu proyek. Data *unsteady flow* berisi data hidrograf aliran, kondisi batas dan kondisi awal untuk setiap ruas. Data *unsteady flow* disimpan dalam bentuk *ASCII* dan otomatis terbentuk segerasetelah pengguna meng-klik *icon New Flow Data* atau *Save Flow Data As* pada jendela *unsteady flow* data editor.

C. Plan

File plan memiliki *extension* P01 sampai dengan P99. Huruf “P” menunjukkan file *plan*, dengan angka dibelakangnya sebagai nomor urut plan. Ketika *plan* dibuat maka *plan* tersebut langsung mendapatkan nomor urut dari 01 sampai dengan 99. File *plan* berisi deskripsi dari *plan* tersebut dan pengenal singkatnya. File plan terbentuk secara otomatis jika pengguna menggunakan perintah *New Plan* atau *Save Plan As* dari jendela simulasi.

D. Run

File *run* memiliki *extension* R01 sampai dengan R99. Huruf “R” menunjukkan file *run*, sedangkan angka menunjukkan nomor urut file sesuai dengan file plannya, misalnya R01 adalah file run yang berhubungan dengan file plan P01. Dalam file run terdapat seluruh data yang dibutuhkan untuk menampilkan perhitungan yang diminta oleh file plan yang berhubungan dengannya. File run otomatis terbentuk begitu pengguna meng-klik icon *Compute* pada jendela *running*.

E. Output

File keluaran/*output* memiliki *extension* O01 sampai dengan O99. Huruf “O” menunjukkan file *output*, sedangkan angka menunjukkan nomor urut file sesuai dengan file plannya, misal O01 adalah file *output* yang berhubungan dengan file plan P01. File *output* berisi seluruh hasil perhitungan seperti yang diminta oleh “engine” dan dapat berupa tabel maupun gambar.

2.8 Pemodelan EPA SWMM

2.8.1 Konsep EPA SWMM

Metode yang digunakan untuk menghitung perkiraan debit banjir rencana adalah Program *EPA SWMM* (Storm Water Management Model) Versi 5.1. *EPA SWMM* merupakan model simulasi limpasan (runoff) curah hujan periodik yang digunakan untuk mensimulasikan kejadian tunggal atau kejadian terus-menerus dengan mempertimbangkan kuantitas dan kualitas limpasan dari luas wilayah yang ditinjau. Komponen limpasan *SWMM* digunakan dengan menjumlahkan luas daerah tangkapan (*subcatchment*)

yang menerima hujan total dan membangkitkannya dalam bentuk limpasan (*runoff*) dan beban polusi. Aliran limpasan di *SWMM* dapat ditelusuri melalui sistem pipa, saluran terbuka, kolam tampungan dan pompa. *SWMM* merupakan kuantitas dan kualitas limpasan yang dibangkitkan pada masing-masing daerah tangkapan (*subcatchment*), dan rata-rata aliran, kedalaman aliran dan kualitas air di masing-masing pipa dan saluran terbuka waktu simulasi dimasukkan dalam penambahan waktu.

SWMM digunakan untuk memperhitungkan berbagai jenis proses hidrologi yang menghasilkan limpasan di wilayah yang ditinjau. Hal itu meliputi :

- 1) Perbedaan waktu curah hujan
- 2) Penguapan permukaan air
- 3) Timbunan salju dan pencairan salju
- 4) Kehilangan hujan dari tampungan-cekungan
- 5) Infiltrasi curah hujan ke dalam permukaan tanah tak jenuh
- 6) Perkolasi dari air infiltrasi ke dalam permukaan air tanah
- 7) Aliran antara air tanah dengan sistem drainase
- 8) Penelusuran waduk nonlinear dari aliran permukaan

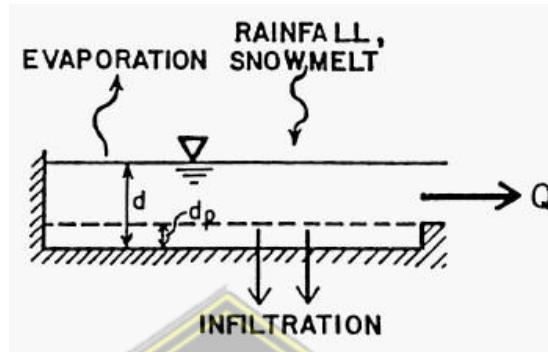
Variasi ruang hujan dalam semua proses ini diselesaikan dengan membagi wilayah studi ke dalam lingkup yang lebih kecil, luas daerah tangkapan (*subcatchment*) homogen, masing-masing mengandung fraksi *previous* dan *impervious sub-area* sendiri-sendiri. Aliran permukaan dapat ditelusuri antar *sub-area*, antar daerah tangkapan (*subcatchment*), atau antar titik masuk dari sistem drainase.

Dalam perencanaan ini hanya menggunakan perhitungan dari metode aliran permukaan dan infiltrasi untuk mendapatkan hidrografnya, sehingga hanya membahas tentang limpasan permukaan dan Infiltrasi saja.

2.8.1.1 Aliran permukaan

Konsep aliran permukaan yang digunakan oleh *SWMM* dapat dilihat pada Gambar 2-7. Permukaan *subcatchment* didefinisikan sebagai *reservoir nonlinear*. Air masuk melalui *presipitasi* serta *subcatchment* yang di atasnya. Kemudian air akan mengalir dengan berbagai cara diantaranya melalui

infiltrasi, *evaporasi*/penguapan dan aliran limpasan permukaan. Aliran permukaan per satuan luas (*Q*) terjadi apabila air tanah telah mencapai maksimum dan tanah menjadi jenuh. Untuk memperoleh nilai *Q* dihitung menggunakan persamaan *manning*.



Gambar 2.8 Model simulasi aliran pada SWMM (*EPA SWMM 5.1*)

$$Q = W \frac{1}{n} (d - d_p)^{\frac{5}{3}} \sqrt{S} \dots\dots\dots(2-29)$$

dimana :

- Q = debit aliran yang terjadi
- W = lebar *subcatchment*
- n = koefisien kekasaran *manning*
- d = kedalaman air
- d_p = kedalaman air tanah
- S = kemiringan *subcatchment*

Tabel 2-4 Angka Kekasaran *Manning* (n) untuk Aliran Permukaan

Jenis Permukaan (<i>Surface</i>)	n
Aspal halus (Smooth asphalt)	0,011
Beton halus (Smooth concrete)	0,012
Beton biasa (Ordinary concrete lining)	0,013
Kayu bagus (Good wood)	0,014
Pasangan batu bata (Brick with cement mortar)	0,014
Vitrified clay	0,015
Besi cetak (Cast iron)	0,015
Corrugated metal pipes	0,024
Cement rubble surface	0,024

Fallow soils (no residue)	0,050
Tanah bertanaman (Cultivated soils)	
Residue cover < 20%	0,06
Residue cover > 20%	0,17
Range (natural)	0,13
Rumput (Grass)	
Short, prarie	0,15
Dense	0,24
Bermuda grass	0,41
Hutan (Woods)	
Semak ringan (Light underbrush)	0,40
Semak padat (Dense underbrush)	0,80

Sumber : EPA SWMM 5.1

Selanjutnya aliran yang terjadi (Q) akan mengalir melalui *conduit* atau saluran yang ada. SWMM menggunakan persamaan *manning* untuk menghitung debit aliran :

$$Q = \frac{1,49}{n} AR^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (\text{sistem Inggris}) \quad \dots\dots\dots(2-30)$$

$$Q = \frac{1}{n} AR^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (\text{sistem SI}) \quad \dots\dots\dots(2-31)$$

keterangan :

- Q = debit saluran
- A = luas penampang saluran
- R = jari-jari hidrolik
- S = kemiringan dasar saluran
- n = bilangan *manning* untuk kekasaran saluran

Tabel 2-5 Bilangan kekasaran *Manning* untuk saluran

Saluran	Keterangan	n Manning
Tanah	Lurus, baru, seragam, landai dan bersih	0,016 - 0,033
	Berkelok, landai dan berumput	0,023 - 0,040

Tanah	Tidak terawat dan kotor	0,050 - 0,140
	Tanah berbatu, kasar dan tidak teratur	0,035 - 0,045
Pasangan	Batu kosong	0,023 - 0,035
	Pasangan batu belah	0,017 - 0,030
Beton	Halus, sambungan baik dan rata	0,014 - 0,018
	Kurang halus dan sambungan kurang rata	0,018 - 0,030

Sumber : Imam Subarkah, 1980

2.8.1.2 Infiltrasi

Infiltrasi adalah proses dimana air hujan merembes masuk ke dalam tanah permukaan pervious subcatchment area. SWMM menyediakan tiga pilihan untuk memodelkan infiltrasi namun dalam perencanaan ini yang digunakan adalah persamaan *Horton*

Metode ini berdasarkan hasil pengamatan empiris yang dilakukan oleh RE. Horton (1940) yang menunjukkan bahwa infiltrasi akan berkurang secara eksponensial dari nilai maksimum ke nilai minimum sesuai dengan persamaan:

$$f_p = f_c + (f_o - f_c)e^{-Kt} \dots\dots\dots(2-32)$$

keterangan :

- f_p = kapasitas infiltrasi
- f_c = infiltrasi minimum
- f_o = infiltrasi maksimu
- t = waktu sejak awal hujan
- k = tetapan untuk tanah atau permukaan tertentu

Tabel 2-6 Nilai K, fo dan fc untuk berbagai jenis tanah

Jenis tanah		f_o <i>mm/jam</i>	f_c <i>mm/jam</i>	K <i>menit⁻¹</i>
pertanian baku	gundul	280	6-220	1.6
	berakar rumput	900	20-290	0.8
gambut		325	2-20	1.8

pasir halus	gundul	210	2-25	2.0
	berakar rumput	670	10-30	1.4

Sumber : E.M Wilson 1990

2.8.2 EPA SWMM

SWMM merupakan pemodelan dari siklus hidrologi yang ada di bumi. Pemodelan ini berisikan tentang :

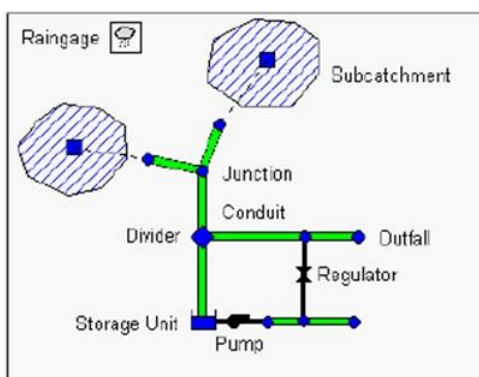
Pemodelan curah hujan. Hujan merupakan faktor terpenting dalam hidrologi. Laju curah hujan biasanya dinyatakan oleh banyaknya jumlah curah hujan dalam satuan waktu tertentu dan di sebut Intensitas Curah Hujan (Takeda, 1993). Di dalam SWMM curah hujan di gambarkan dengan simbol *Rain Gage* untuk mewakili hujan yang akan disimulasikan.

Pemodelan permukaan tanah, dimana dalam hal ini diwakili oleh simbol Subcatchment. Permukaan tanah menerima curah hujan dari atmosfer kemudian air sebagian akan meresap kedalam tanah sebagai infiltrasi dan sebagian akan menjadi limpasan permukaan.

Pemodelan air tanah yang mana melalui proses *infiltrasi* menerima air dari permukaan. Dalam SWMM dilambangkan dengan simbol *Aquifer*.

Pemodelan jaringan transportasi air. Air mengalir melalui kanal, saluran, pipa, kemudian juga dapat disimulasikan tentang penggunaan pompa, kolam penampungan dan pengolahan limbah. SWMM bagian ini dilambangkan sebagai *Node* dan *Link*.

Pemodelan seperti tersebut diatas digabungkan menjadi satu kesatuan sehinggagamengambarkan suatu sistem drainase. Gambar dan rangkaiannya tersebut dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.9 Pemodelan Rangkaian Sistem Drainase pada SWMM (Hossain,2019)

2.8.2.1 Rain Gage

Rain Gage adalah pemodelan yang mewakili curah hujan yang akan mensuplai area studi. Data curah hujan yang digunakan adalah data hujan yang telah diolah terlebih dahulu sehingga mendapatkan format yang dibutuhkan. Beberapa format curah hujan dapat digunakan dalam simulasi ini.

- 1) Intensitas curah hujan yaitu jumlah hujan rata-rata dalam satuan waktu tertentu
- 2) Volume curah hujan yaitu jumlah hujan yang tercatat pada pengukur hujan dalam waktu tertentu
- 3) Curah hujan kumulatif yaitu jumlah curah hujan yang terjadi dari hujan mulai turun hingga hingga berhenti.
- 4) Data masukan untuk curah hujan :
- 5) Tipe data hujan (intensitas, volume, kumulatif)
- 6) Interval pencatatan curah hujan (1 jam, 15 menit, 5 menit ,dll)
- 7) Sumber dari data curah hujan
- 8) Nama sumber data curah hujan

2.8.2.2 Subcatchment

Subcatchment atau disebut juga sub daerah pengaliran sungai adalah salah satu unit hidrologi di permukaan tanah yang mempunyai topografi dan element sistem drainase internal yang mengalirkan limpasan permukaan ke satu titik keluar. *Subcatchment* dapat di bagi menjadi bagian *pervious subarea* dan *impervious subarea* dimana limpasan dapat mengalami peresapan jika melewati *pervious subarea* tetapi tidak dapat jika melewati *impervious subarea* (kedap air). Limpasan dapat mengalir dari satu sub area ke subarea lainnya atau mengalir ke bersama ke satu titik keluar.

Infiltrasi air hujan pada *subcatchment* dengan *pervious area* dapat di deskripsikan dengan tiga model yang berbeda :

- a. *Model infiltrasi Horton*
- b. *Model infiltrasi Green-Ampt*
- c. *Model infiltrasi SCS Curve Number*

Parameter lain untuk untuk *subcatchment* adalah :

- a. Menentukan *Rain Gage* yang akan digunakan
- b. Menentukan *outlet subcatchment*
- c. Menentukan tata guna lahan
- d. Menentukan *pervious* dan *impervious subarea*
- e. Menentukan *slope* atau kemiringan *subcatchment*
- f. Menentukan lebar *Subcatchment*
- g. Menentukan angka *manning* untuk aliran permukaan
- h. Menentukan persentase *impervious subarea*.

2.8.2.2 Junction Nodes

Junction merupakan titik pertemuan aliran. Dalam keadaan sebenarnya *junction* dapat menggambarkan pertemuan antara saluran, *manholes* pada *sewer system*, atau pada pipa saluran tertutup. Aliran yang masuk ke dalam sistem drainase harus memlalui *junction*. Kelebihan air pada *junction* dapat menyebabkan air meluap pada titik tersebut sehingga dapat digambarkan sebagai banjir pada titik tersebut.

Parameter untuk *junction* adalah :

- 1) Elevasi Dasar
- 2) Ketinggian permukaan tanah
- 3) Kolam tampungan pada permukaan ketika terjadi banjir (*Optional*)
- 4) Data debit dari luar (*Optional*)

2.8.2.3 Outfall Nodes

Outfalls adalah terminal terakhir dari rangkaian aliran sistem drainase, menggambarkan titik akhir berupa muara ataupun keluaran lainnya. Pada *Outfalls* dapat digambarkan dengan beberapa kondisi antara lain :

- 1) Kedalaman aliran pada penghubung saluran
- 2) Kondisi air pasang tertinggi (fixed tide)
- 3) Tabel pasang surut
- 4) Parameter masukan lainnya :
- 5) Elevasi dasar
- 6) Keadaan pasang surut
- 7) Pintu engsel untuk mencegah backwater melalui *Outfalls*

2.8.2.4 *Flow Nodes River*

Flow Nodes River adalah suatu titik yang membagi sebagian aliran ke saluran yang yang lain. Suatu pembagi hanya dapat membagi aliran menjadi dua. Ada empat jenis *Flow dividers* berdasarkan cara membagi aliran :

- a. *Cutoff Divider* : membagi aliran berdasarkan jumlah yang telah di tentukan.
- b. *Overflow Divider* : membagi aliran berdasarkan kapasitas maksimum saluran utama, jika saluran utama melewati kapsitas maksimum maka aliran akan langsung terbagi.
- c. *Tabular Divider* : membagi aliran berdasarkan tabel fungsi total aliran
- d. *Weir Divider* : membagi aliran dengan menggunakan persamaan weir (bendung).

2.8.2.5 *Storage Unit*

Storage unit merupakan suatu titik dimana dapat menyimpan tampungan air dengan volume tertentu. Dalam hal ini *storage unit* menggambarkan suatu kolam tampungan air dengan volume tertentu dimana air dapat menampung untuk sementara. Volume kolam tampungan diperoleh dari tabel fungsi luas permukaan kolam dengan kedalaman. Masukan lainnya untuk *Storage Unit* :

- a. Elevasi dasar
- b. Kedalaman maksimum
- c. Tabel fungsi luas permukaan dan kedalaman
- d. Penguapan
- e. Genangan di permukaan (optional)

2.8.2.6 *Conduits*






















Conduits adalah penghubung yang menyalurkan air dari suatu *node* (simpul) ke *node* (simpul) lainnya dalam sistem pengaliran dalam hal ini dapat berupa saluran terbuka atau tertutup. Penampang melintang saluran dapat ditentukan menggunakan tabel yang telah disediakan. Selain itu bentuk saluran alam yang tidak beraturan juga dapat digunakan.

Masukan untuk *conduits* :

- a. Nama node masuk dan node keluar
- b. Panjang saluran
- c. Bilangan kekasaran Manning
- d. Geometri penampang melintang



Tabel 2-7 Bentuk penampang melintang saluran dalam SWMM

Name	Parameters	Shape	Name	Parameters	Shape
Circular	Depth		Filled Circular	Depth, Filled Depth	
Rectangular - Closed	Depth, Width		Rectangular - Open	Depth, Width	
Trapezoidal	Depth, Base Width, Side Slopes		Triangular	Depth, Top Width	
Horizontal Ellipse	Depth, Max Width		Vertical Ellipse	Depth, Max Width	
Arch	Depth, Max Width		Parabolic	Depth, Top Width	
Power	Depth, Top Width, Exponent		Rectangular-Triangular	Depth, Top Width, Triangle Height	
Rectangular-Round	Depth, Width		Modified Baskethandle	Depth, Bottom Width	
Egg	Depth		Horseshoe	Depth	
Gothic	Depth		Catenary	Depth	
Semi-Elliptical	Depth		Baskethandle	Depth	
Semi-Circular	Depth				

Sumber : (Yani Hendrayani, 2007)

2.8.2.6 Orifices

Orifices digunakan untuk memodelkan struktur *diversi* dan saluran dari sistem drainase, yang secara khusus membuka dinding dari *manhole*, fasilitas tumpangan dan kontrol gerbang. *Orifices* secara internal diwakili didalam SWMM sebagai penghubung dua *node*. *Orifices* bisa berbentuk bulat atau persegi, bisa diletakkan didasar ataupun sepanjang sisi *node*

di hulu dan mempunyai *flap gate* penutup untuk mencegah *backflow*. Laju aliran sepanjang *orifices* dihitung berdasarkan luas bukaannya, koefisien *dischargenya* dan perbedaan puncak diseberrangnya.

Parameter masukan untuk *orifices* antara lain :

- 1) Nama titik inlet dan outlet
- 2) Tipe *orifices* (dasar atau sisi)
- 3) Bentuk *orifices* (bulat atau persegi)
- 4) Tinggi *orifices* saat terbuka penuh

2.9 Aprob_4.1

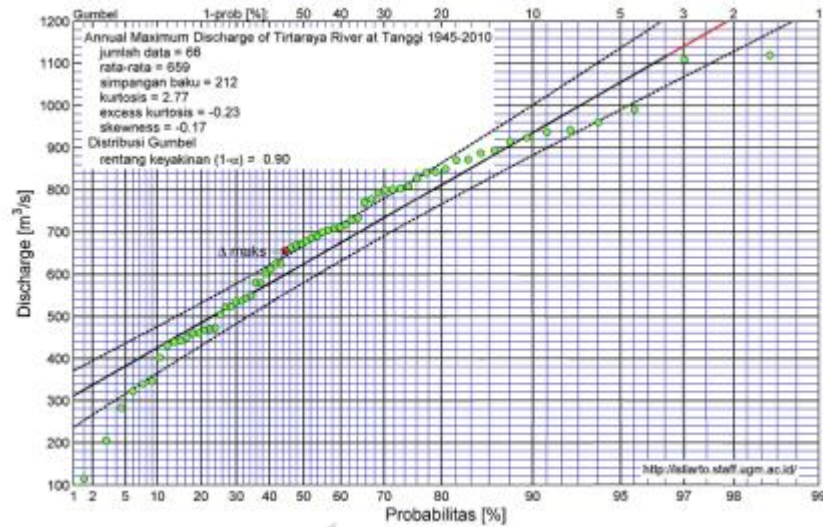
2.9.1 Umum

Aplikasi AProb_4.1 adalah program yang dikembangkan oleh Dr. Ir. Istiarto dosen Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM untuk melakukan analisa probabilitas data hidrologi berupa data curah hujan atau data debit ekstrem atau lebih dikenal dengan analisis frekuensi data hidrologi ekstrem.

Aplikasi AProb_4.1 dapat *memploting* distribusi probabilitas yang cukup relevan untuk diterapkan di Indonesia, yaitu distribusi probabilitas *Gumbel*, *Log Normal*, *Log Pearson Tipe III*, dan distribusi Normal. Uji kesesuaian distribusi probabilitas pada aplikasi AProb_4.1 menggunakan uji *Chi-kuadrat* dengan tingkat keyakinan $(1-\alpha)=90\%$ dan uji *Smirnov-Kolmogorov* dengan tingkat keyakinan $\alpha=10\%$ (Istiarto,2014)

Aplikasi AProb_4.1 memerlukan data input berupa file teks yang berekstensi .txt atau file *worksheet Excel* yang berekstensi .xls atau .xlsx dengan data yang ditulis dalam satu kolom. Baris pertama data berupa teks yang merupakan judul data dan baris berikutnya berisi data skala (angka) yang akan diplot dan digunakan dalam perhitungan analisis frekuensi. Setiap sel data skalar hanya berisi 1 (satu) angka (Istiarto,2014)

Keluaran dari aplikasi AProb_4.1 disimpan dalam 5 file yang terdiri dari ringkasan hasil eksekusi dan plot grafik distribusi probabilitas. Gambar 2.10 di bawah ini adalah contoh file hasil keluaran dari AProb_4.1.



Gambar 2.10 Grafik Distribusi Frekuensi data Hidrofologi dengan Aprob_4.1 (Istiarto,2014)

2.9.2 Sistem Operasi Aprob_4.1 dan Format Masukan File

AProb adalah aplikasi untuk mengolah data hidrologi ekstrem maksimum. Kegunaannya antara lain untuk mengolah data debit banjir untuk mendapatkan debit banjir rancangan atau untuk mengolah data hujan lebat untuk mendapatkan hujan rancangan (Istiarto,2014)

AProb ditulis, di-*compile* (kompilasi), dan di-*build* (dirancang) untuk komputer yang memiliki sistem operasi Windows 11, 64-bit.

AProb mensyaratkan notasi desimal dalam bilangan pecahan adalah titik (“.”) dan notasi pengelompokan angka ribuan adalah koma (“,”). Apabila komputer atau laptop tidak memakai notasi desimal titik, maka *AProb* tetap akan membaca file data masukan, namun tidak akan bekerja ketika tombol Proses ditekan (diklik) (Istiarto,2014)

File data masukan dengan format file data adalah *MSExcel* (.xlsx). Contoh masukan data file (Istiarto, 2014) :

1. Baris pertama, kolom ke-1 (cell A1) berisi judul data.
2. Baris kedua (cell A2, B2, C2, ...) berisi judul kolom; judul kolom terakhir sebagai subjudul yang akan dituliskan sebagai label sumbu vertikal (sumbu data) di grafik distribusi data.
3. Baris ketiga (cell A3, B3, C3, ...) berisi angka, teks, atau rumus yang disusun dalam baris dan kolom.

- Data yang dibaca adalah data numerik di kolom terakhir.
- Angka atau teks di kolom-kolom sebelum kolom terakhir tidak dipakai oleh *AProb*.
- Data (di kolom terakhir) harus berupa angka, tidak boleh berupa teks atau rumus.
- Data berupa angka. data tidak perlu menuliskan data secara berutan dari kecil ke besar atau dari besar ke kecil. *AProb* akan mengurutkan data dari kecil ke besar dalam proses hitungan.

Hasil *AProb* disimpan dalam enam file (Istiarto,2014), yaitu :

- *namafiledata_ringkasan.txt* yang berisi ringkasan hasil *AProb*;
- *namafiledata_kalaulang.xlsx* yang berisi tabel besaran data sebagai fungsi kala ulang (tahun) dan jenis distribusi data (normal, log-normal, log-Pearson III, Gumbel);
- *namafiledata_normal.png*, *namafiledata_lognormal.png*, *namafiledata_logpearson.png*, dan *namafiledata_gumbel.png* yang berisi grafik plot data vs cdf distribusi teoretis.

File-file hasil *AProb* dapat ditampilkan melalui menu View di *AProb* atau dibuka langsung di luar *Aprob* (Istiarto,2014)

2.10 Sistem Pompa

2.10.1 Umum

Pompa adalah suatu alat mekanik fluida yang mempunyai fungsi memindahkan atau mengangkat fluida dengan cara mendorong fluida langsung secara mekanis, atau dengan cara mengubah energi mekanik menjadi energi kompresi atau energi kinetik fluida yang dapat menghisap fluida dari satu tempat dan memindahkan ke tempat lain yang diinginkan. Pada pompa yang beroperasi dengan mengubah energi mekanik menjadi energi kompresi fluida, perubahan energi tersebut dapat dilakukan dengan beberapa cara, antara lain:

- a) Mengubah energi mekanis dengan alat seperti sudu atau impeller dengan bentuk tertentu.
- b) Menggunakan gerak bolak-balik piston atau yang serupa
- c) Pertukaran energi menggunakan fluida perantara, baik gas atau cair.

Fluida perantara ini diberi kecepatan tinggi dan dicampur dengan fluida yang dipompa dengan kecepatan rendah. Cara ini bisa menggunakan pompa jet.

- d) Menggunakan udara atau gas bertekanan tinggi yang diinjeksikan ke dalam suatu saluran yang berisi cairan yang dipompa.

Penghisapan cairan pada sisi hisap (*suction*) pompa dilakukan oleh elemen pompa dengan mengurangi tekanan di dalam ruang pompa, agar terjadi perbedaan tekanan antara ruang pompa dengan mulut hisap pompa, sehingga fluida akan mengalir dari mulut hisap pompa ke ruang pompa.

Kemudian elemen pompa akan mendorong fluida atau memberi tekanan terhadap fluida sehingga fluida tersebut akan mengalir dari ruang pompa menuju saluran tekan (*discharge*) melalui lubang tekan (Sularso, 2000)

2.10.2 Kriteria Teknis Pompa

Perencanaan sistem pompa drainase diperlukan pemahaman atas beberapa elemen antara lain pemahaman tentang efisiensi pompa (η), daya yang dibutuhkan pompa (P_s), kecepatan spesifik pompa (n_s), hukum-hukum keserupaan pompa, *kavitasi*, tinggi hisap positif neto (*net positive suction head - NPSH*), pemilihan penggerak mula, motor listrik, konversi unit, *standar proteksi/index protection (IP)* (Sularso, 2000)

A. Debit Aliran yang dipompa dan Debit Pompa

Analisis debit aliran menggunakan prosedur desain standar untuk mendapatkan desain hidrograf banjir untuk pompa drainase utama sistem drainase.

Dalam perencanaan, kapasitas pompa harus maksimal jika pompa dipasang diujung saluran. Apabila kolam retensi mempunyai ukuran besar dan merupakan bagian dari sistem pemompaan, maka harus diperhatikan selain desain debit puncak adalah volume limpasan dan bentuk hidrograf selama durasi hujan. Prosedur *routing* harus digunakan ketika perencanaan sistem pompa. Prosedur *routing* menggabungkan tiga elemen (hidrograf inflow, ketinggian muka air di kolam penampung, dan debit pompa drainase) untuk menentukan kapasitas pompa yang dibutuhkan. Jika kolam penampung merupakan bagian dari sistem pemompaan namun kapasitas kolam

penampung kecil maka prosedur *routing* tidak perlu dilakukan (Sularso, 2000)

B. Kapasitas Pompa

Apabila debit pada perencanaan tersebut diketahui, kapasitas air yang akan dipompa persatuan waktu dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$Q_p = Q / (24 \times 3600 \times D) \dots\dots\dots(2-33)$$

keterangan:

Q_p = Kapasitas pompa drainase (m^3/sec)

D = Lamanya genangan yang diperbolehkan (hari)

Selanjutnya prosedur untuk estimasi kapasitas dan kebutuhan jumlah pompa dapat dilihat pada penjelasan dibawah ini:

Tabel 2-8 Tahap Estimasi dan Kapasitas Kebutuhan Pompa

Jika desain didasarkan pada:	Kemudian Gunakan Alternatif	Setelah Itu
Debit puncak maksimum yang tetap, $Q_p(req)$	A	Lanjutkan ke kolam tampung yang digunakan dan <i>routing</i> massa kurva.
Kolam tampung yang tetap	B	Lanjutkan ke kolam tampung yang digunakan dan <i>routing</i> massa kurva.
Kapasitas/kolam Tampung yang optimum	C	Lanjutkan ke kolam tampung yang digunakan dan <i>routing</i> massa kurva, tetapi beberapa iterasi akan diperlukan.

Sumber : Sularso, 2000

C. Head Pompa

Pada aliran fluida (aliran zat cair) misalnya air hujan yang melewati suatu penampang saluran drainase, mempunyai tekanan statis p (dalam satuan kgf/m^2), kecepatan rata-rata v (dalam satuan m/s), dan ketinggian Z (dalam m) diukur pada suatu bidang referensi. Maka zat cair tersebut pada penampang yang bersangkutan dikatakan mempunyai *total head* H (dalam satuan m) yang dapat dikatakan sebagai:

$$H = \frac{\rho}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + Z \quad \dots\dots\dots(2-34)$$

keterangan:

- g = percepatan gravitasi m/s^2
- γ = berat zat cair per satuan volume (kgf/m^3).
- ρ/γ = tinggi tekan
- $v^2/2g$ = tinggi kecepatan
- Z = tinggi tempat

Perhitungan head pompa banjir, untuk menghitung kebutuhan head pompa yang digunakan adalah total head pompa dinamik (TDH = Total Dynamic Head), yang sesuai dengan total kebutuhan energi dari intake ke badan air penerima, dimana terdiri dari 4 (empat) komponen yaitu:

- Head statis (*static head*),
- Head gesek (*friction head*),
- Head kecepatan (*velocity head*), dan
- Head tekan (*pressure head*).



Gambar 2.11 Komponen Dalam Skema TDH (Sularso,2000)

Gambar diatas menjelaskan hubungan antara berbagai komponen Total Dynamic Head dan hubungan rumus:

$$TDH = H_s + \sum h_f + h_v + \delta H_p \dots\dots\dots(2-35)$$

keterangan:

H_s = Head statis, m.

$\sum h_f$ = Total kehilangan head dalam pompa dan pipa.

$$\sum h_f = H_b + H_f + H_p + H_e \dots\dots\dots(2-36)$$

keterangan:

H_b = Kehilangan energi pada percabangan pipa

H_f = Kehilangan energi pada sambungan pipa

H_p = Kehilangan energi sepanjang pipa

H_e = Kehilangan energi pada pipa pembuangan

h_v = Head kecepatan, m.

δH_p = Variasi tekanan antara *inlet* dan *outlet*, m. Bila antara *inlet* dan *outlet* merupakan saluran terbuka/berhubungan dengan atmosfer/udara bebas maka $\delta H_p = 0$, dan ini biasa terjadi pada stasiun pompa banjir. Sehingga dalam perencanaan pompa banjir tekanan yang sering berpengaruh hanya *head statis (static head)*, *head gesekan (friction head)* dan *head kecepatan (velocity head)*.

Koefisien head loss/kehilangan energi sesuai SNI 7518:2009 dapat dihitung menurut persamaan berikut:

$$H_J = \lambda \frac{l U^2}{D 2 g} \dots\dots\dots(2-37)$$

keterangan :

H_J = rugi ketinggian yang disebabkan oleh gesekan (m)

λ = faktor gesekan

l = panjang pipa yang diuji (m)

D = diameter dari pipa instalasinya

U = laju aliran rata-rata dalam pipa (m/detik)

g = percepatan gravitasi = 9,81 (m/detik²)

D. Daya Air

Energi yang secara efektif diterima pompa per satuan waktu dinyatakan oleh:

$$H_p = \frac{1}{60 \times 10^3} \times \rho \times g \times Q \times H \quad \dots\dots\dots(2-38)$$

keterangan:

- Hp = daya air (Kw)
- Q = kapasitas air (m³/s)
- ρ = massa jenis air (kg/m³)
- H = tinggi total pompa (m)

E. Daya Pompa

Daya untuk menggerakkan pompa yang besarnya sama dengan daya air ditambah kerugian daya dalam pompa, dinyatakan sebagai:

$$BHP = \frac{Q \times \gamma \times H}{\eta_p} \quad \dots\dots\dots(2-39)$$

atau,

$$BHP = \frac{HP}{\eta_p} \quad \dots\dots\dots(2-40)$$

keterangan:

- Q = kapasitas pompa (m³/s)
- γ = berat jenis air (N/m³)
- η_p = efisiensi pompa

F. Efisiensi Pompa

Efisiensi pompa merupakan suatu nilai perbandingan daya diterima oleh air (WHP) dengan daya yang ada pada poros pompa (BHP).

$$\eta_p = \frac{HP}{BHP} \times 100 \% \quad \dots\dots\dots(2-41)$$

G. Kecepatan Spesifik Pompa

Kecepatan spesifik merupakan salah satu parameter yang menentukan jenis pompa yang akan digunakan. Jadi jika η_s suatu pompa sudah ditentukan, maka bentuk impeller pompa juga ditentukan. Dan untuk jenis pompa banjir biasanya memiliki kecepatan spesifik tinggi (> 600). Kecepatan spesifik, η_s, NSI 7518:2009, juga dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\eta_s = \eta \frac{Q^{1,2}}{H^{3,4}} \quad \dots\dots\dots(2-42)$$

Dimana:

- η_s = Kecepatan spesifik (-);
- η = Kecepatan impeller (rad/det) = 2πn;
- Q_o = Debit pada titik efisiensi terbaik (m³/det);
- H_o = Tinggi angkat pompa pada titik efisiensi terbaik (m).

Dimana n , Q dan H adalah harga-harga pada titik efisiensi maksimum pompa.

Rumus diatas dapat disimpulkan bahwa pompa dengan *head* total yang tinggi dan debit aliran kecil cenderung memiliki harga n_s yang rendah. Sebaliknya dengan *head* total yang rendah dan kapasitas aliran yang tinggi, harga n_s akan menjadi besar yang merupakan ciri khas pompa banjir. Selanjutnya, apabila kapasitas aliran dan *head* total sama, harga n_s akan berubah jika putaran n berubah. Dalam hal ini n_s akan bertambah besar jika putaran n menjadi lebih tinggi. *Range* kecepatan spesifik n_s untuk masing-masing tipe pompa dapat dilihat pada tabel berikut (Sularso,2000):

Tabel 2-9 Rentang Nilai n_s untuk Setiap Tipe Pompa

Tipe Pompa	n_s
Pompa Turbin/Difuser (Sentrifugal)	90 – 270
Pompa Volut (Sentrifugal)	90 – 700
Pompa Aliran Campuran	600 – 1000
Pompa Aksial	1300 – 1900

Sumber : Sularso,2000

Efisiensi pompa yang dioperasikan dengan baik adalah sekitar 75% dan untuk mesin/motor penggerak efisiensi 90%, sehingga efisiensi total menjadi 67.5%. Salah satu permasalahan dalam instalasi pompa adalah pada daya pompa, mengingat pompa secara umum tidak dapat berfungsi tanpa daya listrik (Sularso,2000).

H. Head Hisap Pompa

Untuk menentukan gaya angkat hisap dari pompa digunakan persamaan berikut:

$$Z_s = \frac{P_a}{\gamma} - \frac{P_v}{\gamma} - \sigma H - h_{ls} \quad \dots\dots\dots(2-43)$$

keterangan:

- P_a = tekanan atmosfer (N/m^2)
- P_v = tekanan uap jenuh (N/m^2)
- γ = berat jenis zat cair (N/m^3)
- h_{ls} = kerugian *head* di sisi isap pompa (m)
= h_{Lmayor} / Head Loss in linier pipe (H_p) + h_{Lminor} / Head

I. Daya Penggerak Pompa

Daya yang disuplai ke poros pompa dihitung dengan persamaan:

$$P_s = \frac{g Q \rho H}{\eta} \dots\dots\dots(2-44)$$

keterangan:

- Ps = Daya yang diberikan pada poros pompa (watt)
- g = Percepatan gravitasi bumi (m/detik²)
- Q = Debit pompa (m³/detik)
- ρ = Berat jenis air (1000 kg/m³)
- H = *Head* (meter)
- η = efisiensi total = ηpompa + ηmotor + ηkabel + ηtransformator

Effisiensi bergantung kepada jenis pompa dan kondisi operasinya. Jenis pompa yang sama, tetapi diproduksi oleh pabrik yang berlainan akan memberikan efisiensi yang berbeda. Prakteknya, besarnya kebutuhan listrik pompa banjir berkisar antara (12)QH sampai (15)QH (dalam kilowatt).

J. Jenis dan Tipe Pompa

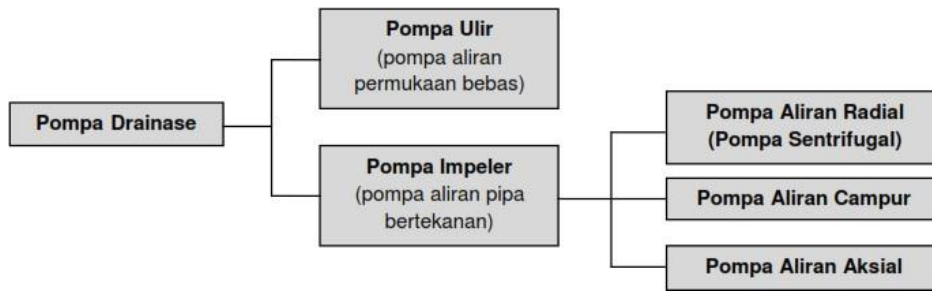
Terdapat berbagai jenis pompa, tergantung kebutuhan pompa tersebut digunakan. Kebutuhan dan konstruksi pompa akan sangat menentukan penggunaan pompa. Namun pompa juga dapat diklasifikasikan menjadi lebih umum dan cakupan yang lebih besar yaitu pompa turbo, volumetrik dan khusus.

Pompa turbo berdasarkan aliran fluida yang melewati roda putar atau sudu-sudu dapat dibedakan menjadi tiga kelompok yaitu (Suripin, 2004):

- a. Pompa sentrifugal
- b. Pompa aliran campuran atau pompa ulir
- c. Pompa aksial atau pompa propeler

Namun pada literatur lainnya pompa drainase dibagi menjadi dua klasifikasi yaitu pompa ulir, dan pompa impeler.

Berikut ini adalah gambar yang menjelaskan klasifikasi pompa pada Gambar 2.12 di bawah ini.



Sumber :Tata Cara Perencanaan, Pembangunan,dan Operasi Pemeliharaan Sistem Pompa

Gambar 2.12 Klasifikasi Pompa Drainase

K. Pompa Ulir/Screw

Pompa ulir terdiri dari rotor tipe ulir, dengan poros/as miring dan sudu helikal yang menempel pada poros, dengan selubung/casing setengah lingkaran, seperti gambar di bawah ini



Sumber :Tata Cara Perencanaan, Pembangunan,dan Operasi Pemeliharaan Sistem Pompa

Gambar 2.13 Pompa Ulir/screw

Pompa ulir digunakan untuk mendapatkan debit besar dengan head rendah. Pompa ini dapat memompa air beserta sampah yang terbawa.

Prinsip kerja pompa ulir ini adalah ulir berputar dan volume air yang dibatasi oleh permukaan bebas, sudu-sudu bilah ulir, poros ulir, dan selubung ulir terangkat ke atas secara terus menerus oleh dorongan gerakan ulir dan dikeluarkan di ujung ulir ke tampungan atas untuk selanjutnya dialirkan melalui outlet ke saluran pemasok.

Putaran pompa ini berkisar antara 20-120 rpm dengan kemiringan pompa berkisar 25° – 35° (Dirjen Cipta Karya, 2013).

L. Pompa Impeler (pompa aliran bertekanan)

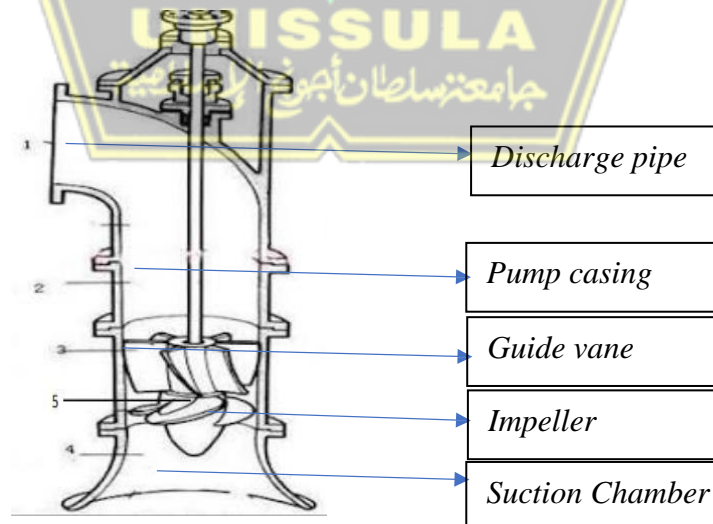
Pompa impeler berdasarkan bentuk impeler dan selubung pompanya diklasifikasikan dalam tiga tipe, yakni pompa aliran aksial, pompa aliran radial (sentrifugal), dan pompa aliran campuran (Sularso, 2000).

1. Pompa Aksial (*Axial Flow Pumps*)

Pompa ini digerakkan oleh motor, sebagai penggerak utama, yang memutar poros impeler sehingga sudu-sudu impeler berputar dan memaksa cairan masuk ke dalam gerakan berputar dengan cepat. Selubung pompa mengarahkan cairan dari bukaan hisap ke mata impeler dan selanjutnya membimbing keluar dari *impeler outlet* masuk bukaan tekan. Aliran masuk melalui bukaan hisap pada arah aksial dan keluar melalui *outlet* pada komponen aliran aksial dan tangensial

Pompa aliran aksial berdasarkan bentuk sudu impelernya dibedakan menjadi dua jenis, yakni jenis sudu tetap dan jenis sudu bergerak.

Kecepatan pompa aksial ini berkisar 1300 sampai 2500 rpm. Pompa aksial merupakan pompa dengan karakteristik kapasitas besar, dan biasanya digunakan dengan *head* kecil tetapi dengan debit yang besar, sehingga banyak digunakan sebagai pompa banjir (Dirjen Cipta Karya, 2013).



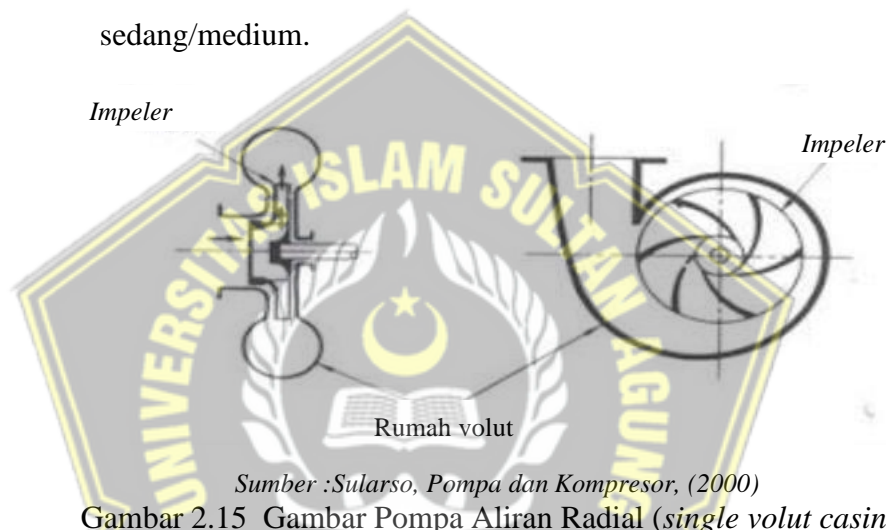
Sumber : (Sularso, Pompa dan Kompresor, 2000)

Gambar 2.14 Gambar Pompa Aliran Aksial

2. *Pompa Aliran Radial/Sentrifugal (Radial Flow Pumps)*

Aliran fluida ditarik pompa melalui sisi hisap akibat putaran impeler yang menghasilkan tekanan vakum pada sisi hisap. *Fluida* yang terhisap terlempar keluar impeler akibat gaya sentrifugal dari *fluida* itu sendiri. *Fluida* yang keluar ditampung oleh rumah *volut* (*volut casing*) sebelum dibuang ke sisi pembuangan.

Kecepatan spesifik pompa *volut* berkisar 100 – 700 rpm dan pompa difuser/pompa turbin berkisar 100 – 250 rpm. Pompa ini diproduksi untuk head sedang hingga tinggi dengan kapasitas aliran sedang/medium.

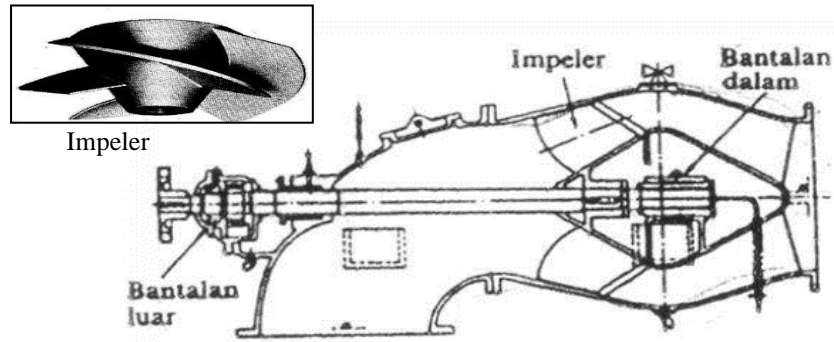


Sumber :Sularso, *Pompa dan Kompresor*, (2000)

Gambar 2.15 Gambar Pompa Aliran Radial (*single volute casing*)

3. *Pompa Aliran Campuran (Mixed Flow Pumps)*

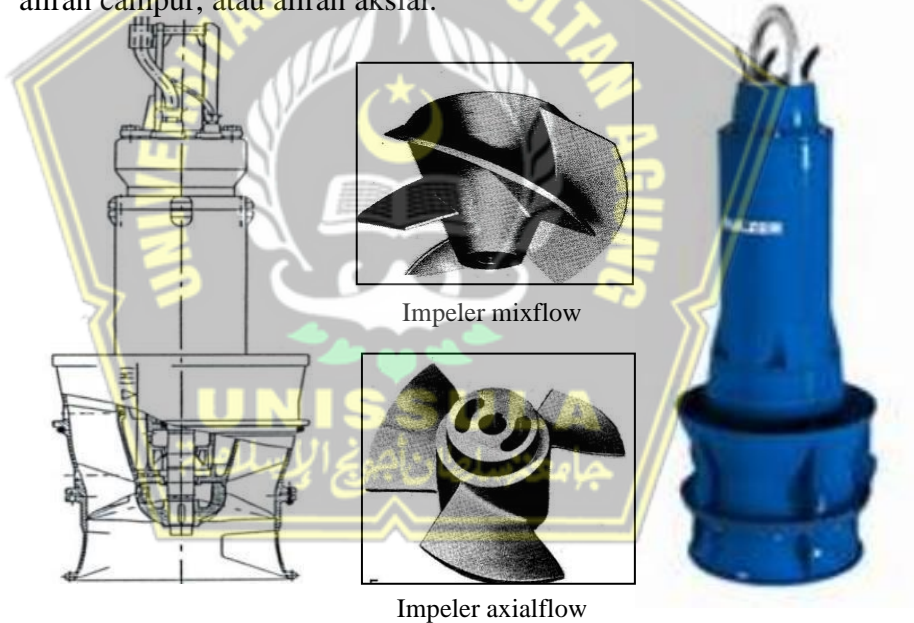
Pompa campuran ini merupakan peralihan antara pompa radial dan pompa axial. Pengoperasian pompa ini hampir sama dengan cara kerja pompa sentrifugal. Sudu-sudu impeler yang berputar meneruskan dan memberikan gaya putar sentrifugal pada fluida sehingga bergerak menuju keluar impeler dengan kecepatan tinggi. Cairan fluida mengumpul pada bagian terluar *casing* (*volute*). *Volute* ini merupakan area atau saluran yang berbentuk melengkung dan membesar ukurannya. *Volute* berperan besar dalam hal meningkatkan tekanan fluida saat keluar pompa, merubah energi kecepatan menjadi tekanan. Kecepatan berkisar antara 350 – 1300 rpm untuk head dan debit sedang.



Sumber :Sularso, *Pompa dan Kompresor*, (2000)
 Gambar 2.16 Gambar Pompa Aliran Campur dan Impelernya

M. Pompa Submersibel (Submersible Pumps)

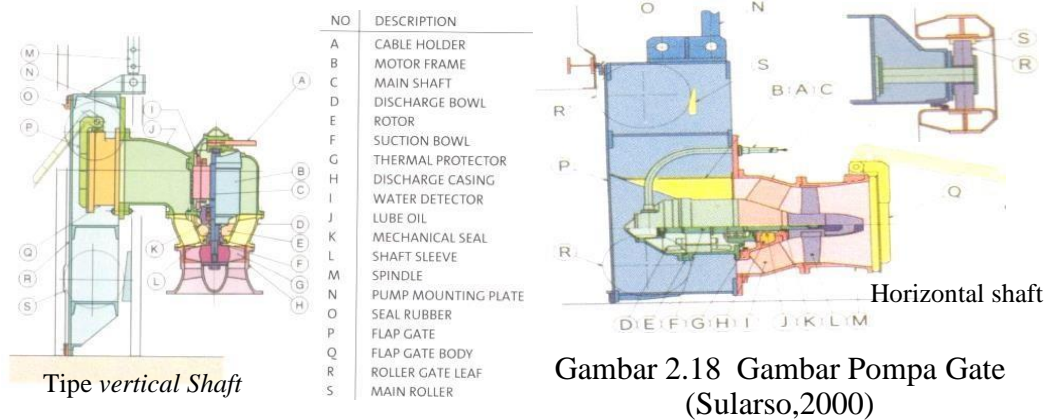
Pompa submersibel mempunyai motor penggerak yang digabungkan dalam kesatuan dengan impeler dan selubung impeler pompa yang secara keseluruhan dapat terendam air. Jenis impeler terdiri jenis aliran radial, aliran campur, atau aliran aksial.



Sumber :Sularso, *Pompa dan Kompresor*, (2000)
 Gambar 2.17 Gambar Pompa Submersibel

N. Pompa Gate (Pump Gate)

Pump Gate merupakan unit sistem pompa, yang dalam banyak kasus tidak diperlukan kolam retensi dan rumah pompa. Komponennya meliputi *submersible pump, roller gate, actuator, flap valve, screen* (rotary/hydraulic screen), *belt conveyor, debris box*, dan pintu air



O. Pompa Lumpur (Sludge Pump)

Pompa lumpur atau *sludge pump* merupakan pompa *submersibel* dengan spesifikasi khusus memompa lumpur. Pada instalasi sistem pompa drainase, pompa ini ditempatkan di kolam pompa untuk membersihkan lumpur yang dapat mengganggu fungsi pompa drainase

P. Perbandingan Pompa Ulir dan Pompa Impeller

Perbandingan kedua jenis pompa sebagai berikut :

Tabel 2-10 Tabel Perbandingan Pompa Ulir dan Impeller

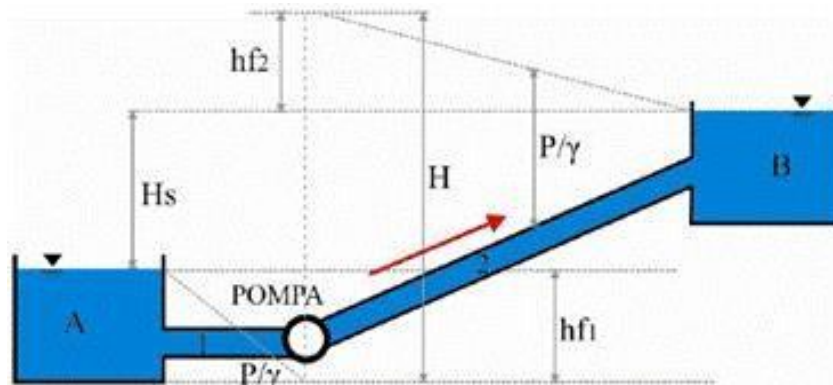
Keterangan	Pompa Ulir/Screw	Pompa Impeller
Dimensi	<ul style="list-style-type: none"> - Lebih besar dari pompa Impeller dan berat - Poros pompa bentuk screw/ulir - Lebih rumit dan harus presisi 	<ul style="list-style-type: none"> - Ukuran pompa lebih kecil dan ringan - Poros pompa bentuk kipas - Bentuk lebih sederhana
Harga	<ul style="list-style-type: none"> - Mahal karena desain perlu ketelitian dan presisi - Material besar, harga tinggi 	<ul style="list-style-type: none"> - Volume kapasitas yang sama harga jauh lebih murah
Penggunaan	<ul style="list-style-type: none"> - Dapat digunakan di fluida viskositas tinggi (limbah, lumpur, dll) - Cocok digunakan untuk pemindahan air karena kapasitas besar - Tahan sampah 	<ul style="list-style-type: none"> - Digunakan di fluida dengan viskositas rendah - Harga murah dan sederhana - Hemat tempat - Banyak dipilih jadi pompa drainase

Karakteristik	<ul style="list-style-type: none"> - Penggantian komponen sulit dilakukan - Pada saat beroperasi <i>head</i> mengalami fluktuasi namun debit aliran konstan - Dapat dioperasikan kapan saja tanpa harus dipanasi - Bentuk Kurva hubungan <i>head</i> dan debit mendatar karena debit aliran konstan - Direkomendasikan jauh dari permukiman penduduk karena lahan besar 	<ul style="list-style-type: none"> - Debit dan <i>head</i> relatif menengah ke besar - <i>Head</i> dapat diatur sesuai kondisi lapangan - Dimensi pompa cenderung kecil dan ringan, kecuali tipe Pompa Aliran Campuran (Mixed Flow) - Cara pengoperasian mudah tanpa komponen tambahan - Penggantian komponen mudah kecuali <i>seal</i> pompa - Kualitas material harus tahan korosi - Tidak boleh ada sampah, harus diimbangi pembersihan <i>Screen</i> sampah
---------------	--	--

Sumber : Dirjen Cipta Karya, 2013

Q. Pemilihan Tipe Pompa

Tahapan pemilihan pompa, berdasarkan kepada kebutuhan penggunaan pompa. Secara ringkas terdapat 5 opsi, terlepas dari apakah pompa dengan kapasitas kecil atau besar. Tahapan pemilihan disederhanakan menjadi sebagai berikut : a.) menyusun Sketsa pompa dan layout perpipaan, b.) kebutuhan kapasitas pompa, c.) memeriksa jenis cairan (fluidanya), d.) tinggi-tekan total, dan e.) pemilihan kelas dan jenis pompa. Secara ringkas dapat dibuat langkah sebagai berikut :



Sumber: (Triatmojo, 2008)

Gambar 2.19 Gambar Pengaliran Air dengan Pompa

Fungsi pompa, Jenis fluidanya, Kapasitas pompa, dan tinggi tekan total. Selain itu, kita harus mempertimbangkan harga, kondisi lapangan, dan kemungkinan kavitasi. Gejala penting yang harus diperhatikan adalah *kavitasi*, yang dapat mempercepat kerusakan pompa (Sosrodarsono & Tominaga, 1985).

Jika pompa digunakan untuk menaikkan air dari penyimpanan long storage ke laut dengan selisih elevasi H_s , maka daya yang digunakan oleh pompa untuk menaikkan air setinggi H_s adalah sama dengan H_s ditambah kehilangan energi selama pengaliran. Kehilangan energi sebanding dengan penambahan tinggi elevasi, jadi sama dengan pompa menaikkan air setinggi $H=H_s+\Sigma h_f$. (Dirjen Cipta Karya, 2013).

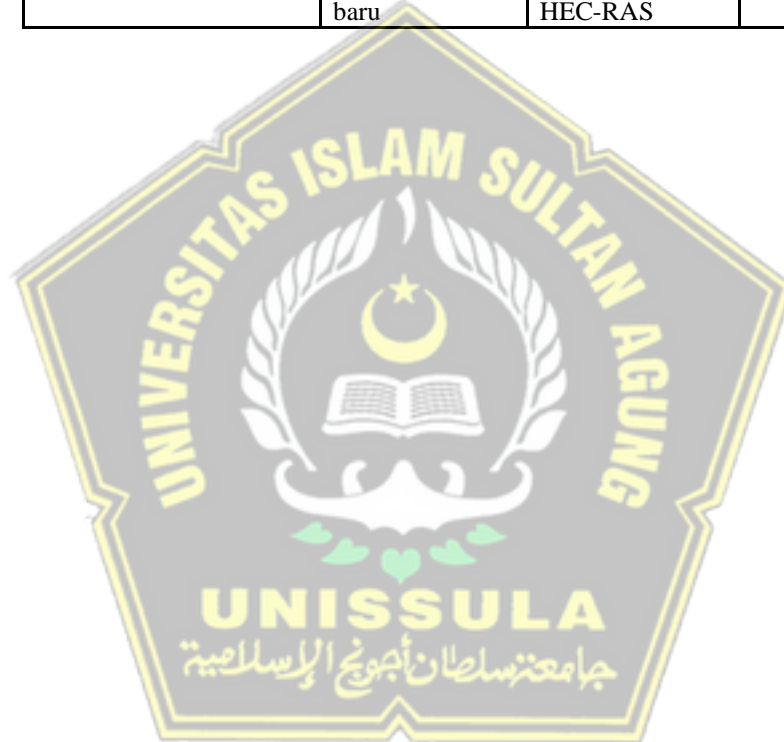
Catatan tinggi kecepatan diabaikan sehingga garis energi berimpit dengan garis tekanan.

R. Penelitian Sebelumnya

Tabel 2-11 Tabel Penelitian Terdahulu (Penyusun,2024)

Judul (Penulis, Tahun)	Tujuan	Metodologi	Hasil
Evaluasi Kapasitas Rumah Pompa Hailai Marina dalam Menanggulangi Banjir Jakarta Utara, (Laksana&Pratiwi, 2020)	Evaluasi kapasitas pompa banjir dan menurunkan elevasi muka air saluran sehingga tidak melimpas.	Metode yang digunakan metode hidrologi dan metode unit hidrograf	Perencanaan kapasitas pompa dengan periode ulang 25 tahun. Solusi normalisasi <i>Long storage</i>
Analisa Kinerja Sistem Drainase Terhadap Penanggulangan Banjir dan Genangan Berbasis Konservasi Air di Kecamatan Bojonegoro Kabupaten Bojonegoro, (Wicaksono, B., Juwono, P., T. Sisingih, D. 2018).	Mengetahui Gambaran system drainase yang menyebabkan genangan, dan mengetahui Solusi berbasis konservasi	Metode penelitian survey Lokasi dan alternatif penambahan sumur resapan di daerah hulu	Alternatif penanggulangan genangan dengan kolam retensi atau sumur resapan, atau modifikasi dimensi saluran bila metode konservasi tidak bisa
Evaluasi Kinerja Sistem Drainase Jalan Kaliurang Kecamatan Sumbersari Kabupaten Jember, (Amrulloh dkk,2021)	Normalisasi Saluran pada titik banjir di wilayah penelitian	Pemodelan curah hujan dengan metode polygon Thiessen, uji kecocokan, perhitungan debit rencana. Pemodelan hidrolika dengan	Perubahan dimensi saluran di jalan Kaliurang menjadi 1x0,8 dan 0,9x0,8

		SWMM	
Analisis Sistem Drainase Jalan Raya Porong Berbasis Zero Run-Off di Kabupaten Sidoarjo, (Sultonulazkar dkk, 2022)	Melakukan evaluasi kemampuan daya tampung saluran dan opsi penambahan pompa	Metode Analisa hidrologi metode RAPS, dan Debit Rancangan dengan metode Rasional	Debit rancangan terkecil dihasilkan 0,527 m ³ /det dan terbesar 3,199 m ³ /det. Rehabilitasi saluran dan pompa baru kapasitas 2@400 l/det
Evaluasi Kinerja Drainase Jalan Rawa Indah Kelurahan Pegangsaan Dua Kota Jakarta Utara, (Diyanti & Putro, 2023)	Menganalisis kemampuan daya tampung saluran dan berapa debit yang dapat masuk ke dimensi saluran baru	Metodologi analisis hidrologi dan hidrolika dengan perencanaan dimensi saluran dengan HEC-RAS	Perubahan dimensi saluran menjadi 2,5 x 4 m di Jl. Rawa Indah Jakarta Utara



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Pendekatan Umum

Metode penelitian tulisan ini dilakukan dengan metodologi survei lapangan dan pengumpulan data kuantitatif yakni data langsung lapangan (primer) maupun data didapat dari referensi (sekunder) .

Data primer diperoleh melalui survei topografi lokasi penelitian menggunakan peralatan ukur tanah dan inventarisasi kondisi pompa banjir eksisting. Sedangkan data sekunder yang diperlukan untuk penelitian ini berkaitan dengan data-data yang dikeluarkan oleh BMKG, dinas terkait dengan tata ruang, data HWL/LWL, dan data dari pengelola pompa banjir

Metode survei lapangan melibatkan beberapa langkah penting untuk memastikan data yang dikumpulkan akurat dan representatif.

Data yang diperoleh dapat di analisis dan dikelompokkan tahapan penelitian menjadi beberapa bagian utama: Identifikasi Masalah, Studi Literatur, Pengumpulan Data, dan Analisis Data. Analisis Data kemudian dibagi lagi menjadi Analisis Hidrologi dan Analisis Hidrolika, dengan langkah-langkah spesifik di dalamnya.

3.2 Perangkat Pendukung Penelitian

Alat penelitian berupa Komputer/Laptop dan Alat Survey untuk melakukan pengumpulan data dan analisis adapun beberapa keperluan alat dan bahan dalam melakukan rencana kegiatan ini termasuk survey dan lain sebagainya adalah sebagai berikut:

- a. Perangkat Keras (Komputer/Laptop)
 1. Processor Intel i7 8th Gen
 2. RAM 8 GB
 3. Kapasitas SSD 128 GB
 4. Monitor 1024 x 768 pxl
 5. Perangkat Mouse dan Keyboard
 6. Waterpass

7. Total Station
8. Baak Ukur dan meteran
- b. Perangkat Lunak (Software)
 1. *EPA SWMM 5.2.2*
 2. *HEC-RAS 5.0.7*
 3. *ArcMap 10.5*
 4. *Google Earth Pro*
 5. *Google Chrome*
 6. *Mendeley Desktop*
 7. *AutoCAD Civil 3D 2017*
 8. *Adobe Reader*
 9. *Nitro Pro*
 10. Microsoft Office 2016
 11. *Aprob_4.1*

3.3 Tahapan Pelaksanaan Penelitian

Penyusunan penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahap, dimulai dengan identifikasi masalah sampai dengan penyusunan anggaran biaya. Beberapa langkah penting dijelaskan lebih detail mengenai metode yang digunakan. Metode pengumpulan data, pengolahan data, dan analisis data, serta penjelasan masing-masing metode seperti di bawah ini.

- a. Identifikasi Masalah
Langkah ini dengan melakukan survei pendahuluan sekitar lokasi penelitian dan mengidentifikasi penyebab banjir disekitar area penelitian.
- b. Studi Literatur
Pada langkah ini dilakukan pemetaan terhadap penelitian yang diambil terhadap penelitian sebelumnya dan melengkapi pustaka dan literatur untuk dipakai dasar penelitian ini.
- c. Pengumpulan data
Tahapan ini dilakukan dengan pengumpulan data langsung ke lokasi penelitian melalui survei pengukuran topografi sehingga didapatkan

koordinat lokasi saluran, dimensi saluran beserta bentuk penampang saluran eksisting, serta elevasi yang dibutuhkan pada saat penelitian.

Data sekunder curah hujan dari BMKG, data tata guna lahan, data pasang surut air laut, data tanah dan data pompa banjir eksisting terpasang.

d. Analisis data

Analisis data yang dilakukan adalah analisis hidrologi dan hidrolika melibatkan beberapa langkah penting untuk memastikan perhitungan yang akurat dan relevan. Berikut adalah ringkasan dari langkah-langkah yang biasanya dilakukan didalam analisis hidrologi:

a) Menghitung curah hujan kawasan

Mengumpulkan data curah hujan dari berbagai stasiun pengamatan dan menghitung rata-rata curah hujan untuk kawasan tertentu.

b) Analisis Frekuensi dan Probabilitas

Menggunakan data historis untuk menentukan frekuensi kejadian hujan ekstrem dan probabilitas terjadinya peristiwa tersebut.

c) Pengukuran Disperse

Mengukur sebaran data curah hujan untuk memahami variasi dan penyebaran data tersebut.

d) Uji Kesesuaian

Memastikan data yang digunakan sesuai dengan model yang diterapkan melalui berbagai uji statistik.

e) Waktu konsentrasi

Menghitung waktu yang dibutuhkan air hujan untuk mengalir dari titik terjauh di daerah tangkapan air ke titik keluaran.

f) Menghitung koefisien limpasan (*run-off*)

Menentukan persentase air hujan yang akan menjadi aliran permukaan berdasarkan kondisi tutupan lahan.

g) Intensitas curah hujan

Menghitung intensitas curah hujan yang digunakan untuk model hidrologi.

h) Debit banjir rencana

Memakai semua data di atas untuk menghitung debit banjir rencana yang sesuai dengan luas daerah tangkapan air dan kondisitutupan lahan. Analisis hidrolika bertujuan untuk menentukan dimensi saluran yang tepat berdasarkan debit banjir rancangan. Di bawah ini adalah langkah-langkah umum yang dilakukan dalam analisis hidrolika menggunakan *software HEC-RAS*:

- a) Pengumpulan Data Geometris
Mengumpulkan data geometris saluran, seperti profil melintang dan panjang saluran.
 - b) Input Data ke *HEC-RAS*
Memasukkan data geometris dan data debit banjir rancangan ke dalam *HEC-RAS*
 - c) Simulasi Aliran
Melakukan simulasi aliran satu dimensi atau dua dimensi untuk menghitung profil muka air dan kecepatan aliran
 - d) Analisis Hasil
Menganalisis hasil simulasi untuk mengevaluasi kinerja saluran, termasuk potensi banjir dan kapasitas saluran
 - e) Penyesuaian Desain
Menyesuaikan desain saluran berdasarkan hasil analisis untuk memastikan saluran dapat menampung debit banjir rancangan.
- HEC-RAS* adalah alat yang sangat berguna untuk analisis hidrolika karena memungkinkan pengguna untuk melakukan berbagai jenis perhitungan aliran dan memberikan visualisasi yang jelas.

3.4 Metode Pengumpulan Data

Sumber data dan informasi dengan kualitas yang baik, jika diolah dengan metode yang tepat akan menghasilkan analisis yang akurat. Adapun teori, konsep dasar, data/informasi, serta alat bantu yang baik dan memadai akan mendukung hasil analisis tersebut. Oleh karena itu kualitas data dan informasi yang baik mutlak diperlukan. Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder, yakni sebagai berikut :

1. Data Primer

Data primer didapatkan melalui survei topografi lokasi penelitian untuk mengetahui :

- a. dimensi saluran;
- b. elevasi saluran eksisting dan tanggul;
- c. geometri saluran;
- d. material saluran eksisting;
- e. *long storage*;
- f. kondisi dan kapasitas pompa banjir yang terpasang;
- g. peta topografi;
- h. Foto kondisi

2. Data sekunder

Sedangkan data dalam penelitian ini data sekunder yang diperlukan sebagai berikut:

- a. Data *catchment area*
- b. Data curah hujan;
- c. Data pasang surut;
- d. Data Tanah; dan
- e. Data Topografi lokasi
- f. Data tata guna lahan
- g. Data pompa banjir

3.5 Metode Pengolahan Data

3.5.1 Pengolahan Data Curah Hujan

Rencana data curah hujan harian rata-rata diperoleh dari Dinas Pusdataru 2013-2023 kurang lebih selama 10 tahun lebih, yang diambil dari tiga stasiun hujan terdekat yakni STA Madukoro, STA Maritim, dan STA Simongan yang kemudian diletakkan dalam gambar *polygon thiessen* secara grafis dengan menghubungkan garis tegak lurus dengan garis sambung stasiun hujan.

Sehubungan lokasi berada di Jl. Madukoro yang berdekatan dengan STA Madukoro, maka data curah hujan yang dipakai dan paling

berpengaruh adalah stasiun hujan yang terdekat dimana mengambil data dari Pusdatar Provinsi Jawa Tengah.

Data curah hujan harian yang didapat diambil data dengan curah hujan tertinggi untuk kemudian diolah dengan *software Aprob_4.1* untuk menentukan distribusi frekuensi data curah hujan, untuk kemudian dilanjutkan pengolahan data uji kecocokan *chi-kuadrat* dan *smirnov-kolmogorov*.

Selanjutnya dihitung waktu konsentrasi dan intensitas curah hujan rencana guna menghitung debit rencana yang terjadi

3.5.2 Pengolahan Data Debit Hujan Rencana

Pengolahan debit rencana menggunakan *software EPA SWMM* berdasarkan probabilitas kala ulang hujan rencana sesuai dengan regulasi penentuan periode kala ulang hujan sesuai Tabel 3-1.

Tabel 3-1 Tabel Periode Ulang Hujan

Jenis Kota	Catchment Area (Ha)			
	10	10-100	100-500	>500
Metropolitan	1-2	2-5	5-10	10-25
Kota Besar	1-2	2-5	2-5	5-15
Kota Sedang	1-2	2-5	2-5	10
Kota Kecil	1-2	1-2	1-2	2-5
Kota Sangat Kecil	1	1	1	-

Sumber : *Urban Drainage Guidelines and Design standard*

Dari hasil pemodelan SWMM nantinya didapatkan data debit yang mengalir di saluran *long storage*, dan kapasitas pompa yang dibutuhkan untuk membuang air di saluran.

3.5.3 Pengolahan Data Debit Untuk Desain Penampang Saluran dan Pompa

Penampang saluran direncana dengan menggunakan metode *HEC RAS* untuk mengetahui saluran eksisting melimpas atau tidak sehingga dibutuhkan penampang yang optimal untuk menampung debit rencana. Simulasi aliran inflow dan outflow di dalam *long storage* untuk mengetahui besaran kapasitas pompa

3.6 Metode Analisis Data

Analisis Hidrologi

Perencanaan bangunan air, analisis pendahuluan yang perlu dilakukan adalah analisis hidrologi. Analisis hidrologi ini diperlukan untuk menentukan debit banjir rencana. Debit banjir rancangan berpengaruh besar terhadap besarnya debit maksimum maupun kapasitas bangunan air yang ada.

Perhitungan hidrologi sebagai penunjang penyusunan desain yang dibutuhkan data meteorologi dan hidrometri. Penentuan DAS atau Daerah Aliran Sungai yakni *Catchment Area* yang ditangkap oleh saluran atau Sungai bersangkutan sangat penting. Data curah hujan dan stasiun penakar hujan di daerah Sungai bersangkutan.

Analisis Pola Aliran

Pola-pola aliran ditentukan dari kondisi eksisting dan skema aliran saluran yang baru. Luasan daerah tangkapan air supaya dapat diketahui, termasuk *long storage* dan bangunan-bangunan air lainnya seperti pintu air, tanggul, dan rumah pompa.

Analisis Curah Hujan Kawasan Madukoro

Stasiun curah hujan yang diperhitungkan ada tiga buah stasiun yaitu Stasiun Madukoro, Stasiun Maritim, dan Stasiun Simongan. Data diperoleh dari Pusdatar Provinsi Jawa Tengah berupa data curah hujan harian.

Dari ketiga stasiun pengamatan tersebut masing-masing dihubungkan guna memperoleh luas daerah pengaruh dari tiap stasiun curah hujan. Masing-masing stasiun mempunyai daerah pengaruh sendiri yang dibentuk dengan garis sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung antar dua stasiun. Dari ketiga stasiun tersebut, yang paling berpengaruh adalah Stasiun Madukoro, mengingat Kawasan Madukoro berada di dalamnya.

Analisis Frekuensi

Analisis frekuensi curah hujan rencana didapat dengan menggunakan

software AProb 4.1, untuk menghitung 10 data curah hujan maksimum tiap tahun dari tahun 2013 – 2022. Analisis ini untuk mengetahui dispersi, analisis sebaran, uji kecocokan sebaran, intensitas curah hujan, debit banjir rencana.

Analisis Waktu Konsentrasi Curah hujan

Persamaan untuk menghitung waktu konsentrasi curah hujan adalah menggunakan metode Kirpich. Variabel yang dibutuhkan adalah Panjang saluran long storage, dan kemiringan saluran.

Analisis Intensitas Hujan Rencana

Intensitas hujan rencana dihitung dengan menggunakan metode Mononobe dengan kala ulang mulai 2 tahun, 5 tahun, 10, 20, 25, 50, 100, dan 1000 tahun.

Analisis Kapasitas Long Storage

Lokasi *Long storage* berada di depan perkantoran Propinsi Jawa Tengah dengan Panjang 551 meter dari STA 0+000 Jl. Yos Sudarso sampai dengan Pompa Banjir Madukoro. Dimensi saluran *Long storage* eksisting rata – rata lebar 6,0 meter dengan kedalaman 2,0 meter

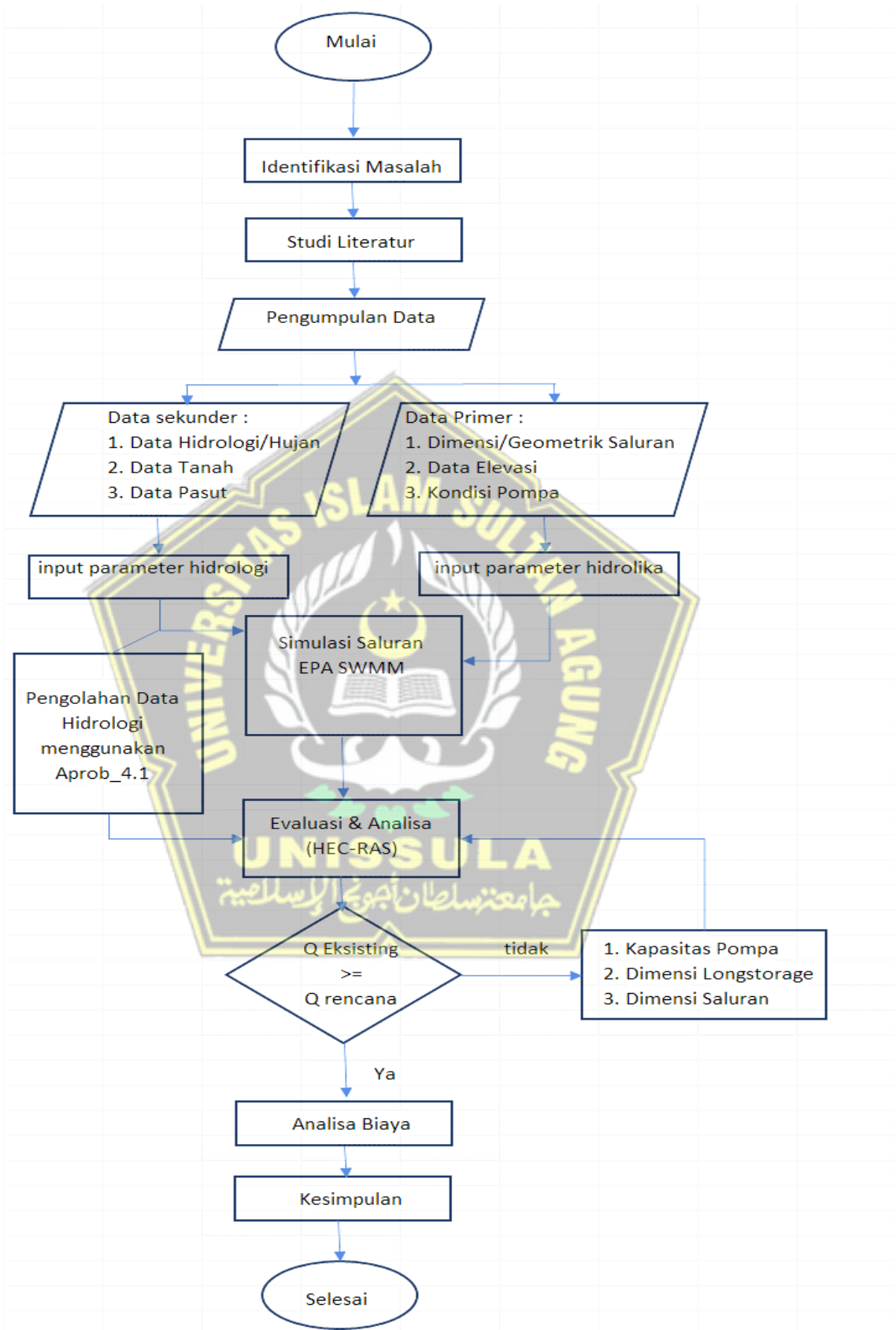
Analisis Debit

Analisis debit dengan menggunakan *software* SWMM ver. 5.1. dengan kala ulang hujan rencana 5 tahun sesuai dengan kondisi Kota Semarang sebagai kota metropolitan dan luasan Kawasan yang dilakukan penelitian luas kurang dari 100 ha.

Desain Longstorage dan Pompa Banjir

Desain longstorage menggunakan bantuan HEC-RAS, serta kapasitas pompa banjir dihitung berdasarkan hidrograf banjir

3.7 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian (Penulis,2024)

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisis Hidrologi

Penurunan kapasitas saluran yang kurang optimal menjadi salah satu penyebab terjadinya banjir. Apabila dengan memperhatikan dimensi yang ada maka saluran air tidak dapat menampung debit air yang keluar dan akan meluap dengan air pada debit maksimum dalam jangka waktu tertentu. Daerah banjir didefinisikan berdasarkan daerah dimana banjir terjadi terus menerus selama enam jam atau lebih pada musim hujan.

Analisis hidrologi merupakan kunci dari suatu perencanaan dalam penanggulangan banjir sistem Kawasan Madukoro. berdasarkan analisis hidrologi nantinya akan mendapatkan output berupa banjir rencangan sebagai acuan dalam perancangan bangunan pengendali banjir.

Terdapat 5 tahapan yang digunakan dalam mendapatkan debit rencana yaitu :

1. Menentukan *Catchment area* beserta luasnya.
2. Mnganalisis bobot pengaruh stasiun hujan terhadap *Catchman Area*.
3. Menganalisis curah hujan maksimum harian rata-rata.
4. Menganalisis curah hujan rencana dengan periode ulang T tahun.
5. Merancang debit banjir rencana berdasarkan curah hujan rencana diatas periode ulang T tahun.

Pengolahan diperlukan setelah data sekunder terkumpul, Terdapat 3 stasiun penakar hujan (STA Madukoro, STA Simongan, dan STA Maritim) yang akan digunakan pada analisis *polygon Thiessen*. Namun yang berpengaruh hanya pada STA hujan Madukoro.

Data hujan yang diperoleh dianalisis dengan analisis frekuensi untuk menentukan distribusi yang sesuai. Metode *Log Normal*, *Log Person III*, dan *Gumbel* digunakan untuk analisis frekuensi. Setelah Anda memiliki distribusi yang sesuai, langkah selanjutnya adalah menguji kesesuaian distribusi tersebut.

Langkah selanjutnya adalah menentukan intensitas hujan. Langkah

selanjutnya adalah menggunakan metode rasional untuk menentukan aliran banjir rencana. Tahap selanjutnya adalah menentukan debit banjir rencana, metode yang digunakan adalah Metode Rasional. Pada metode ini dibutuhkan nilai koefisien aliran, intensitas hujan, dan luas area tangkapan hujan. Setelah data debit diperoleh langkah selanjutnya mencari luas penampang saluran dan kapasitas pompa.

4.2. Analisis Pola Aliran

Pada sub bab pembahasan ini peneliti melakukan survei pada lokasi penelitian untuk mengetahui arah aliran drainase. pengaliran drainase menuju ke muara Kanal Banjir Barat (KBB) dengan menggunakan pompa pengendalian banjir. sistem drainase eksisting kawasan madukoro sudah memiliki sistem polder. Sistem aliran drainase disajikan pada Gambar 4.1. sehingga diperoleh luasan *catchmen area* seluas 55 Ha.



Gambar 4.1 Pola Aliran (Penulis,2024)

4.3. Analisis Curah Hujan Kawasan Madukoro

Data hujan selama 10 tahun mulai tahun 2013 sampai dengan tahun 2022. Stasiun hujan yang digunakan untuk analisis mengacu pada Stasiun Madukoro.

Berdasarkan data tersebut, metode *Polygon Thiessen* digunakan untuk analisis hidrologi, khususnya untuk menghitung curah hujan rata-rata maksimum. Metode *Polygon Thiessen* didasarkan pada Lokasi atau pengamatan yang tidak merata di wilayah tertentu. Oleh karena itu, luas pengaruh setiap stasiun diperhitungkan untuk mengetahui rata-rata curah hujan di seluruh sungai. Alat bantu *AutoCAD* digunakan untuk menentukan luasan area layanan (CA). Daerah pengaruh dibuat dengan menghubungkan garis-garis sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung antara dua stasiun hujan terdekat (Lestari et al., 2020). Gambar *polygon thiessen* secara grafis disajikan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Analisis *Polygon Thiessen* (Penulis, 2024)

Berdasarkan Gambar 4.2 dapat diketahui stasiun hujan yang berpengaruh pada *Catchmen Area* Kawasan Madukoro hanyalah Stasiun Hujan Madukoro. Maka untuk analisis curah hujan maksimum hanya

menggunakan data sta hujan Madukoro. Hujan Maksimum Madukoro telah dianalisis seperti yang tersaji pada Tabel 4-1

Tabel 4-1 Curah Hujan Maksimum Tahunan pada Stasiun Madukoro,

No	Tanggal	Hujan Max (mm)
1	22 Februari 2013	150
2	22 Januari 2014	177
3	12 Februari 2015	155
4	2 juli 2016	120
5	27 okt 2017	90
6	15 Februari 2018	120
7	07 Februari 2019	119
8	19 Februari 2020	60
9	05 Februari 2021	200
10	30 Desember 2022	196

(Sumber : Pusdataru, 2024)

4.4. Analisis Frekuensi Curah Hujan

Saat mengukur sebaran variabilitas, tidak semua nilai suatu variabel hidrologi lebih besar atau sama dengan nilai rata-rata, tetapi mungkin ada nilai yang lebih besar atau lebih kecil dari nilai rata-rata. Derajat sebaran nilai di sekitar nilai rata-rata disebut variasi atau sebaran data suatu variabel hidrologi. Analisis frekuensi menggunakan *software AProb* 4.1. Pada Tabel 4-2 merupakan data hujan Kawasan Madukoro sebagai data penting pada model *AProb*.

Tabel 4-2 Hujan DAS Kawasan Madukoro

No	Tahun	Curah Hujan Maksimum (mm)
1	2013	150
2	2014	177
3	2015	155
4	2016	120
5	2017	90
6	2018	120
7	2019	119
8	2020	60
9	2021	200
10	2022	196

(Sumber : Pusdataru, 2024)

```

Statistika data
--> jumlah data      : 10
--> minimum          : 60
--> maximum           : 200
--> rata-rata         : 138.700000
--> simpangan baku   : 45.404478
--> kurtosis          : 2.333534
--> excess kurtosis   : -0.666466
--> skewness          : -0.212529

Statistika logaritma data
--> jumlah data      : 10
--> minimum          : 1.778151
--> maximum           : 2.301030
--> rata-rata         : 2.117399
--> simpangan baku   : 0.162101
--> kurtosis          : 3.833349
--> excess kurtosis   : 0.833349
--> skewness          : -0.952671

Uji kecocokan terhadap sebaran data teoretis, \alpha = 0.10 (tingkat keyakinan 1-\alpha) = 0.90
      Gumbel      Log Normal      Log Pearson III      Normal
Smirnov-Kolmogorov lulus          lulus          lulus          lulus
Selisih maksimum 0.119          0.125          0.104          0.114
Chi-kuadrat      lulus          lulus          lulus          lulus
Chi-2 maksimum   5.400          4.000          4.000          5.400

Estimasi besaran menurut berbagai nilai kala ulang [tahun]
Kala ulang      Gumbel      Log Normal      Log Pearson III      Normal
2                131         131             139             139
5                171         179             180             177
10               198         211             200             197
20               223         242             216             213
50               256         282             232             232
100              281         312             241             244
200              306         343             249             256
500              338         384             257             269
1000             363         415             262             279

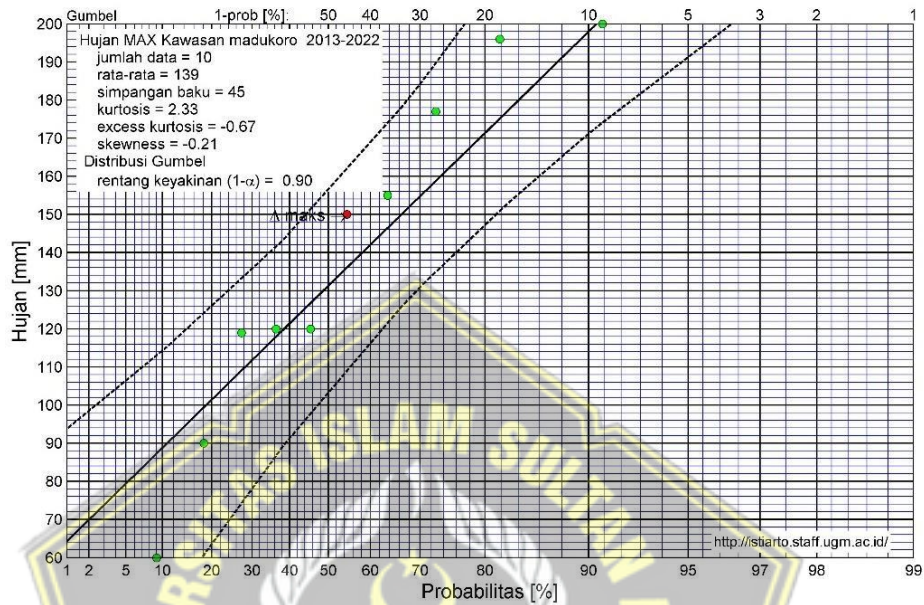
```

Gambar 4.3. Hasil Uji kecocokan dan Hujan Rencana menggunakan *Aprob* (Penulis, 2024)

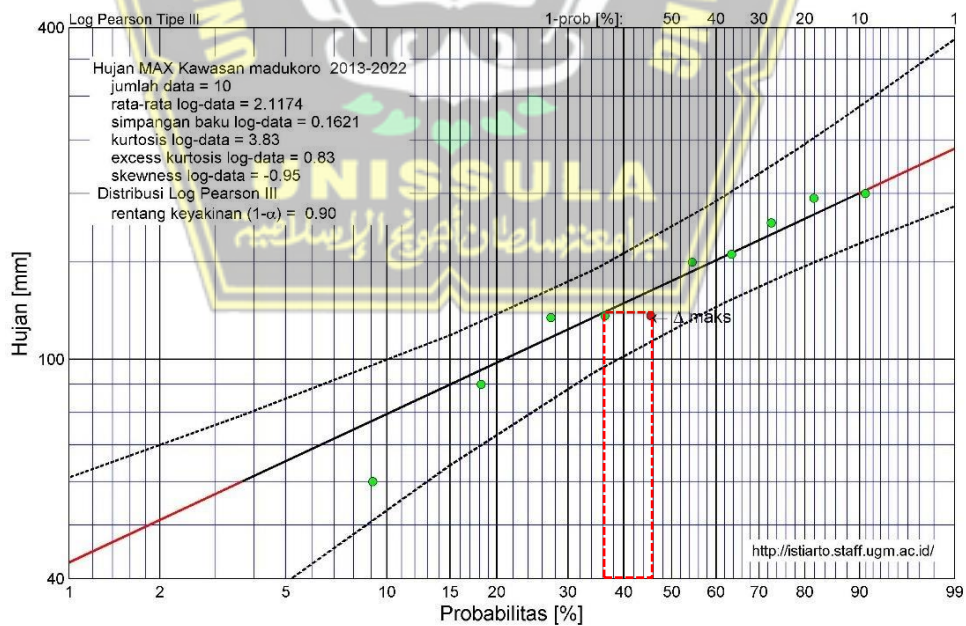
Data ini digunakan oleh *AProb* secara langsung sehingga terdeteksi data statistik berdasarkan rata-rata (\bar{X}), standar deviasi (SD), kurva kurtosis dan *kurva skewness*, maka perlu dilakukan uji kesesuaian distribusi yang baik untuk memastikan bahwa pendekatan eksperimen dapat diwakili oleh kurva teoritis. Ada dua jenis uji keselarasan, yaitu uji *chi-kuadrat* dan uji *Smirnov Kolmogorov*. Tes ini mendeteksi adanya hasil statistik yang benar. *AProb* menguji visibilitas pengukuran derajat keyakinan adalah 0,90. Data hasil uji kecocokan ditampilkan pada Gambar 4.3.

Berdasarkan gambar di atas, dapat diambil kesimpulan untuk uji keselarasan data hujan masuk dalam kriteria syarat distribusi sebaran *Log Person III* dengan selisih yang terkecil yaitu 0,104. Dibuktikan pada uji *Smirnov-Kolmogorof* dan *Chi-Kuadrat*, sebaran data *Log Person III* dinyatakan lolos.

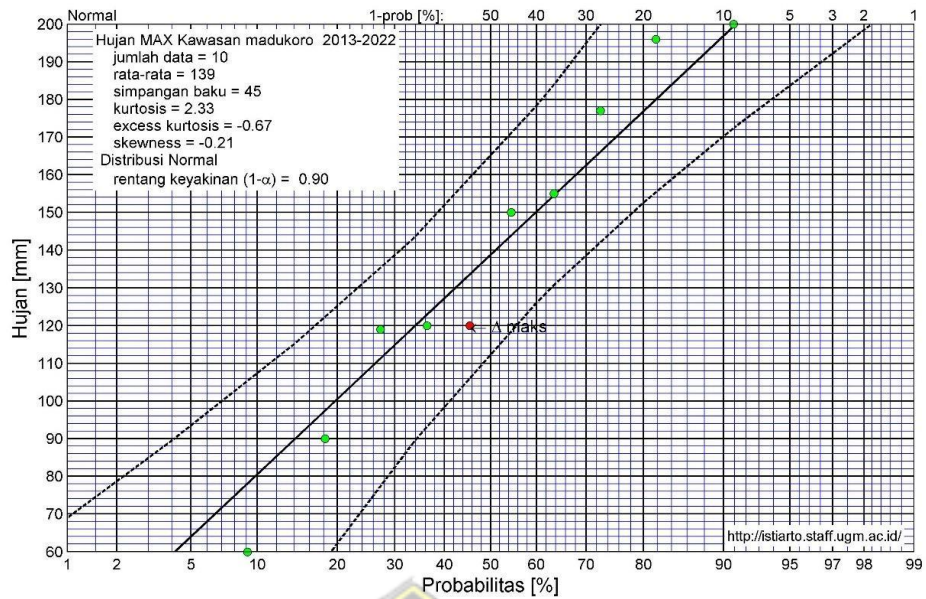
Catat data masukan dan curah hujan pada Lembar Probabilitas untuk melihat apakah data yang terlalu ekstrim. Berdasarkan keluaran model *AProb*, data curah hujan kawasan tidak menyimpang. Gambar plotting data pada *Probability paper* ditunjukkan pada Gambar 4.4 s.d. Gambar 4.7



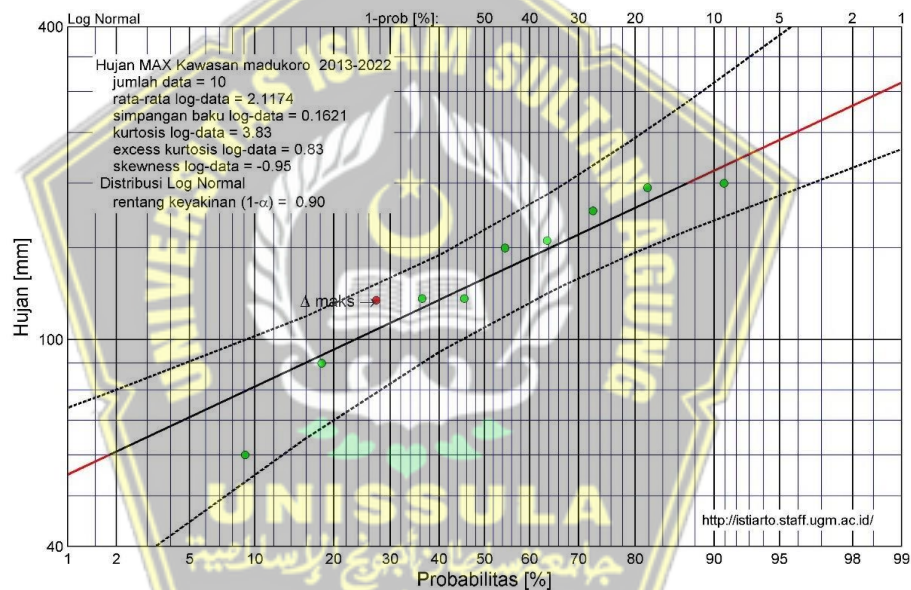
Gambar 4.4 Plotting Gumbel Probability Paper



Gambar 4.5 Plotting Log Person III Probability Paper



Gambar 4.6 Plotting Normal Probability Paper



Gambar 4.7 Plotting Log Normal Probability Paper

Pada Gambar 4.5. dimana *Probability Paper log person III* menunjukkan sumbu vertikal merupakan nilai curah hujan dalam milimeter. Sumbu horizontal (Probabilitas [%]) menunjukkan probabilitas persentase suatu kejadian hujan maksimum yang melebihi nilai tertentu. Garis-garis *Log Person III* merupakan distribusi data hujan maksimum sesuai dengan distribusi *Log Person III*. Garis tengah adalah garis distribusi rata-rata, sedangkan garis di atas dan di bawahnya menunjukkan penyimpangan standar. Titik-titik Hijau mewakili data aktual curah hujan maksimum tahun dari 2013-2022. Titik Merah adalah data yang dikaitkan dengan rentang

keyakinan 90% ($1-\alpha = 0.90$), yang menunjukkan curah hujan maksimum yang diprediksi dengan tingkat keyakinan tersebut terlihat bahwa garis simpangan terjauh adalah 0.104 nilai Δ_{maks} terkecil < Δ_{kritis} yaitu $0,104 < 0,37$. Angka 0,37 diambil dari tabel Δ Kritis untuk Uji Kecocokan *Smirnov-Kolmogorof* selanjutnya dapat diperoleh besaran kala ulang hujan seperti pada Tabel 4-3. Dasar penentuan kala ulang 5 tahunan adalah dalam kurun waktu 5 tahun, probabilitas terjadi hujan dengan besaran lebih besar atau sama dengan 10 mm adalah satu kali, atau 2% akan terjadi setiap tahun. Selain itu penentuan kala ulang 5 tahun, bermaksud untuk meningkatkan angka keamanan dalam permasalahan banjir dengan menambah tampungan longstorage dan kapasitas pompa pengendali banjir.

Tabel 4-3 Hujan Kala Ulang Kawasan Madukoro

Hujan Kala Ulang	Log Person III (mm)
2	139
5	180
10	200
20	216
50	232
100	241
200	249
500	257
1000	262

Sumber : Hasil Analisis, 2024

4.5. Analisis Waktu Konsentrasi Curah Hujan

Analisis intensitas curah hujan diproses melalui data hujan yang pernah terjadi. Analisis intensitas curah hujan berkaitan dengan waktu konsentrasi (t_c). Metode yang digunakan adalah Metode *Kirpich* cocok untuk mencari waktu konsentrasi persamaan yang digunakan untuk *Kirpich*, :

$$t_c = \left(\frac{0,87 \times L^2}{1000 \times S} \right)^{0,385} \dots\dots\dots(4-1)$$

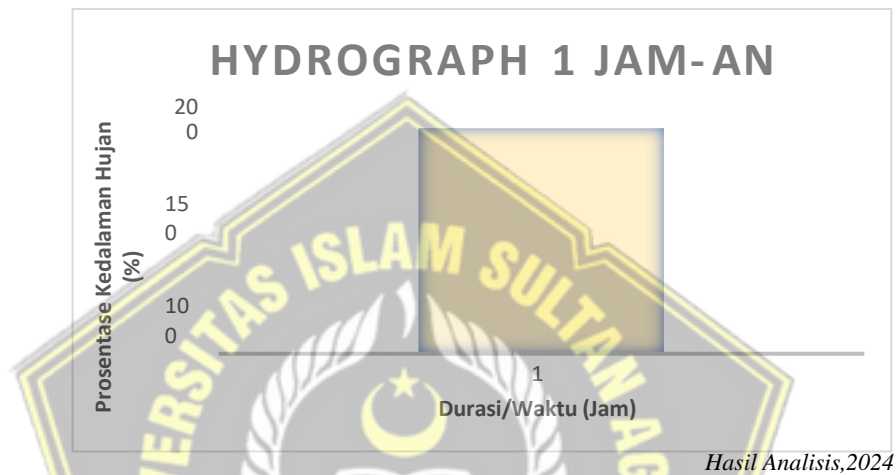
Dimana :

t_c : waktu konsentrasi (jam)

L : panjang jalur air dari titik terjauh ke titik yang dituju (km)

S : kemiringan rata-rata daerah lintasan air

Panjang lintasan saluran pada *long storage* adalah 551 m dengan kemiringan eksisting rata – rata 0.001 maka dapat dihitung besarnya waktu konsentrasi dengan menggunakan rumus *kirpich* sebesar 1 jam.



Gambar 4.8 Diagram *Hydrograph* 1 jam STA Madukoro

Persentase grafik air kemudian dikalikan dengan prediksi curah hujan untuk mendapatkan intensitas curah hujan. Di bawah ini adalah perhitungan curah hujan untuk periode ulang 5 tahun.

Tabel 4-4. Hasil Perhitungan Intensitas Hujan

Curah hujan rencana (5 th)	Hujan 1 jam-an (%)	Intensitas Hujan (mm)
180	100 %	180

Sumber: Hasil Analisis, 2024

4.6. Analisis Intensitas Hujan Rencana

Intensitas Hujan ditentukan / dihitung dengan menggunakan metode *Mononobe* dengan menggunakan rumus :

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots (4-2)$$

Maka pada daerah kajian di peroleh besaran Intensitas hujan sebagaimana pada Tabel 4-5.

Tabel 4-5 Kala Ulang Hujan DAS Kawasan Madukoro

No.	Kala Ulang (tahun)	Hujan Rencana(mm)	Intensitas Hujan (mm/jam)
1	2	139	72.2
2	5	180	93.4
3	10	200	103.8
4	20	216	112.1
5	25	232	120.4
6	50	241	125.1
7	100	249	129.2
8	1000	257	133.4

Sumber: Hasil Analisis, 2024

4.7. Analisis Kapasitas Long Storage Eksisting

Sesuai dengan data pengukuran topografi eksisting Long storage dengan dimensi rata-rata lebar 6,0 meter, kedalaman bervariasi dengan rata-rata 1,2 meter, panjang 551 meter.

Tabel 4-6 Data Long storage Madukoro

Q Kala Ulang (tahun)	Lokasi	Elevasi		L m	Slope Saluran
		Hulu	Hilir		
2	Longstorage madukoro	-1.11	-2.33	551.00	0.001
5	Longstorage madukoro	-1.11	-2.33	551.00	0.001

Sumber: Hasil Analisis, 2024

Tabel 4-7 Perhitungan Kapasitas Long storage Madukoro

Q Kala Ulang (tahun)	Dimensi Saluran							V m/s	Q Sal. m ³ /s	Q Renc. m ³ /s
	BB (m)	H (m)	m	A (m ²)	P	R	n			
2	6.00	1.2	0.031	6.03	8.00	0.75	0.013	2.01	12.15	9.54
								OK		OK
5	6.00	1.2	0.031	6.03	8.00	0.75	0.013	2.01	12.15	12.36
								OK		NO

Sumber: Hasil Analisis, 2024

Kapasitas Longstorage Madukoro berdasarkan hitungan analisis *passing capacity* menghasilkan bahwa dengan kala ulang 5th Longstorage

memiliki kapasitas sebesar 12.15 m³/dt maka Longstorage perlu peningkatan dimensi Longstorage. penelitian ini merancang dimensi longstorage

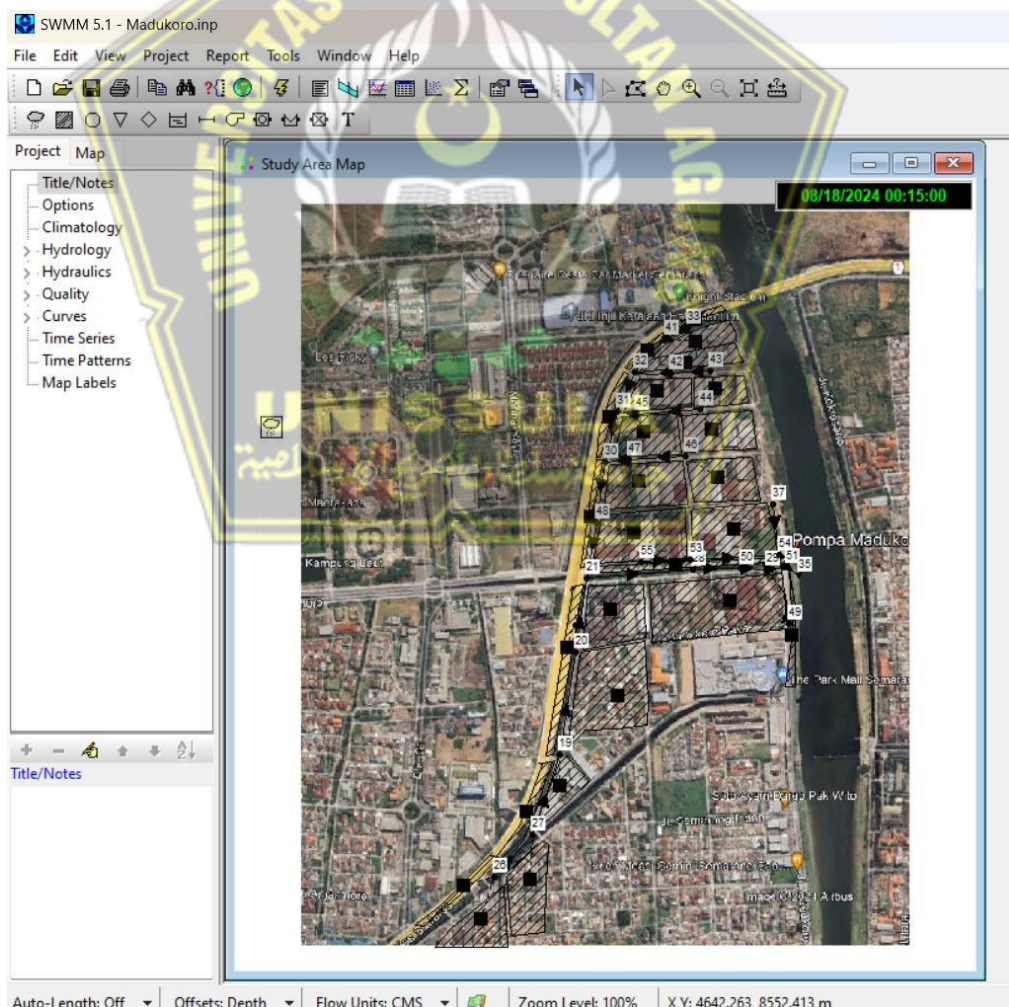
4.8. Analisis Debit

Analisis Debit dalam penelitian menggunakan *Software SWMM*. Debit banjir dihitung berdasarkan probabilitas kala ulang hujan rencana 5th.

Pemodelan Kawasan Madukoro dengan software SWMM terdapat beberapa tahapan :

a. Membuat skema Jaringan DAS Kawasan Madukoro

Pemodelan dengan menentukan batasan *subcatchmen*, *junction*, *conduit*, *outfall* dan *rain gage* merupakan tahapan awal dalam proses pemodelan SWMM. jejaring model pada penelitian ini secara detail tersaji pada gambar 4.9



Gambar 4.9 Pemodelan SWMM pada Kawasan Madukoro (SWMM 5.1, 2024)

b. Input data *Subcatchment*

Toolbar subcatchment yang ditandai dengan simbol merupakan simbol yang digunakan untuk mewakili daerah tangkapan air atau subDAS atau *catchmentarea* pada suatu wilayah. data *subcatchmen* pada *SWMM* mewakili kondisi pada daerah tangkapan tersebut berupa :

1. Luas area
2. Data lebar
3. Kemiringan lahan
4. *N-imperv*
5. *N-Perv*
6. *D-storage Imprv*
7. *D store perv*

Sebagai inputan *Subcatchment* dapat dilihat pada gambar di bawah ini

Property	Value
Name	S6
X-Coordinate	5153.016
Y-Coordinate	3375.120
Description	
Tag	
Rain Gage	Madukoro
Outlet	J4
Area	4.25
Width	250
% Slope	0.029
% Imperv	75
N-Imperv	0.01
N-Perv	0.1
Dstore-Imperv	0.05
Dstore-Perv	0.05
Width of overland flow path (m)	

Gambar 4.10 Contoh Inputan *Subcatchment* pada model *SWMM*

c. Pengisian data *Junction*

Junction menunjukkan bahwa adanya pertemuan saluran. menggambarkan tentang angka ketinggian elevasi terendah pada saluran atau sungai yang dibatasi oleh subcatchment lainnya. data yang terkait berupa elevasi dan kedalaman saluran / sungai. inputan *junction* diperlihatkan pada gambar bawah ini

Junction 20	
Property	Value
Name	20
X-Coordinate	4594.948
Y-Coordinate	3957.452
Description	
Tag	
Inflows	NO
Treatment	NO
Invert El.	-0.75
Max. Depth	2.3
Initial Depth	0
Surcharge Depth	0
Ponded Area	0

Gambar 4.11 Contoh Inputan *Junction* pada model SWMM

d. Pengisian *Conduit*

Conduit mewakili terkait dengan saluran yang menghubungkan antara junction satu dengan yang lainnya. untuk penampangsaluran terdapat beberapa type yang dapat disesuaikan dengan kondisi di lapangan. data yang lain berupa panjang saluran, nilai kekasaran *mannig*.

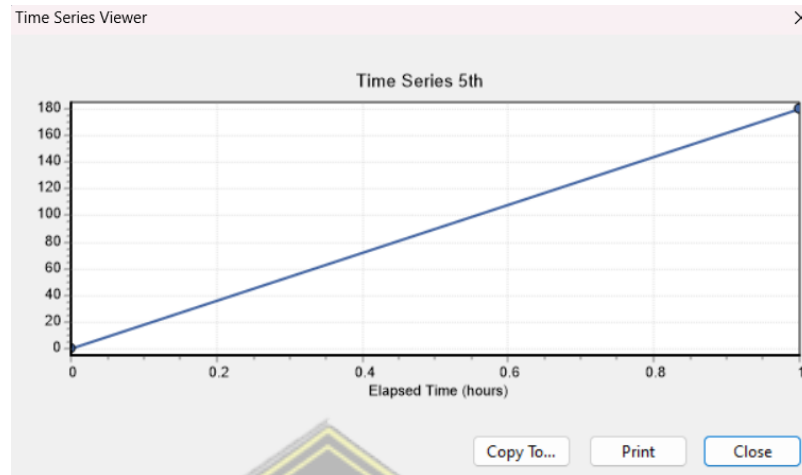
Conduit 5	
Property	Value
Name	5
Inlet Node	21
Outlet Node	28
Description	
Tag	
Shape	RECT_OPEN
Max. Depth	2
Length	250
Roughness	0.01
Inlet Offset	0
Outlet Offset	0
Initial Flow	0
Maximum Flow	0
Entry Loss Coeff.	0
Exit Loss Coeff.	0
Avg. Loss Coeff.	0
Seepage Loss Rate	0
Flap Gate	NO
Culvert Code	

Gambar 4.12 Contoh Inputan *Conduit* pada model SWMM

e. Input data intensitas hujan

Intensitas hujan yang diinputkan pada model *SWMM* untuk kala ulang

5th. sesuai dengan hasil perhitungan intensitas hujan dengan tc perhitungan sebesar 1 jam.



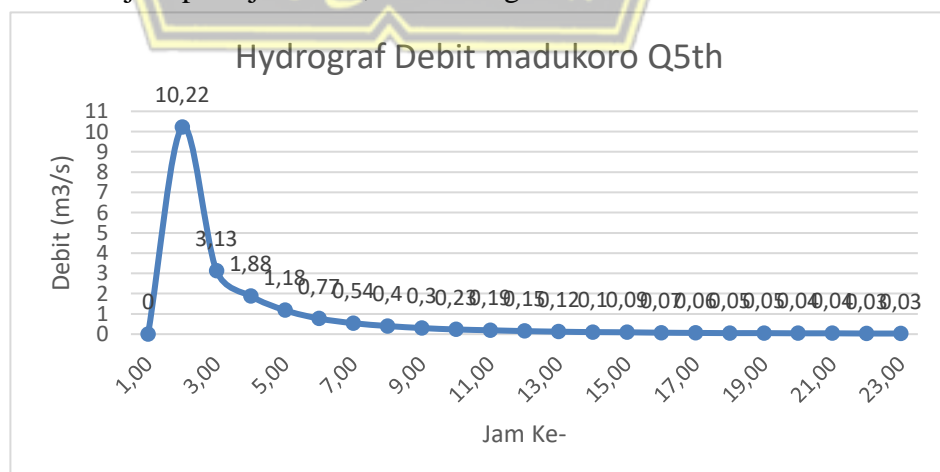
Gambar 4.13 Contoh Inputan Intensitas Hujan pada model SWMM

f. Proses *Running*

Proses *running* dilakukan setelah semua data yang diperlukan selesai terinput pada model .

g. *Output Model SWMM*

Hasil SWMM dengan kondisi eksisting diperoleh bahwa besarnya debit yang terjadi pada kala ulang 5th sesuai dengan kondisi eksisting sebesar 10.22 m³/dt. grafih hidrograf debit dapat dilihat pada Gambar 4.14. menunjukkan bahwa debit yang terjadi pada jam pertama berangsur mengalami kenaikan sehingga puncak debit pada kawasan madukoro ini terjadi pada jam ke-2, dan berangsur menurun .

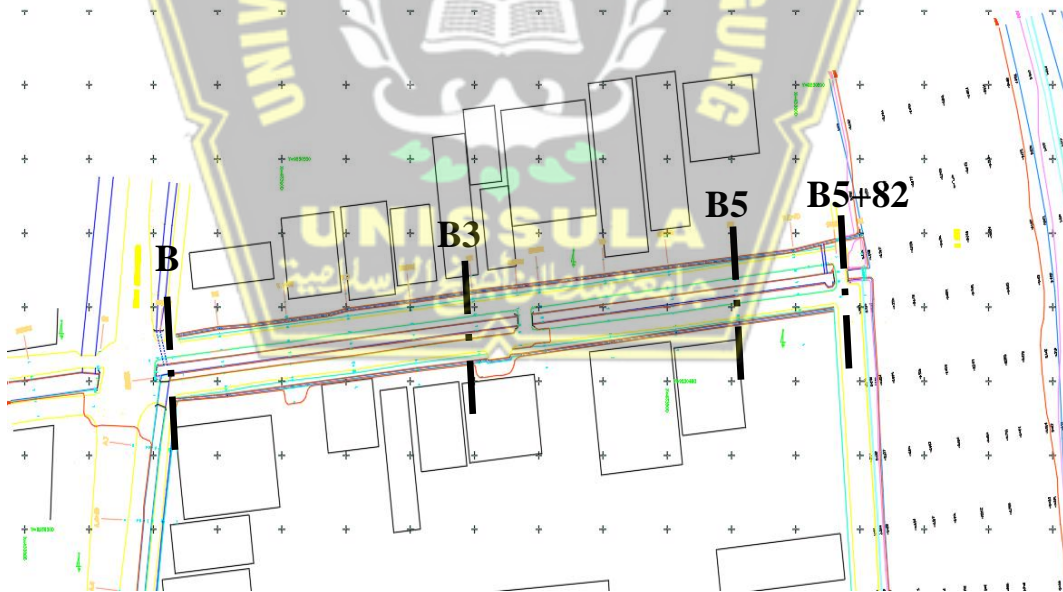


Gambar 4.14 Pemodelan *Hydrograph* debit pada Kawasan Madukoro (Penulis,2024)

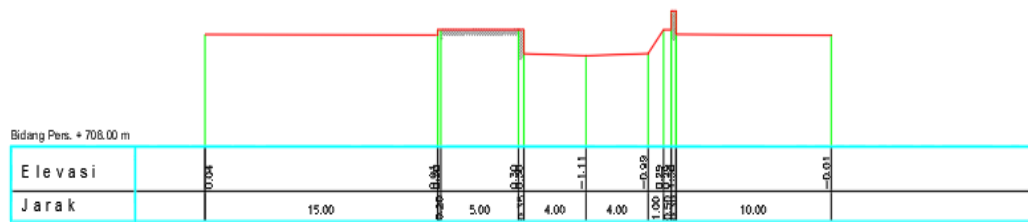
Berdasarkan analisis kondisi eksisting, diketahui kawasan madukoro memiliki pompa banjir dengan kapasitas pompa 0.6 m³/dt sebanyak 2 buah dan 1,5 m³/dt sebanyak 1 buah. dengan pemodelan SWMM dapat di ketahui bahwa kapasitas pompa yang terpasang perlu adanya peningkatan kapasitas pompa sebagai pengendalian banjir.

4.9. Analisis Hidrolika

Penampang *Long storage* selain dianalisis menggunakan analisis *passing capacity* juga menggunakan pemodelan *HEC RAS* untuk kondisi eksisting. Model dilakukan berdasarkan data topografi pengukuran yang sudah dikumpulkan melalui data sekunder dan pemodelan dilakukan hanya pada lokasi *long storage* Madukoro saja. tahapan pembuatan model *HEC-RAS* disesuaikan dengan data pengukuran topografi yang telah diperoleh dari sumber data Dinas PU Kota Semarang tahun 2024. beberapa penampang yang digunakan sebagai input data pada geometri hecras dapat dilihat pada gambar 4.15 s/d 4.17

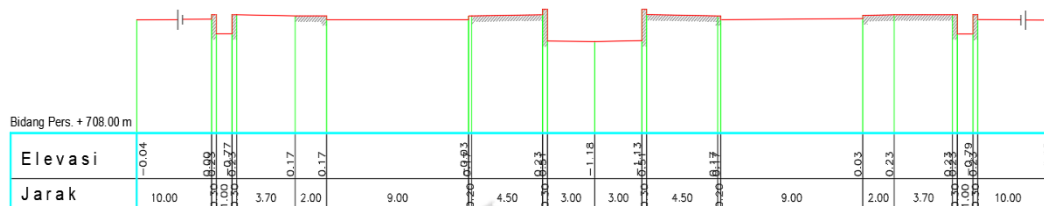


Gambar 4.15 Situasi Longstorage Madukoro (DPU Kota Semarang, 2024)



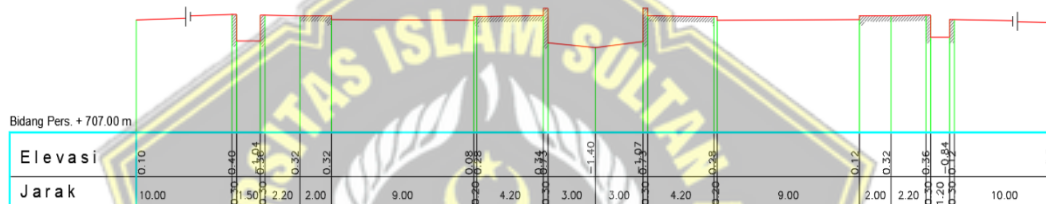
B.0+50

Gambar 4.16 Potongan melintang Longstorage Madukoro B0+50 (DPU Kota Semarang, 2024)



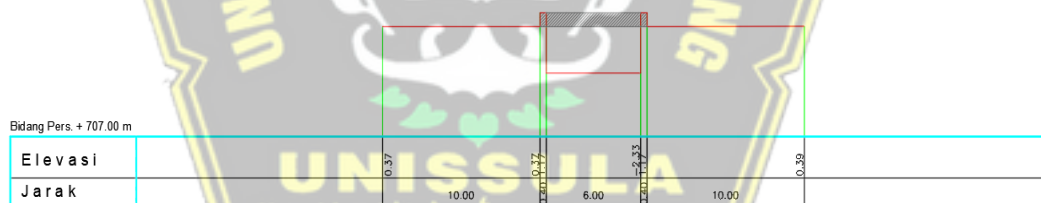
B.3

Gambar 4.17 Potongan melintang Longstorage Madukoro B3 (DPU Kota Semarang, 2024)



B.5

Gambar 4.18 Potongan melintang Longstorage Madukoro B5 (DPU Kota Semarang, 2024)



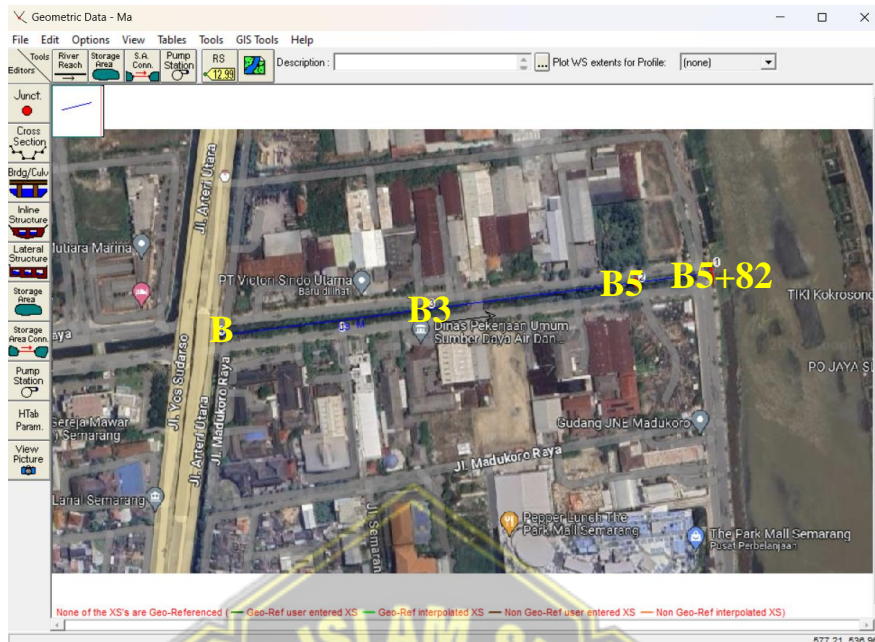
B.5+82

Gambar 4.19 Potongan melintang Longstorage Madukoro B5+82 (DPU Kota Semarang, 2024)

Adapun pengukuran topografi di lokasi penelitian dengan titik ikat yang berada di sekitar rumah pompa Madukoro yakni BM02 di Kelurahan Tawangmas, Semarang Barat dengan titik koordinat $X = 433.645,775$; $Y = 9.230.464,835$; dan $Z = + 1.098$ m. Gambar patok ikat dapat dilihat di Daftar Lampiran tesis ini dengan judul Diskripsi *Bench Mark* Rumah Pompa Madukoro.

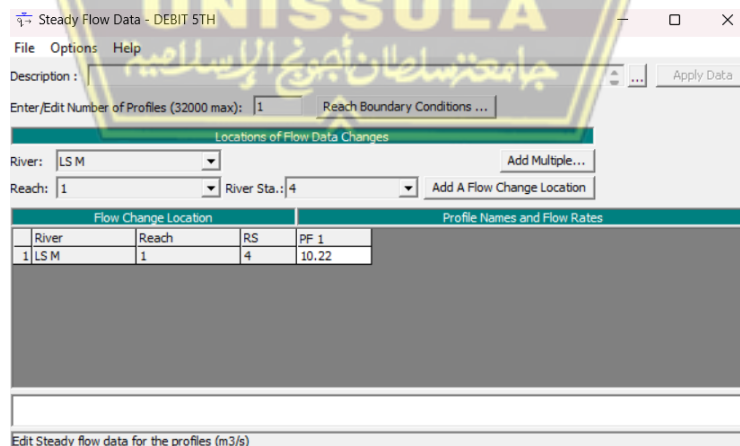
Setelah model *HEC RAS* selesai dibuat seperti terlihat pada Gambar 4.20 maka langkah selanjutnya adalah dengan menginput atau menambahkan

data debit sebagai proses running selanjutnya.



Gambar 4.20 Pemodelan *Hec-ras* pada Longstorage (Penulis,2024)

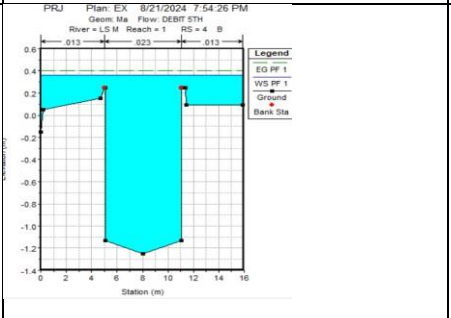
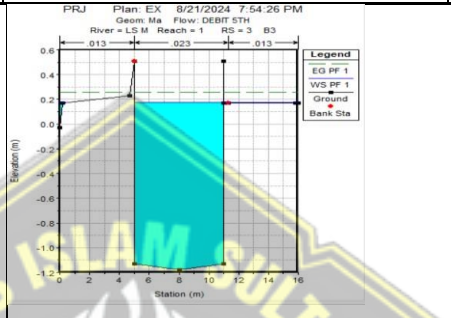
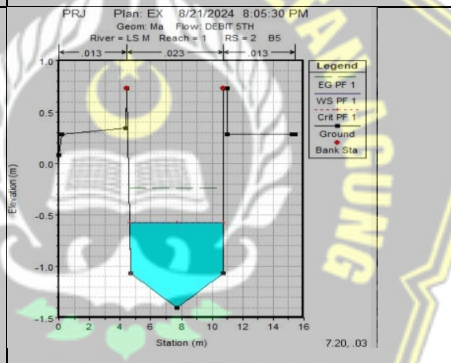
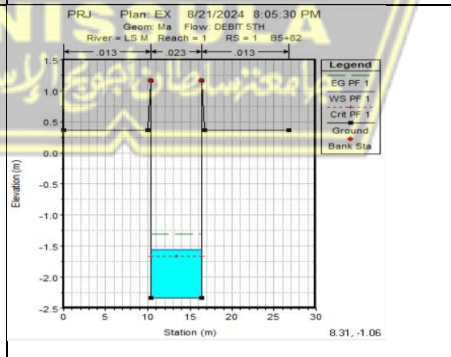
Input data debit dilakukan untuk mengetahui kemampuan longstorage dalam menampung Q5th limpas atau tidak, inputan data tersaji seperti pada Gambar 4.21 selain debit kita juga dapat menambahkan input data pasang surut air laut apabila daerah tersebut masih dipengaruhi oleh pasut. karena kondisi kawasan madukoro di hilir saluran sudah menggunakan pompa sehingga kawasan ini tidak memperhitungkan adanya pengaruh pasut.

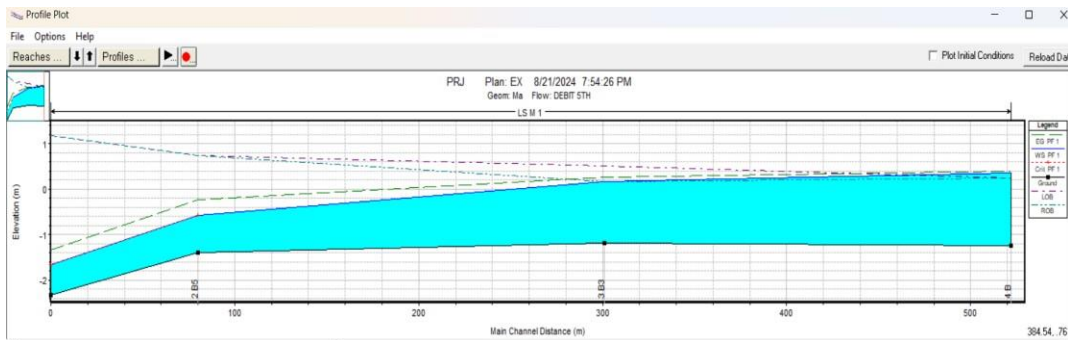


Gambar 4.21 Input data Debit *Hec-ras*

Hasil running model *HEC RAS* dapat dilihat seperti pada Tabel 4-8 tampak penampang melintang longstorage ada yang limpas di Sta B terletak pada hulu saluran.

Tabel 4-8 Muka Air Longstorage Madukoro dengan Debit Q5th

Ruas	Penampang	Keterangan
Sta B.		Limpas
Sta B3		Aman
Sta B5		Aman
Sta B5+82		Aman

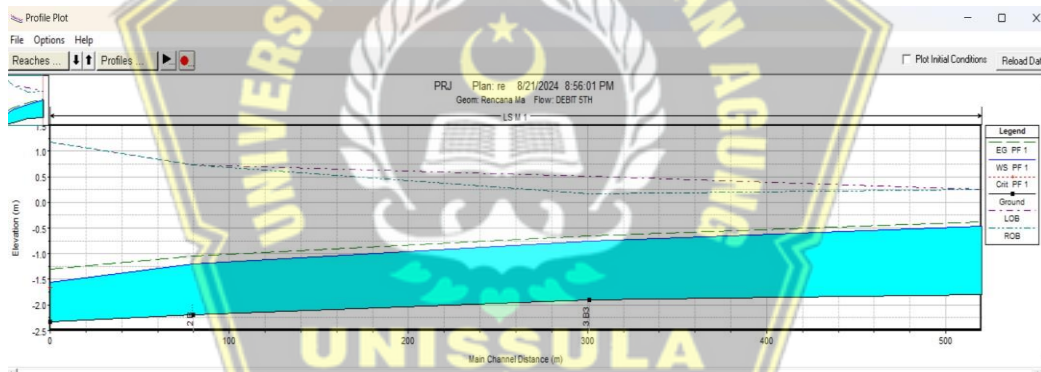
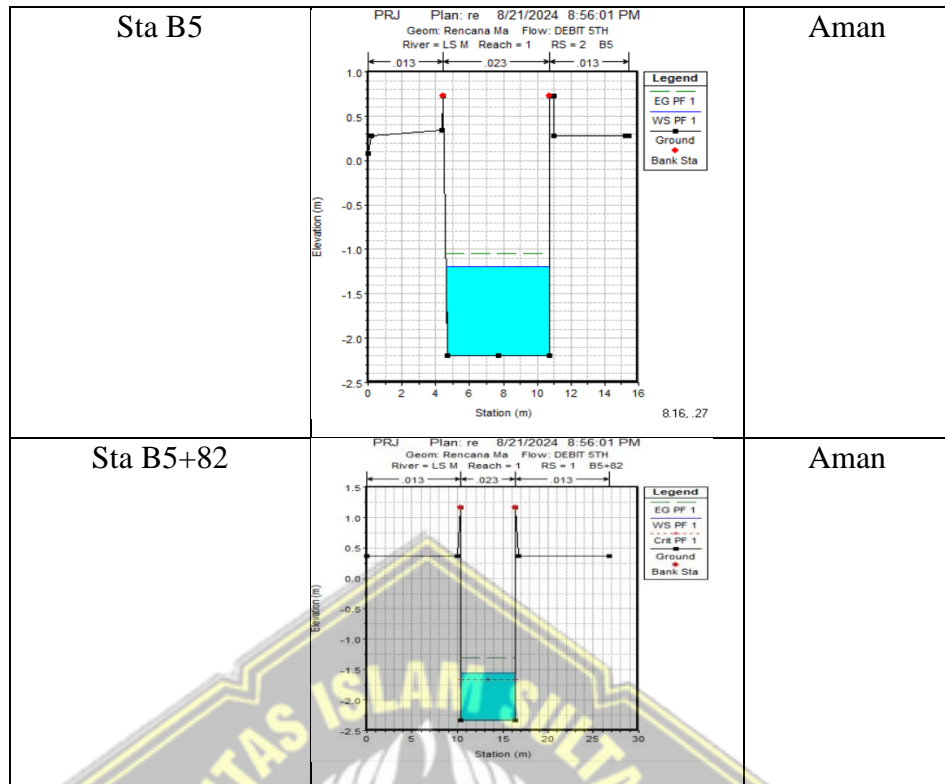


Gambar 4.22 Penampang Memanjang Longstorage kondisi eksisting dengan debit Q5th (Hasil Analisis,2024)

4.10. Rencana Dimensi Long storage

Tabel 4-9 Muka Air Longstorage Rencana Madukoro dengan Debit Q5th (Hasil Analisis, 2024)

Ruas	Penampang	Keterangan
Sta B.		Aman
Sta B3		Aman



Gambar 4.23 Penampang memanjang longstorage kondisi setelah peningkatan dimensi saluran (Hasil analisis, 2024)

4.11. Simulasi Pompa Banjir

A. Simulasi Saluran *Long storage* Eksisting tanpa Pompa Banjir

Berdasarkan Inflow yang ada pada *long storage* Madukoro sebesar 10,22 m³/det. Simulasi kondisi pompa eksisting dengan kapasitas total adalah 2,7 m³/det (2 x 0,6 m³/det + 1,5 m³/det), dengan kapasitas tampungan *long storage* eksisting 31.639 m³, elevasi tanggul +1.17, elevasi pelimpah -1.00 dan elevasi dasar longstorage -2.33. Perhitungan elevasi muka air pada *long storage* tanpa adanya operasional pompa eksisting dapat dilihat pada tabel dibawah ini. Air melimpas tanggul pada jam ke-4 dan ke-

Tabel 4-10. Perhitungan elevasi muka air longstorage tanpa operasi pompa eksisting

Waktu (t)	Δt (menit)	Inflow (m ³ /dt)	Volume Inflow (m ³)	Kumulatif Volume Inflow (m ³)	Elevasi Muka Air Tanpa Pompa
1	2	3	4	5	6
1	0	0,00	0	0	-1.9
2	60	10,22	18.396,0	18.396,0	-1.1
3	60	3,13	24.030,0	42.426,0	+0.4
4	60	1,88	9.018,0	51.444,0	+1.0
5	60	1,18	5.508,0	56.952,0	+1.4
6	60	0,77	3.510,0	60.462,0	+1.6
7	60	0,54	2.358,0	62.820,0	+1.8
8	60	0,40	1.692,0	64.512,0	+1.9
9	60	0,30	1.260,0	65.772,0	+2.0
10	60	0,23	954,0	66.726,0	+2.0
11	60	0,19	756,0	67.482,0	+2.1
12	60	0,15	612,0	68.094,0	+2.1
13	60	0,12	486,0	68.580,0	+2.1
14	60	0,10	396,0	68.976,0	+2.2
15	60	0,09	342,0	69.318,0	+2.2
16	60	0,07	288,0	69.606,0	+2.2
17	60	0,06	234,0	69.840,0	+2.2
18	60	0,05	198,0	70.038,0	+2.2
19	60	0,05	180,0	70.218,0	+2.2
20	60	0,04	162,0	70.380,0	+2.3
21	60	0,04	144,0	70.524,0	+2.3
22	60	0,03	126,0	70.650,0	+2.3
23	60	0,03	108,0	70.758,0	+2.3
24	60	0,00	54,0	70.812,0	+2.3
25	60	0,00	0	70.812,0	+2.3

Hasil Analisis, 2024

Keterangan :

Kolom 1: waktu

Kolom 2: Δt

Kolom 3: inflow masuk

Kolom 4: $(\text{kumulatif kolom3})/2 \times \Delta t \times 60$

Kolom 5: kumulatif kolom 4

Kolom 6: Elv. awal +

$(0,0827 \times \text{kolom5}/1000)$

B. Simulasi Long storage dengan Penambahan Dimensi Saluran

Skenario penambahan kapasitas longstorage dilakukan dengan memperdalam dasar saluran dari elevasi -2.33 menjadi -3.00. Dengan tinggi elevasi air jagaan dari dasar saluran -2.30. Skenario dilakukan untuk mengetahui dengan dimensi longstorage yang telah ditambah akan

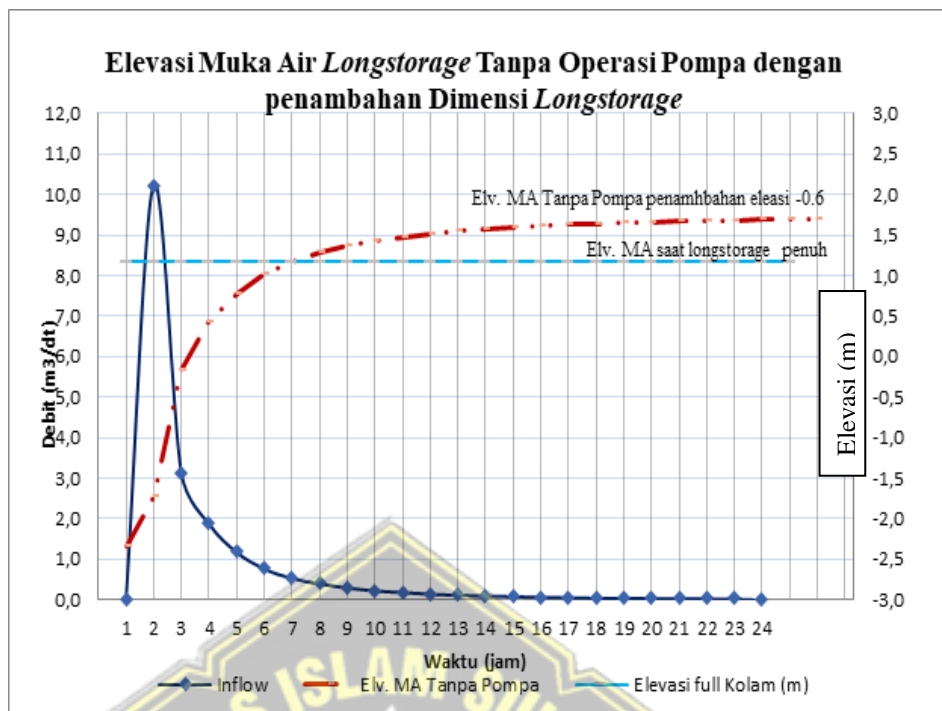
menunjukkan elevasi muka air pada long storage tanpa adanya operasi pompa, simulasi perhitungan ada di dalam tabel di bawah ini.

Tabel 4-11. Perhitungan elevasi muka air longstorage dengan perubahan dimensi tanpa operasi pompa eksisting

Waktu (t)	Δt (menit)	Inflow (m ³ /dt)	Volume Inflow (m ³)	Kumulatif Volume Inflow (m ³)	Elevasi Muka Air Tanpa Pompa
1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	0	-2.3
2	60	10,22	18.396,0	18.396,0	-1.7
3	60	3,13	24.030,0	42.426,0	-0.2
4	60	1,88	9.018,0	51.444,0	+0.4
5	60	1,18	5.508,0	56.952,0	+0.8
6	60	0,77	3.510,0	60.462,0	+1.0
7	60	0,54	2.358,0	62.820,0	+1.2
8	60	0,40	1.692,0	64.512,0	+1.3
9	60	0,30	1.260,0	65.772,0	+1.4
10	60	0,23	954,0	66.726,0	+1.4
11	60	0,19	756,0	67.482,0	+1.5
12	60	0,15	612,0	68.094,0	+1.5
13	60	0,12	486,0	68.580,0	+1.5
14	60	0,10	396,0	68.976,0	+1.6
15	60	0,09	342,0	69.318,0	+1.6
16	60	0,07	288,0	69.606,0	+1.6
17	60	0,06	234,0	69.840,0	+1.6
18	60	0,05	198,0	70.038,0	+1.6
19	60	0,05	180,0	70.218,0	+1.6
20	60	0,04	162,0	70.380,0	+1.7
21	60	0,04	144,0	70.524,0	+1.7
22	60	0,03	126,0	70.650,0	+1.7
23	60	0,03	108,0	70.758,0	+1.7
24	60	0,00	54,0	70.812,0	+1.7
25	60	0,00	0	70.812,0	+1.7

Hasil Analisis, 2024

Dari tabel di atas elevasi muka air dijaga di $- 2.30$ m, sekitar 67-70 cm muka air dari dasar saluran. Air saluran mulai melimpas tanggul antara jam ke-6 dan ke-7, ketika debit mulai menurun di $0,5 - 1,0$ m³/det, seperti terlihat grafik hidrograf di Gambar 4.24 bawah ini.



Gambar 4.24 Grafik Hubungan Elevasi Air di Long storage dengan penambahan dimensi saluran Long storage (Hasil Analisis, 2024)

C. Simulasi Long storage dengan Pompa Banjir Eksisting

Pompa banjir Madukoro yang terpasang sekarang merupakan pompa banjir *submersible* dengan kapasitas 1.200 liter/det atau 2 unit 600 liter/det merk Grundfos 500 KPL/55 KW dengan mesin PERKINS 2500 dan telah terpasang di tahun 2009 dari bantuan Kementerian PU melalui BBWS Pemali Juana. Di lokasi masih terdapat satu unit pompa *submersible* lagi yang merupakan Eks Pompa Sedompyong dengan kapasitas 1 unit sebesar 1.500 liter/det merk Grundfos dan baru terpasang kurang lebih di tahun 2017/2018. Ketiga pompa tersebut dibantu digerakkan oleh Generator 550 KVA.

Pompa Madukoro tersebut kurang lebih telah beroperasi selama 15 tahun dengan mengandalkan pemeliharaan dan suplai bahan bakar rutin. Pemeliharaan menjadi tanggung jawab UPT Pompa Drainase Semarang Barat.

Berdasarkan Tabel 4-12 menunjukkan bahwa kondisi *longstorage* pada *inflow* yang masuk sebesar 10.22 m3/det. Elevasi muka air dasar saluran dijaga pada elevasi -1.90 m, kemudian pompa dinyalakan dengan

kapasitas eksisting 2,7 m³/det (2x0,6 m³/det + 1,5 m³/det). Terlihat di tabel kondisi aman tidak melimpas tanggul sampai jam ke-9, dimana masih rawan di jam ketiga posisi muka air di elevasi +0.40 yang artinya sudah melebihi ambang datum elevasi jalan sehingga di jam ke-3 sistem saluran disekitar sudah terganggu alirannya.

Tabel 4-12. Tabel Simulasi Pompa Eksisting

Out flow Pompa (m ³ /dt)	Komula. Outflow Pompa (m ³ /dt)	Volume Outflow Pompa (m ³)	Komula Volume Outflow Pompa (m ³)	Volume Kolam (m ³)	Elevasi Kolam (m)	Elev. full Klm (m)	Ket	Schedule Pompa (m ³ /dt)		
								Pump 1	Pump 1	Pump 2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,00	0,00	0	0	0	-1.90	+1.17	Aman			
2,70	2,70	4,860	4,860	13,536	-0.78	+1.17	Aman	0,60	0,60	1,50
2,70	5,40	9,720	14,580	27,846	+0.40	+1.17	Aman	0,60	0,60	1,50
2,70	8,10	9,720	24,300	27,144	+0.34	+1.17	Aman	0,60	0,60	1,50
0,00	8,10	4,860	29,160	27,792	+0.40	+1.17	Aman			
0,00	8,10	0	29,160	31,302	+0.69	+1.17	Aman			
0,00	8,10	0	29,160	33,660	+0.88	+1.17	Aman			
0,00	8,10	0	29,160	35,352	+1.02	+1.17	Aman			
0,00	8,10	0	29,160	36,612	+1.13	+1.17	Aman			
0,00	8,10	0	29,160	37,566	+1.21	+1.17	Tidak Aman			
0,00	8,10	0	29,160	38,322	+1.27	+1.17	Tidak Aman			
0,00	8,10	0	29,160	38,934	+1.32	+1.17	Tidak Aman			
0,00	8,10	0	29,160	39,420	+1.36	+1.17	Tidak Aman			
0,00	8,10	0	29,160	39,816	+1.39	+1.17	Tidak Aman			
0,00	8,10	0	29,160	40,158	+1.42	+1.17	Tidak Aman			
0,00	8,10	0	29,160	40,446	+1.44	+1.17	Tidak Aman			
0,00	8,10	0	29,160	40,680	+1.46	+1.17	Tidak Aman			
0,00	8,10	0	29,160	40,878	+1.48	+1.17	Tidak Aman			
0,00	8,10	0	29,160	41,058	+1.50	+1.17	Tidak Aman			
0,00	8,10	0	29,160	41,220	+1.51	+1.17	Tidak Aman			
0,00	8,10	0	29,160	41,364	+1.52	+1.17	Tidak Aman			
0,00	8,10	0	29,160	41,490	+1.53	+1.17	Tidak Aman			
0,00	8,10	0	29,160	41,598	+1.54	+1.17	Tidak Aman			
0,00	8,10	0	29,160	41,652	+1.54	+1.17	Tidak Aman			
0,00	8,10	0	29,160	41,652	+1.54	+1.17	Tidak Aman			

Hasil Analisis, 2024

Keterangan :

Kolom 1: *outflow* pompa
Kolom 2: Komulatif *outflow* pompa

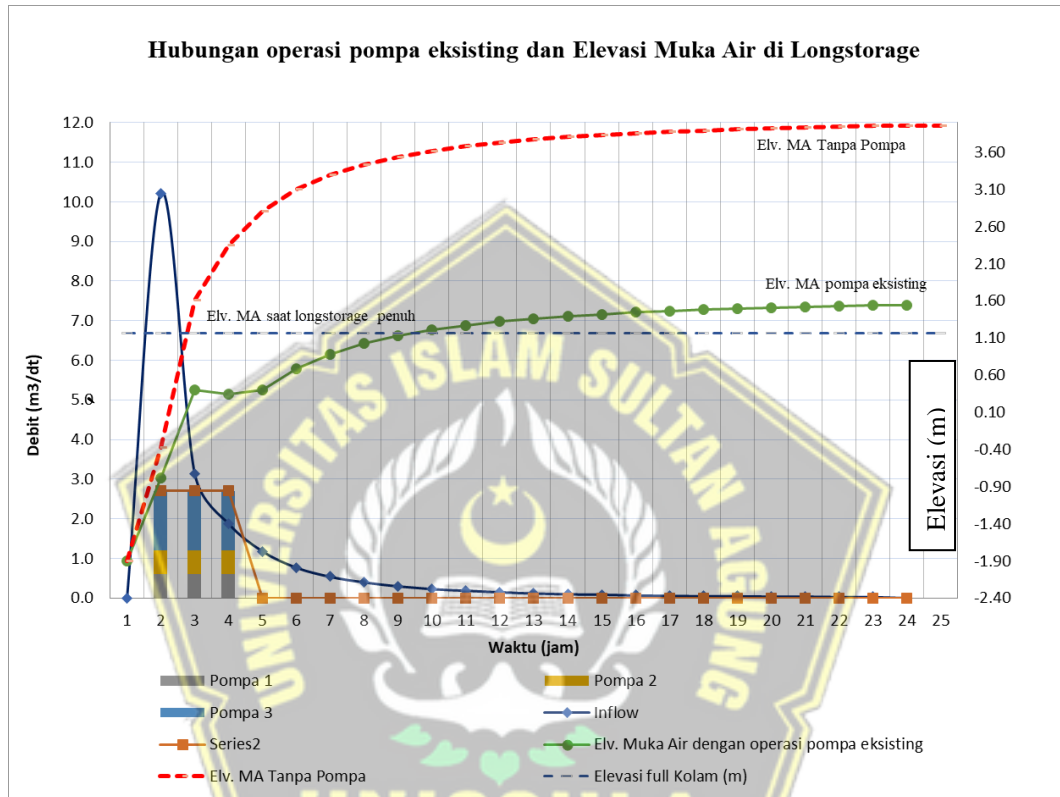
Kolom 3: (*outflow* sebelum + *outflow* saat itu)/2* Δt *60

Kolom 4: komulatif kolom 3

Kolom 5: komulatif *inflow* – komulatif *outflow*

Kolom 6: Elv. awal + (0,0827*kolom5/1000)

Kolom 7: Elv. Tanggul



Gambar 4.25 Grafik Hubungan Pompa Eksisting dan Elevasi Air di *Long storage* (Hasil Analisis, 2024)

Terlihat pada Gambar 4.25 Pompa eksisting kapasitas 2,7 m³/det dioperasikan pada jam ke-2 sampai jam ke-4, muka air berada di atas datum lokal (+/- 0.00) yakni di elevasi +0.20 sampai dengan +0.30, saluran di bagian hulu masih kritis terhadap limpasan. Akibatnya beberapa saluran-saluran sekunder maupun tersier yang masuk ke *long storage* akan terjadi *backwater*.

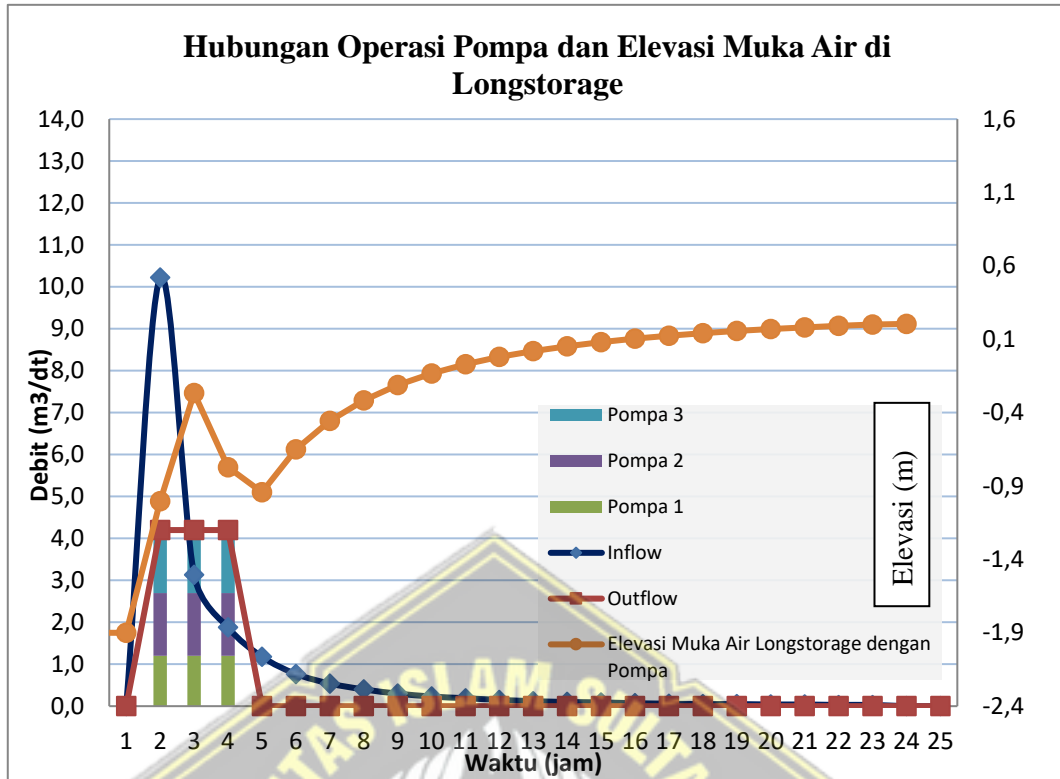
D. Simulasi *Long storage* dengan Pompa Banjir Tambahan

Berdasarkan *Inflow* yang ada pada *Long storage* Madukoro sebesar 10,22 m³/dt maka dapat di simulasikan penambahan pompa banjir dengan

skenario Penambahan kapasitas pompa 1,5 m³/dt sebanyak 1 buah. maka besaran *outflow* didapat sebesar 4,2 m³/dt. Simulasi ini dilakukan dengan mengoperasikan masing-masing pompa. Kapasitas tampungan longstorage 31.639 m³, elevasi tanggul kolam +1.17, elevasi pelimpah -1.00 dan elevasi dasar *long storage* di -2.33. Simulasi dilakukan dengan asumsi pada jam ke – 1 *long storage* terisi air dimana air dipertahankan pada ketinggian 40 cm dari dasar saluran pada elevasi -1.9. Perhitungan pada tabel akan di peroleh elevasi muka air pada longstorage dengan simulasi kapasitas *outflow* pompa di 4,2 m³/dt. muka air berada di tinggi 0,2 m yang terlihat pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Simulasi pompa dan elevasi muka air penambahan pompa 1,5 m³/dt

Outflow Pompa (m ³ /dt)	Komula. Outflow Pompa (m ³ /dt)	Volume Outflow Pompa (m ³)	Komula Volume Outflow Pompa (m ³)	Volume Kolam (m ³)	Elevasi Kolam (m)	Elev. full Klm (m)	Ket	Schedule Pompa (m ³ /dt)		
								Pump 1	Pump 2	Pump tambahan
0,00	0,00	0	0	0	-1.90	+1.17	Aman			
4,20	4,20	7,560	7,560	10,836	-1.00	+1.17	Aman	1,20	1,50	1,50
4,20	8,40	15,120	22,680	19,746	-0.27	+1.17	Aman	1,20	1,50	1,50
4,20	12,60	15,120	37,800	13,644	-0.77	+1.17	Aman	1,20	1,50	1,50
0,00	12,60	7,560	45,360	11,592	-0.94	+1.17	Aman			
0,00	12,60	0	45,360	15,102	-0.65	+1.17	Aman			
0,00	12,60	0	45,360	17,460	-0.46	+1.17	Aman			
0,00	12,60	0	45,360	19,152	-0.32	+1.17	Aman			
0,00	12,60	0	45,360	20,412	-0.21	+1.17	Aman			
0,00	12,60	0	45,360	21,366	-0.13	+1.17	Aman			
0,00	12,60	0	45,360	22,122	-0.07	+1.17	Aman			
0,00	12,60	0	45,360	22,734	-0.02	+1.17	Aman			
0,00	12,60	0	45,360	23,220	+0.02	+1.17	Aman			
0,00	12,60	0	45,360	23,616	+0.05	+1.17	Aman			
0,00	12,60	0	45,360	23,958	+0.08	+1.17	Aman			
0,00	12,60	0	45,360	24,246	+0.11	+1.17	Aman			
0,00	12,60	0	45,360	24,480	+0.12	+1.17	Aman			
0,00	12,60	0	45,360	24,678	+0.14	+1.17	Aman			
0,00	12,60	0	45,360	24,858	+0.16	+1.17	Aman			
0,00	12,60	0	45,360	25,020	+0.17	+1.17	Aman			
0,00	12,60	0	45,360	25,164	+0.18	+1.17	Aman			
0,00	12,60	0	45,360	25,290	+0.19	+1.17	Aman			
0,00	12,60	0	45,360	25,398	+0.20	+1.17	Aman			
0,00	12,60	0	45,360	25,452	+0.20	+1.17	Aman			
0,00	12,60	0	45,360	25,452	+0.20	+1.17	Aman			



Gambar 4.26. Hubungan operasi pompa dan elevasi muka air *longstorage* Madukoro (Hasil Analisis, 2024)

Berdasarkan hasil rekapitulasi yang telah dibuat maka dapat digambarkan pula grafik hubungan antara operasi pompa dan elevasi muka air di longstorage madukoro muka air penuh pada longstorage berada di elevasi +1.17 m, dan ketika banjir datang maka di lakukan pompanisasi dengan operasional pompa hidup semua maka elevasi *longstorage* berada di elevasi -0.1 m. Pompa menyala di jam ke 2 sampai jam ke 4 dengan *outflow* pompa sebesar 4,2 m³/dt. dapat menurunkan muka air di elevasi -0.77 m

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Melalui pemodelan *long storage* saluran Madukoro pada kondisi eksisting menggunakan *EPA-SWMM* dapat diketahui bahwa ada beberapa *junction* dan *conduit* yang tidak dapat menampung debit banjir dengan kala ulang 5 tahunan terutama pada bagian hulu saluran.
2. Daya tampung *long storage* sebesar 12,15 m³/det, dengan periode ulang 5 tahunan menghasilkan debit rencana 12,36 m³/det sehingga saluran limpas.
3. Kebutuhan penambahan pompa Madukoro sebanyak 3 jenis pompa dengan kapasitas 1,5 m³/det sebanyak 1 buah rencana baru, 1,5 m³/det pompa lama 1 buah, dan pompa eksisting 0,6 m³/det sebanyak 2 buah, sehingga total kapasitas pompa 4,2 m³/det.
4. Dimensi *long storage* saluran yang ada dipertahankan bila disimulasi dengan penambahan pompa baru 1,5 m³/det yakni lebar 6 meter, tinggi penampang basah *long storage* 3,0 meter, panjang *long storage* 551 meter

5.2 Saran

1. Jika tetap mempertahankan dimensi dan elevasi jagaan saluran maka harus dipertahankan pemeliharaan saluran terhadap sampah dan sedimentasi.
2. Menutup pertemuan saluran Semarang Indah dan saluran Madukoro dengan menggunakan pintu air, dengan tujuan *catchment area* supaya tidak bercampur.
3. Mengingat Lokasi pompa yang terbatas, sehingga jenis pompa yang akan dipasang menggunakan Pompa Submersible Axial 1500 liter/det.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina F., Junaedi N. I., Wijaya I. (2022). Analisa Debit Rancangan dan Kapasitas Tampang Drainase serta Mengevaluasi Sistem Saluran Drainase di Jalan KH. Wahid Hasyim Sempaja Kota Samarinda, *Rang Teknik Journal* (2022),10.31869/rtj.v5i1.2815
- Aji Laksana, A., & Pratiwi, V. (2020). Evaluasi Kapasitas Rumah Pompa Hailai Marina Dalam Menanggulangi Banjir Jakarta Utara, *CRANE: Civil Engineering Research Journal Volume 1 Nomor 2 Edisi Oktober 2020*. Bandung : Jurusan Teknik Sipil, Universitas Komputer Indonesia
- Amrulloh M.Yunarni Widiarti W.Halik G. (2021). Evaluasi Kinerja Sistem Drainase Jalan Kaliurang Kecamatan Sumpalsari Kabupaten Jember. *Jurnal Teknik Pengairan*
- Ardana P. D. H. (2023). Evaluasi Kinerja Saluran Drainase pada Kawasan Permukiman Mekar Jaya, Desa Pemogan, Denpasar Selatan, *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*,10.24843/jits.2023.v27.i01.p04
- Arifin, M. (2021). Analisis Sistem Drainase Kota Purwokerto Dalam Rangka Mereduksi Genangan, *CivETech* (2021),10.47200/civetech.v13i1.784.
- Badan Standarisasi Nasional. (2016). *SNI 2415-2016 tentang Tata Cara Perhitungan Debit Banjir Rencana*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2009). *SNI 7518:2009 tentang Pompa rotodinamik - Cara uji unjuk kerja hidrolis, kelas 1 dan 2*
- Cow, Ven Te, David R, Maidment dan Larry W. May. (1988). "Applied Hydrology," McGraw-Hill: Series in Water Resources and Environmental Engineering
- Direktorat Jenderal Cipta Karya Kementerian Pekerjaan Umum. (2012). *Tata Cara Penyusunan Rencana Induk Sistem Drainase Perkotaan*, Direktorat Pengembangan Kesehatan Lingkungan Permukiman.
- Direktorat Jenderal Cipta Karya Kementerian Pekerjaan Umum. (2013). *Tata Cara*

Perencanaan, Pelaksanaan, Operasi dan Pemeliharaan Sistem Pompa, Direktorat Pengembangan Penyehatan Lingkungan Permukiman.

- Diyanti Putro H. (2023). Evaluasi Kinerja Drainase Jalan Rawa Indah Kelurahan Pegangsaan Dua Kota Jakarta Utara. *Jurnal Ilmiah Desain & Konstruksi.*
- Dwi Damayanti,L., Syafarini, H., Darsono, S. & Sugiyanto. (2019). Perencanaan Sistem Drainase Wilayah Tawang Sari Dan Tawang Mas Semarang Barat. *Jurnal Karya Teknik Sipil, Volume 6, Nomor 2, Tahun 2017, Halaman 194-203.*
- Hendrayani, Yani. (2007). Perencanaan Sistem dan Jaringan Drainase DAS Kali Semarang.
- Hossain S., Hewa G.A., Wella-Hewage S. (2019). A comparison of continuous and event-based rainfall-runoff (RR) modelling using EPA-SWMM. *Switzerland : Journal Water*
- Huda,M.C.,(2013). Pengaturan Perizinan Reklamasi Pantai Terhadap Perlindungan Lingkungan Hidup. *PERSPEKTIF, Volume XVIII, Edisi Mei*
- Ismail, T., Amin, M., & Yanuar Adipradana, A. (2020). Analisis Debit Banjir Saluran Drainase Di Perumahan Semarang Indah Menggunakan Simulasi EPA SWMM. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tidar: *Prosiding Seminar Nasional Riset Teknologi Terapan: 2020. E-Issn:2747-1217.*
- Iswantoro M., Salim N., Abadi T. (2022). Evaluasi Sistem Jaringan Drainase Kawasan Kelurahan Kotakulon Kecamatan Bondowoso Kabupaten Bondowoso, *National Multidisciplinary Sciences (2022),10.32528/nms.v1i6.235*
- Istiarito, (2014), Analisis Frekuensi Data Hidrologi (AProb_4.1), https://istiarito.staff.ugm.ac.id/index.php/2014/12/analisis-frekuensi-data-hidrologi-aprob_4-1/
- Kementerian Agraria dan Tata Ruang/Badan Pertanahan Nasional. (2022). *Peraturan Menteri Agraria dan Tata Ruang/ Kepala Badan Pertanahan Nasional Nomor 14 Tahun 2022 tentang Penyediaan Dan Pemanfaatan Ruang Terbuka Hijau.*

- Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia. (2021). *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 9 Tahun 2021 tentang Pedoman Penyelenggaraan Konstruksi Berkelanjutan*.
- Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia. (2014). *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 12/PRT/M/2014 Tahun 2014 tentang Penyelenggaraan Sistem Drainase Perkotaan*.
- Kodoatie, Robert, J. (2013). *Rekayasa dan Manajemen Banjir Kota*. Yogyakarta : ANDI Offset.
- Laksana A. A. Pratiwi V. (2020). Evaluasi Kapasitas Rumah Pompa Hailai Marina Dalam Menanggulangi Banjir Jakarta Utara. *CRANE: Civil Engineering Research Journal*
- Nafiah A., Hidayah E., Wahyono R. U. (2021). Pemanenan Air Hujan Sebagai Upaya Pengurangan Limpasan Permukaan Pada Kawasan Perkotaan, *Pertemuan Ilmiah Tahunan HATHI ke-38*
- Nugroho, S.H. (2013), *Prediksi Luas Genangan Pasang Surut (Rob) Berdasarkan Analisis Data Spasial di Kota Semarang, Indonesia, Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi. Volume 4 No. 1 Hal 71-87 Tahun 2013 Edisi April*.
- Pemerintah Kota Semarang. (2014). *Peraturan Daerah Kota Semarang Nomor 7 Tahun 2014 Tentang Rencana Induk Sistem Drainase 2011-2031*.
- Saputra C. T., Andawayanti U., Ismoyo M. J. (2022). Studi Jaringan Drainase Perkotaan Kabupaten Nganjuk Provinsi Jawa Timur, *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air (2022), 10.21776/ub.jtresda.2022.002.01.26*
- Soemarto, CD. (1987). *Hidrologi Teknik*. Edisi Ke-2, Jakarta : Penerbit Erlangga
- Soewarno, (1995). *Aplikasi Statistik untuk Analisis Data Hidrologi*. Jilid I, Bandung: Penerbit NOVA.
- Sosrodarsono, Suyono. Kensaku Takeda. (1989). *Hidrologi Untuk Pengairan*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.

- Subarkah, Imam. (1980). *Hidrologi untuk Perencanaan Bangunan Air*. Bandung : Penerbit Idea Dharma
- Sularso, Tahara H. (2000). *Pompa dan Kompresor*. Jakarta : Penerbit PT. Pradnya Paramita
- Sultonulazkar, A., Andawayanti, U., & Sumiadi. (2022). Analisis Sistem Drainase Jalan Raya Porong Berbasis Zero Run-Off di Kabupaten Sidoarjo, *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air Vol2.No.2 p.40-52*. Jurusan Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya
- Suripin, (2004). *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Yogyakarta : ANDI Offset.
- Triatmodjo, Bambang. (2008). *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Beta Offset.
- US Army Corps of Engineering, Department of The Army. (2013). *Hydrographic Surveying*. Wasington : EM1110-2-1003
- Wicaksono, B., Juwono, P., T. Sisinggih, D. (2018). Analisa Kinerja Sistem Drainase Terhadap Penanggulangan Banjir Dan Genangan Berbasis Konservasi Air Di Kecamatan Bojonegoro Kabupaten Bojonegoro, *Jurnal Teknik Pengairan,10.21776/ub.pengairan.2018.009.02.1*.
- Wilson, E.M. (1993). *Hidrologi Teknik*, alih bahasa: Asnawi Marjuki. Bandung: Isntitut Teknologi Bandung (ITB).
- Wismarini, Th. Dwiati & Handayani Untari Ningsih, Dewi. (2010). Analisis Sistem Drainase Kota Semarang Berbasis Sistem Informasi Geografi dalam Membantu Pengambilan Keputusan bagi Penanganan Banjir, *Jurnal Teknologi Informasi DINAMIK Volume XV, No.1, Januari 2010 : 41-51*
- Zebua D., Prayoga P., Foera Era Waruwu P. C. (2023). Evaluasi dan Desain Pengembangan Infrastruktur Pengaliran Drainase Di Wilayah Ngagel Tirto Kota Surabaya, *Jurnal Penelitian Jalan dan Jembatan (2023),10.59900/ptrkjj.v3i1.134*