

TESIS

**ANALISIS PENAMBAHAN SISTEM POLDER PADA DAERAH
ALIRAN SUNGAI GONJOL DALAM UPAYA
MENANGGULANGI BANJIR DI KECAMATAN SAYUNG**

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



Disusun Oleh:

Lulu Isnaini Ija

NIM: 20201900029

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG

2022

LEMBAR PERSETUJUAN TESIS

**ANALISIS PENAMBAHAN SISTEM POLDER PADA DAERAH ALIRAN
SUNGAI GONJOL DALAM UPAYA MENANGGULANGI BANJIR DI
KECAMATAN SAYUNG**

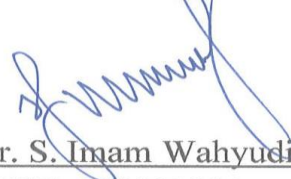
Disusun oleh :

**LULU ISNAINI IJA
NIM : 20201900029**

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Tanggal, 10 Agustus 2021


Pembimbing I,



Prof. Dr. Ir. S. Inam Wahyudi, DEA
NIK. 210291014

Tanggal, 10 Agustus 2021

Pembimbing II,



Dr. Henny Pratiwi Adi, ST., MT
NIK. 2102000030

HALAMAN PENGESAHAN TESIS

ANALISIS PENAMBAHAN SISTEM POLDER PADA DAERAH ALIRAN SUNGAI GONJOL DALAM UPAYA MENANGGULANGI BANJIR DI KECAMATAN SAYUNG

Disusun oleh:

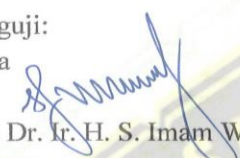
LULU ISNAINI IJA

NIM : 20201900029

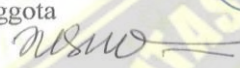
Dipertahankan Di Depan Tim Penguji Tanggal
(**Tanggal 11 Agustus 2022**)

Tim Penguji:

1. Ketua


(Prof. Dr. Ir. H. S. Imam Wahyudi, DEA)

2. Anggota


(Dr. Ir. H. Soedarsono, M.Si)

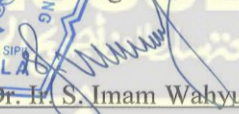
3. Anggota


(Dr. Abdul Rochim, ST.,MT)

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

Semarang, 26 Agustus 2022

Mengetahui
Ketua Program Studi


Prof. Dr. Ir. S. Imam Wahyudi, DEA
NIK. 210291014

Mengesahkan,
Dekan Fakultas Teknik


Ir. H. Rachmat Mujiyono, MT., Ph.D
NIK. 210293018

MOTTO

“ Bukan berhasil melainkan mencoba, karena didalam mencoba kita akan menemukan dan belajar membangun kesempatan untuk berhasil”

- Hamka -



HALAMAN PERSEMBAHAN

Sujud syukurku kusembahkan kepada-Mu ya Allah, Tuhan Yang Maha Agung dan Maha Tinggi. Atas takdirmu saya bisa menjadi pribadi yang berpikir, berilmu, beriman dan bersabar. Semoga keberhasilan ini menjadi satu langkah awal untuk masa depanku, dalam meraih cita-cita saya.

Dengan ini saya persembahkan Tesis ini untuk:

1. Allah SWT, karena tanpa ridlo-Nya saya tidak akan mampu untuk menyelesaikan Tesis ini.
2. Kedua orang tua saya, yang selalu mendukung saya baik dalam bentuk moril maupun materil.
3. Mas dan kakak yang memotivasi saya untuk terus semangat dan mendukung dalam menyelesaikan tesis ini.
4. Kedua pembimbing saya, yang dengan sabar membimbing dan memberi saran terbaik untuk tesis ini.
5. Teman – teman saya, yang menjadi tempat sharing membahas tesis ini dan yang menjadi support saya setiap hari.
6. Dan terakhir untuk saya sendiri, “ Terima kasih “

Abstrak

Banjir adalah salah satu bencana alam yang sering terjadi di Indonesia. Satu dari banyak wilayah yang menjadi langganan banjir adalah Kecamatan Sayung. Salah satu sungai yang menjadi penyebab banjir di Kecamatan Sayung adalah Sungai Gonjol dimana selain berfungsi sebagai penampungan air yang berasal dari curah hujan juga berperan dalam menampung air saat terjadi pasang. Tujuan analisis penambahan sistem polder pada DAS Gonjol adalah untuk menanggulangi banjir saat terjadi pasang. Simulasi pengendalian banjir ini menggunakan Hidrograf banjir dengan periode ulang 20 Tahun. Sistem drainase polder dianalisis dengan menggunakan perangkat lunak EPA-SWMM. Analisis hidrolika yang dilakukan adalah simulasi aliran hujan pada kondisi air pasang tanpa sistem polder dan dengan penambahan sistem polder. Hasil dari penelitian ini didapat debit banjir kala ulang pada DAS Gonjol adalah Q2 (43,77 m³/det), Q5 (51,73 m³/det), Q10 (55,95 m³/det), Q20 (59,40 m³/det), Q50 (63,23 m³/det), Q100 (65,869 m³/det). Pada simulasi dengan penambahan sistem polder muka air rata rata lebih kecil dibandingkan tanpa adanya sistem polder. Untuk mengalirkan debit banjir kala ulang 20 Tahun dibutuhkan pompa dengan kapasitas 16m³/detik untuk mengalirkan debit banjir dan membutuhkan pompa kapasitas 6m³/detik dengan penambahan sistem polder dan kolam penampungan alami . Dengan perencanaan yang baik sistem polder dapat dipakai untuk menanggulangi banjir di Kecamatan Sayung.

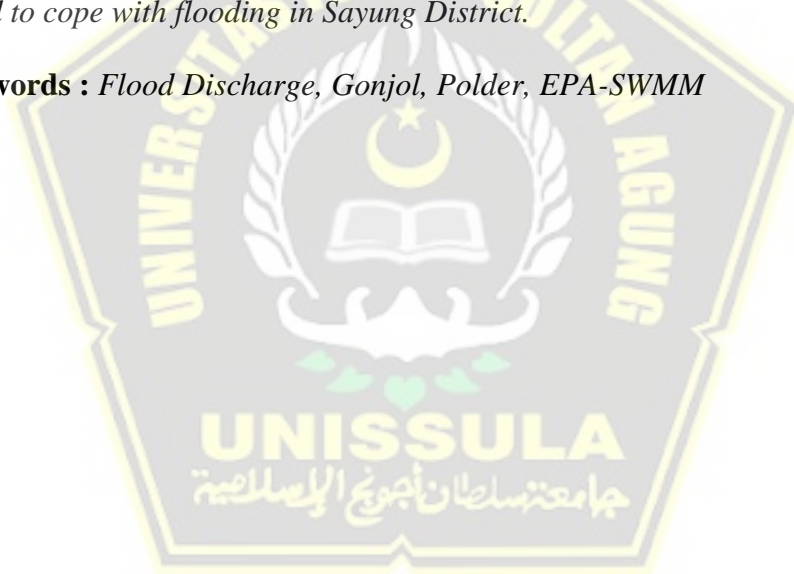
Kata kunci: *Debit Banjir, Gonjol, Polder, EPA-SWMM*



Abstract

Floods are one of the natural disasters that often occur in Indonesia. One of the many areas that are subject to flooding is Sayung District. One of the rivers that cause flooding in Sayung District is the Gonjol River, which in addition to functioning as a reservoir for water from rainfall, Gonjol River also plays a role in storing water during high tides. The purpose of the analysis of adding a polder system to the Gonjol watershed is to cope with flooding during high tides. This flood control simulation uses a flood hydrograph with a return period of 20 years. The polder drainage system was analyzed using the EPA-SWMM software. The hydraulics analysis carried out is a simulation of rain flow at high tide conditions without a polder system and with the addition of a polder system. The results of this study obtained that the return flood discharge in the Gonjol watershed is Q2 (43.77 m³/s), Q5 (51.73 m³/s), Q10 (55.95 m³/s), Q20 (59.40 m³/s), Q50 (63.23 m³/s), Q100 (65.869 m³/s). In the simulation with the addition of a polder system, the average water level is smaller than without the polder system. To drain the flood discharge at the 20-year return period, a pump with a capacity of 16m³/second is needed and Simulation with the addition of polder system and natural pond, a pump with capacity of 6m³/second is needed. With good planning, the polder system can be used to cope with flooding in Sayung District.

Key words : Flood Discharge, Gonjol, Polder, EPA-SWMM



SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Lulu Isnaini Ija

NIM : 20201900029

Dengan ini saya menyatakan bahwa Tesis yang berjudul:

ANALISIS PENAMBAHAN SISTEM POLDER PADA DAERAH ALIRAN SUNGAI GONJOL DALAM UPAYA MENANGGULANGI BANJIR DI KECAMATAN SAYUNG

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 dengan aturan yang berlaku.

Semarang, Agustus 2022



(Lulu Isnaini Ija)

KATA PENGANTAR

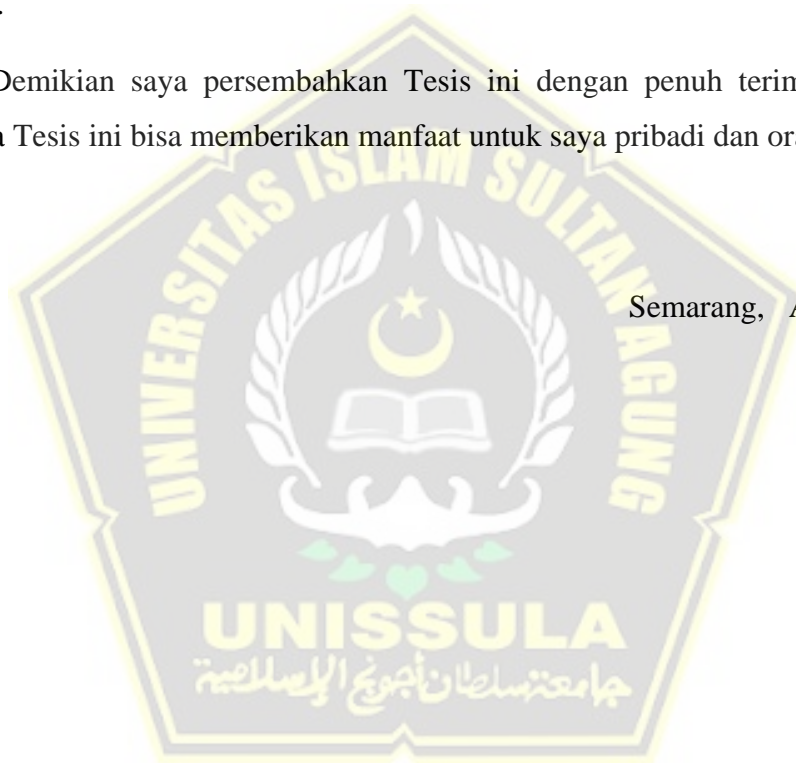
Segala puji syukur kita panjatkan kepada Allah SWT. Tuhan yang maha esa, karena atas berkat, rahmat dan hidayah-Nya lah saya dapat menyelesaikan Tesis ini.

Berikut saya sebagai penulis mempersembahkan sebuah Tesis dengan Judul “Analisis Penambahan Sistem Polder Pada Daerah Aliran Sungai Gonjol Dalam Upaya Menanggulangi Banjir Di Kecamatan Sayung”, yang saya harap bermanfaat bagi masyarakat untuk mengetahui manfaat dari adanya sistem polder. Tesis ini membahas tentang analisa debit banjir rencana dan analisa hidrolika pada DAS Gonjol.

Demikian saya persembahkan Tesis ini dengan penuh terima kasih dan semoga Tesis ini bisa memberikan manfaat untuk saya pribadi dan orang lain.

Semarang, Agustus 2022

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN TESIS	ii
LEMBAR PERSETUJUAN SEMINAR HASIL TESIS	iii
MOTTO	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
2.1. Latar Belakang	1
2.2. Rumusan Masalah	2
2.3. Batasan Masalah	2
2.4. Tujuan Penelitian	3
2.5. Manfaat Penelitian	3
2.6. Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Banjir	5
2.1.1. Penyebab Banjir	5
2.1.2. Banjir Rob Kabupaten Demak	8

2.2.	Penanggulangan Banjir	9
2.3.	Sistem Polder	12
2.3.1.	Kolam Tampungan	13
2.3.2.	Gate Pump	14
2.3.3.	Pintu Air	15
2.3.4.	Pompa	16
2.4.	Hidrologi	18
2.4.1.	Dasar Dasar Hidrologi	18
2.5.	Analisis Intensitas Curah Hujan	23
2.5.1.	Analisis Intensitas Curah Hujan Dengan Distribusi Normal	24
2.6.	Analisis Debit Banjir Rencana	26
2.6.1.	Analisis Debit Banjir Rencana metode Gama I.....	26
2.7.	Permodelan Dengan Program Aplikasi	28
2.8.	Penelitian Terdahulu	30
	BAB III METODE PENELITIAN.....	36
3.1.	Pengertian Umum	36
3.2.	Data Penelitian	36
3.3.	Lokasi Penelitian	36
3.4.	Metode Pengumpulan Data	39
3.5.	Metode Analisis Data	39
3.6.	Bagan Alir Penelitian	40
	BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	42
4.1.	Gambaran Umum Lokasi Penelitian.....	42
4.2.	Analisis Hidrologi.....	44
4.2.1.	Menentukan Daerah Aliran Sungai	44
4.2.2.	Data Curah Hujan Maksimum	45
4.2.3.	Pengukuran Pola Sebaran (Uji Dispersi).....	46
4.2.4.	Perhitungan Curah Hujan Rencana	47

4.2.5. Analisis Intensitas Hujan	49
4.2.6. Perhitungan Debit Banjir Rencana	51
4.3. Analisis Hidrolika.....	53
4.3.1. Simulasi kondisi air pasang dengan pengaruh pasang surut	53
4.3.2. Simulasi dengan penambahan sistem polder dan Kolam alami	63
KESIMPULAN DAN SARAN	79
DAFTAR PUSTAKA	x



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Nilai Standar Variabel.....	25
Tabel 2.2.	Penelitian Terdahulu	30
Tabel 4.1.	Data Curah Hujan Bulanan Maksimum	45
Tabel 4.2.	Uji disperse curah hujan.....	46
Tabel 4.3.	Parameter hasil uji disperse curah hujan.....	47
Tabel 4.4.	Jenis distribusi.....	47
Tabel 4.5.	Analisis data hujan frekuensi Metode Normal.....	48
Tabel 4.6.	Nilai Standar Variabel Reduksi Gauss.....	48
Tabel 4.7.	Nilai hujan rancangan	49
Tabel 4.8.	Rekapitulasi Perhitungan Intensitas Hujan	50
Tabel 4.9.	Koefesien Pengaliran (C)	52
Tabel 4.10.	Debit banjir rencana metode rasional.....	52
Tabel 4.11.	Data Input Subcatchment Area	55
Tabel 4.12.	Data input junction	56
Tabel 4.13.	Data kekerasan manning	57
Tabel 4.14.	Rencana dimensi penampang saluran	58
Tabel 4.15.	Nilai hujan rancangan	59
Tabel 4.16.	Data pasang surut 21 Desember 2021	60
Tabel 4.17.	Elevasi muka air banjir	61
Tabel 4.18.	Data input Subcatchment area.....	65
Tabel 4.19.	Data Input Junction	66

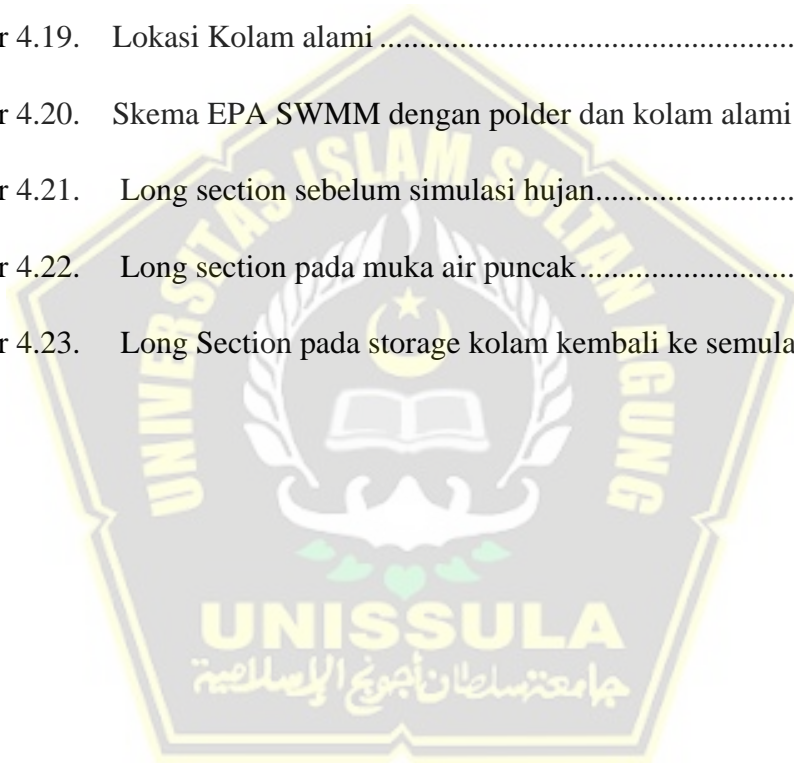
Tabel 4.20.	Data kekerasan manning	67
Tabel 4.21.	Rencana Dimensi Penampang Saluran	68
Tabel 4.22.	Intensitas Hujan kala ulang 20 Tahun.....	68
Tabel 4.23.	Hubungan antara kedalaman dan luas storage	69
Tabel 4.24.	Hasil Program Epa Swmm	72
Tabel 4.25.	Rekomendasi Dimensi Penampang Saluran	73
Tabel 4.26.	Tabel Output Hasil Program Epa Swmm.....	76



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Komponen Sistem Polder	13
Gambar 2.2.	Kurva Hubungan Volume Tampungan Kolam	14
Gambar 2.3.	Bangunan Pintu Air.....	16
Gambar 2.4.	Metode Poligon Theissen	28
Gambar 2.5.	Metode Kurtosis	23
Gambar 2.6.	Sketsa Penetapan WF dan Rua	28
Gambar 2.7.	Hidrograf Satuan Metode Gama I	28
Gambar 2.8.	Software SWMM	31
Gambar 3.1.	Peta Administrasi Kecamatan Sayung	37
Gambar 3.2.	Skema Sungai dan Saluran Sayung.....	38
Gambar 3.3.	Bagan Alir Metodologi	41
Gambar 4.1.	Drainase yang sudah tidak mampu menampung debit air.....	42
Gambar 4.2.	Peta Administrasi Kabupaten Demak	43
Gambar 4.3.	Wilayah DAS Kali Gonjol	45
Gambar 4.4.	Grafik intensitas Hujan	51
Gambar 4.5.	Pembagian Sub Das Gonjol	53
Gambar 4.6.	Skema DAS Gonjol dengan pengaruh pasang surut	54
Gambar 4.7.	Contoh input data Subcatchment.....	56
Gambar 4.8.	Contoh input data Time Series	60
Gambar 4.9.	Long section hasil program Epa SWMM	62
Gambar 4.10.	Subsistem Drainase Gonjol	63

Gambar 4.12.	Contoh input data Subcatchment.....	64
Gambar 4.13.	Gambar input data pada storage curve	70
Gambar 4.14.	Gambar view penampang storage	70
Gambar 4.15.	Input kapasitas pompa pada Program Epa SWMM	71
Gambar 4.16.	Long Section hasil pada jam 22.00	73
Gambar 4.17.	Long Section saluran drainase debit puncak.....	74
Gambar 4.18.	Long Section saat storage sudah kosong.....	75
Gambar 4.19.	Lokasi Kolam alami	75
Gambar 4.20.	Skema EPA SWMM dengan polder dan kolam alami.....	76
Gambar 4.21.	Long section sebelum simulasi hujan.....	77
Gambar 4.22.	Long section pada muka air puncak.....	77
Gambar 4.23.	Long Section pada storage kolam kembali ke semula	78



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Salah satu bencana serius bagi umat manusia di seluruh dunia adalah Banjir, baik dari dulu sekarang maupun yang akan datang banjir merupakan masalah bersama. Banjir ini bisa diakibatkan dari peristiwa alam atau dari aktifitas dan kegiatan manusia dan bahkan bisa diakibatkan keduanya yaitu oleh alam dan manusia. Di Indonesia, dua pertiga dari kerugian semua bencana alam yang terjadi yaitu dikarenakan kerusakan akibat banjir (Direktorat Sungai 1994). Lebih dari 300 kejadian bencana banjir terjadi menggenangi 150.000 ha dan merugikan banyak orang dalam satu tahunnya. Saat ini bencana banjir terus bertambah banyak baik itu di perkotaan ataupun di pedesaan. (Kodoatie, 2013)

Satu dari banyak wilayah di Indonesia yang menjadi lokasi rawan banjir adalah Pesisir Kabupaten Demak khususnya Kecamatan Sayung. Dampak terparah diakibatkan banjir yaitu terjadinya genangan 6-8 jam setiap harinya, dan semakin parah tiap tahunnya disertai kenaikan muka air laut atau yang disebut dengan banjir rob. Banjir rob memberikan dampak serius untuk penghuni sekitar yaitu abrasi pada bibir pantai, sehingga menjadikan cekungan pada bibir pantai semakin mendekat ke daratan. Dampaknya mempengaruhi peta pantai Kabupaten Demak. Dengan adanya banjir rob kehidupan masyarakat ikut terpengaruh akibat dari dampak beradaptasi dengan kondisi banjir Rob . (Desmawan, 2012)

Dengan adanya kenaikan muka air laut sebagai efek pemanasan global, diprediksi dimasa yang akan datang banjir rob akan semakin besar. Banjir rob juga akan semakin parah dengan adanya banjir kiriman, dan banjir lokal yang menyebabkan genangan banjir akibat saluran drainase yang kurang baik. Terlebih lagi dengan terjadinya *land subsidence* dengan kisaran 4 – 10 cm per tahunnya yang menyebabkan banjir di Wilayah Kecamatan Sayung semakin parah.

Salah satu penyumbang terjadinya banjir di Kecamatan Sayung adalah tidak mampunya sungai Gonjol dalam menampung debit banjir. Dimana Sungai Gonjol merupakan satu dari beberapa sungai yang berada di Kecamatan Sayung yang mempunyai peran sangat penting selain sebagai saluran drainase penampung air hujan juga sebagai penampung air saat terjadi air pasang atau Rob. Salah satu alternatif penanganan yang bisa dilakukan untuk mengatasi ketidakmampuan Sungai Gonjoldalam menampung debit banjir yaitu dengan menerapkan system polder. Penelitian ini diperlukan untuk mengkaji apakah sistem polder dapat diterapkan di lokasi tersebut, dan bisa diterapkan untuk pengendalian banjir.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah untuk penelitian ini adalah sebagai panduan ataupun acuan agar materi yang dibahas jelas dan terarah. Beberapa rumusan masalah dalam tesis ini diantaranya:

1. Berapa debit banjir rencana untuk kala ulang 2, 5,10,20, 50 dan 100 tahun.
2. Bagaimana perbedaan simulasi hidrolika pada saluran dengan untuk beberapa kondisi berikut :
 - Kondisi saluran dipengaruhi pasang surut air laut.
 - Kondisi saluran dengan penambahan sistem polder berupa kolam retensi dan pompa
 - Kondisi saluran dengan penambahan sistem polder berupa kolam retensi, pompa dan kolam alami.

1.3. Batasan Masalah

Untuk membatasi materi agar tidak keluar dari jalur, dibuatlah batasan masalah. Batasan masalah dalam tesis ini adalah :

1. Kegiatan peninjauan dilakukan pada area Sungai Gonjol di Kecamatan Sayung, Kabupaten Demak yang masuk wilayah kerja Balai Besar Wilayah Sungai Pemali Juana, Direktorat Jendral Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

2. Masalah yang dibahas dalam tesis ini hanya pada perbandingan kemampuan menampung debit banjir saat sebelum dan sesudah penerapan system polder. (Kolam Retensi, pompa, pintu air dll)
3. Penelitian ini hanya menganalisis Hidrologi menggunakan software Excel dan hidrolika menggunakan bantuan Software dan EPA SWMM.
4. Pada Simulasi hidrolika kondisi pasang surut tidak memperhitungkan *land subsidence*
5. Simulasi debit saluran pada kondisi tanpa sedimen.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui besaran debit banjir rencana pada Sungai Gonjol
2. Mengetahui Analisis hidroulika pada Saluran Daerah Aliran Sungai Gonjol untuk beberapa kondisi berikut:
 - Kondisi saluran dipengaruhi pasang surut air laut.
 - Kondisi saluran dengan penambahan sistem polder berupa kolam retensi dan pompa
 - Kondisi saluran dengan penambahan sistem polder berupa kolam retensi, pompa dan kolam alami.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Sebagai bahan perbandingan dan evaluasi proyek mengenai pengaruh penambahan sistem polder dalam menanggulangi bencana banjir di daerah Kecamatan Sayung Khususnya Sungai Gonjol.
2. Sebagai sumber ilmu pengetahuan untuk khalayak umum sehingga dapat dijadikan referensi dalam pembangunan sistem penanggulangan Banjir di Kecamatan Sayung.

1.6. Sistematika Penulisan

1. BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, permasalahan, maksud, tujuan, batasan masalah dan manfaat serta sistematika penyusunan laporan pada penelitian.

2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi penjelasan tentang landasan teori yang dipakai sebagai acuan dalam penelitian baik itu rumus empiris, literatur ataupun hasil yang dilakukan oleh para ahli yang berkompeten di bidangnya.

3. BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang metode penelitian (runtutan penelitian) yang digunakan sehingga mempermudah dalam melaksanakan penelitian yang dilakukan. Bab ini berisikan skema penelitian yang dimulai dari pengumpulan data – data baik data primer maupun data sekunder hingga analisis dan hasil.

4. BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menguraikan tahapan analisis yang dilakukan baik pengolahan data maupun hasil dari analisis tersebut dan juga memberikan ulasan terhadap hasil yang didapat serta rekomendasi berupa penanggulangan himbauan kepada pihak – pihak yang terkait.

5. BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan yang didapatkan dari hasil analisis yang dilakukan dan juga saran dari penelitian yang dilakukan yang nantinya dapat diperbaiki maupun disempurnakan dikemudian hari.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Banjir

Banjir adalah luapan sungai yang menggenangi tanah permukaan, hal ini disebabkan oleh beberapa factor diantaranya yaitu hujan deras atau banjir akibat kiriman dari daerah lain yang berada di tempat yang lebih tinggi dan luapan air laut yang menggenangi daratan akibat naiknya permukaan air laut. Satu dari negara - negara yang memiliki curah hujan yang tinggi adalah Indonesia, yang mana curah hujan di Indonesia berkisar antara 2000-3000 mm / tahun, menyebabkan banjir sering terjadi terutama pada musim hujan, antara bulan Oktober sampai Januari. Ada sekitar 600 sungai yang tersebar di wilayah Indonesia yang kondisinya kurang baik dan tidak dikelola dengan maksimal sehingga menyebabkan banjir (Bakornas:2007).

2.1.1. Penyebab Banjir

Berdasar hasil pengamatan, banjir dapat dibagi menjadi dua katagori yaitu banjir yang diakibatkan alami dan banjir akibat aktivitas manusia. (Sebastian, 2008)

1. Penyebab Banjir Secara Alamai

a. Curah Hujan

Indonesia mempunyai dua musim sepanjang tahun karena beriklim tropis, yakni musim penghujan yang terjadi antara bulan Oktober–Maret dan musim kemarau yang terjadi antara bulan April hingga September. Pada musim hujan, curah hujan yang tinggi berakibat banjir di sungai dan bila melebihi dari tanggul sungai maka akantimbul banjir atau genangan.

b. Pengaruh Fisiografi

Fisiografi atau geografi fisik sungai seperti bentuk, kemiringan lereng dan fungsi dari aliran sungai (DAS), kemiringan sungai, geometrik hidrolis (penampang seperti lebar, kedalaman, potongan memanjang, material dasar sungai), letak sungai dan lain- lain merupakan hal-hal yang dapat mempengaruhi terjadinya banjir.

c. Erosi dan Sedimentasi

Erosi di DAS berpengaruh terhadap berkurangnya kapasitas penampang sungai. Erosi menjadi problem untuk di sebagian besar sungai-sungai di Indonesia. Besarnya sedimentasi akan mengurangi kapasitas dari saluran sehingga menyebabkan limpasan dan timbul genangan banjir di sungai. Sedimentasi juga merupakan masalah besar pada sungai-sungai di Indonesia. Menurut Rahim (2000), erosi tanah longsor (landslide) dan erosi pinggir sungai (stream bank erosion) memberikan sumbangan sangat besar terhadap sedimentasi yang ada di sungai-sungai, bendungan dan akhirnya ke laut.

d. Kapasitas Sungai

Pengurangan kapasitas sungai dalam menampung aliran banjir di sungai dapat disebabkan oleh pengendapan yang berasal dari erosi DAS dan erosi tanggul sungai yang berlebihan. Sedimentasi sungai kerap kali terjadi karena kurangnya ataupun tidak adanya vegetasi penutup dan disebabkan penggunaan lahan yang kurang tepat, diaman hal ini menjadi penyebab terjadinya gradasi dan pendangkalan pada sungai, yang mana dapat menyebabkan berkurangnya kapasitas tampungan sungai. Efek langsung dari fenomena ini yaitu meluapnya air dari alur sungai keluar dan menyebabkan banjir.

e. Kapasitas Drainase

Kapasitas drainase yang tidak memadai dikota kota dikarenakan mempunyai drainase daerah genangan yang tidak memadai, menyebabkan kota-kota tersebut sering menjadi langganan banjir dimusim hujan.

f. Pengaruh Air Pasang Laut

Pengaruh air pasang Air pasang laut dapat memperlambat aliran sungai kelaut. Pada waktu banjir terjadi bersamaan dengan air pasang yang tinggi maka tinggi genangan atau banjir menjadi besar karena terjadi aliran balik (backwater). Fenomena genangan air pasang (Rob) juga rentan terjadi di daerah pesisir sepanjang tahun baik di musim hujan dan maupun di musim kemarau.

2. Penyebab Banjir Akibat Aktifitas Manusia

a. Perubahan Kondisi DAS

Perubahan kondisi DAS seperti penggundulan hutan, perluasan kota, usaha pertanian yang kurang tepat, dan perubahan tata guna lainnya dapat memperburuk masalah banjir karena meningkatnya aliran banjir. Dari persamaan-persamaan yang ada, perubahan tata guna lahan ikut andil terhadap naiknya kuantitas dan kualitas banjir.

b. Kawasan Kumuh dan Sampah

Salah satu penghambat aliran adalah kawasan kumuh dan penumpukan sampah. Banjir diperkotaan bisa disebabkan karena masalah penghambatan aliran. Muka air banjir semakin tinggi diakibatkan kurangnya disiplin masyarakat dalam membuang sampah pada tempatnya dan kurangnya sanksi tegas terhadap mereka yang melanggar.

c. Drainase Lahan

Drainase perkotaan dan pengembangan lahan pertanian pada daerah bantaran banjir akan mengurangi kemampuan bantaran dalam menampung debit air yang tinggi sehingga mengakibatkan banjir.

d. Kerusakan Bangunan Pengendali Air.

Kerusakan bangunan pengendali air dan pemeliharaan yang kurang memadai pada bangunan pengendali banjir dapat menimbulkan kerusakan di sistem dan akhirnya tidak berfungsi dapat meningkatkan kuantitas banjir.

e. Perencanaan Sistem Pengendalian Banjir Yang Tidak Tepat.

Beberapa sistimpengendalian banjir memang dapat mengurangi kerusakan akibat banjir kecil sampai sedang, tetapi juga dapat menambah kerusakan pada banjir- banjir yang besar. Semisal, pada bangunan tanggul sungai yang tinggi. Keruntuhan tanggul dapat terjadi karna limpasan pada tanggul ketika terjadi banjir yang melebihi banjir rencana. Hal ini mengakibatkan kecepatan aliran yang sangat besar melalui tanggul yang bobol sehingga menimbulkan banjir yang besar.

f. Rusaknya Hutan

Penebangan pohon, Rusaknya hutan (hilangnya vegetasi alami) dan tanaman oleh masyarakat secara liar (Illegal logging), lahan pertanian yang bergeser dan rebiosasi hutan untuk kepentingan bisnis dan sebagainya menjadi salah satu penyebab terganggunya siklus hidrologi dan menyebabkan terjadinya banjir.

2.1.2. Banjir Rob Kab. Demak

Banjir pesisir adalah banjir yang terjadi di daerah yang lebih rendah dari permukaan laut dan disebabkan oleh air laut pasang yang membanjiri daratan. Dalam kasus banjir rob di Kecamatan Sayung , hal ini telah terjadi cukup lama dan semakin parah naiknya permukaan laut akibat pemanasan global dan karena penurunan muka tanah. Banjir pesisir (rob) merupakan masalah utama di kota- dan kota-kota yang berada di pantai utara Jawa seperti kota Jakarta dan Semarang, yang mana akan menjadi masalah besar di masa depan terutama disertai dengan pemanasan global dan ekstraksi air tanah yang tidak terkendali yang mengakibatkan muka tanah mengalami penurunan (land subsidence). (Findayani, 2015).

Salah satu penyebab utama terjadinya banjir pasang di Kecamatan Sayung adalah permukaan tanah lebih rendah dibandingkan dengan ketinggian air pada saat terjadi pasang tertinggi muka air laut. Selain itu beberapa area pemukiman di pesisir Kecamatan Sayung jaraknya dekat dengan garis pantai, sehingga pada saat terjadinya pasang tertinggi maka area pemukiman tersebut akan tergenang banjir pasang. Banjir pasang dapat terjadi melalui sungai yang bermuara di laut, dimana

pada saat terjadi air laut sedang pasang, maka air laut akan masuk melalui sungai sehingga mengakibatkan air di sungai tersebut akan meluap. Luapan air laut pada saat pasang melalui sungai tersebut akan menggenangi kawasan pemukiman yang berada di sekitarnya dan mengakibatkan penurunan fungsi lahan terutama pada kawasan pemukiman (DKP, 2007).

2.2. Penanggulangan Banjir

Sebastian 2008, membagi cara penanggulangan menjadi beberapa cara seperti:

1. Perbaiki Saluran dan Perlindungan Vegetasi

Dasar sungai yang sudah dangkal akibat pengendapan harus dikeruk atau diperdalam sementara untuk batas tebing/tanggul sungai di kanan-kirinya harus pula diperlebar. Metode-metode ini meningkatkan kapasitas kemampuan dalam menampung kelebihan air dan mengurangi peluang melimpasnya air ke sekitar sungai. Sementara untuk kawasan/ daerah permukiman/ pusat perkotaan, kolam-kolam retensi dan saluran buatan (drainase) harus dipelihara dan dijaga kebersihannya. Tingginya sedimentasi dan sampah juga menjadi salah satu faktor utama penyebab banjir perkotaan. Hilangnya vegetasi seperti pepohonan dan kawasan hijau harus segera ditanggulangi dengan kegiatan perlindungan vegetasi dan penghijauan. Hal ini bertujuan untuk menjaga berlanjutnya siklus hidrologi.

2. Konstruksi Bendungan / Tanggul Yang Aman

Bendungan adalah suatu konstruksi untuk membuat waduk (storage) yang mampu menyimpan cadangan air limpasan dan juga melepaskannya dengan tingkat yang masih bisa dikelola dan direncanakan sebelumnya. Pembangunannya harus memperhatikan batas tertinggi permukaan air pada waktu terjadinya banjir sehingga elevasi puncak / mercu bendungan atau tanggul berada di atas angka batas keamanan. Ketika banjir ternyata lebih tinggi dibandingkan bendungan maka akan terjadi limpasan over-topping yang bisa menyebabkan jebolnya tanggul / bendungan, bahayanya justru lebih besar ketimbang kalau tanpa ada bendungan. Jadi bila

konstruksi tanggul dan bendungan tidak dirancang dengan baik, maka tidak bisa dijamin keamanannya, karena dampak banjir akan parah sewaktu

bendungan jebol. Penguatan bangunan yang sudah ada perlu dilakukan dengan melakukan perawatan secara berkala. Pemilik bangunan bisa mengusahakan mengurangi risiko kerusakan dengan cara memperkuat konstruksi struktur bangunannya untuk menahan hantaman dan terjangan air. Bangunan baru harus mempunyai pondasi yang kuat dan tidak mudah keropos atau longsor dan memiliki daya dukung yang kuat. Perlindungan dari pengikisan tanah merupakan hal yang penting saat menghadapi bencana banjir, seperti didasar sungai sebaiknya distabilkan dengan membangun 'alas batu' atau beton yang kuat, atau menanami bantaran disamping kiri dan kanan dengan pepohonan, khususnya bila terletak dekat jembatan. Sedangkan pada lokasi rawan banjir atau sekitar sungai dapat diperbaiki dengan cara meninggikan dan melebarkan tanggul. Ini akan efektif untuk lokasi bangunan. Sedangkan untuk mencegah ataupun mengurangi sedimentasi pada waduk yaitu dengan dibuatnya beberapa cek-dam di daerah hulu sungai dan daerah-daerah rawan erosi, serta ditingkatkannya penanaman kembali dan perlindungan hutan.

3. Partisipasi Aktif Masyarakat

Peran serta masyarakat diperlukan dalam meminimalisir bencana banjir. Oleh karena itu diperlukan beberapa pendekatan, antara lain:

- a. Peringatan tentang bahaya banjir yang disebarkan di tingkat desa/kalurahan
- b. Kerja bakti untuk membersihkan dasar dan tebing sungai, serta kotoran yang dapat menghambat saluran air, membangun tanggul dengan karungkarung pasir atau bebatuan, menanami pohon di bantaran sungai (penghijauan).
- c. Rencana pemulihan pertanian setelah terjadinya banjir, dengan menyimpan benih dan persediaan lain di tempat yang paling aman dan ini dijadikan tradisi masyarakat.
- d. Perencanaan cadangan air bersih dan pangan seandainya bencana memaksa pengungsian.

Program-program untuk meningkatkan kesadaran masyarakat tentang bahaya banjir, meliputi :

- a. Perencanaan pasokan air bersih dan pangan apabila terjadi bencana dan memaksa dilakukan pengungsian.
- b. Penjelasan tentang pola-pola siklus hidrologi dan fungsi-fungsi
- c. bantaran sungai dan jalur banjir.
- d. Identifikasi bahaya rawan banjir,
- e. Mendorong masyarakat untuk mempertahankan serta memperbaiki bangunan airnya masing masing sehingga mengurangi biaya perawatan yang besar.
- f. Meningkatkan kesadaran penduduk tentang arti penting rencana dan pelatihan penanggulangan serta pengungsian saat sebelum dan sesudah terjadinya banjir.
- g. Mendorong perorangan dalam mencegah dan penanggulangan banjir dalam kehidupan masyarakat sehari-hari.
- h. Para petani pada kenyataannya dituntut untuk peduli pada dampak lingkungan, jangan menggunduli hutan dan hulu sungai harus dipelihara dan dijaga.

4. Langkah Langkah dan Rencana

Rencana utama adalah dasar yang memberi aparat setempat serta para pengembang dan pemilik lahan dapat bertukar informasi pokok menyangkut jalur banjir dan apa saja yang bisa dilakukan untuk mencegah dan menanggulangi dampak bencana banjir. Selain pengaturan tata guna tanah, rencana utama ini harus meliputi juga program informasi masyarakat. Untuk mengembangkannya diambil langkah-langkah sebagai berikut :

- a. Mempelajari Peta dengan akurat daerah itu.
- b. Mengembangkan daur air (hidrologi) bagi beberapa daerah banjir yang sudah pernah terjadi sepanjang 100 tahun terakhir.

- c. Penetapan jalur banjir berdasarkan seringnya terjadi banjir dan meneliti kondisi fisik saluran air yang sudah ada.
- d. Perkiraan besar kerugian akibat terjadinya banjir dengan berbagai kekerapan dan mengembangkan catatan seringnya banjir terjadi dan kerusakan yang ditimbulkan dengan basis tahunan.
- e. Persiapan perencanaan awal dan rancangan biaya bagi alternatif – alternatif lain.
- f. Menentukan kerusakan yang mungkin terjadi akibat banjir untuk tiap alternatif.
- g. Melengkapi analisis kelayakan bagi tiap alternatif.
- h. Meninjau kembali tiap alternatif dengan mempertimbangkan berbagai faktor seperti politik, peluang dan lingkungan hayati.

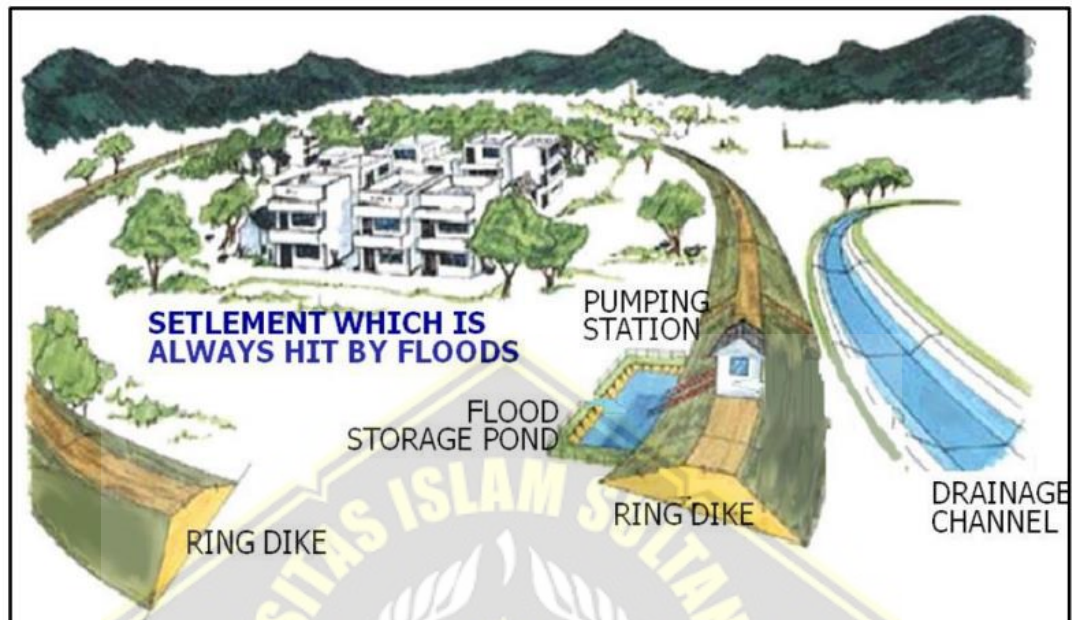
2.3. Sistem Polder

Polder adalah sekumpulan dataran rendah yang membentuk kesatuan hidrologis artifisial yang dikelilingi oleh tanggul (dijk/dike). Pada daerah polder, air buangan (air kotor dan air hujan) dikumpulkan di suatu badan air (sungai, situ) lalu dipompakan ke sungai atau kanal yang langsung bermuara ke laut. Tanggul yang mengelilingi polder bisa berupa pemadatan tanah dengan lapisan kedap air, dinding batu, bisa juga berupa konstruksi beton dan perkerasan yang canggih. Polder juga bisa diartikan sebagai tanah yang direklamasi, artinya semula basah dikeringkan. (Wahyudi dkk. 2016)

Drainase sistem polder digunakan dalam kondisi sebagai berikut:

1. Ketinggian / elevasi muka tanah lebih rendah dari elevasi muka air laut pasang.
2. Ketinggian / elevasi muka tanah lebih rendah dibandingkan elevasi muka air banjir sungai yang mana merupakan outlet dari saluran drainase kota.
3. Daerah yang mengalami penurunan (land subsidence) sehingga permukaan tanah yang semula lebih tinggi dari muka air laut pasang atau muka air banjir di sungai menjadi lebih rendah.

Sistem polder terdiri dari beberapa komponen yang membentuk satu kesatuan yang menunjang keberhasilan sistem drainase. Gambar 2.1 menampilkan gambar komponen komponen sistem polder.

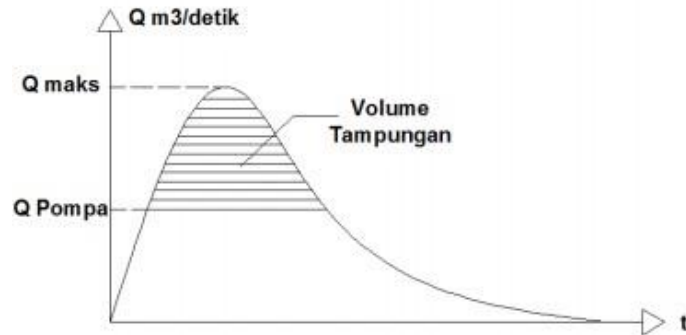


Gambar 2.1 Komponen Sistem Polder

Sumber : Wahyudi S. Imam dan Henny Pratiwi A, 2016

2.3.1 Kolam Tampung

Kesesuaian antara aliran masuk (hidrograf banjir) yang masuk ke kolam ditentukan berdasarkan volume dan kapasitas tampungan kolam dan pompa, kapasitas pompa dan volume kolam tampungan seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Volume tampungan kolam berdasarkan kapasitas pompa dan debit

$$S = \left[\frac{I_j + I_{j+1}}{2} \right] \times \Delta t + \left[\frac{O_j + O_{j+1}}{2} \right] \times \Delta t \dots\dots\dots(2.1)$$

- S = volume tampungan (m³)
- I_j = inflow (debit banjir) pada langkah penelusuran ke j (m³/detik)
- I_{j+1} = inflow (debit banjir) pada langkah penelusuran ke j + 1 (m³/detik)
- O_j = outflow (debit pompa) pada langkah penelusuran ke j (m³/detik)
- O_{j+1} = outflow (debit pompa) pada langkah penelusuran ke j + 1 (m³/detik)
- Δ t = selang waktu (detik)

2.3.2 Gate Pump

Gate pump merupakan hal yang perlu diperhatikan selain kolam retensi selain kolam retensi dalam sistem polder. Sistem gate pump terdiri dari pintu air yang dilengkapi dengan pompa dimana pompa terintegrasi dengan pintu air. Pompa submersible dipasang pada pintu air yang mana bahwa fungsi dari pintu air dapat dikombinasikan dengan fungsi stasiun pompa. Beberapa keunggulan dari sistem gate pump adalah:

1. Kebutuhan lahan lebih sedikit karena tidak memerlukan rumah pompa
2. Operasi lebih sederhana karena pompa sudah terintegrasi dengan pintu
3. Biaya perawatan rendah karena instalasi yang lebih sederhana.

2.3.3 Pintu Air

Pintu air merupakan bangunan melintang memotong tanggul sungai yang berfungsi sebagai pengatur aliran air untuk pembangunan (drainase), penyadapan, dan pengatur lalu lintas air. Pintu air sebagai penyadap berfungsi untuk mengontrol besarnya debit air yang dialirkan ke dalam system saluran air, sehingga pintunya dapat diatur sesuai debit yang telah direncanakan, sebagai pengatur lalu lintas air, pintu air selalu dibuka dan di tutup secara periodik sebagai lalu lintas pelayaran kapal (Sosrodarsono dkk, 1994)

Menurut Soediby (1993), bagian – bagian yang penting dari pintu air antara lain :

1. Daun pintu (gate leaf). Adalah bagian dari pintu air yang menahan tekanan air dan dapat digerakkan untuk mengatur, membuka dan menutup aliran air, pada pintu air yang berat dapat memakai roda – roda (roller) agar gerakannya menjadi ringan.
2. Rangka pengatur gerakan (guide frame). Adalah alur dari besi baja atau yang dipasang masuk ke dalam beton yang dipakai untuk menjaga agar gerakan dari daun pintu sesuai dengan yang direncanakan, agar tidak ada rembesan air maka dipakaikan lapisan penutup (seal) yang kuat dan rapat.
3. Angker (anchorage). Adalah besi atau bja yang ditanam ke dalam beton dan digunakan untuk menahan rangka pengatur arah gerakan agar dapat memindahkan muatan dari pintu air ke dalam konstruksi beton.
4. Hoist. Adalah alat untuk menggerakkan daun pintu air agar dapat dibuka dan ditutup dengan mudah.



Gambar 2.3. Bangunan Pintu Air

2.3.4 Pompa

Pompa adalah suatu peralatan mekanik fluida yang memiliki fungsi memindahkan atau menaikkan fluida dengan cara mendorong fluida langsung secara mekanik, atau dengan cara mengubah energi mekanik menjadi energi tekan atau energi kinetik fluida yang dapat menghisap fluida dari satu tempat dan memancarkannya ke tempat yang diinginkan.

Pada pompa dengan cara kerja mengubah energi mekanik menjadi energi tekan fluida, perubahan energi tersebut dapat dilakukan dengan beberapa cara, antara lain:

1. Mengubah energi mekanis dengan menggunakan alat semacam sudu atau impeller dengan bentuk tertentu.
2. Dengan menggunakan gerak bolak-balik piston atau semacamnya
3. Dengan penukaran 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 pompajet.

4. Dengan menggunakan udara atau gas bertekanan tinggi yang diinjeksikan ke dalam suatu saluran yang berisi fluida yang dipompa.

Penghisapan fluida pada sisi hisap (suction) pompa dilakukan elemen pompa dengan menurunkan 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. Selanjutnya elemen pompa akan mendorong fluida atau memberikan tekanan terhadap fluida sehingga fluida tersebut akan mengalir dari ruang pompa ke dalam saluran tekan (discharge) melalui lubang tekan.

Kriteria Teknis Pompa Drainase Dalam merencanakan sistem pompa drainase diperlukan pemahaman atas beberapa hal yang meliputi 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).

2.3.4.1 Debit Aliran yang dipompa dan Debit Pompa

untuk mendapatkan desain hidrograf banjir maka dilakukan analisis dan perhitungan debit aliran menggunakan metodologi desain standar untuk pengoperasian pompa dari sistem drainase utama. kapasitas pompa harus maksimal dalam perencanaannya, pompa dipasang maksimal diujung saluran. Apabila kolam penampung mempunyai dimensi besar dan merupakan bagian dari sistem pemompaan, maka yang perlu diperhatikan selain desain debit puncak adalah volume limpasan dan bentuk hidrograf untuk durasi hujan. Dalam merencanakan sistem pompa, prosedur routing harus digunakan. Prosedur routing memadukan tiga elemen (hidrograf inflow, ketinggian muka air di kolam penampung, dan debit pompa drainase) untuk mendapatkan ukuran pompa yang akan dipakai. Jika kolam penampungan bagian dari sistem tetapi kapasitas kolam penampung memiliki dimensi yang kecil maka proses routing tidak perlu dilakukan.

2.3.4.2 Kapasitas Pompa

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

$$Q/ = Q / (24 \times 3600 \times D) \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana:

Q/ = Kapasitas pompa drainase (m³/sec)

D = Lamanya genangan yang diperbolehkan (hari)

2.4. Hidrologi

Pengertian hidrologi menurut definisi Soemarto (1987), pengertian hidrologi adalah ilmu yang membahas karakteristik menurut waktu dan ruang tentang kuantitas dan kualitas air dibumi termasuk proses hidrologi, pergerakan, penyebaran, sirkulasi tampungan, eksplorasi, pengembangan dan manajemen. Menurut definisi Kodoatie (2001) dalam pengertian hidrologi yang mengatakan bahwa hidrologi adalah ilmu yang mempelajari tentang terjadinya pergerakan dan distribusi air di bumi baik diatas maupun di bawah permukaan bumi, tentang sifat kimia dan fisika air dengan reaksi terhadap lingkungan dan hubungannya dengan kehidupan. pengertian hidrologi adalah ilmu yang membicarakan tentang air yang ada dibumi yaitu mengenai kejadian, perputaran dan pembagiannya, sifat fisika dan kimia serta reaksinya terhadap lingkungan termasuk hubungan dengan kehidupan.

2.4.1. Dasar – Dasar Hidrologi

Analisis Hidrologi digunakan sebagai acuan dalam perencanaan desain bangunan utama maupun jaringan irigasi, analisis hidrologi yang diperhitungkan pada penelitian ini meliputi:

- Analisis Curah Hujan Rencana
- Analisis Debit Banjir Rencana

2.4.2. Analisis Curah Hujan Rencana

Tahapan analisis curah hujan adalah sebagai berikut:

- Pengumpulan Data

Data yang dibutuhkan didapatkan dari Dinas Pekerjaan Umum Sumber Daya Air dan Penataan Ruang Provinsi Jawa Tengah untuk selanjutnya dianalisis.

- Perhitungan Curah Hujan Bulanan Rata-rata

Perhitungan curah hujan bulanan rata-rata digunakan untuk perhitungan kebutuhan air irigasi.

$$SD = \text{Standar Deviasi} = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (2.3)$$

dimana:

x = Curah Hujan Bulanan (mm)

–

x = Curah Hujan Bulanan Rata-rata (mm)

Sd = Standard Deviasi

R5 bulanan = Curah Hujan Efektif 20% Kering Bulanan (mm) R5 bulanan =

$$\bar{x} + K \cdot SD ; K = -0,842$$

R5 harian = Curah Hujan Efektif 20% Kering Harian (mm)

$$R5 \text{ harian} = \frac{R5 \text{ bulanan}}{m} \quad m = \text{Jumlah Hari Dalam Satu Bulan}$$

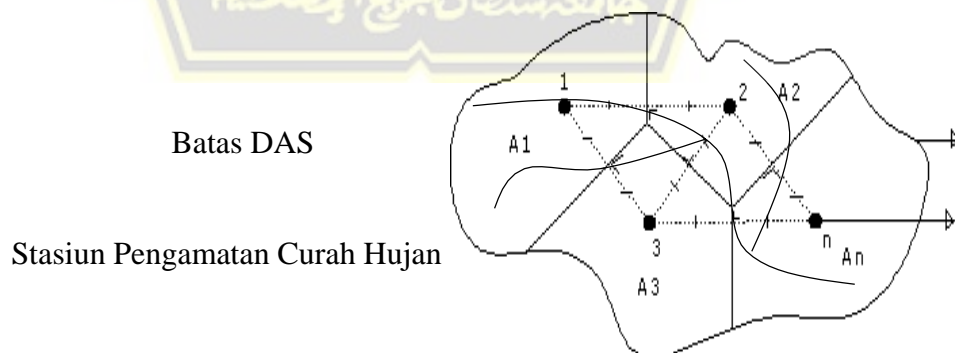
- Hujan Rata-Rata Kawasan

Hujan rerata merupakan wilayah yang dihitung dari dari beberapa titik hujan stasiun penakar hujan yang berpengaruh terhadap daerah aliran sungai. Salah satu metode yang digunakan untuk menghitung hujan wilayah/daerah adalah metode *polygon Thiessen*. Metode ini dikenal juga sebagai metode rata – rata timbang (*weighted mean*). Cara ini memberikan proporsi luasan daerah tangkapan air pengaruh pospenakar hujan untuk mengakomodasi ketidakseragaman jarak. Daerah pengaruh dibentuk dengan menggambarkan garis-garis sumbu tegak lurus terhadap garis

penghubung antara dua pos penakar terdekat. Diasumsikan bahwa jenis hujan antara pos yang satu dengan yang lain adalah linear dan sembarang pos dapat mewakili kawasan terdekat.

Hasil metode *poligon Thiessen* lebih akurat dibandingkan dengan metode Rata-rata Aljabar. Cara ini cocok untuk daerah datar dengan luas 500 - 5.000 km². Prosedur penerapan metode ini meliputi langkah – langkah sebagai berikut:

- Lokasi pos penakar hujan diplot pada peta DAS. Antar pos penakar dibuat garis penghubung.
- Tarik garis tegak lurus di tengah-tengah tiap garis penghubung sedemikian rupa, sehingga membentuk Poligon Thiessen. Semua titik dalam satu poligon akan mempunyai jarak terdekat dengan pos penakar yang ada di dalamnya dibandingkan dengan jarak terhadap pos lainnya. Selanjutnya, curah hujan pada pos tersebut dianggap representasi hujan pada kawasan dalam poligon yang bersangkutan.
- Luas area pada tiap-tiap poligon dapat diukur dengan planimeter dan luas total DAS, A, dapat diketahui dengan menjumlahkan semua luasan potongan.
- Hujan rata-rata DAS dapat dihitung dengan persamaan berikut:
Dimana P_1, P_2, \dots, P_n adalah curah hujan yang tercatat di pos penakar hujan 1, 2, ..., n. A_1, A_2, \dots, A_n adalah luas areal poligon 1, 2, ..., n. n adalah banyaknya pos penakar hujan. Contoh Poligon *Thiessen* dapat dilihat pada Gambar 2.4 berikut:



Gambar 2.4. Metode Poligon *Thiessen*

- Pengukuran Pola Sebaran (Uji Dispersi)

Setelah mendapatkan data curah hujan rata-rata dari beberapa stasiun yang berpengaruh di daerah aliran sungai, selanjutnya dianalisis secara statistik untuk mendapatkan pola sebaran yang sesuai dengan sebaran curah hujan rata-rata yang ada. Tidak semua varian dari suatu variabel hidrologi terletak atau sama dengan nilai rata-ratanya. Variasi atau dispersi menggambarkan bagaimana berpencarnya data kuantitatif yaitu besarnya derajat atau besaran varian di sekitar nilai rata-ratanya. Cara mengukur besarnya dispersi disebut pengukuran dispersi. Adapun cara pengukuran dispersi antara lain (Soewarno, 1995):

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

Berikut penjelasan cara pengukuran dispersi tersebut:

- Standar Deviasi (Sd)

Ukuran sebaran yang paling banyak digunakan adalah deviasi standar. Apabila penyebaran yang terjadi sangat besar terhadap nilai rata-rata maka nilai S_x akan besar, akan tetapi apabila penyebaran data sangat kecil terhadap nilai rata-rata maka hasilnya nilai S_x akan kecil. Jika dirumuskan dalam suatu persamaan adalah sebagai berikut:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (2.4)$$

dimana:

- S = Standar deviasi
- X_i = Curah hujan minimum (mm/hari)
- \bar{X} = Curah hujan rata-rata (mm/hari)
- n = Lamanya pengamatan

b) Koefisien Skewness

Kemencengan (*skewness*) adalah ukuran penyimpangan kesimetrian suatu distribusi. Jika dirumuskan dalam suatu persamaan adalah sebagai berikut:

$$C_S = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)s^3} \dots\dots\dots (2.5)$$

dimana:

CS = Koefisien kemencengan

Xi = Nilai variable

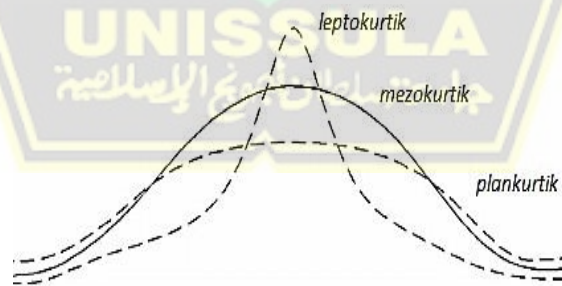
X = Nilai rata-rata

n = Jumlah data

Sx = Standar deviasi

c) Koefisien Kurtosis (Ck)

Kurtosis merupakan kepuncakan (*peakedness*) distribusi. Biasanya kurtosis dibandingkan dengan distribusi normal yang mempunyai $C_k = 3$ dinamakan mesokurtik, $C_k < 3$ berpuncak tajam dinamakan leptokurtik, sedangkan $C_k > 3$ berpuncak datar dinamakan plankurtik. Grafik metode *Kurtosis* dapat dilihat pada Gambar 2.5 berikut:



Gambar 2.5. Metode *Kurtosis* (Sumber: Soewarno,1995)

Rumus koefisien kurtosis adalah:

$$Ck = \frac{\frac{1}{n} \sum_{I=1}^n (Xi - \bar{Xi})^4}{S^4} \dots\dots\dots (2.6)$$

Ck = Koefisien kurtosis

Xi = Nilai variable

X = Nilai rata-rata

n = Jumlah data

Sx = Standar deviasi

d) Koefisien Variasi (Cv)

Koefisien variasi adalah nilai perbandingan antara deviasi standar dengan nilai rata-rata yang dapat dihitung hitung dari suatu distribusi. Koefisien variasi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$Cv = \frac{S}{\bar{X}_t} \dots\dots\dots (2.7)$$

dimana:

Cv = Koefisien variasi

S = Standar deviasi

X = Nilai rata-rata

2.5. Analisis Intensitas Curah Hujan

Rumus yang digunakan untuk menghitung intensitas curah hujan adalah persamaan Mononobe karena data curah hujan yang tersedia adalah data curah hujan harian. Dalam perhitungan intensitas hujan menggunakan data dari Pengujian Distribusi.

Persamaan Mononobe yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$R_1 = \frac{R_{24}}{t} \left(\frac{t}{T}\right)^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots(2.8)$$

di mana:

R1 = intensitas hujan rerata data T jam (%).

R24= curah hujan efektif dalam 1 (satu) hari.

t = waktu konsentrasi hujan > 6 (enam) jam.

T = waktu mulai hujan.

2.5.1. Analisis Intensitas Curah Hujan dengan 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. Nilai peluang untuk distribusi normal P(X) dapat ditentukan dengan rumus berikut:

$$P(X) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{x-\mu}{\sigma}\right]^2} \dots\dots\dots(2.9)$$

dimana:

P(X) = Fungsi densitas peluang Normal (Gauss)

X = Variabel acak kontinu.

μ = Rata-rata nilai X.

σ = Standar deviasi.

e = 2,71828.

Untuk analisis kurva normal cukup menggunakan parameter statistik μ dan σ. Bentuk kurvanya simetris terhadap X=μ, dan grafiknya selalu diatas sumbu datar X, serta mendekati (berasimut) sumbu datar X, dimulai dari X=μ+3σ dan X-3σ. Untuk menentukan periode ulangnya dapat digunakan persamaan umum:

$$XT = \bar{X} + k.S \dots\dots\dots(2.10)$$

dimana:

X_T = Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang T tahun

\bar{X} = Nilai rata-rata debit

S = Standar deviasi debit

k = Nilai standar variabel periode ulang *Gauss*.

Nilai standar variabel reduksi Gauss dapat dilihat pada Tabel 2.1. berikut:

Tabel 2.1. Nilai standar variabel reduksi Gauss

No.	Periode Ulang (Tahun)	Peluang	Faktor Frekuensi (k)
1	1,001	0,999	-3,05
2	1,005	0,995	-2,58
3	1,01	0,99	-2,33
4	1,05	0,95	-1,64
5	1,11	0,9	-1,28
6	1,25	0,8	-0,84
7	1,33	0,75	-0,67
8	1,43	0,7	-0,52
9	1,67	0,6	-0,25
10	2	0,5	0
11	2,5	0,4	0,25
12	3,33	0,3	0,52
13	4	0,25	0,67
14	5	0,2	0,84
15	10	0,1	1,28
16	20	0,05	1,64
17	50	0,02	2,05
18	100	0,01	2,33
19	200	0,005	2,58
20	500	0,002	2,88
21	1000	0,001	3,09

(Sumber: Suripin, 2003)

2.6. Analisis Debit Banjir Rencana

Untuk dapat menyusun suatu desain dari pengendalian banjir, salah satu faktor yang sangat penting adalah penentuan debit banjir rencana. Jika debit banjir rencana dihitung berdasarkan data hujan dan data karakteristik DAS, maka besarnya debit banjir rencana dapat dilakukan dengan metode empiris, metoda rasional atau metode analisis regresi (IOH).

Untuk pengecekan Bendung dengan berdasarkan hal tersebut, maka metode yang kami usulkan untuk dipakai adalah metode empiris, kecuali data debit lengkap (lebih dari 10 tahun).

2.6.1. Analisis Debit Banjir Rencana dengan Metode Gama I

Satuan hidrograf sintetik Gama I dibentuk oleh tiga komponen dasar yaitu waktu naik (TR), debit puncak (Qp) dan waktu dasar (TB) dengan uraian sebagai berikut:

Waktu Naik:

$$TR = 0,43 \left(\frac{L}{100 SF} \right)^3 + 1,0665 SIM + 1,2775 \dots\dots\dots(2.11)$$

Dengan:

TR = waktu naik (jam)

L = panjang sungai (km)

SF = sumber faktor yaitu perbandingan antara jumlah panjang sungai tingkat 1 dengan jumlah panjang sungai semua tingkat

SIM = faktor simetri ditetapkan sebagai hasil kali antara faktor lebar (WF) dengan luas relatif Daerah Aliran Sungai (DAS) sebelah hulu (RUA)

WF = faktor lebar yaitu perbandingan antara lebar wilayah subcatchment (DAS) yang diukur dari titik di sungai yang berjarak $\frac{3}{4}$ L dan lebar Daerah Aliran Sungai (DAS) yang di-ukur dari titik yang berjarak $\frac{1}{4}$ L dari titik tempat pengukuran

Debit Puncak:

$$Q_p = 0,1836 A^{0,5886} J_N^{0,2381} T_R^{-0,4008}$$

.....(2.12)

Dengan:

T_R = waktu naik (jam)

J_N = jumlah pertemuan sungai Waktu Dasar:

$$T_B = 27,4132 T_R^{0,1457} S^{-0,0956} S_N^{0,7344} RUA^{0,2574}$$

.....(2.13)

Dengan:

T_B = waktu dasar (jam)

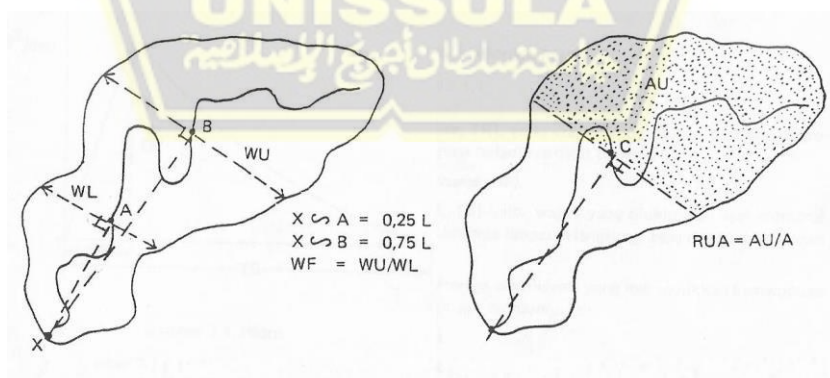
S = landai sungai rata-rata

S_N = frekuensi sumber yaitu perbandingan antara jumlah segmensungai-sungai tingkat 1 dengan jumlah sungai semua tingkat.

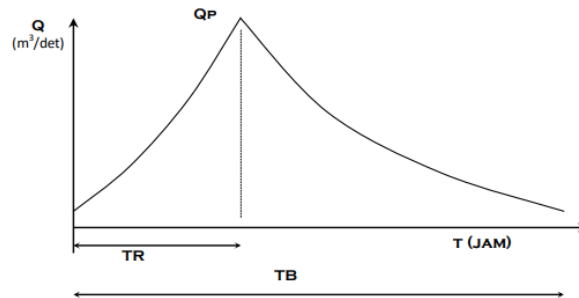
T_R = waktu naik (jam)

RUA = luas Daerah Aliran Sungai (DAS) sebelah hulu (km^2)

Sketsa Penetapan WF, RUA dan hidrograf satuan metode Gama I dapat dilihat pada Gambar 2.6 dan 2.7 berikut:



Gambar 2.6. Sketsa Penetapan WF dan RUA



Gambar 2.7. Hidrograf Satuan Metode Gama I

2.7 Permodelan Dengan Program Aplikasi

Permodelan EPA SWMM (Environmental Protection Agency Storm Water Management Model) adalah sebuah software yang dibuat untuk membantu dalam memodelkan simulasi hujan-runoff dinamis. Software ini dapat mensimulasikan pengaruh hujan-runoff dari suatu wilayah pada sistem drainasenya untuk jangka pendek dan jangka panjang dan juga memiliki fasilitas berbagai macam alternatif untuk mengantisipasi banjir.

1. Kemampuan EPA SWMM Kemampuan ini meliputi:
 - a. Tangkai jaringan dengan ukuran tidak terbatas,
 - b. Menggunakan standar yang luas untuk menutup dan membuka saluran seperti halnya saluran alami.
 - c. Model khusus seperti penyimpanan, pembagi aliran, pompa, bendungan,
 - d. Penerapan air dan masukan arus eksternal berkualitas dari permukaan aliran, aliran bawah tanah.
 - e. Penggunaan gelombang baik kinematik maupun arus gelombang penuh.
 - f. Berbagai macam arus, seperti air yang tertahan karena pasang, arus yang berbalik dan mengetahui permukaan kolam.
 - g. Menerapkan kondisi dinamis untuk menirukan operasi mulut pompa yang membuka dengan berbagai beda puncak pada bendungan.

2. Obyek Pada EPA SWMM
 - a. Rain gage SWMM menggunakan obyek rain gage untuk menampilkan

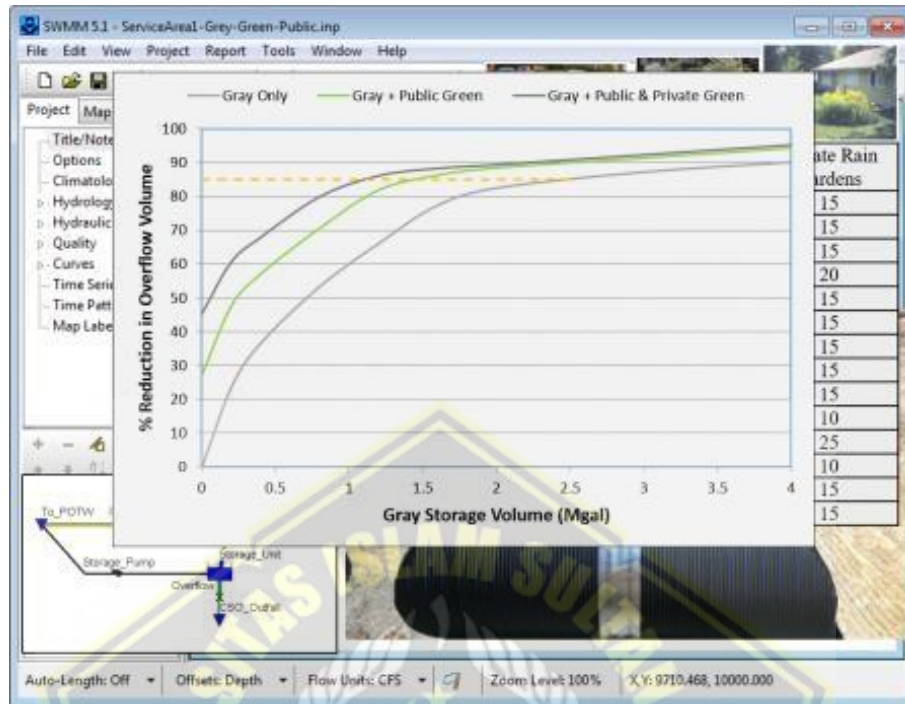
input data ke sistem. Rain gage menyuplai data presipitasi untuk satu atau lebih subcatchment area pada studi wilayah.

- b. Subcatchment, Subcatchment adalah unit hidrologi dari tanah dimana topografi dan element sistem drainase menunjukan permukaan runoff pada satu titik pelepasan.
- c. Junction, Junction dapat menggambarkan pertemuan dari saluran permukaan alami, lubang got dari sistem pembuangan, atau pipa penghubung.
- d. Outfall, Outfall adalah titik ujung dari sistem drainase biasanya ditetapkan akhir dari batas hilir.
- e. Flow divider, Flow divider adalah sistem drainase dimana aliran masuknya disalurkan pada conduit tertentu. Sebuah flow divider dapat memiliki tidak lebih dari dua conduit pada satu sistemnya.
- f. Storage units, Storage units adalah penyediaan volume tampungan. Ukuran dari tampungan bisa kecil dan besar baik itu kolam ataupun danau. Volumetrik dari unit tampungan dibuat dari fungsi atau tabel dari area permukaan dan tinggi.
- g. Conduit, Conduit adalah saluran yang berfungsi menampung dan mengalirkan air. SWMM menggunakan rumus Manning untuk menyatakan hubungan antara debit (Q), luas penampang (A), jari-jari hidraulic (R), dan kemiringan (S). (2)

$$Q = A \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} \sqrt{S} \dots\dots\dots(2.14)$$

- h. Pumps, Pumps atau pompa digunakan untuk memindahkan air atau meninggikan elevasi air. Pada Pumps ini hidup dan mati pompa dapat diatur secara dinamik sepanjang pengaturan kontrol yang telah ditetapkan oleh pengguna.

- i. Flow regulators, Flow regulators adalah sarana yang dapat dipakai untuk mengontrol atau mengalihkan aliran.



Gambar 2.8 : Software SWMM

Sumber : Epa.gov

2.8 Penelitian Terdahulu

Penelitian tentang Pengendalian Banjir dengan Sistem Polder sudah pernah dilakukan sebelumnya diantaranya seperti terdapat pada tabel berikut.

Tabel 2.2. Penelitian Terdahulu

No	Judul	Peneliti dan Tahun	Metode	Hasil
1	Kajian Operasional Sistem Polder Untuk Penanganan Banjir dan Rob Di	Henny Pratiwi Adi dan S. Imam Wahyudi	Metode yang dipakai yaitu menyusun inventarisasi tiap komponen dalam sistem polder yang meliputi stasiun pompa, jaringan saluran	Penelitian ini menghasilkan simulasi kapasitas pompa berdasarkan luas catchment area, luas

	Kawasan Genuk Semarang	(2021)	drainase, dan kolam tampungan air, membuat perumusan pedoman operasional dan pemeliharaan komponen stasiun pompa, jaringan saluran drainase, dan kolam tampungan air , sosialisasi terhadap pedoman operasional dan pemeliharaan yang sudah disusun sehingga masyarakat memahami dalam implementasi di lapangan.	kolam retensi dan kondisi elevasi air ditampungan dan saluran. Kegiatan juga menghasilkan pedoman operasional sistem pompa di area Sringin yang diharapkan dapat dimanfaatkan dan dipahami oleh pemangku kepentingan.
2	Perencanaan Sistem Polder Wilayah Semarang Timur	Evi Rahmawati, Aulia Wahyu R. dan Dwi Kurniani	Perencanaan sistem polder yang dilakukan Evi dkk adalah perencanaan kolam retensi, stasiun pompa, perbaikan sungai dan tanggul laut. Perhitungan debit banjir menggunakan permodelan HEC HMS 4.0. Perencanaan menggunakan model HEC RAS . Tanggul laut direncanakan dengan mempertimbangkan pasang tertinggi, pembangkitan angin dan gelombang, kenaikan muka air laut dan penurunan tanah dilokasi tanggul.	Kolam retensi memiliki luas 126 hektar dengan kadalaman kolam 3,4 meter dan debit banjir rencana 10 tahunan untuk kolam adalah 126,6m ³ /s. Jumlah pompa 4 buah dengan kapasitas setiap pompa sebesar 15m ³ /s. Debit untuk masing masing sungai sebesar 82,3m ³ /s untuk Sungai Tenggang dan 49,6m ³ /s untuk Sungai Sringin. Tinggi tanggul pada elevasi 2,7 meter diatas permukaan laut dan dibangun dari Banjir Kanal Timur hingga sungai Babon sepanjang 1,73kilometer.
3.	Perencanaan Sistem Polder Kota Lama Semarang	Dwitama Aji Putriana, Luckman Ismail, Suripin, Priyo Nugroho	Metode yang dilakukan meliputi: survei lapangan, identifikasi masalah, perumusan masalah, tinjauan pustaka, pengumpulan data, analisis data hidrologiperencanaan teknis seluruh komponen, perhitungan RAB dan time	Sistem polder direncanakan kolam retensi dengan kapasitas tampungan 18363,25 m ³ saluran primer sepanjang 6.105 m menggunakan precast, tiga pompa masing masing berkapasitas 0,5 m ³

		Parmantoro (2013)	schedule, pembuatan rencana kerja dan persyaratan teknis, serta pembuatan metode pelaksanaan kerja.	saluran pembuang sepanjang 550 m menggunakan pipa baja, serta peninggian jalan setinggi 30 cm yang difungsikan sebagai tanggul pada Jl. Taman Tawang , Jl. Merak, Jl. Cendrawasih, Jl. Empu Tantular, Jl. Sendowo dan Jl. KH. Agus Salim.
4	Pengendalian Banjir Sungai Dombo Sayung Kabupaten Demak	Imam Arahman, Imam Budiarto, Suseno Darsono (2015)	Penelitian pengendalian banjir ini menggunakan periode ulang 100 Tahun. Hidrograf banjir dengan periode ulang Q100th Sungai Dombo Sayung dianalisis dengan menggunakan perangkat lunak HEC-HMS. Sedangkan analisis hidrolika dianalisis menggunakan perangkat lunak HEC RAS.	Hasil analisis menunjukkan kondisi penampang eksisting Sungai Dombo Sayung tidak mencukupi untuk mengalirkan debit banjir Q100th sebesar 343m ³ /dt yang dampaknya adalah terjadinya bencana banjir. Sehingga perlu perbaikan penampang sungai yang merupakan upaya memperbesar pengaliran dari Sungai.
5	Tingkat Pengaruh Elevasi Pasang Laut Terhadap Banjir dan Rob Di Kawasan Kaligawe Semarang	S. Imam Wahyudi (2007)	Metode penelitian yang dilakukan yaitu yaitu melakukan inventarisasi data sekunder dengan melakukan studi literatur hingga melakukan pengikatan elevasi pasang surut di Pelabuhan Tanjung Mas dan di Kali Tenggang dan penyusunan model matematik fluktuasi air.	Hasil dari penelitian didapat, Pada kondisi tidak hujan elevasi tanggul sepanjang Jalan Kaligawe masih dapat menampung dan pada kondisi hujan harian > 80mm dan terjadi laut pasang maka terjadi genangan di Lingkungan Kaligawe.

Perbedaan dari kelima penelitian sebelumnya dengan penelitian yang saat ini sedang dikerjakan adalah lokasi penelitian yang menganalisa banjir terkini pada Sungai Gonjol dan juga menganalisa kemampuan dari Sungai Gonjol dalam menampung debit banjir pada kondisi sebelum dan sesudah penambahan Sistem Polder.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Pengertian Umum

Metode penelitian merupakan sebuah tuntunan atau langkah pekerjaan yang akan dilaksanakan untuk mencapai suatu hasil yang diharapkan, maksimal, efisien, dan efektif dalam penelitian yang akan dilakukan. Tujuan dari metode penelitian yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa efektivitas Sungai dalam menampung air hujan ataupun air Rob untuk mengantisipasi Banjir sebelum dan sesudah dilakukan normalisasi. Metode penelitian ini dilakukan dengan memakai data-data yang sudah dikumpulkan sebelumnya baik data primer maupun data sekunder.

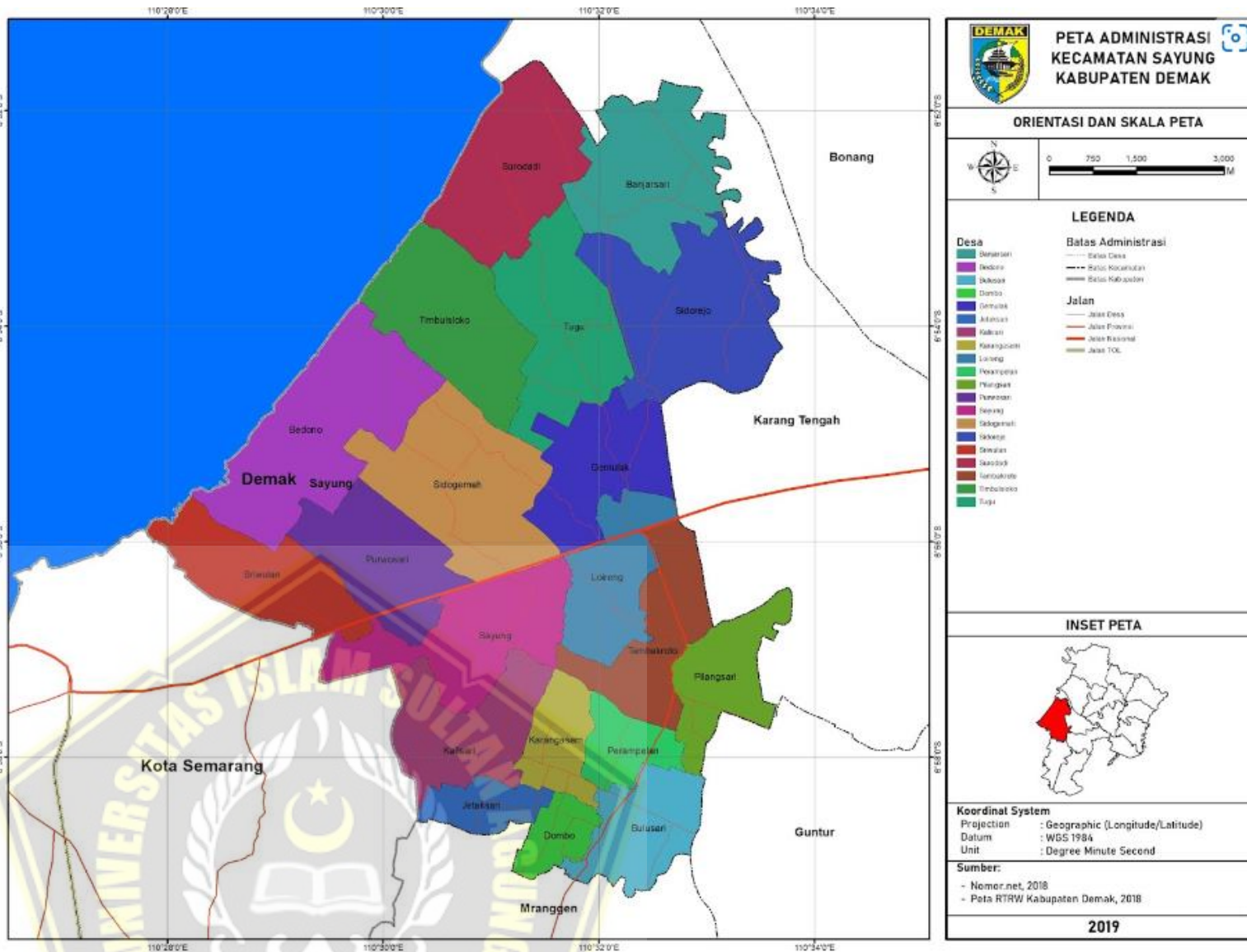
3.2. Data Penelitian

Data penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Data DAS Gonjol dari Studi Teknik.
2. Data Curah Hujan Harian dari Pusdataru.
3. Data DAS Sungai Gonjol

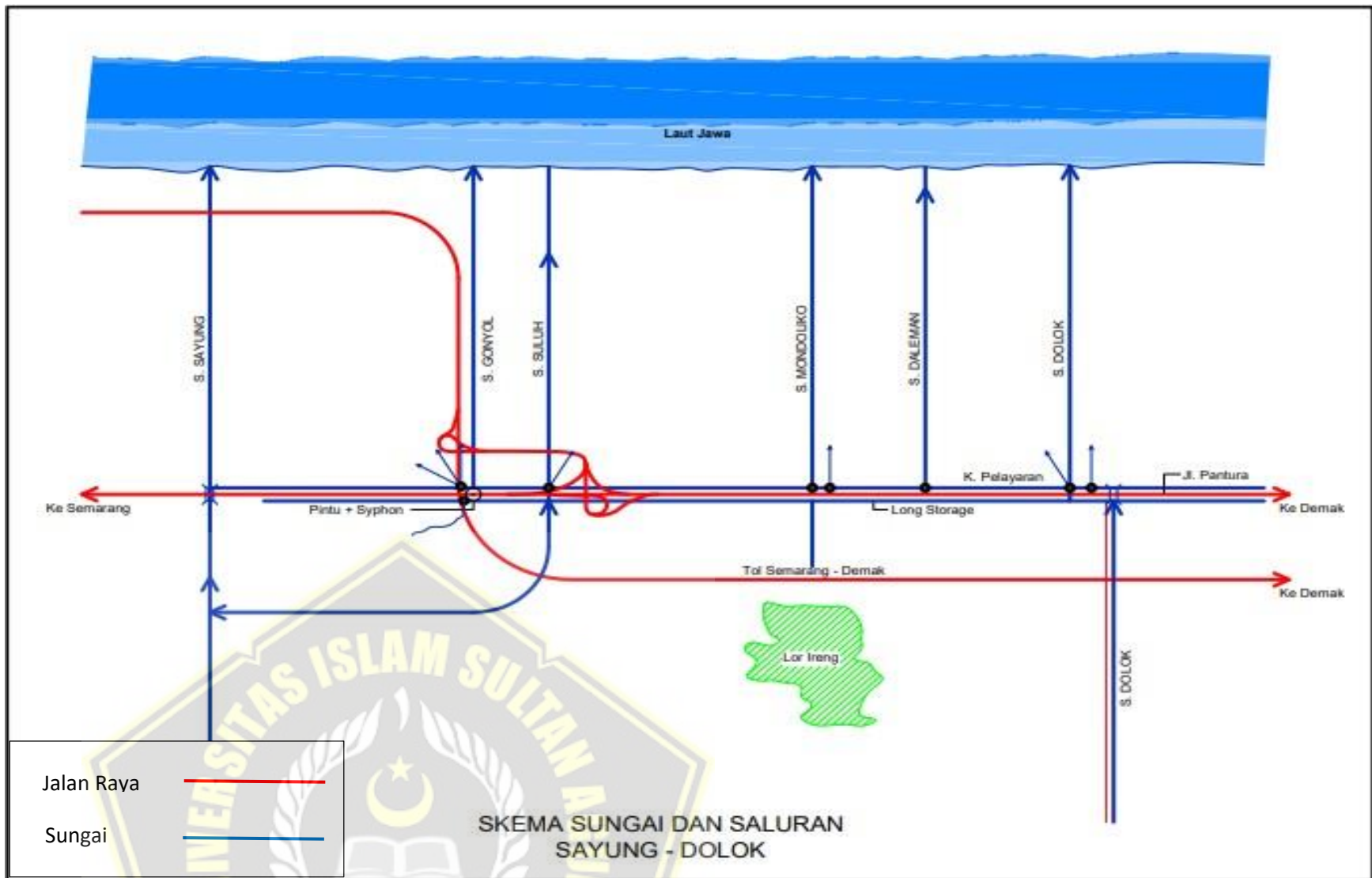
3.3. Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di Desa Sayung, Kecamatan Sayung, Kabupaten Demak Provinsi Jawa Tengah. Lokasi umumnya berupa pemukiman, dan tambak.



Gambar 3.1 Peta Administrasi Kecamatan Sayung

Sumber : neededthing.blogspot.com



Gambar 3.2. Skema Sungai dan Saluran Sungai Gonjol

Sumber : Studi Teknik , 2021

3.4. Metode Pengumpulan Data

Penelitian tentang analisis efektivitas Sungai Gonjol dalam mengantisipasi debit banjir menggunakan pendekatan secara kuantitatif dengan teknik pengumpulan data primer dan sekunder sebagai berikut:

a. Data primer

Data primer yang akan digunakan adalah data hasil survey dan pengamatan langsung dilapangan berupa foto kondisi existing.

b. Data sekunder

Data sekunder yang akan digunakan adalah data curah hujan , data DAS dan Data topografi lokasi berupa data Terrain.

3.5 Metode Analisis Data

Analisis data yang akan dilakukan yaitu untuk membandingkan Kemampuan menampung debit banjir sebelum dan sesudah penambahan Sistem Polder pada sungai Gonjol yang hasilnya diperoleh dari perbandingan muka air banjir (MAB) sebelum dan sesudah ditambahkan Sistem Polder pada sungai Gonjol. Langkah analisis data meliputi:

1. Analisis data curah hujan di daerah Kecamatan Sayung dan Sekitarnya. Analisis yang dilakukan adalah pengumpulan data, uji konsistensi data, perhitungan curah hujan daerah pengamatan, pengujian kecocokan sebaran, analisis intensitas curah hujan. Analisis data pada perencanaan ini terdiri dari analisis lokasi dan tata guna lahan, analisis hidrologi, analisis hidrolika. Analisis lokasi dilakukan untuk menentukan lokasi yang dapat digunakan untuk lokasi kolam retensi, tanggul dan stasiun pompa. Pada analisis ini dibutuhkan peta hasil pencitraan satelit agar dapat ditentukan dengan tepat lokasinya.

2. Analisis debit banjir Sungai Gonjol

Kemudian analisis hidrologi dilakukan untuk memperoleh curah hujan debit banjir rencana menggunakan perhitungan manual dengan bantuan software excel.

3. Tahapan analisis selanjutnya adalah dengan menggunakan pemodelan SWMM untuk simulasi drainase dengan sistem polder yang akan dilakukan.

4. Tahapan analisis yang terakhir berupa perbandingan muka air banjir sebelum

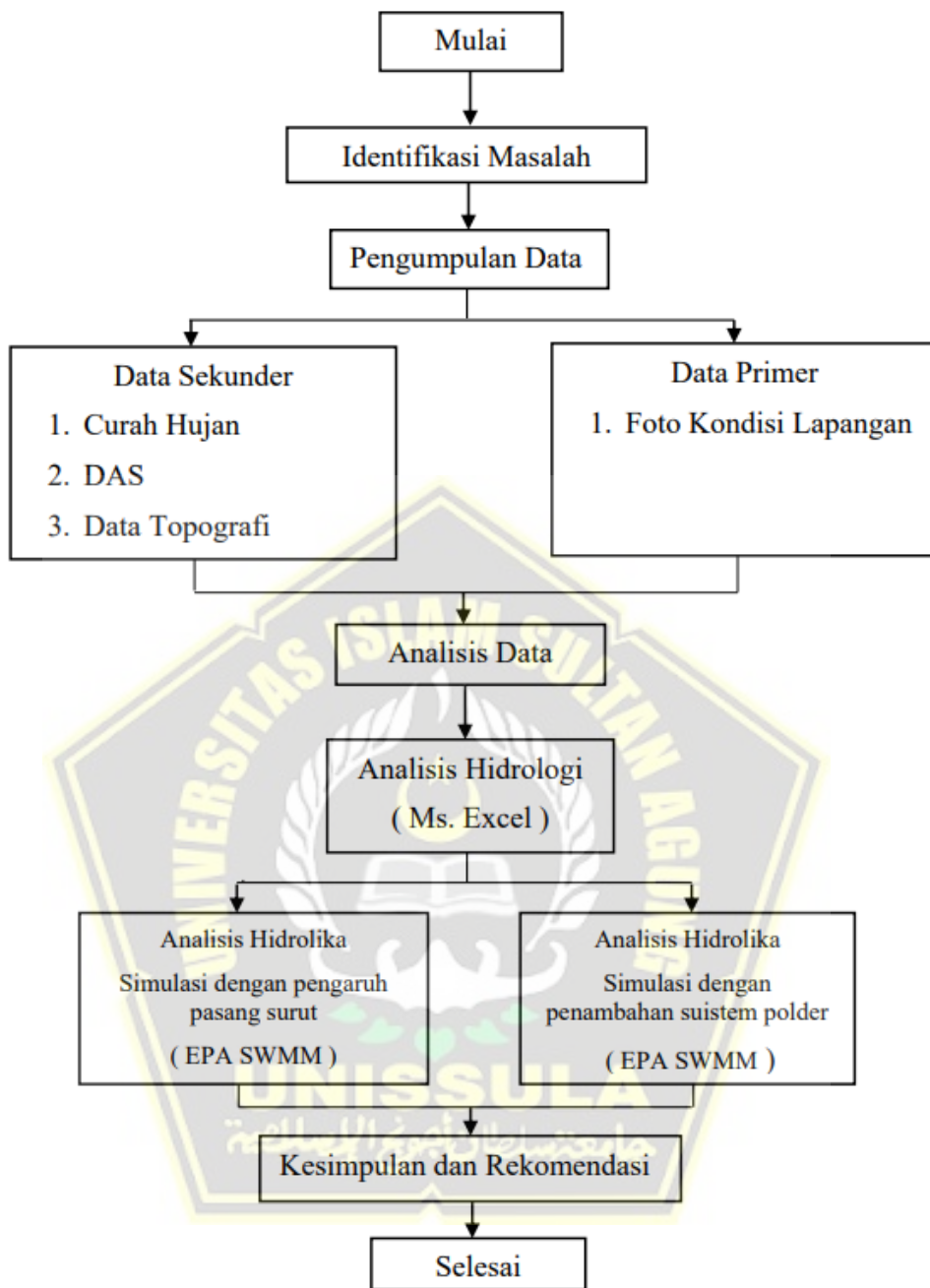
dan sesudah penambahan Sistem Polder. Sistem Polder dikatakan efektif menanggulangi banjir apabila sudah tidak adanya limpasan air banjir saat terjadi hujan deras yang mengakibatkan genangan banjir.

3.6 Bagan Alir Penelitian

Dari beberapa tahap yang akan dilaksanakan di dalam penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan hasil yang sesuai dengan apa yang diharapkan dan diinginkan. Pada penelitian yang akan dilaksanakan nanti hal yang dilakukan adalah pengumpulan data yang dibutuhkan dimana data tersebut nantinya akan menjadi sumber data yang akan diolah dengan metode maupun aplikasi yang digunakan. Permasalahan yang telah diketahui dengan jelas bisa dilanjutkan ke tahap selanjutnya yaitu studi literatur atau tinjauan pustaka dengan mempelajari buku – buku referensi serta hasil penelitian yang telah dilakukan terdahulu untuk menyusun suatu analisis yang berkaitan dengan analisis penambahan sistem polder pada daerah aliran sungai Hasil akhir yang diharapkan dapat mengetahui apa saja manfaat yang dihasilkan dari normalisasi sungai Gonjol dengan sistem drainase polder.

Tahapan dalam penelitian ini dilaksanakan dengan memperhatikan kaidah –kaidah yang telah ditentukan dengan tujuan agar penelitian ini mendapatkan hasil, kesimpulan serta dapat memberikan saran bagi pengembangan penelitian selanjutnya. Secara ringkas tahapan penelitian dapat dilihat pada Bagan alir berikut.





Gambar 3.3 Bagan Alir Metodologi

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Sungai Gonjol merupakan sungai yang terletak di wilayah Kecamatan Sayung, Kabupaten Demak, Provinsi Jawa Tengah. Secara Geografis Kabupaten Demak terletak antara 6 derajat 43"26" - 7 derajat 09"43" Lintang Selatan dan 110 derajat 27"58" - 110 derajat 48"47" Bujur Timur.

Hasil pengamatan langsung di lapangan didapat bahwa penyebab terjadinya banjir di Kecamatan Sayung memang disebabkan oleh beberapa masalah yang kompleks. Selain faktor utama hujan, banjir di Kecamatan Sayung juga disebabkan oleh letak lokasi yang berdekatan dengan laut sehingga mengakibatkan terjadinya rob dan penurunan tanah. Kondisi letak geografis ini diperparah dengan banyaknya sampah pada saluran drainase, drainase yang buntu, tidak berfungsinya pintu air dan ukuran drainase yang memang sudah tidak dapat menampung jumlah aliran air pada musim hujan.



Gambar 4.1 Drainase yang sudah tidak mampu menampung debit air

4.2 Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi dibutuhkan untuk mengetahui karakteristik hidrologi daerah pengaliran di Kecamatan Sayung , terutama di lokasi kajian yaitu DAS Gonjol. Analisis hidrologi digunakan untuk menentukan besarnya debit banjir rencana yang akan digunakan dalam simulasi penambahan sistem polder. Data untuk penentuan debit banjir rencana pada analisis ini adalah data curah hujan. Data curah hujan merupakan salah satu dari banyak data yang dapat digunakan untuk memperkirakan besarnya debit banjir rencana.

Adapun langkah-langkah analisis hidrologi pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menentukan Daerah Aliran Sungai (DAS) Gonjol dan luasannya.
2. Menentukan daerah stasiun hujan.
3. Menentukan curah hujan maksimum harian rata-rata DAS dari data curah hujan yang ada.
4. Melakukan perhitungan curah hujan rencana dengan periode ulang T tahun.
5. Menghitung Intensitas Hujan berdasarkan besarnya curah hujan rencana.
6. Menghitung debit banjir rencana berdasarkan besarnya curah hujan rencana di atas pada periode ulang T tahun.

4.2.1 Menentukan Daerah Aliran Sungai

Daerah Aliran Sungai atau Catchment Area untuk Sungai Gonjol ini ditentukan dengan membatasi wilayah tangkapan hujan dengan sungai yang langsung bermuara ke laut. Berdasarkan pengukuran poligon Google Earth diketahui luas dari DAS Gonjol adalah 718 Ha dimana terlihat pada Gambar 4.3 berikut ini



Gambar 4.3 Wilayah DAS Kali Gonjol

4.2.2 Data Curah Hujan Maksimum

Data pencatatan curah hujan yang dipakai dalam penelitian ini adalah data curah hujan dari Stasiun Pencatat Hujan Pucang Gading, dimana curah hujan harian maksimum ini tersaji pada Tabel 4.1 yang selanjutnya akan diproses untuk perhitungan curah hujan rencana. Data curah hujan harian maksimum Stasiun Pucang Gading dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut:

Tabel 4.1. Data Curah Hujan Bulanan Maksimum Stasiun Pucang Gading

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ag	Sep	Okt	Nov	Des	Tot	R24
2009	255	442	204	123	226	185	23	0	107	80	173	220	2038	81
2010	254	152	383	168	286	130	43	50	331	219	315	304	2635	133
2011	344	241	189	235	157	50	0	0	61	200	373	226	2076	86
2012	354	457	259	160	185	85	0	0	0	97	245	375	2217	101
2013	364	205	306	115	162	334	156	32	22	45	238	214	2193	131
2014	450	240	185	94	99	140	159	58	0	50	340	240	2055	122
2015	291	287	298	247	48	4	0	0	0	6	228	69	1473	84
Max	450	457	383	247	286	334	159	58	331	219	373	375	2635	
Rerata	330	289	260	163	166	132	54	20	74	99	273	235	2098	
Min	254	152	185	94	48	4	0	0	0	6	173	69	1478	

Sumber : Pusdataru

Dari data Tabel Curah Hujan di atas dapat disimpulkan bahwa dari kurun waktu 2009 – 2015 Curah Hujan Tertinggi terjadi pada Desember hingga Maret dengan nilai curah hujan maximum yaitu 457mm/bulan. Untuk mengolah data debit, maka digunakan data Curah Hujan Harian maximum (R24) yang selanjutnya akan diuji Dispersi.

4.2.3 Pengukuran Pola Sebaran (Uji Dispersi)

Uji dispersi dilakukan untuk menentukan jenis sebaran (distribusi) yang akan digunakan untuk perhitungan curah hujan rencana. Pengukuran pola sebaran (uji dispersi) dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut:

Tabel 4.2 Uji dispersi curah hujan

No	Tahun	X (R24)	$x - \bar{x}$	$(x - \bar{x})^2$	$(x - \bar{x})^3$	$(x - \bar{x})^4$
1	2009	81,00	-24,43	596,76	-14.577,87	356.116,65
2	2010	133,00	27,57	760,18	20.959,35	577.879,22
3	2011	86,00	-19,43	377,47	-7.333,69	142.483,14
4	2012	101,00	-4,43	19,61	-86,85	384,64
5	2013	131,00	25,57	653,90	16.721,10	427.582,54
6	2014	122,00	16,57	274,61	4.550,72	75.411,89
7	2015	84,00	-21,43	459,18	-9.839,65	210.849,65
	Jumlah	738,00	0,00	3.141,71	10.393,10	1.790.707,72

Data yang didapatkan dari perhitungan di atas berupa parameter Standar Deviasi, Coefficient Variety, Coefficient skewness dan Coefficient Kurtosis. Parameter- parameter hasil perhitungan berfungsi untuk menentukan jenis ditribusi yang akan digunakan dalam perhitungan curah hujan rencana. Parameter hasil Uji Dispersi disajikan pada Tabel 4.3 berikut:

Tabel 4.3 Parameter hasil uji dispersi curah hujan

No	Parameter		
1	Standar Deviasi	Sd	22,88
2	Coefficient Variety	Cv	2,67
3	Coefficient Skewness	Sc	0,20
4	Coefficient Kurtosis	Ck	0,22

Hasil Uji Dispersi pada Tabel 4.3 digunakan untuk menentukan jenis distribusi hujan dengan cara membandingkan selisih *coefficient skewness* (Cs) dan *coefficient kurtosis* (Ck). Jenis distribusi hujan dengan selisih terkecil akan digunakan dalam perhitungan curah hujan rencana. Pemilihan jenis distribusi dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut:

Tabel 4.4 Tabel Jenis Distribusi

No	Jenis Distribusi	Syarat	Hasil Perhitungan	Keputusan
1	Normal	Cs = 0 Ck = 3	Cs = 0,20 Ck = 2,67	Yes Yes
2	Log Normal	Cs (ln x) = 0 Ck (ln x) = 3	Cs = 0,11 Ck = -2,38	No No
3	Log Person Type 3	Cs (ln x) > 3 Ck (ln x) = 1,5 [Cs(lnx) ²]+3 = 3,02	Cs = 0,11 Ck = -2,35	No No
4	Gumbell	Cs = 1,14 Ck = 5,4	Cs = 0,20 Ck = 2,67	No No

Berdasarkan pemilihan jenis distribusi di atas didapatkan bahwa jenis distribusi hujan yang memenuhi syarat adalah jenis distribusi Normal (*Gauss*).

4.2.4 Perhitungan Curah Hujan Rencana

Perhitungan curah hujan rencana pada DAS Gonjol menggunakan jenis distribusi Normal (*Gauss*) sesuai dari hasil pemilihan jenis distribusi. Hasil perhitungan curah hujan rencana dengan distribusi Normal (*Gauss*) dapat dilihat pada Tabel 4.5 berikut:

Tabel 4.5 Analisis data hujan frekuensi Metode Normal

No	Tahun	R ₂₄ (mm)
1	2009	81
2	2010	133
3	2011	86
4	2012	101
5	2013	131
6	2014	122
7	2015	84
Jumlah		738
Rata – Rata		105,43
Standar Deviasi		22,8

Data curah hujan harian maksimum rata – rata dari tahun 2009 sampai tahun 2015 diolah untuk mendapatkan rata – rata nilai curah hujan dan nilai standar deviasi. Kedua data tersebut diolah bersama dengan nilai standar variabel reduksi *Gauss* seperti untuk mendapatkan nilai curah hujan rencana pada kala ulang tahunan tertentu. Nilai standar variabel reduksi Gauss dapat dilihat pada Tabel 4.6 berikut:

Tabel 4.6 Nilai Standar Variabel Reduksi Gauss

Tahun Rencana	K _T
2	0,000
5	0,842
10	1,282
20	1,645
50	2,054
100	2,326

Tabel 4.6 di atas menunjukkan kala ulang tahunan dan variabel reduksi untuk curah hujan rencana metode Normal (*Gauss*). Kala ulang tahunan pada tabel di atas juga dipakai untuk perhitungan hujan rencana. Hasil dari perhitungan curah hujan rencana bisa dilihat pada Tabel 4.7 berikut:

Tahun Ke	Nilai (mm/hari)
2	105,43
5	124,69
10	134,75
20	143,07
50	152,42
100	158,66

Tabel 4.7 Nilai Hujan Rancangan

Hasil dari perhitungan di atas adalah nilai curah hujan rencana dengan kala ulang tahunan 2, 5, 10, 20, 50 dan Q100. Data curah hujan rencana tersebut diolah untuk menghitung intensitas hujan dan debit banjir rencana.

4.2.5 Analisis Intensitas Hujan

Selanjutnya hasil hujan rencana yang didapat diolah untuk mendapatkan grafik hubungan antara intensitas hujan dengan durasi dan frekuensi. Untuk mendapatkan grafik tersebut dilakukan dengan mengolah data curah hujan rancangan menggunakan rumus Mononobe. Perhitungan Intensitas Hujan menggunakan Metode Mononobe dengan rumus persamaan sebagai berikut :

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

Dimana :

I = Intensitas Curah Hujan (mm/jam)

t = Lamanya curah hujan (menit)

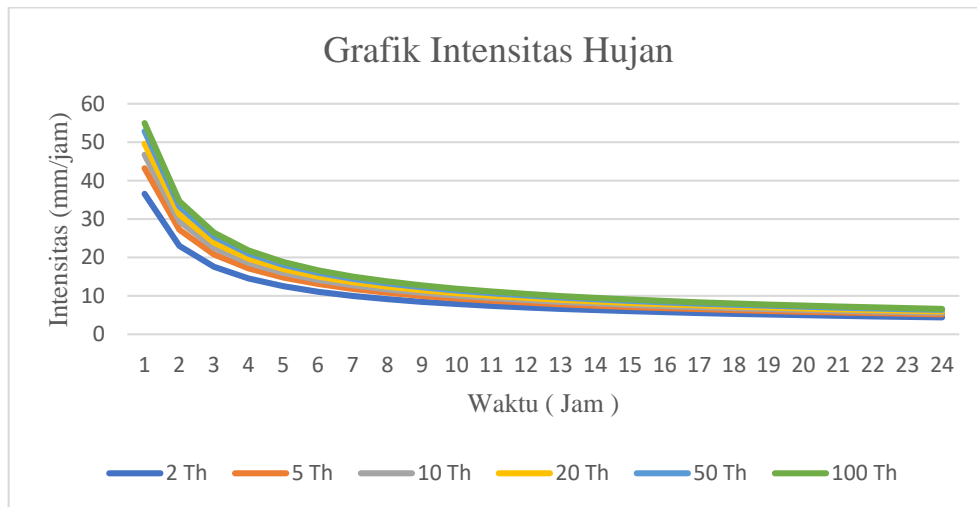
R₂₄ = Curah Hujan yang mengacu berdasarkan masa ulang tertentu.

Hasil perhitungan Intensitas hujan dapat dilihat pada Tabel 4.8 berikut :

Tabel 4.8 Rekapitulasi Perhitungan Intensitas Hujan Metode Mononobe.

No	Jam Ke	2 Tahun	5 Tahun	10 Tahun	20 Tahun	50 tahun	100 Tahun
1	00:00	00,00	00,00	00,00	00,00	00,00	00,00
2	1:00	36,55	43,23	46,72	49,60	52,84	55,00
3	2:00	23,03	27,23	29,43	31,25	33,29	34,65
4	3:00	17,57	20,78	22,46	23,85	25,40	26,44
5	4:00	14,51	17,15	18,54	19,68	20,97	21,83
6	5:00	12,50	14,78	15,98	16,96	18,07	18,81
7	6:00	11,07	13,09	14,15	15,02	16,00	16,66
8	7:00	9,99	11,81	12,77	13,55	14,44	15,03
9	8:00	9,14	10,81	11,68	12,40	13,21	13,75
10	9:00	8,45	9,99	10,80	11,46	12,21	12,71
11	10:00	7,87	9,31	10,06	10,69	11,38	11,85
12	11:00	7,39	8,74	9,44	10,03	10,68	11,12
13	12:00	6,97	8,25	8,91	9,46	10,08	10,49
14	13:00	6,61	7,82	8,45	8,97	9,56	9,95
15	14:00	6,29	7,44	8,04	8,54	9,10	9,47
16	15:00	6,01	7,11	7,68	8,15	8,69	9,04
17	16:00	5,76	6,81	7,36	7,81	8,32	8,66
18	17:00	5,53	6,54	7,07	7,50	7,99	8,32
19	18:00	5,32	6,29	6,80	7,22	7,69	8,01
20	19:00	5,13	6,07	6,56	6,97	7,42	7,72
21	20:00	4,96	5,87	6,34	6,73	7,17	7,47
22	21:00	4,80	5,68	6,14	6,52	6,94	7,23
23	22:00	4,66	5,51	5,95	6,32	6,73	7,01
24	23:00	4,52	5,34	5,78	6,13	6,53	6,80
25	24:00	4,39	5,20	5,61	5,96	6,35	6,61
	Jumlah	229,02	270,85	292,71	304,82	331,09	344,64

Hasil dari perhitungan Intensitas Hujan diatas disajikan dalam bentuk Grafik pada Gambar 4.8 kemudian akan dipakai pada input data rain gage simulasi sistem polder pada EPA SWMM.



Gambar 4.4 Grafik Intensitas Hujan

4.2.6 Perhitungan Debit Banjir Rencana

Metode yang digunakan untuk menghitung debit banjir rencana pada penelitian ini adalah metode Rasional. Data yang dibutuhkan dalam mencari debit banjir rencana menggunakan metode Rasional adalah luas daerah tangkapan hujan, Intensitas Hujan dan Data koefisien *run off* (C) pada Tabel 4.9. Rumus perhitungan mencari debit drainase menggunakan Metode Rasional yaitu :

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A$$

Dimana :

- Q = Debit banjir puncak pada Perioda Ulang T tahun (m³/detik), yang terjadi pada daerah layanan
- I = Intensitas hujan selama waktu konsentrasi (mm/jam)
- A = Luas daerah layanan km²
- C = Koefisien Pengaliran

Tabel 4.9 Koefisien Pengaliran (C)

Karakter Permukaan	C
Perkotaan	0.70 – 0.95
Pinggiran	0.50 – 0.70
Perumahan rumah tinggal	0.30 - 0.50
Perumahan multi unit, terpisah	0.40 – 0.60
Perumahan multiunit, tergabung	0.60 – 0.75
Perkampungan	0.25 – 0.40
Apartemen	0.50 – 0.70
Industri ringan	0.50 – 0.80
Industri berat	0.60 – 0.90

(Sumber : McGuen 1989 dalam Suripin, 2004)

Dari analisis besarnya curah hujan rencana dan parameter-parameter mencari debit dihitung dengan kala ulang tertentu. Besarnya debit saluran drainase dengan kala ulang n tahun sama dengan luas layanan dikalikan dengan intensitas hujan dikalikan koefisien ketetapan dengan kala ulang n tahun. Untuk menghitung debit dari DAS Gonjol digunakan kala ulang Q2 – Q100 Dengan memasukkan koefisien pengaliran sebesar 0,60 serta luas layanan drainase sebesar 718 ha. Proses perhitungan debit menurut metoda rasional dapat diketahui dengan mengalikan parameter-parameter yang telah ada tersebut. Rekapitulasi perhitungan hidrograf hasil debit banjir Rencana Drainase Sungai Gonjol menggunakan método Rasional dapat dilihat pada Tabel 4.10 berikut ini :

Tabel 4.10 Debit Banjir Rencana Metode Rasional

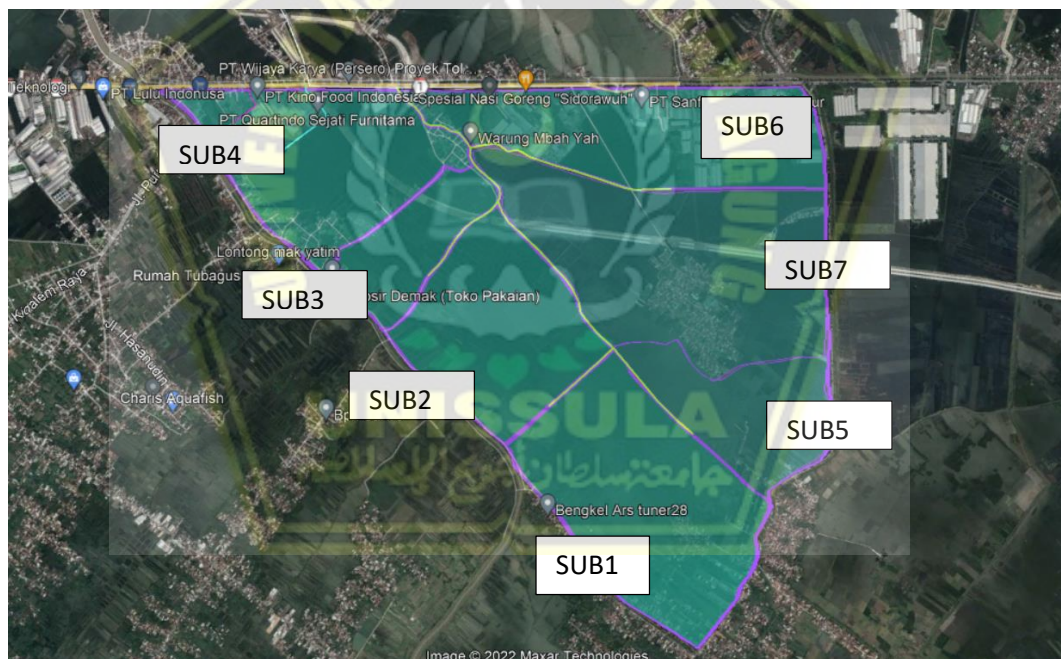
NO	Kala Ulang	Luas (ha)	C	I	Q (m3/detik)
1	Q2	718	0.6	36.55	43,77
2	Q5	718	0.6	43.23	51,73
3	Q10	718	0.6	46.72	55,95
4	Q20	718	0.6	49.60	59,40
5	Q50	718	0.6	52.84	63,23
6	Q100	718	0.6	55.00	65,869

4.3 Analisis Hidrolika

Analisis hidrolika bertujuan untuk mengetahui kemampuan penampang saluran dalam menampung debit hujan rencana. Salah satu penyebab banjir adalah karena ketidakmampuan penampang dalam menampung debit banjir yang terjadi. Pada penelitian ini dilakukan analisis hidrolika dengan membagi 2 skenario perlakuan, yaitu kondisi saluran saat terjadi pasang dan kondisi saluran dengan penambahan sistem polder (pintu air, kolam penampungan dan pompa).

4.3.1 Simulasi kondisi air pasang dengan normalisasi saluran

Simulasi ini dibuat dengan bantuan Software EPA SWMM dimana dibuat dengan asumsi saluran drainase dipengaruhi oleh muka air laut dari Sungai Gonjol. DAS yang dikaji dapat dilihat pada Gambar 4.5 berikut:



Gambar 4.5 Pembagian Sub DAS Gonjol

Total luas DAS Gonjol adalah 718 Ha dimana dibagi menjadi 7 Subdas dengan luas wilayah yang berbeda beda.

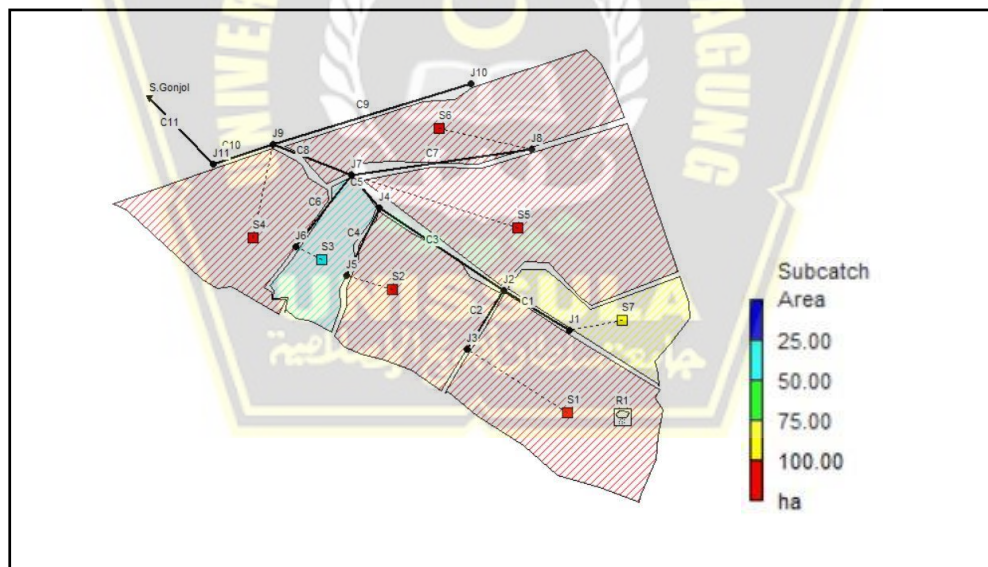
Adapun tahapan yang dilakukan dalam simulasi dengan Software EPA SWMM meliputi :

- Memodelkan Skema DAS pada program EPA SWMM
- Memasukan data DAS
- Memasukan data junction
- Memasukan data saluran
- Memasukan data Intensitas Hujan
- Memasukan data pasang surut pada Outfall
- Proses running program

Tahapan Simulasi pada penelitian ini dilakukan seperti berikut:

1. Memodelkan Skema DAS pada program Epa Swmm

Pembuat Permodelan dengan menggambar dan menempatkan unit Hidrologi (Rain Gage) dan unit hidrolika (Junction, Conduit, Outfall) seperti pada Gambar 4.6 berikut:



Gambar 4.6 Skema DAS Gonjol dengan pengaruh pasang surut

2. Memasukan data Subcatchment

Subcatchment (S) adalah daerah tangkapan air atau kawasan hulu yang memasok air ke saluran. Data Subcatchment dimasukan sesuai dengan kondisi

DAS yang ada sesuai dengan parameter lahan. Dimana data yang dipakai pada input program yaitu;

- Data luas area
- Data lebar
- Kemiringan lahan
- N – imperv
- N-perv
- D-store Imperv
- Dan D Store Perv

Input Data DAS Gonjol pada Program EPA SWMM dapat dilihat pada Tabel 4.11 berikut;

Tabel 4.11 Data input Subcatchment Area

No	Subcatchment	Luas	Lebar	% Imperv	N- Imperv	N- Perv ^c	D Imperv ^d	D- Perv ^e
1	S1	136,9	944	24.66	0.012	0.013	0.05	0.015
2	S2	95,0	944	24.66	0.012	0.013	0.05	0.015
3	S3	40,1	408	24.66	0.012	0.013	0.05	0.015
4	S4	106,6	975	24.66	0.012	0.013	0.05	0.015
5	S5	151,3	500	24.66	0.012	0.013	0.05	0.015
6	S6	111,6	1248	24.66	0.012	0.013	0.05	0.015
7	S7	75,6	180	24.66	0.012	0.013	0.05	0.015
		718						

Contoh Input data Subcatchment pada Program EPA SWMM dapat dilihat pada Gambar 4.7 berikut:

Property	Value
Name	S1
X-Coordinate	5355.110
Y-Coordinate	2455.950
Description	
Tag	
Rain Gage	1
Outlet	J3
Area	136.98
Width	944
% Slope	0.5
% Imperv	25

User-assigned name of subcatchment

Gambar 4.7 Contoh Input Data Subcatchment

3. Memasukan Data Junction

Junction (J) adalah pertemuan dari dua atau lebih saluran. ditempatkan pada elevasi terendah (sungai) yang berbatasan dengan *subcatchment* lain. *Junction* dapat menampilkan pertemuan dari saluran permukaan alami, drainase sistim pembuangan, atau pipa penghubung. Data yang dimasukkan berupa data elevasi dan kedalaman tetap pada saluran. Data input junction dapat dilihat pada Tabel 4.12 berikut:

Tabel 4.12 Data Input Junction

No	Nama Junction	Elevasi (m)	Kedalam awal (m)
1	J1	1	0,4
2	J2	0,9	0,4
3	J3	1	0,4
4	J4	0,75	0,4
5	J5	0,9	0,4
6	J6	0,9	0,4
7	J7	0,6	0,4
8	J8	0,8	0,4

9	J9	0,6	0,7
0	J10	0,6	0,7
11	J11	0,55	0,7

4. Memasukan Data Conduit

Conduit (C) adalah saluran yang menghubungkan antar junction. Semua data saluran pada jaringan, diantaranya bentuk dan dimensi penampang saluran, panjang saluran, serta nilai kekasaran Manning pada saluran yang disesuaikan dengan kondisi saluran yang ada (eksisting) . Dimensi dan panjang saluran yang di masukkan ke dalam SWMM dapat dilihat dibawah ini. Nilai kekasaran Manning dapat dilihat pada table 4.13 berikut.

Tabel 4.13 Data kekasaran Manning

Tipe Saluran	Manning (n)
Saluran dilapis atau dipoles	
Aspal	0.013-0.017
Batu bata	0.012-0.018
Beton	0.011-0.20
pasangan batu kali	0.20-0.035
lapisan dari tanaman	0.030-0.400
Digali atau dikeruk	
saluran tanah, lurus dan seragam	0.020-0.040
saluran tanah, banyak tumbuhan dan relatif seragam	0.025-0.040
tanah berbatu	0.030-0.045
saluran tidak terawat,banyak tumbuhan	0.050-0.140
saluran alam (lebar atas pada saat banjir dan saluran terisi penuh <100 ft)	
bersih tanpa tekanan	0.030-0.070
banyak tumbuhan pengganggu dan rekahan yang dalam	0.040-0.100

Saluran direncanakan dengan dimensi penampang berbentuk Rectangular terbuka yang terbuat dari beton, maka nilai kekasaran Manning yang dipakai yaitu 0,013. Dimana rencana dimensi penampang untuk saluran Drainase Sungai Gonjol dapat dilihat pada Tabel 4.14 berikut:

Tabel 4.14 Rencana Dimensi Penampang Saluran

No	Nama Saluran	Panjang (m)	Bentuk Saluran	b (m)	h(m)
1	Saluran C1	687	Rectangular	2	1,7
2	Salurn C2	505	Rectangular	1,5	1,7
3	Saluran C3	1103	Rectangular	2	1,7
4	Saluran C4	602	Rectangular	1,5	1,7
5	Saluran C5	385	Rectangular	3	2
6	Saluran C6	780	Rectangular	1,5	1,7
7	Saluran C7	1232	Rectangular	1,5	1,7
8	Saluran C8 C9	592	Rectangular	3	2
9	Saluran C10	356	Rectangular	3	2
10	Saluran C11	800	Rectangular	3	2

Drainase direncanakan memiliki 3 jenis yang berbeda ukuran sesuai dengan debit aliran yang akan dilalui.

5. Memasukan Data Intensitas Hujan

Data intensitas hujan yang dimasukkan yaitu data Intensitas Hujan untuk kala ulang 20 tahun. Hasil perhitungan Intensitas Hujan dengan metode Mononobe disajikan pada Tabel 4.15 sebagai berikut:

Tabel 4.15 Intensitas Hujan Kala Ulang 20 Tahun

No	Jam Ke	20 Tahun
1	00:00	00.00
2	1:00	49.60
3	2:00	31.25
4	3:00	23.85
5	4:00	19.68
6	5:00	16.96
7	6:00	15.02
8	7:00	13.55
9	8:00	12.40
10	9:00	11.46
11	10:00	10.69
12	11:00	10.03
13	12:00	9.46
14	13:00	8.97
15	14:00	8.54
16	15:00	8.15
17	16:00	7.81
18	17:00	7.50
19	18:00	7.22
20	19:00	6.97
21	20:00	6.73
22	21:00	6.52
23	22:00	6.32
24	23:00	6.13
25	24:00	5.96

Contoh input data properti Intensitas hujan pada Epa Swmm dapat dilihat pada Gambar 4.8 berikut:

Time Series Editor

Time Series Name
IntensitasHujan

Description

Use external data file named below

Enter time series data in the table below
No dates means times are relative to start of simulation.

Date (M/D/Y)	Time (H:M)	Value
07/03/2022	01:00	49.60
	02:00	31.25
	03:00	23.80
	04:00	19.68
	05:00	16.96
	06:00	15.02
	07:00	13.55
	08:00	12.40
	09:00	11.30
	10:00	10.69
	11:00	10.12

View

OK

Cancel

Help

Gambar 4.8 Contoh Input Data Time Series Intensitas Hujan

6. Memasukan Data Pasang Pada Outfall

Data pasang yang dimasukkan sebagai input program adalah data pasang surut seperti pada Tabel 4.16 berikut;

Tabel 4.16 Data Pasang Surut 21 Desember 2021

No	Jam Ke	Tinggi Muka Air Laut (m)
1	00:00	00.00
2	1:00	1.00
3	2:00	1.00
4	3:00	0.90
5	4:00	0.80
6	5:00	0.70
7	6:00	0.50
8	7:00	0.40
9	8:00	0.30
10	9:00	0.30
11	10:00	0.20
12	11:00	0.30
13	12:00	0.30
14	13:00	0.40
15	14:00	0.40
16	15:00	0.50

17	16:00	0.50
18	17:00	0.50
19	18:00	0.60
20	19:00	0.60
21	20:00	0.70
22	21:00	0.70
23	22:00	0.80
24	23:00	0.90
25	24:00	1.00

Sumber; BMKG Stasiun Meteorologi Maritim Tanjung Mas Semarang

7. Proses Running Program

Running Program dilakukan setelah semua data dimasukkan kedalam unit Properties seperti pada Skema DAS.

8. Hasil Simulasi dan Pembahasan

Hasil simulasi hidrolika dengan aplikasi EPA SWMM pada kondisi pasang surut ditampilkan berupa tabel yang berisi data hidrolis tinggi muka air terhadap penampang saluran dan output *long section* dapat dilihat pada Gambar 4.9 dan hasil elevasi muka air pada saluran drainase menggunakan aplikasi EPA SWMM dapat dilihat pada Tabel 4.17 berikut:

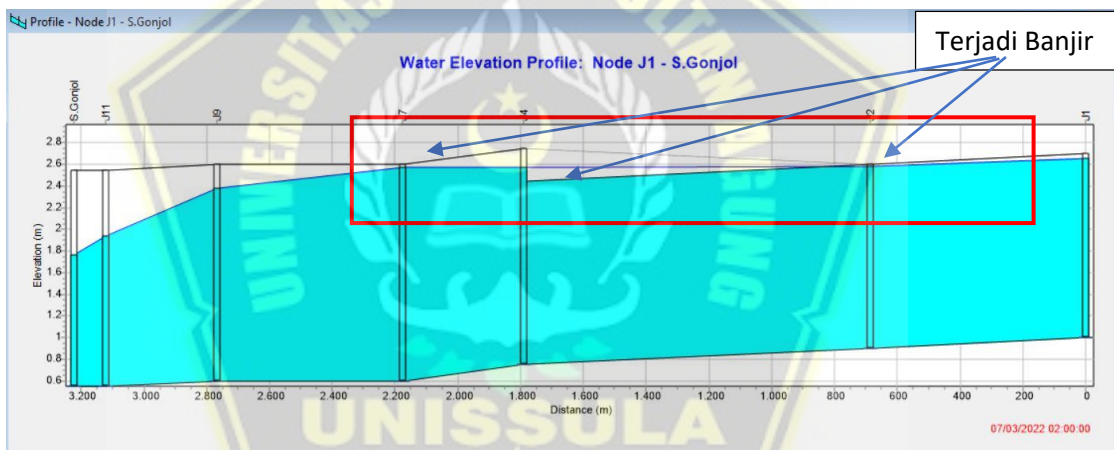
Tabel 4.17 Elevasi Muka Air Banjir

No	Junction	Kedalaman Saluran	Rata Rata muka air (m)	Muka air max	Jam Puncak
1	J1	1.7	1,55	1,70	01:35
2	J2	1.7	1,68	1,68	01:23
3	J3	1.7	1,44	1,50	01:32
4	J4	1.7	1,78	1,81	01:17
5	J5	1.7	1,64	1,70	01:37

6	J6	1.7	1,39	1,60	01:36
7	J7	2	1,75	2,00	01:36
8	J8	2	1,50	1,7	01:32
9	J9	2	1,68	1,89	07:47
10	J10	2	0,1	1,00	00:00
11	J11	2	1,23	1,52	08:03
12	S. Gonjol		1.27	1.5	00:00

Sumber : Data Output Hasil Simulasi Epa Swmm

Tabel 4.16 di atas menunjukkan bahwa beberapa elevasi muka air sama atau lebih tinggi dari dinding saluran yang mana berarti terjadinya limpasan pada sisi kanan dan kiri saluran contohnya pada titik J4. Contoh hasil gambar dari simulasi hidrolika Drainase pada terjadi pasang dapat dilihat pada Gambar 4.9 berikut:



Gambar 4.9 Long Section hasil program SWMM

Berdasarkan gambar Long Section saluran diatas, terlihat bahwa pada saat terjadi hujan dikondisi sedang terjadi pasang maka akan terjadi limpasan pada titik pertemuan di Junction J1, J2, J4 dan J7. Hal ini dikarenakan penampang tidak mampu menampung volume banjir diakibatkan permukaan di hilir saluran yang tinggi sehingga air tidak dapat mengalir dengan lancar dan menyebabkan limpasan. Untuk bulan bulan tertentu dimana curah hujan tinggi dalam kurun waktu yang lama, tentu saja kondisi ini akan menyebabkan banjir yang cukup luas, khususnya

di Kecamatan Sayung yang mana kondisi saluran drainase sangat dipengaruhi oleh tinggi muka air laut. Hal ini diperparah dengan daerah Kecamatan Sayung yang mengalami *land subsidence* setiap tahunnya yang mana muka air laut semakin tinggi dari tahun ketahun. Sehingga penampungan curah hujan dengan mengalirkan kelaut sudah tidak bisa optimal apalagi saat muka air laut tinggi. Sehingga dibutuhkan Sistem Polder untuk mengatasi banjir pada musim penghujan.

4.3.2 Simulasi Dengan Penambahan Sistem Polder

Pada permodelan ini saluran dialihkan dari yang sebelumnya bermuara ke Sungai Gonjol dialihkan ke saluran yang menuju kolam penampungan dengan menutup pintu air di Hulu Sungai Gonjol, air yang tertampung pada kolam penampungan selanjutnya di salurkan ke Sungai Sayung menggunakan pompa. Rencana sistem polder dapat dilihat pada Gambar 4.10 berikut:



Gambar 4.10 Subsistem Drainase Gonjol

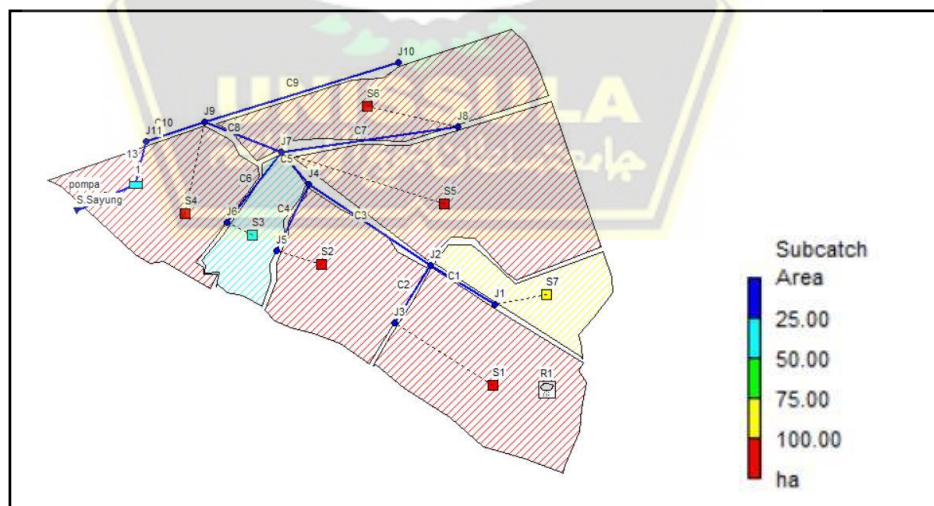
Sumber : Studi Teknik,2021

Pada Simulasi ini sebelumnya dilakukan beberapa tahap permodelan pada Aplikasi EPA Swmm meliputi :

- Memodelkan Skema DAS pada program EPA SWMM
- Memasukan data DAS
- Memasukan data junction
- Memasukan data saluran
- Memasukan data Intensitas Hujan
- Memasukan data Storage
- Memasukan data Pompa
- Proses running program

Tahapan Simulasi dengan penambahan sistem polder pada penelitian ini dilakukan seperti berikut:

1. Memodelkan Skema DAS pada program Epa Swmm
Pembuat Permodelan dengan menggambar dan menempatkan unit Didrologi (Rain Gage) dan unit hidrolika (Junction, Conduit, storage, dan pompa)



Gambar 4.11 Skema DAS Gonjol dengan tambahan sistem polder

2. Memasukan data DAS

Data DAS dimasukkan sesuai dengan kondisi DAS yang ada sesuai dengan parameter lahan. Dimana data yang dipakai pada input program yaitu;

- Data luas area
- Data lebar
- Kemiringan lahan
- N – imperv
- N-perv
- D-store Imperv
- Dan D Store Perv

Input Data DAS Gonjol pada Program Epa SWMM dapat dilihat pada Tabel 4.18 berikut;

Tabel 4.18 Data input Subcatchment Area

No	Subcatchment	Luas	Lebar	% Imperv	N- Imperv	N- Perv ^c	D Imperv ^d	D- Perv ^e
1	S1	136,9	944	24.66	0.012	0.013	0.05	0.015
2	S2	95,0	944	24.66	0.012	0.013	0.05	0.015
3	S3	40,1	408	24.66	0.012	0.013	0.05	0.015
4	S4	106,6	975	24.66	0.012	0.013	0.05	0.015
5	S5	151,3	500	24.66	0.012	0.013	0.05	0.015
6	S6	111,6	1248	24.66	0.012	0.013	0.05	0.015
7	S7	75,6	180	24.66	0.012	0.013	0.05	0.015

Contoh Input data Subcatchment pada Program EPA SWMM dapat dilihat pada Gambar 4.12 berikut:

Property	Value
Name	S1
X-Coordinate	5355.110
Y-Coordinate	2455.950
Description	
Tag	
Rain Gage	1
Outlet	J3
Area	136.98
Width	944
% Slope	0.5
% Imperv	25

User-assigned name of subcatchment

Gambar 4.12 Contoh Input Data Subcatchment

3. Memasukan Data Junction

Junction ditempatkan pada elevasi terendah (sungai) yang berbatasan dengan *subcatchment* lain. *Junction* dapat menampilkan pertemuan dari saluran permukaan alami, lubang got dari sistim pembuangan, atau pipa penghubung. Data yang dimasukan berupa data elevasi dan kedalaman tetap pada saluran. Yang mana data Input Junction dapat dilihat pada Tabel 4.19 berikut:

Tabel 4.19 Data Input Junction

No	Nama Junction	Elevasi (m)	Kedalam awal (m)
1	J1	1	0,4
2	J2	0,9	0,4
3	J3	1	0,4
4	J4	0,75	0,4
5	J5	0,9	0,4
6	J6	0,9	0,4
7	J7	0,6	0,4
8	J8	0,8	0,4

9	J9	0,6	0,7
0	J10	0,6	0,7
11	J11	0,55	0,7

4. Memasukan Data Saluran

Memasukan semua data saluran pada jaringan dimasukkan diantaranya bentuk dan dimensi penampang saluran, panjang saluran, serta nilai kekasaran Manning pada saluran yang disesuaikan dengan kondisi saluran yang telah ada (eksisting). Dimensi dan panjang saluran yang dimasukkan ke dalam SWMM dapat dilihat dibawah ini. Nilai kekasaran Manning dapat dilihat pada table 4.20 berikut.

Tabel 4.20 Data kekasaran Manning

Tipe Saluran	Manning (n)
Saluran dilapis atau dipoles	
Aspal	0.013-0.017
Batu bata	0.012-0.018
Beton	0.011-0.20
pasangan batu kali	0.20-0.035
lapisan dari tanaman	0.030-0.400
Digali atau dikeruk	
saluran tanah, lurus dan seragam	0.020-0.040
saluran tanah, banyak tumbuhan dan relatif seragam	0.025-0.040
tanah berbatu	0.030-0.045
saluran tidak terawat, banyak tumbuhan	0.050-0.140
saluran alam (lebar atas pada saat banjir dan saluran terisi penuh <100 ft)	
bersih tanpa tekanan	0.030-0.070
banyak tumbuhan pengganggu dan rekahan yang dalam	0.040-0.100

Penampang saluran drainase direncanakan berbentuk Rectangular terbuka yang terbuat dari beton dengan nilai kekasaran Manning yang dipakai yaitu 0,013.

Dimana rencana dimensi penampang untuk saluran Drainase Kali Gonjol dapat dilihat pada Tabel 4.21 berikut:

Tabel 4.21 Rencana Dimensi Penampang Saluran

No	Nama Saluran	Panjang (m)	Bentuk Saluran	b (m)	h(m)
1	Saluran C1	687	Rectangular	2	1,7
2	Salurn C2	505	Rectangular	1,5	1,7
3	Saluran C3	1103	Rectangular	2	1,7
4	Saluran C4	602	Rectangular	1,5	1,7
5	Saluran C5	385	Rectangular	3	2
6	Saluran C6	780	Rectangular	1,5	1,7
7	Saluran C7	1232	Rectangular	1,5	1,7
8	Saluran C8 C9	592	Rectangular	3	2
9	Saluran C10	356	Rectangular	3	2
10	Saluran C11	800	Rectangular	3	2

Drainase direncanakan memiliki 3 jenis yang berbeda ukuran sesuai dengan debit aliran yang akan dilalui.

5. Memasukan Data Intensitas Hujan

Data Intensitas hujan yang dimasukkan yaitu data Intensitas Hujan untuk kala ulang 20 tahun hasil perhitungan Intensitas Hujan dengan metode Mononobe pada Tabel 4.22 Data Hujan yang dimasukkan adalah sebagai berikut:

Tabel 4.22 Intensitas Hujan Kala Ulang 20 Tahun

No	Jam Ke	20 Tahun
1	00.00	00.00
2	1:00	49,60
3	2:00	31,25
4	3:00	23,85
5	4:00	19,68
6	5:00	16,96

7	6:00	15,02
8	7:00	13,55
9	8:00	12,40
10	9:00	11,46
11	10:00	10,69
12	11:00	10,03
13	12:00	9,46
14	13:00	8,97
15	14:00	8,54
16	15:00	8,15
17	16:00	7,81
18	17:00	7,50
19	18:00	7,22
20	19:00	6,97
21	20:00	6,73
22	21:00	6,52
23	22:00	6,32
24	23:00	6,13
25	24:00	5,96

6. Memasukan Data Storage

Luas Storage atau kolam tampungan yang direncanakan adalah seluas 25000 m² dengan kedalaman 5 m. Kolam ini akan menjadi outfall dari saluran drainase ketika pintu air pada Sungai Gonjol ditutup dalam Kondisi Pasang. Parameter *storage unit* yang diisi meliputi:

1. Elevasi / ketinggian,
2. Kedalaman maksimum.

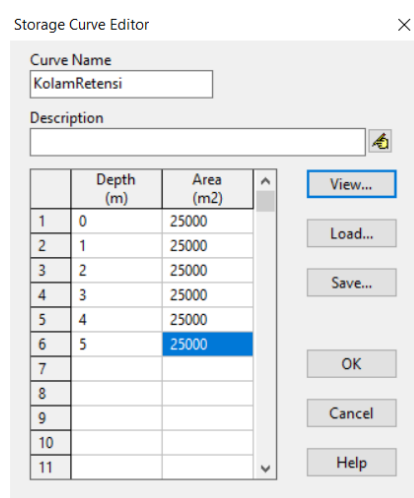
Input Data Storage pada program berupa hubungan kedalaman Storage dengan luas seperti pada Tabel 4.23 berikut:

Tabel 4.23 Hubungan antara kedalaman dal luas Storage

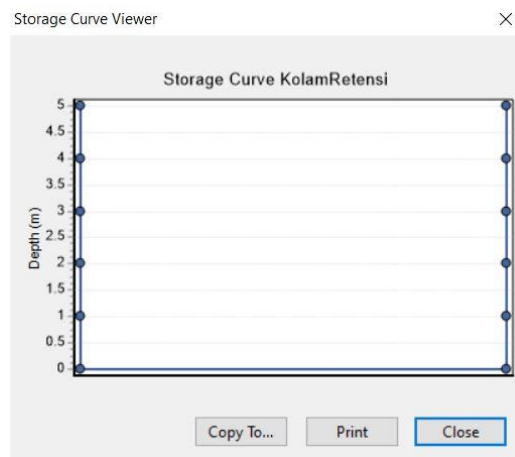
No	Kedalaman (m)	Luas (m ²)
1	0	25000
2	1	25000

3	2	25000
4	3	25000
5	4	25000
6	5	25000

Penampang storage dapat dilihat pada Gmbar 4.14 dan Input data storage pada program Epa Swmm dapat dilihat pada Gambar 4.13 berikut:



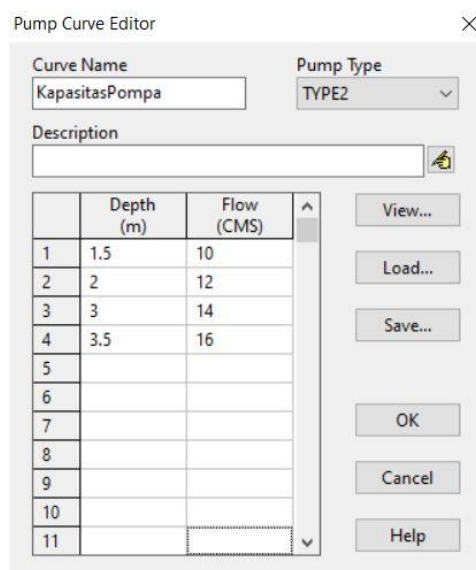
Gambar 4.13 Gambar Input data pada Storage Curve



Gambar 4.14 Gambar view penampang Storge

7. Memasukan Data Pompa

Pompa yang dipakai pada simulasi sistem polder ini yaitu pompa Type 2 dimana pompa bekerja berdasarkan kedalaman air pada kolam tampungan. Pompa digunakan untuk menaikkan air atau meninggikan elevasi air. Hidup dan mati pompa dapat diatur secara dinamik sepanjang pengaturan kontrol yang telah ditetapkan oleh pengguna. Input data pompa pada simulasi ini dapat dilihat seperti Gambar 4.15 berikut:



	Depth (m)	Flow (CMS)
1	1.5	10
2	2	12
3	3	14
4	3.5	16
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		

Gambar 4.15 Input kapasitas pompa pada Program Epa SWMM

8. Memasukan data Outfall

Outfall dari Simulasi Saluran dengan Sistem polder adalah Sungai Sayung dimana dari storage dipompa dengan aliran bebas.

9. Proses Running Program

Running Program dilakukan setelah semua data sudah dimasukkan kedalam unit Properties seperti pada Skema DAS

10. Hasil Simulasi dan Pembahasan

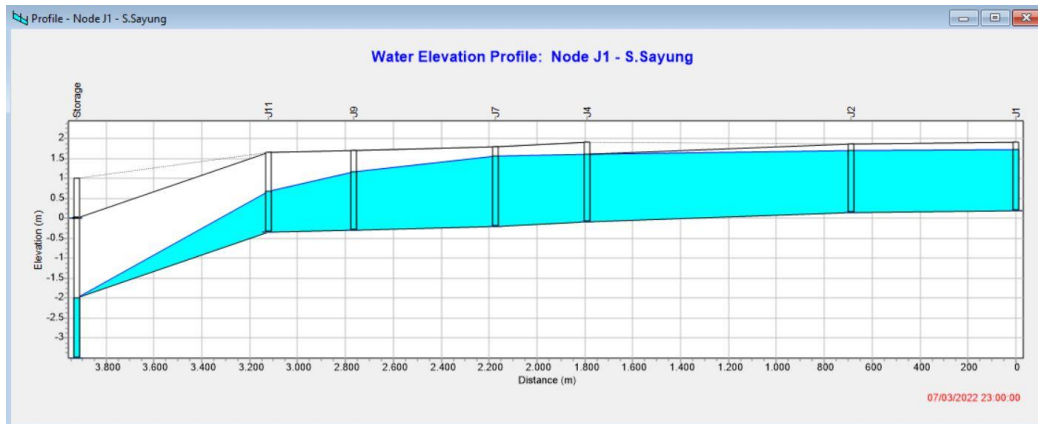
Hasil simulasi hidrolika dengan aplikasi EPA SWMM berupa tabel yang berisi data hidrolis sungai gambar *long section* yang tergambar garis elevasi muka

air dari debit banjir rencana. Hasil output menggunakan aplikasi EPA SWMM dapat dilihat pada Tabel 4.24 berikut:

Tabel 4.24 Tabel Output Hasil Program Epa Swmm

No	Junction	Kedalaman Saluran	Rata Rata muka air (m)	Muka air max
1	J1	1.7	1,50	1,70
2	J2	1.7	1,49	1,67
3	J3	1.7	1,44	1,50
4	J4	1.7	1.70	1,91
5	J5	1.7	1,62	1,7
6	J6	1.7	1,28	1,62
7	J7	2	1,77	1.8
8	J8	2	1,39	1,9
9	J9	2	1,50	1,81
10	J10	2	0,01	1,00
11	J11	2	1,07	1,33
12	S. Sayung		0,00	0,00
13	Storage		1.73	2.02

Berdasarkan Tabel 4.23 Dapat dilihat dengan menggunakan dimensi penampang saluran yang sama, pada simulasi dengan penambahan Sistem Polder bisa mengurangi kedalaman rata2 tinggi muka air. Dari tabel terlihat bahwa pada titik J1, J4 dan J5. juga terjadi limpasan. Contoh hasil gambar dari simulasi hidrolika Drainase dengan penambahan Sistem Polder dapat dilihat pada Gambar 4.16 berikut:



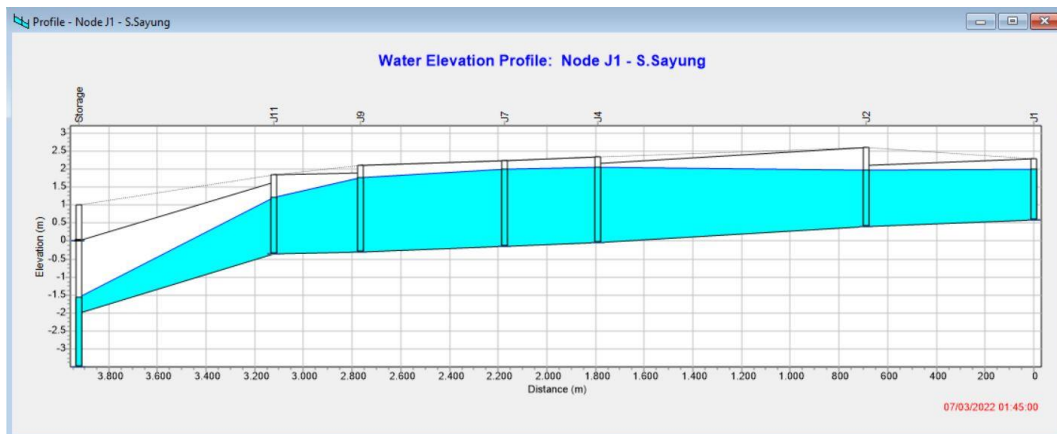
Gambar 4.16. Long Section hasil pada jam 22.00

Berdasarkan gambar Long Section saluran diatas, terlihat bahwa pada saat terjadi hujan dikondisi sedang terjadi pasang maka akan terjadi limpasan pada titik pertemuan di Junction J1, J4 dan J2. Hal ini dikarenakan penampang tidak mampu menampung volume banjir diakibatkan permukaan di hilir saluran yang tinggi sehingga air tidak dapat mengalir dengan lancar yang akhirnya menyebabkan limpasan. Terlihat pula pada gambar bahwa genangan pada saluran diakibatkan kemiringan yang landai pada saluran. Sehingga dapat disimpulkan selain dengan Sistem polder juga dibutuhkan normalisasi saluran sehingga dapat mengalirkan debit banjir dengan baik. Sehingga perlu diadakan permodelan ulang dengan cara trial dan error untuk mendapatkan dimensi saluran yang aman dan konfigurasi pompa yang efektif. Hasil uji coba dimensi penampang menggunakan EPA SWMM didapat rekomendasi penampang yang mampu menampung aliran dalam Sistem Polder yang mana dapat dilihat pada Tabel 4.25 berikut:

Tabel 4.25 Rekomendasi Dimensi Penampang Saluran

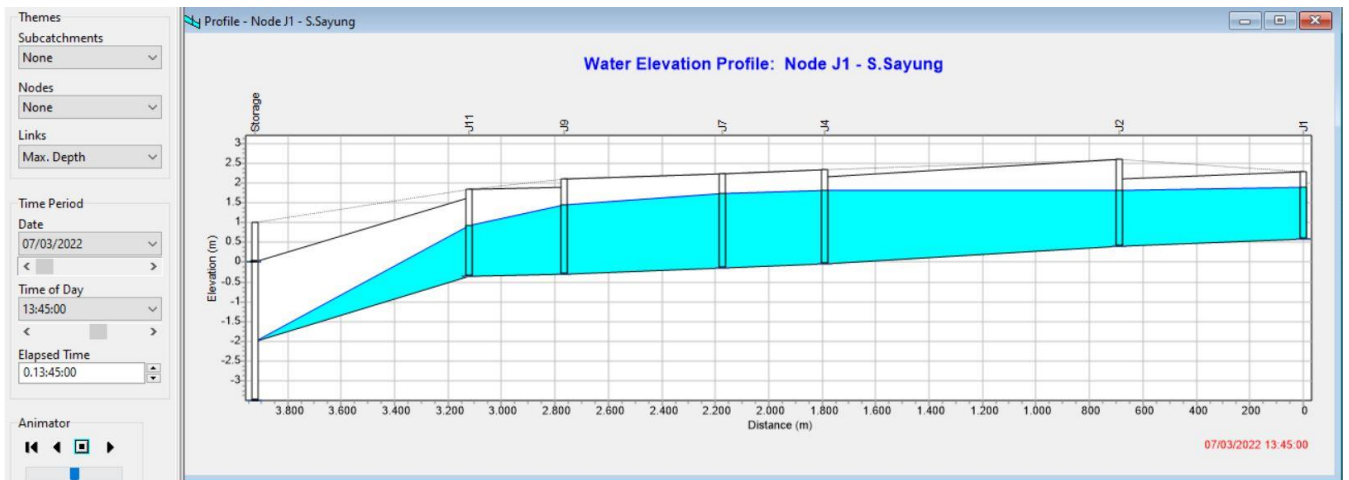
No	Nama Saluran	Panjang (m)	Bentuk Saluran	b (m)	h(m)
1	Saluran C1	687	Rectangular	2	1,7
2	Salurn C2	505	Rectangular	1,5	1,7
3	Saluran C3	1103	Rectangular	2	1,7

4	Saluran C4	602	Rectangular	2	2.2
5	Saluran C5	385	Rectangular	3	2.2
6	Saluran C6	780	Rectangular	1,5	1,7
7	Saluran C7	1232	Rectangular	1,5	1,7
8	Saluran C8 C9	592	Rectangular	3	2.2
9	Saluran C10	356	Rectangular	3	2
10	Saluran C11	800	Rectangular	3	2



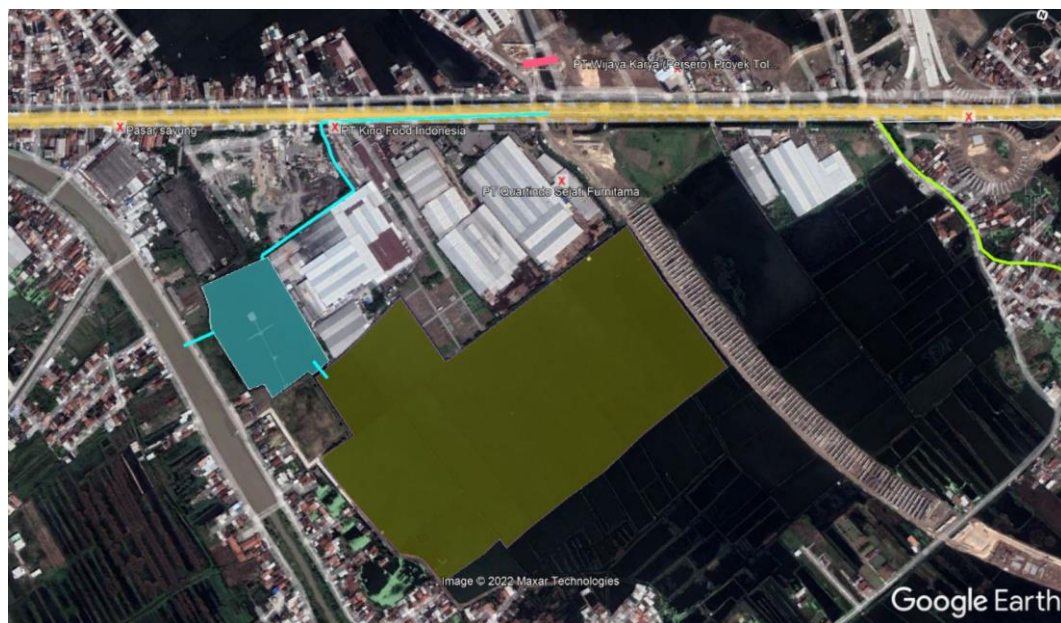
Gambar 4.17 Long Section Saluran Drainase pada debit puncak

Dengan menggunakan pompa kapasitas $16\text{m}^3/\text{detik}$, Dari gambar diatas dapat dikatakan penampang aman, karena tidak terjadi limpasan pada dinding saluran. membutuhkan waktu 10 jam untuk pompa sampai mengalirkan air di *storage* ke Outfall Sungai Sayung yang mana terlihat pada Animasi penampang seperti pada gambar 4.18 berikut:

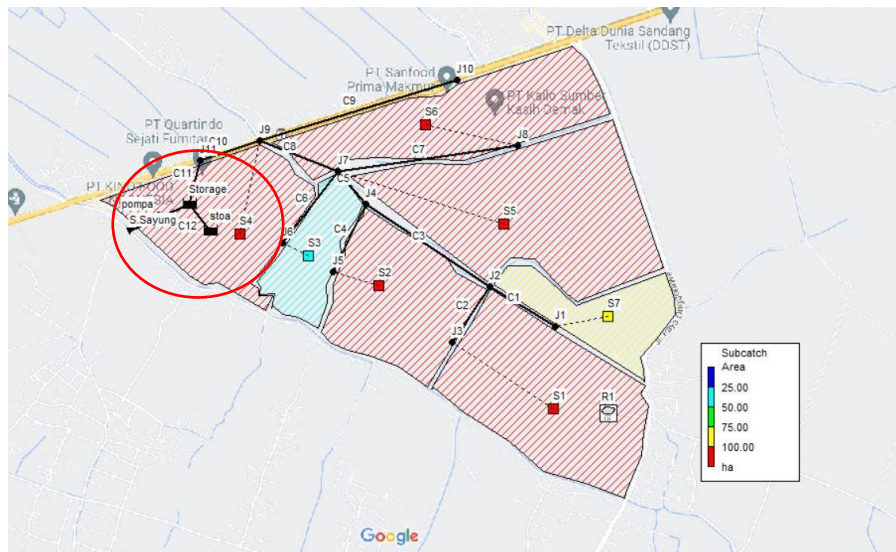


Gambar 4.18 Long Section saat storage sudah kosong

Dengan mengingat adanya lahan kolam alami disekitar kolam retensi / storage yang diuat maka dicoba simulasi sistem polder dengan penambahan kolam alami sebagai penampung air seperti pada Gambar 4.19 dan Gambar 4.20 berikut:



Gambar 4.19 Lokasi Kolam alami



Gambar 4.20 Skema EPA SWMM dengan penambahan Polder dan Storage Alami

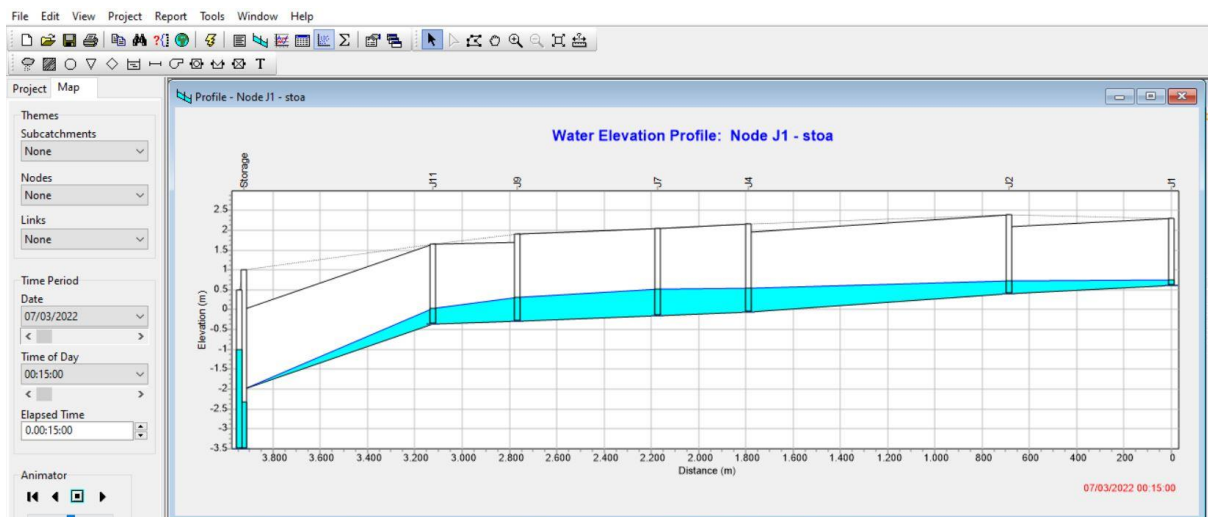
Kolam alami yang disimulasikan memiliki luas 18,2 Ha dengan ketinggian dengan ketinggian air awal 1.5 meter. Dengan memakai pompa dengan kapasitas 6m³/detik. Maka hasil muka air pada saluran dapat dilihat pada Tabel berikut:

Tabel 4.26 Tabel Output Hasil Program Epa Swmm

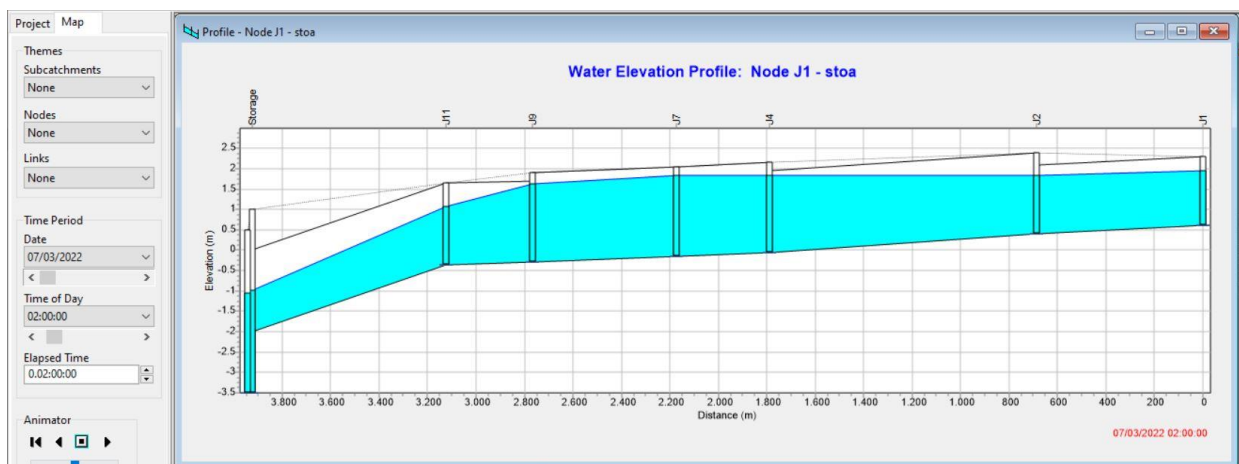
No	Junction	Kedalaman Saluran	Rata Rata muka air (m)	Muka air max
1	J1	17	1,16	1,35
2	J2	1.7	1,27	1,40
3	J3	1.7	1,47	1,50
4	J4	2.2	1.65	1,9
5	J5	2.2	1,65	1,7
6	J6	1.7	1,26	1,63
7	J7	2.2	1,70	2.01
8	J8	2.2	1,36	1,7
9	J9	2	1,59	1,9

10	J10	2	0,01	1,00
11	J11	2	1,14	1,44
12	S. Sayung		0,00	0,00
13	Storage		3.14	3.38
14	S. Alami		2.91	3

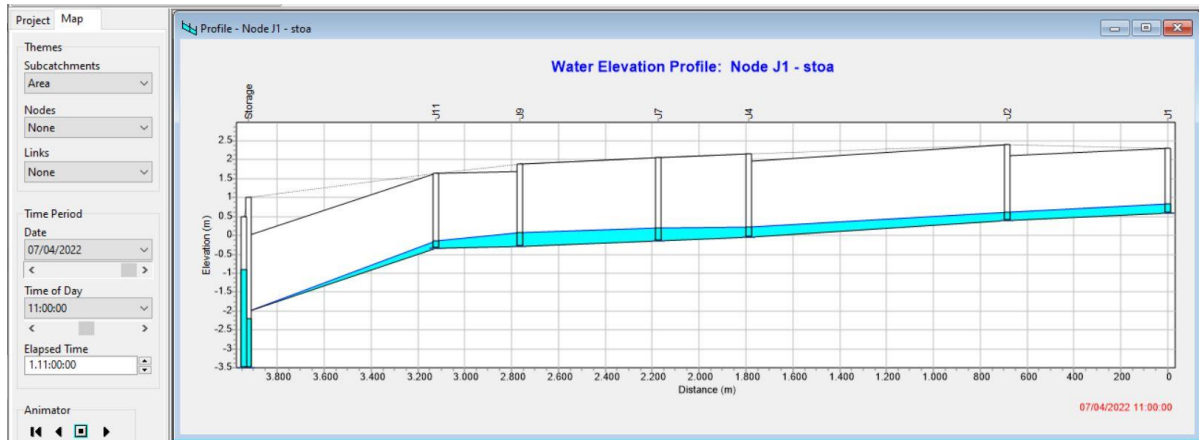
Dari Tabel 4.26 dapat dikatakan bahwa penampang aman untuk menampung debit banjir dari curah hujan yang telah direncanakan. Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 4.21, Gambar 4.2 2dan Gambar 4.23 berikut:



Gambar 4.21 *Long Section* pada sebelum simulasi hujan



Gambar 4.22 *Long Section* pada muka air puncak



Gambar 4.23 *Long Section* pada storage kolam retensi kembali ke semula

Dengan simulasi didapatkan waktu kerja pompa untuk mengembalikan elevasi storage sebelum banjir adalah 35 Jam dengan kapasitas pompa $6\text{m}^3/\text{detik}$. Sehingga dapat dikatakan dengan penambahan sistem polder pada DAS mampu mengatasi banjir pada saat terjadi hujan deras dengan catatan harus tetap dengan melakukan normalisasi pada saluran saluran lain yang saling berhubungan baik dari kemiringan maupun timbunan. Kemiringan yang kecil juga menyebabkan aliran masih tertahan pada saluran meski *storage* sudah kosong.

BAB IV

KESIMPULAN DAN SARAN

KESIMPULAN

Hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan sebelumnya dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil dari perhitungan hidrologi yang dilakukan, didapatkan debit banjir kala ulang tahunan Q2 (43,77 m³/det), Q5 (51,73 m³/det), Q10 (55,95 m³/det), Q20 (59,40 m³/det), Q50 (63,23 m³/det), Q100 (65,869 m³/det).
2. Hasil simulasi hidrolika pada saluran DAS Gonjol dengan berbagai kondisi adalah sebagai berikut:
 - Hasil simulasi hidrolika saluran DAS Gonjol pada kondisi terpengaruh pasang surut menunjukkan bahwa dimensi saluran yang direncanakan tidak dapat menampung debit banjir.
 - Hasil simulasi hidrolika penambahan sistem polder mampu menampung debit banjir dengan kapasitas pompa 15m³/detik dengan penambahan ukuran dimensi penampang.
 - Hasil simulasi hidrolika penambahan sistem polder dan storage alami mampu menampung debit banjir dengan kapasitas pompa 6m³/detik dengan waktu kerja pompa selama 35 jam.
 - Dengan menggunakan dimensi yang sama, simulasi aliran dengan penambahan sistem polder memiliki muka air rata rata yang lebih kecil dibandingkan dengan simulasi dengan pengarah pasang surut.
 - Sistem polder dapat dipakai dalam menanggulangi banjir yang terjadi dengan memperhatikan beberapa aspek seperti kemiringan dan dimensi penampang saluran.

SARAN

Berdasarkan hasil analisis dan kesimpulan, penulis memberikan saran sebagai berikut:

1. Dengan mempertimbangkan dampak dari bencana banjir di Kecamatan Sayung Demak maka disarankan secepatnya pemerintah menanggulangi bencana banjir terutama dengan membuat Sistem Polder pada DAS Gonjol untuk menampung debit banjir akibat

curah hujan dimana Sistem Polder ini memiliki kelebihan tidak terpengaruh dengan ketinggian muka air laut maupun *land subsidence* yang terjadi.

2. Disarankan untuk pemerintah Kecamatan Sayung dengan perkembangan atau pertumbuhan pemukiman maupun industri di Kecamatan Sayung Demak untuk tetap mempertahankan sebagian lahan sebagai tempat penampungan air yang mana bisa digunakan sebagai penampungan alami saat terjadi hujan deras.
3. Banjir di Kecamatan Sayung merupakan masalah yang kompleks , sehingga selain penambahan sistem polder yang perlu diperhatikan adalah normalisasi dari seluruh drainase terutama sungai sungai yang langsung bermuara ke laut.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi, Henny Pratiwi dan S, Imam Wahyudi. 2021. *Kajian Operasional Sistem Polder Untuk Penanganan Banjir Dan Rob Di Kawasan Genuk Semarang*. Jurnal Wahana Teknik Sipil. Volume 26 No.1.
- Arahman, Imam, Imam Budiarto, Suseno Darsono, Sugiyanto. 2015. *Pengendalian Banjir Sungai Dombo Sayung Kabupaten Demak*. Jurnal Karya Teknik Sipil Undip. Volume 4 Nomor 1.
- Bakornas Penanggulangan Bencana. 2007. *Pedoman Praktis Penanggulangan Bencana Banjir*.
- Desmawan, Bayu Trisna. 2012. *Adaptasi Masyarakat Kawasan Pesisir Terhadap Banjir rob di Kecamatan Sayung*. Jurnal Bumi Indonesia. Volume 1 Nomor 1
- Direktorat Jenderal Kelautan, Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil Departemen Kelautan dan Perikanan (DKP). 2009. *Modul Pelatihan dan Pengelolaan Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil Secara Terpadu*.
- Evi R, Aulia W R, Suripin dan Dwi K. 2017. *Pengembangan Drainase Sistem Polder Sungai Sringin Kota Semarang*. Jurnal Karya Teknik Sipil Undip. Volume 6 Nomor 1.
- Findayani, Aprilia. 2015. *Kesiap Siagaan Masyarakat Dalam Penanggulangan Banjir Di Kota Semarang*. Jurna Geografi Volume 12 Nomor 1. Universitas Negeri Semarang.
- Kodoatie, Robert J dan Sugiyanto. 2001. *Banjir*. Semarang: Pustaka Pelajar.
- Marta W. Joice, Ir., Adhidarma Wanny. 1992. *Mengenal Dasar-dasar Hidrologi*. Nova, Bandung.
- Robert J. Kodoatie, (2013), *Rekayasa dan Manajemen Banjir Kota*, Andi Offset, Yogyakarta.
- Rahim SE. 2000. *Pengendalian Erosi Tanah*. Jakarta: .Bumi Aksara.
- Sebastian, Lital. 2008. *Pendekatan Pencegahan dan Penanggulangan Banjir*. Jurnal Dinamika Teknik Sipil, Volume 8 No.2. Palembang : Fakultas Teknik, Universitas Sriwidjaja Palembang.
- Soedibyo. 1993. *Teknik Bendungan*. PT. Pradnya Paramita. Jakarta
- Soemarto, CD. 1987. *Hidrologi Teknik*. Surabaya: Usaha Nasional.

- Soewarno. 1995. *Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data*. Bandung: Nova.
- Sosrodarsono, Suyono dan Masateru Tominaga. 1994. *Perbaikan dan Pengaturan Sungai*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Sudjatmiko H, Bisri M dan Yuliani Emma. 2016. *Studi Evaluasi & Perbaikan Sistem Drainase Di Polder Jati Pinggir Kanal Banjir Barat DKI Jakarta*. Jurnal Teknik Pengairan. Volume 7 Nomor 2.
- Suripin. 2004. *Buku Ajar Hidrolika*. Semarang: Jurusan Teknik Sipil FT Undip.
- Syahputra, Ichsan. 2015. *Kajian Hidrologi dan Analisa Kapasitas Tampang Sungai Kreung Langsa Berbasis HEC HMS dan HEC- RAS*. Jurnal Teknik Sipil Unaya. Volume 1 Nomor 1.
- Wahyudi, S. Imam. 2007. *Tingkat Pengaruh Elevasi Pasang Laut Terhadap Banjir dan Rob Di Kawasan Kaligawe Semarang*. Jurnal Riptek. Volume 1 no. 1.
- Wahyudi, S. Imam, Henny Pratiwi Adi. 2016. *Drainase Sistem Polder*. Ef Press Digimedia Riptek. Semarang
- Zarkani, M. Rizal, Bambang S dan Rinaldi. 2016. *Analisa Drainase Untuk Penanggulangan Banjir Menggunakan EPA SWMM Studi Kasus Perumahan Mutiara Kecamatan Rumbai Pekanbaru*. Jurnal Jom FTEKNIK. Volume 3 No.1 Februari.