

TESIS

SIMULASI HIDROLIKA SEBELUM DAN SESUDAH NORMALISASI SUNGAI UNTUK MENGATASI BANJIR DI AREA HULU BENDUNG (Studi Kasus Sungai Penggaron sebagai Hulu Bendung Pucang Gading)

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



Oleh :

**TESSA KUSUMANINGSIH
NIM : 20202300189**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG
2025**

LEMBAR PERSETUJUAN TESIS

**SIMULASI HIDROLIKA SEBELUM DAN SESUDAH
NORMALISASI SUNGAI UNTUK MENGATASI
BANJIR DI AREA HULU BENDUNG
(Studi Kasus Sungai Penggaron sebagai
Hulu Bendung Pucang Gading)**



LEMBAR PENGESAHAN TESIS

SIMULASI HIDROLIKA SEBELUM DAN SESUDAH NORMALISASI
SUNGAI UNTUK MENGATASI BANJIR DI AREA HULU BENDUNG
(STUDI KASUS SUNGAI PENGGARON DI AREA HULU BEDUNG
PUCANG GADING)

Disusun oleh :
TESSA KUSUMANINGSIH
NIM : 20202300189

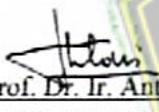
Dipertahankan di Depan Tim Penguji Tanggal :
24 Oktober 2025

Tim Penguji:

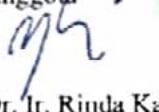
1. Ketua


Ir. M. Taqwa Ni'am, MT., Ph.D.
NIK 210296020

2. Anggota


Prof. Dr. Ir. Antonius, MT., IPU
NIK 210202033

3. Anggota

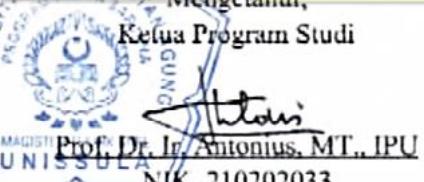

Dr. Ir. Rinda Karlinasari, MT.,
NIK 210297022

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

Semarang, 11 November 2025

Mengetahui,

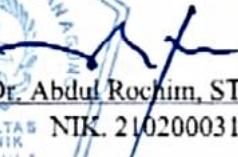
Ketua Program Studi



Prof. Dr. Ir. Antonius, MT., IPU
NIK. 210202033

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik


Dr. Abdul Rochim, ST., MT
NIK. 210200031

MOTTO

كُلُّتُمْ خَيْرٌ أُمَّةٍ أُخْرَجْتُ لِلنَّاسِ تَأْمُرُونَ بِالْمَعْرُوفِ وَنَهَايُونَ عَنِ الْمُنْكَرِ وَتُؤْمِنُونَ
بِاللَّهِ وَلَوْ أَمَّنَ أَهْلُ الْكِتَابِ لَكَانَ خَيْرًا لَّهُمْ مِنْهُمُ الْمُؤْمِنُونَ وَأَكْثَرُهُمُ الْفَسِيْقُونَ

“Kamu (umat Islam) adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia (selama) kamu menyuruh (berbuat) yang makruf, mencegah dari yang mungkar, dan beriman kepada Allah. Seandainya Ahlulkitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka. Di antara mereka ada yang beriman dan kebanyakan mereka adalah orang-orang fasik.” (QS. Ali’Imran 110)

لَهُ مُعَقِّبٌ مَنْ بَيْنَ يَدَيْهِ وَمِنْ خَلْفِهِ يَحْفَظُونَهُ مِنْ أَمْرِ اللَّهِ إِنَّ اللَّهَ لَا يُغَيِّرُ مَا بِقَوْمٍ
حَتَّىٰ يُغَيِّرُوا مَا بِأَنفُسِهِمْ وَإِذَا أَرَادَ اللَّهُ بِقُوَّمٍ سُوءًا فَلَا مَرَدَّ لَهُ وَمَا لَهُمْ مِنْ ذُوْنٍ

مِنْ وَالِ

“Baginya (manusia) ada (malaikat-malaikat) yang menyertainya secara bergiliran dari depan dan belakangnya yang menjaganya atas perintah Allah. Sesungguhnya Allah tidak mengubah keadaan suatu kaum hingga mereka mengubah apa yang ada pada diri mereka. Apabila Allah menghendaki keburukan terhadap suatu kaum, tidak ada yang dapat menolaknya, dan sekali-kali tidak ada pelindung bagi mereka selain Dia.” (QS. Ar – Ra’d : 11)

إِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا

“Sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan.” (QS. Al Insyirah ; 6)

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 : Alm. Bapak Sumarjo dan Ibu Sumini, Mertua saya : Alm Bapak Djoko P dan Almh Ibu Iswanti. Terima kasih atas segala pengorbanan dan ketulusan yang selama ini diberikan. Bapak dan Ibu memang tidak pernah merasakan pendidikan dibangku perkuliahan, namun mereka mampu senantiasa memberikan yang terbaik untuk anak-anaknya,
3. Kepada seseorang yang tak kalah penting kehadirannya, Satrio Budi Laksono. Terima kasih telah menjadi bagian dari perjalanan hidup saya. Telah menjadi rumah, pendamping dalam segala hal yang menemani, mendukung ataupun menghibur dalam kesedihan, mendengar keluh kesah, memberi semangat untuk pantang menyerah. Semoga Allah SWT selalu memberi keberkahan dalam segala hal yang kita lalui.
4. Kakak – kakak saya; Danu Hadi Kusuma dan Nunun Kusuma Wardani serta keponakan saya Vendra,Embun,Michael yang selalu memberi kebahagiaan serta kenyamanan.
5. Teman – teman saya, alumni PT. Gracia Widjyakarsa dan All Tim RIMP, terkhusus Mbak Dina F dan Mr. Edi P atas motivasinya sehingga saya dapat menyelesaikan Tesis ini dengan utuh
6. Terakhir, untuk diri sendiri Tessa Kusumaningsih. Terima kasih karena tidak menyerah dan memilih untuk menyelesaikan

ABSTRAK

Bendung Pucang Gading yang terletak di Kecamatan Mranggen, Kabupaten Demak mengalami debit banjir yang tinggi sehingga melebihi kapasitas tanggul Sungai Penggaron dan mengakibatkan limpasan banjir tanggul. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui berapa debit banjir terkini di Sungai Penggaron, kemudian merencanakan normalisasi sungai di hulu Bendung Pucang Gading untuk mengetahui kemampuan Bendung Pucang Gading dalam menanggulangi banjir baik sebelum dan sesudah normalisasi sungai. Tahapan analisis yang digunakan pada penelitian ini adalah analisis curah hujan rencana menggunakan metode distribusi Log Pearson III dan untuk mengetahui sebaran dari beberapa stasiun hujan menggunakan metode *Polygon Thiessen*. Tahapan selanjutnya adalah analisis debit banjir rencana menggunakan metode hidrograf satuan unit Gama I. Tahap terakhir adalah Analisis hidrolik dengan bantuan aplikasi *HEC-RAS*. Hasil dari analisis curah hujan rencana di proses untuk mendapatkan debit banjir rencana kala ulang tahunan Q2 (253,4 m³/det), Q5 (328,44 m³/det), Q10 (375,55 m³/det), Q25 (434,125 m³/det), Q50 (476,56 m³/det), Q100 (517,44 m³/det). Hasil simulasi hidrolik menggunakan aplikasi HEC-RAS pada kondisi *existing* belum mampu menampung debit banjir Q2 (253,4 m³/det), sehingga perlu dilakukan normalisasi pada hulu Bendung Pucang Gading dengan lebar rata – rata 24 meter dan peninggian tanggul sungai dengan tinggi rata – rata 1,5 meter. Hasil normalisasi Sungai Penggaron di hulu Bendung Pucang Gading menunjukkan penurunan muka air yang signifikan dan dapat menampung debit banjir Q100 (517,44 m³/det).

Kata kunci: Bendung Pucang Gading, Normalisasi, Hidrologi, Hidrolik, HEC-RAS



ABSTRACT

Pucang Gading Weir, which is located in Mranggen District, Demak Regency, has experienced high flood discharge that exceeded the capacity of the Penggaron River embankment and caused embankment flood overflow. This study aims to determine the current flood discharge in the Penggaron River, then plan river normalization upstream of the Pucang Gading Weir to assess the capability of the Pucang Gading Weir in handling floods both before and after river normalization. The stages of analysis used in this study are design rainfall analysis using the Log Pearson Type III distribution method and to determine the distribution from several rainfall stations using the Thiessen Polygon method. The next stage is the design flood discharge analysis using the Gama I unit hydrograph method. The final stage is hydraulic analysis with the help of the HEC-RAS application. The results of the design rainfall analysis are processed to obtain design flood discharge for return periods Q_2 ($253.4 \text{ m}^3/\text{s}$), Q_5 ($328.44 \text{ m}^3/\text{s}$), Q_{10} ($375.55 \text{ m}^3/\text{s}$), Q_{25} ($434.125 \text{ m}^3/\text{s}$), Q_{50} ($476.56 \text{ m}^3/\text{s}$), Q_{100} ($517.44 \text{ m}^3/\text{s}$). The results of hydraulic simulation using the HEC-RAS application under existing conditions are not able to accommodate the Q_2 flood discharge ($253.4 \text{ m}^3/\text{s}$), therefore normalization needs to be carried out upstream of the Pucang Gading Weir with an average width of 24 meters and river embankment elevation with an average height of 1.5 meters. The results of the Penggaron River normalization upstream of the Pucang Gading Weir show a significant decrease in water level and can accommodate flood discharge Q_{100} ($517.44 \text{ m}^3/\text{s}$).

Keywords: *Pucang Gading Weir, Normalization, Hydrology, Hydraulics, HEC-RAS*



SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : TESSA KUSUMANINGSIH
NIM : 20202300189

Dengan ini saya nyatakan bahwa Tesis yang berjudul:

SIMULASI HIDROLIKA SEBELUM DAN SESUDAH NORMALISASI SUNGAI UNTUK MENGATASI BANJIR DI AREA HULU BENDUNG (STUDI KASUS SUNGAI PENGGARON DI AREA HULU BEDUNG PUCANG GADING)

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

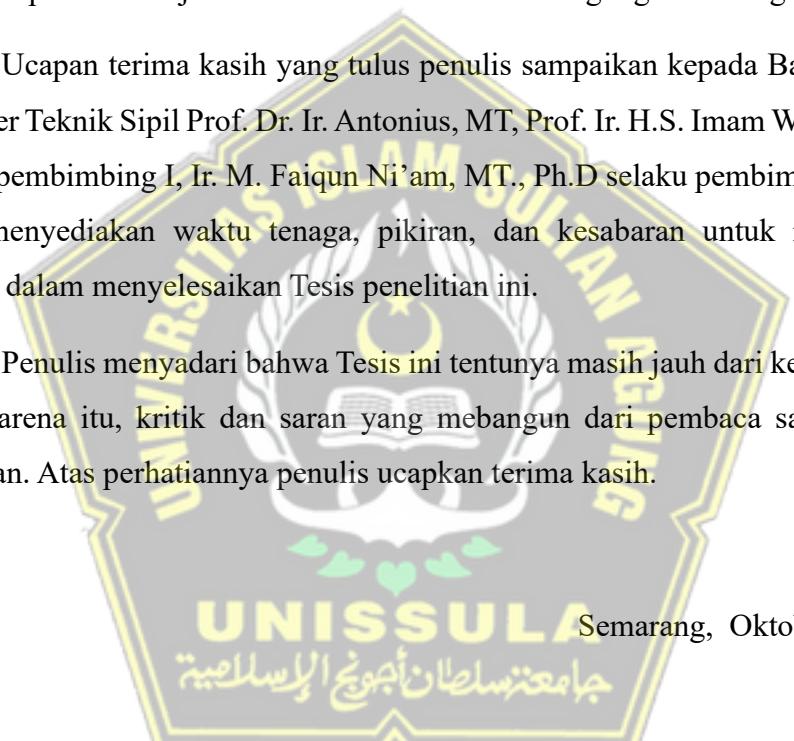


KATA PENGANTAR

Puji serta syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena dengan rahmat dan karuniaNya sehingga Proposal Tesis tentang “**Simulasi Hidrolik Sebelum dan Sesudah Normalisasi Sungai Untuk Mengatasi Banjir di Area Hulu Bendung (Studi Kasus Sungai Penggaron sebagai Hulu Bendung Pucang Gading)**” dapat penulis selesaikan. Penulisan Tesis ini bertujuan untuk memenuhi Sebagian persyaratan untuk mendapatkan gelar Magister Teknik Program Studi Teknik Sipil Pascasarjana Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Ucapan terima kasih yang tulus penulis sampaikan kepada Bapak Kaprodi Magister Teknik Sipil Prof. Dr. Ir. Antonius, MT, Prof. Ir. H.S. Imam Wahyudi, DEA selaku pembimbing I, Ir. M. Faiqun Ni'am, MT., Ph.D selaku pembimbing II, yang telah menyediakan waktu tenaga, pikiran, dan kesabaran untuk membimbing penulis dalam menyelesaikan Tesis penelitian ini.

Penulis menyadari bahwa Tesis ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang mebangun dari pembaca sangat penulis harapkan. Atas perhatiannya penulis ucapan terima kasih.


UNISSULA Semarang, Oktober 2025
جامعة سلطان أوجونج الإسلامية

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PERSETUJUAN TESIS.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN TESIS	iii
MOTTO	iv
HALAMAN PERSEMPAHAN	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN.....	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
LAMPIRAN.....	xvi
ARTI SIMBOL DAN SINGKATAN.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
1.6 . Sistematika Teknis	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Sungai	6

2.1.1. Sungai Penggaron	7
2.2. Sedimentasi.....	7
2.3. Bendung.....	10
2.3.1. Bendung Pucang Gading	10
2.4. Normalisasi Sungai.....	11
2.5. Hidrologi.....	12
2.5.1. Dasar – Dasar Hidrologi	12
2.5.2. Analisis Curah Hujan Rencana.....	12
2.6. Analisis Intensitas Curah Hujan	17
2.6.1. Analisis Intensitas Curah Hujan dengan Distribusi <i>Log Pearson Tipe III</i>	18
2.7. Analisis Debit Banjir Rencana	21
2.7.1. Analisis Debit Banjir Rencana dengan Metode Gama I.....	21
2.8. Simulasi Hidrolika Menggunakan Aplikasi <i>HEC – RAS</i>	24
2.8.1. Pengertian Umum	24
2.8.2. Prinsip Dasar Perhitungan	25
2.8.3. Hasil yang Diperoleh	25
2.9. Penelitian Terdahulu	25
BAB III METODE PENELITIAN.....	38
3.1. Pengertian Umum	38
3.2. Tahapan Penelitian.....	38
3.3. Data Penelitian.....	40
3.4. Lokasi Penelitian	40
3.5. Metode Pengumpulan Data	42
3.6. Metode Pengolahan Data	43
3.7. Metode Analisis Data.....	44
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	48

4.1.	Analisis Data Curah Hujan Harian Maksimum	48
4.2.	Analisis Data Curah Hujan Harian Maksimum	48
4.3.	Pengukuran Pola Sebaran (Uji Dispersi)	55
4.4.	Analisis Curah Hujan Rencana.....	57
4.5.	Analisis Debit Banjir Rencana	59
4.6.	Simulasi Hidrolik Menggunakan Aplikasi <i>HEC-RAS</i>	62
4.6.1.	Hasil Simulasi Hidrolik Sungai Penggaron (Kondisi Awal).....	66
4.6.2.	Hasil Simulasi Hidrolik Sungai Penggaron (Kondisi Normalisasi).....	69
4.7.	Normalisasi Sungai Penggaron terhadap Bendung Pucang Gading	73
4.7.1	Kondisi Sungai Penggaron Sebelum Normalisasi	73
4.7.2	Perencanaan Normalisasi Sungai Penggaron	75
4.7.3	Kondisi Sungai Penggaron Setelah Normalisasi	77
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		80
5.1.	Kesimpulan.....	80
5.2.	Saran	81
DAFTAR PUSTAKA.....		xviii



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Proses Terjadinya Sedimentasi Sungai.....	9
Gambar 2. 2. Bendung Pucang Gading.....	11
Gambar 2. 3. Metode <i>Polygon Thiessen</i>	14
Gambar 2. 4. Metode <i>Kurtosis</i> (Sumber: Soewarno, 1995).....	17
Gambar 2. 5. Sketsa Penetapan WF dan RUA.....	23
Gambar 2. 6. Hidrograf Satuan Metode Gama I	23
Gambar 3. 1. Skema Tahapan Penelitian.....	39
Gambar 3. 2. Lokasi Sungai Penggaron.....	41
Gambar 3. 3. Daerah Tangkapan Air Sub DAS Penggaron dan Sub DAS Dolok Hulu.....	41
Gambar 3. 4. Kondisi Eksisting Prasarana SDA Sistem Dolok Penggaron	42
Gambar 3. 5. Skema Tahapan Pengolahan Data pada Aplikasi HEC-RAS	46
Gambar 4. 1. Polygon Thiessen Daerah Irigasi Sungai Bendung Pucang Gading	50
Gambar 4. 2. Grafik Hidrograf Satuan Unit Gama I.....	62
Gambar 4. 3. Tampak atas Sungai Penggaron dalam aplikasi HEC - RAS	63
Gambar 4. 4. Gambar Potongan Melintang Sungai Penggaron dalam aplikasi HEC – RAS	64
Gambar 4. 5. Data debit banjir rencana dalam aplikasi HEC – RAS.....	64
Gambar 4. 6. Kemiringan rata – rata Sungai Penggaron dalam aplikasi HEC – RAS	65
Gambar 4. 7. Kemiringan rata – rata Sungai Penggaron dalam aplikasi HEC – RAS	66
Gambar 4. 8. Hasil Simulasi Hidrolika Sungai Penggaron Bendung Pucang Gading Kondisi Awal (Existing) dengan aplikasi	68
Gambar 4. 9. Hasil Simulasi Hidrolika Bendung Pucang Gading Kondisi Normalisasi dengan aplikasi HEC – RAS.....	70
Gambar 4. 10. Gambar Potongan Melintang Sungai Penggaron Kondisi Saat Ini (Existing).....	74
Gambar 4. 11. Gambar Potongan Melintang Sungai Penggaron Kondisi Normalisasi	76

Gambar 4. 12. Gambar Potongan Melintang Setelah Pekerjaan Normalisasi Sungai Penggaron.....	78
Gambar 4. 13. Grafik Perbandingan elevasi muka air Bendung Pucang Gading sebelum dan sesudah normalisasi	79



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Nilai Faktor Koefisien Cs Log Pearson III.....	20
Tabel 2. 2. Penelitian Terdahulu.....	28
Tabel 2. 3. Rencana Penelitian	35
Tabel 2. 4. Persamaan dan Perbedaan Dari Penelitian Terdahulu	36
Tabel 4. 1. Curah Hujan Harian Maksimum Stasiun Gunung Pati	48
Tabel 4. 2. Luas Pengaruh Hujan pada Setiap Stasiun Hujan	51
Tabel 4. 3. Curah Hujan Harian Maksimum Rata – Rata Daerah Aliran Sungai (DAS) Bendung Pucang Gading (Metode Polygon Thiessen).....	52
Tabel 4. 4. Pengukuran Pola Sebaran (Uji Dispersi) Sub DAS Penggaron	55
Tabel 4. 5. Pengukuran Pola Sebaran (Uji Dispersi) Sub DAS Dolok	56
Tabel 4. 6. Pemilihan Jenis Distribusi (Sub DAS Penggaron).....	57
Tabel 4. 7. Pemilihan Jenis Distribusi (Sub DAS Dolok Hulu).....	57
Tabel 4. 8. Perhitungan <i>Log Pearson Tipe III</i>	58
Tabel 4. 9. Nilai Karakteristik <i>Log Pearson Tipe III</i>	59
Tabel 4. 10. Curah Hujan Rencana Daerah Aliran Sungai Penggaron.....	59
Tabel 4. 11. Koefisien <i>Run Off(C)</i>	60
Tabel 4. 12. Rekapitulasi Perhitungan Hidrograg Banjir Metode Gama 1	61
Tabel 4. 13. Elevasi Muka Air Sungai Penggaron Bendung Pucang Gading Kondisi Awal (<i>Existing</i>).....	66
Tabel 4. 14. Elevasi Muka Air Sungai Penggaron Bendung Pucang Gading Kondisi Normalisasi	69
Tabel 4. 15. Gambar Potongan Melintang dan Situasi Sungai Penggaon Setelah Normalisasi	71

LAMPIRAN

Lampiran 1. Curah Hujan Harian Maksimum Stasiun Banyumeneng.....	82
Lampiran 2. Curah Hujan Harian Maksimum Stasiun Iragung.....	82
Lampiran 3. Curah Hujan Harian Maksimum Stasiun Banyumeneng.....	82
Lampiran 4. Curah Hujan Harian Maksimum Stasiun Sumur Jurang	83
Lampiran 5. Polygon Thiessen DAS Bendung Pucang Gading.....	84
Lampiran 6. Curah Hujan Harian Maksimum Rata – Rata Daerah Aliran Sungai (DAS) Dolok Bendung Pucang Gading (Metode <i>Polygon Thiessen</i>).....	85
Lampiran 7. Hidrograf Satuan Unit Metode Gama I	88
Lampiran 8. Hidrograf Satuan Unit Metode Gama I	89
Lampiran 9. Hidrograf Satuan Unit Metode Gama I	90
Lampiran 10. Hidrograf Satuan Unit Metode Gama I	91
Lampiran 11. Hidrograf Satuan Unit Metode Gama I	92
Lampiran 12. Hidrograf Satuan Unit Metode Gama I	93
Lampiran 13. Rekap Perhitungan Hidrograf Banjir Metode Gama I.....	94
Lampiran 14. Hidrograf Banjir Metode Gama I Perencanaan DAS Penggaron ...	95
Lampiran 15. Hidrograf Satuan Unit Metode Gama I	96
Lampiran 16. Hidrograf Satuan Unit Metode Gama I	97
Lampiran 17. Hidrograf Satuan Unit Metode Gama I	98
Lampiran 18. Hidrograf Satuan Unit Metode Gama I	99
Lampiran 19. Hidrograf Satuan Unit Metode Gama I	100
Lampiran 20. Hidrograf Satuan Unit Metode Gama I	101
Lampiran 21. Rekap Perhitungan Hidrograf Banjir Metode Gama I DAS Dolok.....	102
Lampiran 22. Hidrograf Banjir Metode Gama I Perencanaan DAS Dolok Hulu	103
Lampiran 23. Hasil Simulasi Hidrolika Sungai di Hulu Bendung Pucang Gading pada Kondisi Awal (Eksisting).....	104
Lampiran 24. Hasil simulasi hidrolika Bendung Pucang Gading kondisi awal dengan aplikasi HEC-RAS (Gambar Potongan Memanjang Sungai).....	114

Lampiran 25. Hasil simulasi hidrolik Bendung Pucang Gading kondisi awal dengan aplikasi HEC-RAS (Gambar Potongan Melintang Sungai di Perumahan Arion Mas)	115
Lampiran 26. Hasil simulasi hidrolik Bendung Pucang Gading kondisi awal dengan aplikasi HEC-RAS (Gambar Potongan Melintang Sungai di Perumahan Arion Mas)	116
Lampiran 27. Hasil simulasi hidrolik Bendung Pucang Gading kondisi awal dengan aplikasi HEC-RAS (Gambar Potongan Melintang Sungai di Perumahan Klipang Grand).....	117
Lampiran 28. Hasil simulasi hidrolik Bendung Pucang Gading kondisi awal dengan aplikasi HEC-RAS (Gambar Potongan Melintang Sungai di Perumahan Dinar Indah)	118
Lampiran 29. Hasil Simulasi Hidrolik Sungai Penggaron di Hulu Bendung Pucang Gading pada Kondisi Normalisasi	119
Lampiran 30. Hasil simulasi hidrolik Bendung Pucang Gading kondisi Sesudah Normalisasi dengan aplikasi HEC-RAS (Gambar Potongan Memanjang Sungai)	129
Lampiran 31. Hasil simulasi hidrolik Bendung Pucang Gading kondisi sesudah normalisasi dengan aplikasi HEC-RAS (Gambar Potongan Melintang Sungai di Perumahan Arion Mas)	130
Lampiran 32. Hasil simulasi hidrolik Bendung Pucang Gading kondisi sesudah normalisasi dengan aplikasi HEC-RAS (Gambar Potongan Melintang Sungai di Perumahan Arion Mas)	131
Lampiran 33. Hasil simulasi hidrolik Bendung Pucang Gading kondisi sesudah normalisasi dengan aplikasi HEC-RAS (Gambar Potongan Melintang Sungai di Perumahan Klipang Grand).....	132
Lampiran 34. Hasil simulasi hidrolik Bendung Pucang Gading kondisi sesudah normalisasi dengan aplikasi HEC-RAS (Gambar Potongan Melintang Sungai di Perumahan Dinar Indah)	133
Lampiran 35. Desain Perencanaan Normalisasi Sungai Penggaron	134

ARTI SIMBOL DAN SINGKATAN

- SD = Standar deviasi
- CS = Koefisiesn skewness
- CK = Koefisien kurtosis
- CV = Koefisien variasi
- CS = Koefisien kemencengan
- DAS = Daerah aliran sungai
- x = Curah hujan bulanan (mm)
- \bar{x} = Curah Hujan Bulanan Rata – rata (mm)
- μ = Rata - rata nilai X
- σ = Standar deviasi
- XT = Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang T tahun
- k = Nilai standa variabel periode ulang Log Pearson tipe III
- t = Waktu konsentrasi hujan
- T = Waktu mulai hujan
- TR = Waktu naik (jam)
- L = Panjang Sungai (km)
- SF = Faktor sumber yaitu perbandingan antara jumlah Panjang sungai tingkat I dengan jumlah Panjang sungai semua tingkat
- SIM = Faktor simetri ditetapkan sebagai hasil kali antara factor lebar (WF) dengan luas relative Daerah Aliran Sungai (DAS) sebelah hulu (RUA)
- WF = Faktor lebar Adalah perbandingan antara lebar Daerah Aliran Sungai (DAS) yang diukur dari titik di sungai yang berjarak $\frac{3}{4} L$ dan lebar Daerah

Aliran Sungai (DAS) yang diukur dari titik yang berjarak $\frac{1}{4} L$ dari titik tempat pengukuran

- JN = Jumlah pertemuan sungai (*junction*)
- SN = Frekuensi sumber yaitu perbandingan antara jumlah segmen sungai-sungai Tingkat 1 dengan jumlah sungai semua tingkat
- RUA = Luas Daerah Aliran Sungai (DAS) sebelah hulu (km^2)
- \emptyset = Indeks \emptyset (mm/jam)
- QB = Aliran dasar (m^3/det)
- A = Luas Daerah Aliran Sungai (DAS) (km^2)
- D = Kerapatan jaringan sungai (Km/Km^2)
- I = Kemiringan sungai rata-rata
- Σ = Penjumlahan perhitungan
- n = Total data



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Daerah Aliran Sungai (DAS) ialah kawasan yang terikat oleh topografi, berperan menerima serta mengalirkan air hujan ke sistem sungai, dimana berakhir dari muara menuju waduk, danau, atau laut (Seyhan, 1990). DAS merupakan sistem hidrologi terpadu yang melibatkan interaksi antara komponen biotik (seperti vegetasi dan aktivitas manusia) dan abiotik (karakteristik fisik wilayah).

Alih fungsi lahan di wilayah Daerah Aliran Sungai (DAS) berkontribusi terhadap kenaikan aliran permukaan (*runoff*) secara signifikan, yang berdampak pada potensi kerusakan lingkungan. Berdasarkan ketentuan dalam Undang-Undang Nomor 11 Tahun 1974 mengenai Pengairan, salah satu tindakan yang dapat diambil adalah pemeliharaan dan penanggulangan faktor-faktor penyebab kerusakan lingkungan akibat air (Munfarid, 2018).

Kota Semarang terholong sebagai kota terbesar di Indonesia yang sering terjadi banjir setiap tahunnya. Sebagian besar masalah banjir terjadi di akibatkan oleh menurunnya fungsi Sungai yang ada. Sungai Penggaron menjadi salah satu aliran sungai sungai yang terdampak banjir tersebut. Sungai Penggaron terletak di 2 (dua) wilayah Kabupaten / Kota yaitu sisi kanan Sungai terletak di wilayah Kabupaten Demak dan sisi kiri Sungai terletak di wilayah Kota Semarang. Sungai Penggaron memiliki panjang sekitar 17.58 km.

Wilayah hilir Sungai Penggaron tergolong sebagai kawasan rawan banjir akibat keterbatasan kapasitas tampungan dan intensitas aliran permukaan yang tinggi. dimana pada tahun 2023 dua peristiwa banjir bandang telah terjadi sebelumnya di wilayah tersebut yang disebabkan oleh intensitas hujan yang besar dimana penampang eksisting Sungai Penggaron tidak mampu untuk menampung dan berpotensi air limpah pada tanggul saat terjadi debit banjir yang tinggi.

Terjadinya banjir di wilayah aliran Sungai Penggaron dipengaruhi oleh berbagai aspek utama, antara lain :

1. Keterbatasan daya tampung saluran menyebabkan ketidakmampuan dalam mengakomodasi debit banjir yang melebihi estimasi rancangan..
2. Alih fungsi lahan di wilayah hulu, terutama di sekitar Bendung Pucang Gading, telah memicu peningkatan volume aliran banjir, yang berdampak pada bertambahnya limpahan air di permukaan tanah..
3. Akumulasi sedimen di dasar saluran, yang menyebabkan penurunan kapasitas hidraulik dan peningkatan elevasi muka air sungai.

Beberapa dampak yang ditumbulkan oleh permasalahan tersebut adalah :

1. Tebing longsor di Klipang Raya.
2. Tebing longsor di Jalan Pekuncen.
3. Tebing longsor di Kelurahan Sendang Mulyo.
4. Banjir dan tebing longsor di Perumahan Arion Mas 5.
5. Banjir dan Dinding Penahan Tanah (DPT) roboh di Perumahan Arion Mas 6.
6. Tanggul longsor dan bronjong amblas di Jembatan Metro Kelurahan Rowosari.
7. Tebing longsor di Kelurahan Meteseh.
8. Banjir dan tebing longsor di Perumahan Grand Permata Kelurahan Rowosari.
9. Banjir dan parapet roboh di Perumahan Dinar Indah.
10. Banjir dan tebing longsor di Perumahan Rowosari Megah Indah.

Dampak dari permasalahan tersebut mengakibatkan rumah atau benda hanyut dan rusak serta menimbulkan kerugian ekonomi dan kesehatan bagi masyarakat sekitar Sungai Penggaron.

1.2 Perumusan Masalah

Sesuai dengan situasi dan Isu utama yang telah diuraikan dalam latar belakang, berikut adalah pokok pertanyaan penelitian yang menjadi fokus penelitian ini:

1. Berapa debit banjir di Sungai Penggaron terhadap Bendung Pucang Gading?
2. Bagaimana kemampuan Bendung Pucang Gading dalam menanggulangi banjir?
3. Bagaimana kemampuan Bendung Pucang Gading dalam menanggulangi banjir sesudah normalisasi?

1.3 Batasan Masalah

Fokus kajian dalam penelitian ini terbatas pada poin-poin berikut:

1. Penelitian ini diarahkan untuk mengkaji aspek hidrologi yang terjadi di Sungai Penggaron
2. Fokus utama penelitian ini adalah analisis aliran banjir di Sungai Penggaron yang terletak di bagian hulu Bendung Pucang Gading.
3. Penelitian ini tidak membahas kajian sedimentasi pada Sungai Penggaron.
4. Penelitian ini hanya menganalisis hidrologi dengan bantuan aplikasi *HEC-RAS*.
5. Penelitian ini terbatas pada analisis debit banjir tahunan menggunakan data debit banjir rencana untuk periode ulang 2 hingga 100 tahun.
6. Simulasi hidrologi Sungai Penggaron dengan aplikasi *HEC-RAS* pada penelitian ini memiliki 2 variabel, yaitu kondisi awal (existing) dan kondisi normalisasi sungai di hulu Bendung Pucang Gading
7. Perencanaan desain normalisasi Sungai Penggaron dilakukan dengan simulasi trial error pada aplikasi *HEC-RAS* dengan melebarkan penampang sungai dan meninggikan tanggul sungai secara bertahap

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun fokus utama dari penelitian ini diarahkan untuk berikut ini:

1. Menghitung debit banjir di Sungai Penggaron terhadap Bendung Pucang Gading.
2. Menganalisis debit banjir di Sungai Penggaron terhadap kapasitas tampungan sungai.
3. Menganalisis hidraulika dengan pendekatan *HEC-RAS* untuk menilai kapasitas sungai dalam menampung debit banjir serta menggambarkan perubahan profil muka air akibat normalisasi.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah :

1. Penelitian ini mampu menyajikan informasi yang komprehensif mengenai kondisi fisik Sungai Penggaron, meliputi karakteristik morfologi sungai, pola aliran, serta faktor-faktor yang berpotensi menjadi penyebab terjadinya banjir.
2. Penelitian ini dapat mengidentifikasi area-area yang paling rawan terhadap banjir di sepanjang Sungai Penggaron.
3. Penelitian ini dapat mengevaluasi efektivitas berbagai metode pengendalian banjir yang akan diterapkan seperti pembangunan tanggul atau normalisasi.

1.6 . Sistematika Teknis

Untuk mendukung penelitian ini dituangkan dalam sebuah laporan yang berjudul “Simulasi Hidrolik Sebelum dan Sesudah Normalisasi Sungai untuk Mengatasi Banjir di Area Hulu Bendung (Studi Kasus Sungai Penggaron sebagai Hulu Bendung Pucang Gading)”, disusun sistematika penelitian sebagai berikut:

1. BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan penjelasan terkait komponen-komponen utama sebagai dasar konseptual penelitian ini mencakup latar belakang permasalahan, perumusan masalah, tujuan dan sasaran penelitian, batasan kajian, serta

manfaat yang diharapkan. Selain itu, bab ini juga memaparkan sistematika penyusunan laporan penelitian yang berjudul “Simulasi Hidrolik Sebelum dan Sesudah Normalisasi Sungai untuk Mengatasi Banjir di Area Hulu Bendung (Studi Kasus Sungai Penggaron sebagai Hulu Bendung Pucang Gading)”

2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan dasar-dasar teoritis yang digunakan dalam penelitian, termasuk rumus-rumus yang bersifat empiris, referensi pustaka, dan pandangan para ahli yang relevan di bidangnya. Teori-teori tersebut digunakan sebagai acuan untuk merumuskan pendekatan metodologis dan mendukung analisis terhadap permasalahan yang diteliti..

3. BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini memaparkan strategi penelitian yang diterapkan dalam studi ini, meliputi tahapan-tahapan sistematis yang diawali dengan proses perencanaan, Pengambilan data melalui sumber langsung dan tidak langsung, hingga tahap analisis data secara menyeluruh dan penyajian hasil. Pendekatan ini dirancang untuk mendukung kelancaran dan ketepatan pelaksanaan penelitian.

4. BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil analisis dan pengolahan data yang dilakukan dalam rangka menjawab rumusan masalah penelitian. Selain itu, bab ini memuat rekomendasi dari para pemangku kepentingan terkait upaya penanganan serta himbauan kepada pihak-pihak yang berwenang sebagai bentuk tindak lanjut terhadap temuan penelitian.

5. BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini memuat hasil akhir dari penelitian berupa kesimpulan yang diperoleh melalui analisis, serta rekomendasi yang diharapkan dapat menjadi pedoman untuk pengembangan studi selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sungai

Sungai adalah aliran air permukaan yang berukuran besar dan berbentuk memanjang, mengalir secara kontinu dari wilayah hulu sebagai titik awal menuju hilir sebagai tempat bermuaranya air. Pada kondisi geografis tertentu, sebagian aliran sungai mengalami infiltrasi ke dalam tanah sebelum mencapai sistem perairan lainnya seperti danau atau laut. Secara umum, sungai berfungsi sebagai jalur utama pengaliran air hujan menuju laut atau tampungan air besar seperti danau. Struktur sungai terdiri dari sejumlah elemen utama, dimulai dengan mata air sebagai titik awal aliran. Air dari sumber ini mengalir menuju anak-anak sungai, yang kemudian bersatu membentuk sungai induk. Aliran sungai umumnya mengikuti jalur alami yang dibatasi oleh dasar sungai dan tebing di kedua sisinya. Pada bagian hilir, sungai bermuara ke laut, yang menjadi titik akhir dari sistem aliran tersebut. Dalam siklus hidrologi, sungai berperan sebagai komponen penting dalam pergerakan dan distribusi air. Air yang mengalir di sungai berasal dari berbagai bentuk presipitasi, seperti curah hujan, embun, mata air, limpasan bawah tanah, serta pencairan es atau salju di wilayah tertentu. Selain membawa air, sungai juga berfungsi sebagai media transportasi sedimen dan polutan yang berasal dari aktivitas alam maupun antropogenik. Pemanfaatan sungai sangat beragam dan memiliki nilai strategis dalam pembangunan. Fungsi utama sungai meliputi penyediaan air dalam mendukung kegiatan pertanian melalui sistem irigasi, menyediakan air baku untuk konsumsi, mengalirkan dan mengelola air hujan serta limbah melalui sistem drainase, dan berperan sebagai aset ekologis yang dapat dimanfaatkan untuk pengembangan pariwisata berbasis sungai. (Triatmodjo, 2013)

Menurut Ali sungai merupakan hasil akumulasi air di permukaan bumi yang terjadi akibat kelebihan curah hujan dan kontribusi air tanah, yang kemudian mengalir menuju wilayah cekungan atau lembah dan membentuk alur secara alami. (Ali, 2018)

2.1.1. Sungai Penggaron

Sungai Penggaron terletak di Provinsi Jawa Tengah, Indonesia, dengan panjang aliran sekitar 17 km dari Bendung Pucang Gading menuju arah hulu. Sungai ini melintasi dua wilayah administratif, yaitu sisi kanan berada di Kabupaten Demak dan sisi kiri di Kota Semarang. Sungai Penggaron berada dalam cakupan wilayah Daerah Aliran Sungai (DAS) Dolok–Penggaron yang bermuara di Bendung Pucang Gading. Daerah Aliran Sungai (DAS) Penggaron memiliki luas sekitar 75,477 km². Ketika terjadi peningkatan debit aliran, distribusi air dilakukan melalui tiga jalur utama: Banjir Kanal Timur (BKT), Kali Babon melintasi Bendung Pucang Gading, dan Saluran Dombo Sayung. Mekanisme pembagian aliran ini bertujuan untuk mengurangi tekanan hidraulik dan meminimalkan risiko banjir di wilayah hilir.

2.2. Sedimentasi

Sedimentasi merupakan endapan material yang diangkut oleh media transportasi alami seperti air, udara, es, atau gletser ke dalam suatu cekungan atau wilayah tertentu. Proses ini terjadi sebagai hasil dari penurunan energi transportasi yang menyebabkan partikel-partikel terangkut mengalami deposisi.

Salah satu bentuk sedimentasi yang umum dijumpai adalah pembentukan delta di wilayah muara sungai, yang merupakan hasil dari akumulasi material sedimen yang terbawa oleh aliran sungai dan terendapkan ketika kecepatan aliran menurun saat memasuki badan air yang lebih besar. Sebaliknya, di wilayah gurun dan pesisir pantai, proses sedimentasi yang dominan adalah pengendapan material oleh angin, yang menghasilkan bentuk lahan seperti bukit pasir (*sand dunes*). Sedimentasi pada umumnya dikategorikan ke dalam tiga kelompok pokok sesuai dengan jenis media yang berperan dalam pengangkutan materialnya:

- Sedimentasi fluvial: Endapan material yang dibawa oleh aliran air, umumnya terjadi di sungai, danau, atau waduk.

- Sedimentasi aeolis: Pengendapan partikel oleh angin, biasanya terjadi di wilayah kering atau berpasir seperti gurun.
- Sedimentasi glacial: Pengendapan yang disebabkan oleh pergerakan gletser, membawa material dari daerah tinggi ke daerah rendah.

(Mulyanto, 2018)

Sedimentasi menghasilkan berbagai jenis batuan berdasarkan jarak pengendapan dari sumber material. Batuan breksi dan konglomerat umumnya diendapkan dekat dengan sumbernya, batu pasir diendapkan pada jarak menengah, sedangkan lempung terbawa dan diendapkan paling jauh dari sumber asal.

Faktor-faktor utama yang memengaruhi proses sedimentasi meliputi:

- Ketersediaan material sedimen
- Kondisi lingkungan pengendapan (terrestrial, transisi, atau laut)
- Mekanisme transportasi melalui media angin, air, atau es
- Penurunan energi aliran yang menyebabkan pengendapan
- Transformasi mineral melalui proses penggantian dan rekristalisasi
- Diagenesis, yaitu perubahan kimia dan fisika selama pengendapan
- Kompaksi akibat tekanan overburden yang mengurangi porositas
- Lithifikasi, yaitu proses pematatan dan pengerasan sedimen menjadi batuan

(Mulyanto, 2018)

Proses pengendapan melibatkan tahapan erosi, transportasi, deposisi, dan pematatan material sedimen. Pengangkatan batuan di permukaan bumi dipicu oleh tenaga endogen, yang menyebabkan sebagian wilayah terangkat dan menjadi lebih tinggi secara relatif. Selain itu, tenaga eksogen seperti pelapukan, transportasi, dan pengendapan turut memengaruhi dinamika pengangkatan dan distribusi sedimen. Pengangkatan dan pergerakan sedimen dapat diklasifikasikan ke dalam tiga mekanisme utama yaitu:

- *Rainfall detachment* : pemisahan partikel tanah akibat curah hujan yang terbawa oleh limpasan permukaan.
- *Overland flow* : aliran permukaan yang mengangkut sedimen ke saluran air dan akhirnya ke sungai.
- Pengendapan : proses terjadinya akumulasi sedimen ketika kecepatan aliran menurun hingga mencapai ambang kritis, sehingga partikel-partikel yang terbawa mulai mengendap. Proses ini dipengaruhi oleh karakteristik partikel (ukuran, massa jenis) dan kecepatan arus aliran.

(Mananoma, 2003)

Setelah material terangkut, sedimentasi terjadi ketika energi transportasi menurun. Proses ini terbagi ke dalam dua kategori kategori:

- a) Proses pengendapan material secara alami oleh aktivitas geologi

Suatu proses alami yang berlangsung secara stabil dan berkontribusi pada keseimbangan geomorfologi melalui degradasi dan gradasi permukaan bumi.

- b) Proses sedimentasi yang dipercepat

Terjadi akibat aktivitas antropogenik, seperti pengelolaan lahan yang tidak berkelanjutan. Proses ini berlangsung lebih cepat dari normal, bersifat merusak, dan mengganggu keseimbangan lingkungan. Contoh proses terjadinya sedimentasi dapat dilihat pada **Gambar 2.1**.



Gambar 2.1 Proses Terjadinya Sedimentasi Sungai

(Triatmojo, 2010)

2.3. Bendung

Bendung merupakan struktur hidraulik yang dibangun melintang sungai untuk mengatur karakteristik aliran tanpa menampung air secara signifikan seperti bendungan. Air dapat melimpas melalui bagian atas bendung, sehingga aliran tetap berlanjut meskipun terjadi pengendalian elevasi muka air. Bendung berfungsi dalam pengendalian banjir, pengukuran debit, serta pengaturan kecepatan aliran guna mendukung efisiensi sistem drainase dan navigasi sungai.

Menurut Kementerian Pekerjaan Umum Indonesia, ada dua jenis bendung:

- Bendung tetap merupakan struktur hidraulik berperan dalam peningkatan elevasi permukaan air sungai secara permanen hingga mencapai elevasi yang diperlukan, sehingga memungkinkan pengaliran air disalurkan melalui sistem irigasi hingga mencapai petak tersier.
- Bendung gerak adalah jenis bangunan yang dilengkapi dengan pintu-pintu yang dapat dikendalikan secara mekanis untuk menyesuaikan ketinggian permukaan air sesuai dengan kebutuhan pengelolaan aliran sungai

(Mawardi, 2006)

2.3.1. Bendung Pucang Gading

Bendung Pucang Gading dibangun tahun 1918 (Sumber PSDA Bodri Kuto). Bendung Pucang Gading selain berfungsi sebagai pengairan sawah juga menjadi pengontrol debit air yang menjadi penyebab banjir pada beberapa daerah di Semarang.



Gambar 2. 2. Bendung Pucang Gading

2.4. Normalisasi Sungai

Normalisasi sungai merupakan langkah rekayasa teknis guna memulihkan atau meningkatkan kapasitas aliran sungai melalui pengaturan lebar, kedalaman, dan bentuk penampang saluran, sehingga aliran air dapat mengalir secara optimal dan risiko banjir dapat diminimalkan. Sungai bisa mengalir, sehingga sungai tidak meluap. Kegiatan normalisasi sungai termasuk membersihkan endapan lumpur dari sungai dan memperdalamnya untuk meningkatkan kapasitas penampungan air sungai. Penggerukan dilakukan di titik-titik tersembunyi yang rawan aliran untuk memulihkan lebar sungai, meningkatkan kapasitas tampung, dan memperlancar aliran ke laut dengan efektivitas hingga empat kali lipat. (Kodoatie dan Sjarief, 2008).

Normalisasi sungai dapat dilakukan dengan berbagai macam metode, dari penggerukan dasar sungai, pelebaran bentang sungai dan peninggian tanggul sungai. Pekerjaan normalisasi sungai pada umumnya dilakukan pada hulu bendung, namun bisa dilakukan pada hilir bendung apabila terjadi bottle neck. Penyempitan penampang sungai atau bottle neck adalah kondisi dimana aliran air sungai tertahan oleh bangunan melintang sungai seperti bendung dan jembatan atau karena lebar penampang di hilir sungai lebih kecil dari lebar penampang di hulu sungai sehingga mengakibatkan naiknya elevasi muka air sungai (Mulyanto, 2018).

2.5. Hidrologi

Hidrologi merupakan disiplin ilmu kebumian yang mengkaji karakteristik kuantitatif dan kualitatif air di bumi dalam konteks ruang dan waktu. Menurut Soemarto (1987), hidrologi mencakup kajian mengenai proses hidrologi, pergerakan, distribusi, sirkulasi dalam reservoir, serta eksplorasi, optimalisasi dan pengaturan sumber daya air. Kodoatie (2001) menambahkan bahwa hidrologi tidak hanya membahas pergerakan dan sebaran air permukaan dan air tanah, tetapi juga mencakup parameter fisik dan kimiawi air serta interaksinya dengan lingkungan serta kehidupan. Sementara itu, Joice, Marta W., dan Adhidarma Wanny (1992) menekankan bahwa hidrologi meliputi kejadian, siklus, dan distribusi air di bumi, termasuk responsnya terhadap kondisi lingkungan dan perannya dalam tata kehidupan.

2.5.1. Dasar – Dasar Hidrologi

Kajian hidrologi digunakan sebagai fondasi teknis dalam perencanaan infrastruktur utama dan irigasi. Dalam penelitian ini, analisis yang dilakukan mencakup:

- Kajian terhadap curah hujan rencana berfungsi sebagai dasar penentuan intensitas hujan untuk mendukung perhitungan desain hidrologis.
- Analisis Debit Banjir Rencana, untuk memperkirakan besarnya aliran maksimum yang harus ditampung oleh sistem drainase atau bangunan air

2.5.2. Analisis Curah Hujan Rencana

Kajian terhadap data hujan dilakukan melalui tahapan-tahapan berikut ini:

- Pengumpulan Data

Informasi yang diperlukan bersumber dari instansi Dinas Pekerjaan Umum SDA dan Penataan Ruang Provinsi Jawa Tengah untuk analisis lebih lanjut.

- Perhitungan Curah Hujan Bulanan Rata – rata

Rata-rata curah hujan perbulan dihitung sebagai dasar estimasi kebutuhan air irigasi.

dimana :

\bar{x} = Curah Hujan Bulanan (mm)

x = Curah Hujan Bulanan Rata -rata (mm)

Sd = standart Deviasi

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

$$R5 \text{ bulanan} = \bar{x} + K SD ; K = -0,842$$

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

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

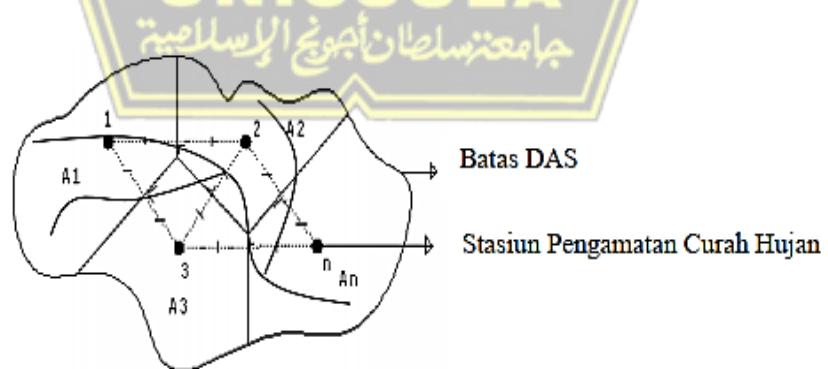
- Hujan Rata – rata Kawasan

Curah hujan rata-rata pada sebuah DAS dapat ditentukan dari data beberapa stasiun hujan di sekitarnya, dengan pendekatan umum menggunakan metode *Poligon Thiessen* atau rata-rata tertimbang. Metode ini mempertimbangkan distribusi spasial stasiun hujan dengan membagi wilayah menjadi area pengaruh masing-masing stasiun. Pembentukan wilayah pengaruh dilakukan dengan menggambar garis tegak lurus dari titik tengah antara dua stasiun terdekat, sehingga membentuk poligon yang merepresentasikan wilayah terdekat dari masing-masing stasiun. Diasumsikan bahwa variasi curah hujan antar stasiun bersifat linier, dan setiap stasiun mewakili curah hujan pada area terdekatnya. Dengan demikian, metode ini mampu mengakomodasi ketidaksamaan jarak antar stasiun dalam estimasi curah hujan wilayah (Harto, 1996).

Teknik pembobotan wilayah berdasarkan jarak antar stasiun hujan dinilai lebih presisi dibandingkan metode rata-rata aljabar, terutama untuk wilayah datar dengan luas antara 500 hingga 5.000 km².

Tahapan pelaksanaan metode ini terdiri dari langkah-langkah berikut:

- a) Titik stasiun hujan diplot pada peta DAS dan dihubungkan dengan garis lurus untuk membentuk jaringan dasar.
- b) Garis tegak lurus ditarik di tengah setiap garis penghubung antar stasiun hujan untuk membentuk *Poligon Thiessen*. Setiap titik dalam poligon diasumsikan memiliki kedekatan maksimum dengan satu stasiun, sehingga curah hujan di titik tersebut mewakili seluruh wilayah poligon.
- c) Luas masing-masing poligon dihitung menggunakan planimeter, sedangkan luas total DAS diperoleh dari akumulasi seluruh luasan poligon.
- d) Rata-rata curah hujan wilayah DAS dihitung menggunakan pendekatan rata-rata tertimbang, di mana P_1, P_2, \dots, P_n mewakili curah hujan tiap stasiun, A_1, A_2, \dots, A_n adalah luas *Poligon Thiessen* masing-masing, dan n adalah jumlah total stasiun hujan. Contoh Poligon Thiessen dapat dilihat pada **Gambar 2.3**.



Gambar 2. 3. Metode *Polygon Thiessen*

Rumus persamaan metode *Polygon Thiessen* :

$$\begin{aligned} R &= \frac{R_1 A_1 + R_2 A_2 + R_3 A_3 + \dots + R_n A_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \\ &= \frac{R_1 A_1 + R_2 A_2 + R_3 A_3 + \dots + R_n A_n}{A_{total}} \quad \dots \dots \dots \quad (2.2.) \end{aligned}$$

dengan :

- | | |
|-----------------------|--|
| R | = Curah hujan daerah pengamatan |
| R _{1,2,...n} | = Curah hujan di tiap titik pengamatan |
| n | = bagian titik pengamatan |
| A _{1,2,...n} | = luas bagian daerah yang mewakili tiap titik pengamatan |

- Pengukuran Pola Sebarab (Uji Dispersi)

Rata-rata curah hujan dari stasiun-stasiun sekitar DAS digunakan sebagai dasar analisis statistik guna mengidentifikasi karakteristik sebaran data hujan. Dalam konteks hidrologi, tidak semua variabel berada tepat pada nilai rata-rata; oleh karena itu, diperlukan pengukuran dispersi untuk mengetahui tingkat penyebaran data kuantitatif di sekitar nilai tersebut.

Menurut Soewarno (1995), metode pengukuran dispersi mencakup berbagai pendekatan statistik yang bertujuan untuk mengukur besarnya variasi data, seperti rentang, simpangan baku, dan koefisien variasi, guna memahami fluktuasi dan ketidakpastian dalam parameter hidrologis.. Metode pengukuran dispersi meliputi :

- a) Standart Deviasi (Sd)
- b) Koefisien Skewness (Cs)
- c) Pengukuran Kurtosis (Ck)
- d) Koefisien Variasi (Cv)

Dibawah ini merupakan penjelasan cara pengukuran dispersi tersebut :

- a) Standar Deviasi (Sd)**

Ukuran sebaran data yang paling umum digunakan adalah standar deviasi (S). Ketika variasi nilai terhadap rata-rata cukup

besar, maka nilai S akan tinggi. Sebaliknya, jika data cenderung homogen atau mendekati rata-rata, maka nilai S akan rendah. Rumus standar deviasi dinyatakan sebagai berikut:

dimana :

S = Standar Deviasi

X_i = nilai curah hujan pada pengamatan ke i (mm/hari)

X = rata-rata curah hujan (mm/hari)

n = jumlah data

b) Koefisien Skewness

Skewness (kemiringan) ukuran asimetri atau deviasi simetri suatu distribusi. Jika dinyatakan dengan rumus, maka sebagai berikut :

$$CS = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_i)^3}{(n-1)(n-2)s^3}. \quad (2.4)$$

dimana :

CS ≡ Koefisien kemencengan

X_i = Nilai variable

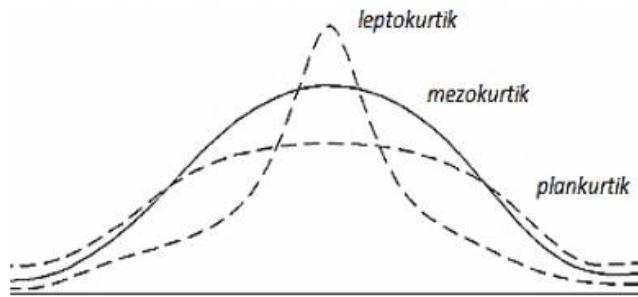
X̄ = Rata-rata data

n = Jumlah data

S_x = Standar Deviasi

c) Koefisien Kurtosis (Ck)

Kurtosis merupakan ukuran statistik yang menggambarkan bentuk puncak distribusi data (peakedness). Nilai kurtosis biasanya dibandingkan dengan distribusi normal, di mana $C_k = 3$ disebut mesokurtik (puncak sedang). Jika $C_k < 3$, distribusi memiliki puncak yang lebih tajam dan disebut leptokurtik. Sebaliknya, jika $C_k > 3$, distribusi cenderung datar dan disebut platikurtik. Grafik metode Kurtosis ditunjukkan pada **Gambar 2.4**.



Gambar 2. 4. Metode Kurtosis (Sumber: Soewarno, 1995)

d) Koefisien Variasi (Cv)

Koefisien variasi adalah ukuran relatif dari sebaran data, yang diperoleh dari perbandingan antara simpangan baku (standar deviasi) dan nilai rata-rata (*mean*) suatu distribusi. Ukuran ini berguna untuk menilai tingkat keragaman data secara proporsional terhadap nilai tengahnya:

dimana :

Cv = Koefisien variasi

S = Standar Deviasi

X = Rata-rata data

2.6. Analisis Intensitas Curah Hujan

Penelitian ini menghitung intensitas hujan dilakukan menggunakan pendekatan empiris melalui persamaan Mononobe, yang sesuai diterapkan ketika data tersedia dalam format curah hujan setiap hari. Metode ini memungkinkan konversi data harian menjadi intensitas hujan untuk durasi tertentu, yang diperlukan dalam analisis hidrologi dan perencanaan bangunan air. Penggunaan persamaan ini juga mendukung proses pengujian distribusi statistik terhadap data curah hujan, sebagaimana dijelaskan oleh Joice (1992), untuk menentukan karakteristik probabilistik hujan rencana.

Berikut adalah persamaan Mononobe yang dipakai dalam analisis intensitas hujan berdasarkan nilai harian tertinggi

$$R1 = \frac{R_{24}}{t} \left(\frac{t}{T} \right)^{\frac{2}{3}} \dots \dots \dots \quad (2.6.)$$

dimana :

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

R 24 = curah hujan efektif dalam 1 (satu) hari.

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

T = waktu mulai hujan.

2.6.1. Analisis Intensitas Curah Hujan dengan Distribusi Log Pearson Tipe III

Distribusi Log Pearson Tipe III merupakan pendekatan statistik yang umum digunakan dalam analisis frekuensi hidrologi, khususnya untuk variabel dengan nilai varian minimum seperti debit rendah (*low flows*). Distribusi ini digunakan ketika nilai koefisien skewness (Cs) tidak sesuai dengan asumsi distribusi Gumbel maupun Normal, sehingga diperlukan model distribusi yang lebih fleksibel terhadap asimetri data.

Secara umum, tahap awal dalam penerapan distribusi Log Pearson Type III adalah sebagai berikut :

1. Mentransformasi data curah hujan maksimum harian menjadi bentuk logaritmik. Data asli berupa R_1, R_2, \dots, R_n diubah menjadi $\log R_1, \log R_2, \dots, \log R_n$ untuk memudahkan analisis distribusi dan perhitungan parameter statistikn
 2. Menghitung harga tengah logaritmik ($\overline{\log R}$) :

$$\overline{\text{LogR}} = \frac{\sum \log R}{n}$$

- ### 3. Menghitung simpangan baku (S_x) :

$$S = \sqrt{\frac{\sum (LogR_i - \bar{LogR})^2}{n-1}}$$

4. Menghitung koefisien asimetri skewness(Cs) :

$$C_S = \frac{n \Sigma (Log R_i - Log R)^3}{(n-1)(n-2) S x^3}$$

5. Menghitung logaritma hujan rencana berdasarkan waktu ulang, dengan rumus :

Dimana :

R = rata-rata logaritma curah hujan

Cs = Koefisien penyimpangan

S_x = standart deviasi logaritma

K = faktor kekerapan *Log Pearson Tipe III*. Nilai faktor kekerapan *Log Pearson Tipe III* dapat dilihat pada **Tabel 2.1**.



Tabel 2. 1. Nilai Faktor Koefisien Cs Log Pearson III

Koefisien	Kala Ulang														
	Peluang (%)														
	1,01	1,05	1,11	1,25	1,67	2,00	2,50	5,00	10,00	20,00	25,00	50,00	100,00	200,00	1000,00
Cs	99	95	90	80	60	50	40	20	10	5	4	2	1	0,5	0,1
3	-0,67	-0,67	-0,66	-0,64	-0,48	-0,40	-0,12	0,42	1,18	2,10	2,28	3,15	4,05	4,97	7,25
2,5	-0,80	-0,79	-0,77	-0,71	-0,48	-0,36	-0,07	0,52	1,25	2,09	2,26	3,05	3,85	4,65	6,60
2,2	-0,91	-0,88	-0,84	-0,75	-0,47	-0,33	-0,03	0,57	1,28	2,08	2,24	2,97	3,71	4,44	6,20
2	-0,99	-0,95	-0,90	-0,78	-0,46	-0,31	0,00	0,61	1,30	2,07	2,22	2,91	3,61	4,30	5,91
1,8	-1,09	-1,02	-0,95	-0,80	-0,45	-0,28	0,03	0,64	1,32	2,05	2,19	2,85	3,50	4,15	5,66
1,6	-1,20	-1,09	-0,99	-0,82	-0,44	-0,25	0,06	0,68	1,33	2,02	2,16	2,78	3,39	3,99	5,39
1,4	-1,32	-1,17	-1,04	-0,83	-0,43	-0,23	0,09	0,71	1,34	2,00	2,13	2,71	3,27	3,83	5,11
1,2	-1,45	-1,24	-1,09	-0,84	-0,41	-0,20	0,11	0,73	1,34	1,96	2,09	2,63	3,15	3,66	4,82
1	-1,59	-1,32	-1,13	-0,85	-0,39	-0,16	0,14	0,76	1,34	1,93	2,04	2,54	3,02	3,49	4,54
0,9	-1,66	-1,35	-1,15	-0,85	-0,38	-0,15	0,16	0,77	1,34	1,90	2,02	2,50	2,96	3,40	4,40
0,8	-1,73	-1,39	-1,12	-0,86	-0,37	-0,13	0,17	0,78	1,34	1,89	2,00	2,45	2,89	3,31	4,25
0,7	-1,81	-1,42	-1,18	-0,86	-0,36	-0,12	0,19	0,79	1,33	1,86	1,97	2,41	2,82	3,22	4,11
0,6	-1,88	-1,46	-1,20	-0,86	-0,35	-0,10	0,20	0,80	1,33	1,84	1,94	2,36	2,76	3,13	3,96
0,5	-1,96	-1,49	-1,22	-0,86	-0,34	-0,08	0,21	0,81	1,32	1,81	1,91	2,31	2,69	3,04	3,82
0,4	-2,03	-1,52	-1,23	-0,86	-0,33	-0,07	0,23	0,82	1,32	1,79	1,88	2,26	2,62	2,95	3,67
0,3	-2,10	-1,56	-1,25	-0,85	-0,32	-0,05	0,24	0,82	1,31	1,76	1,85	2,21	2,54	2,86	3,53
0,2	-2,18	-1,59	-1,26	-0,85	-0,31	-0,03	0,25	0,83	1,30	1,73	1,82	2,16	2,47	2,76	3,38
0,1	-2,25	-1,62	-1,27	-0,85	-0,29	-0,02	0,27	0,84	1,29	1,70	1,79	2,11	2,40	2,67	3,24
0	-2,33	-1,65	-1,28	-0,84	-0,28	0,00	0,28	0,84	1,28	1,67	1,75	2,05	2,33	2,58	3,09
-0,1	-2,40	-1,67	-1,29	-0,84	-0,27	0,02	0,29	0,84	1,27	1,64	1,72	2,00	2,25	2,48	2,95
-0,2	-2,47	-1,70	-1,30	-0,83	-0,25	0,03	0,31	0,85	1,26	1,61	1,68	1,95	2,18	2,39	2,81
-0,3	-2,54	-1,73	-1,31	-0,82	-0,24	0,05	0,32	0,85	1,25	1,58	1,64	1,89	2,10	2,29	2,68
-0,4	-2,62	-1,75	-1,32	-0,82	-0,23	0,07	0,33	0,86	1,23	1,54	1,61	1,83	2,03	2,20	2,54
-0,5	-2,69	-1,77	-1,32	-0,81	-0,21	0,08	0,34	0,86	1,22	1,51	1,57	1,78	1,96	2,11	2,40
-0,6	-2,76	-1,80	-1,33	-0,80	-0,20	0,10	0,35	0,86	1,20	1,47	1,53	1,72	1,88	2,02	2,28
-0,7	-2,82	-1,82	-1,33	-0,79	-0,19	0,12	0,36	0,86	1,18	1,44	1,49	1,66	1,81	1,93	2,15
-0,8	-2,89	-1,84	-1,34	-0,78	-0,17	0,13	0,37	0,86	1,17	1,40	1,45	1,61	1,73	1,84	2,04
-0,9	-2,96	-1,86	-1,34	-0,77	-0,16	0,15	0,38	0,85	1,15	1,36	1,41	1,55	1,66	1,75	1,91
-1	-3,02	-1,88	-1,34	-0,76	-0,14	0,16	0,39	0,85	1,13	1,33	1,37	1,49	1,59	1,66	1,80
-1,2	-3,15	-1,91	-1,34	-0,73	-0,11	0,20	0,41	0,84	1,09	1,25	1,28	1,38	1,45	1,50	1,63
-1,4	-3,27	-1,94	-1,34	-0,71	-0,08	0,23	0,43	0,83	1,04	1,17	1,20	1,27	1,32	1,35	1,47
-1,6	-3,39	-1,96	-1,33	-0,68	-0,06	0,25	0,44	0,82	0,99	1,10	1,12	1,17	1,20	1,22	1,28
-1,8	-3,50	-1,98	-1,32	-0,64	-0,03	0,28	0,45	0,80	0,95	1,02	1,04	1,07	1,09	1,10	1,13
-2	-3,61	-2,00	-1,30	-0,60	0,00	0,31	0,46	0,78	0,90	0,95	0,96	0,98	0,99	1,00	1,00
-2,2	-3,71	-2,01	-1,28	-0,57	0,03	0,33	0,47	0,75	0,84	0,88	0,89	0,90	0,91	0,91	0,91
-2,5	-3,85	-2,01	-1,25	-0,52	0,07	0,36	0,48	0,71	0,77	0,79	0,79	0,80	0,80	0,80	0,80
-3	-4,05	-2,00	-1,18	-0,42	0,12	0,40	0,48	0,64	0,66	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67

2.7. Analisis Debit Banjir Rencana

Dalam proses perancangan sistem pengendalian banjir secara menyeluruh, penentuan debit banjir rencana merupakan komponen krusial. Estimasi debit ini didasarkan pada analisis curah hujan serta parameter morfometri daerah aliran sungai. Untuk itu, digunakan pendekatan-pendekatan hidrologis seperti metode empiris, metode rasional, dan analisis regresi (IOH), yang masing-masing disesuaikan dengan kondisi data dan karakteristik wilayah studi (Loebis, 1987).

Mengacu pada evaluasi bendung, metode empiris direkomendasikan sebagai pendekatan utama, kecuali apabila tersedia data debit historis yang memadai (≥ 10 tahun), sehingga memungkinkan penggunaan metode analitik.

2.7.1. Analisis Debit Banjir Rencana dengan Metode Gama I

Model hidrograf satuan sintetik Gama I disusun berdasarkan tiga komponen utama, yaitu waktu naik (*rise time/TR*), debit puncak (Qp), dan waktu dasar (TB). Ketiga parameter ini berperan penting dalam membentuk karakteristik hidrograf banjir yang merepresentasikan *respons* aliran permukaan terhadap hujan pada suatu daerah aliran sungai.

Waktu Naik :

$$TR = 0,43 \left(\frac{L}{100 \cdot SF} \right)^3 + 1,0665 \cdot SIM + 1,2775 \quad \dots \dots \dots (2.9.)$$

Dengan :

TR = Waktu yang dibutuhkan dari awal limpasan hingga mencapai debit puncak (jam)

L = Panjang sungai utama dari titik pengukuran hingga hulu (km)

SF = Rasio antara jumlah panjang sungai tingkat 1 terhadap total panjang semua tingkat sungai dalam DAS

SIM = Dihitung sebagai hasil kali faktor lebar (WF) dan luas relatif DAS sebelah hulu (RUA)

WF = Perbandingan antara lebar DAS pada titik $\frac{3}{4} L$ dan titik $\frac{1}{4} L$ dari lokasi pengukuran

Debit Puncak :

$$Q_p = 0,1836 A^{0,5886} JN^{0,2381} TR^{-0,4008} \dots \quad (2.10.)$$

Dengan :

TR = Waktu naik (jam)

JN = jumlah pertemuan sungai (jumlah titik konfluensi)

Waktu Dasar :

$$TB = 27,4132 TR^{0,1457} S^{-0,0956} SN^{0,7344} RUA^{0,2574} \dots \quad (2.11.)$$

Dengan :

TB = waktu dasar (jam), yaitu durasi total limpasan dari awal hingga akhir

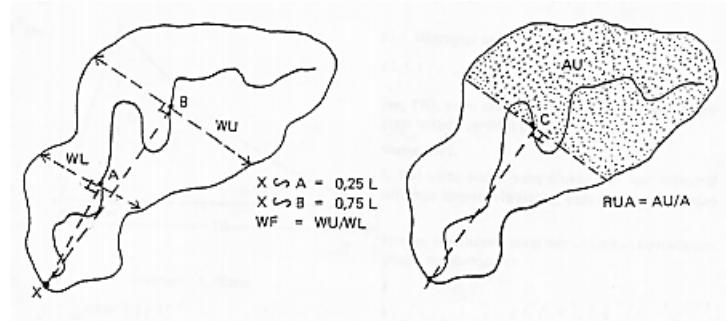
S = Kemiringan rata-rata sungai (landau sungai), biasanya dalam persen atau satuan kemiringan

SN = Frekuensi sumber, yaitu rasio antara jumlah segmen sungai tingkat 1 terhadap total segmen sungai semua tingkat

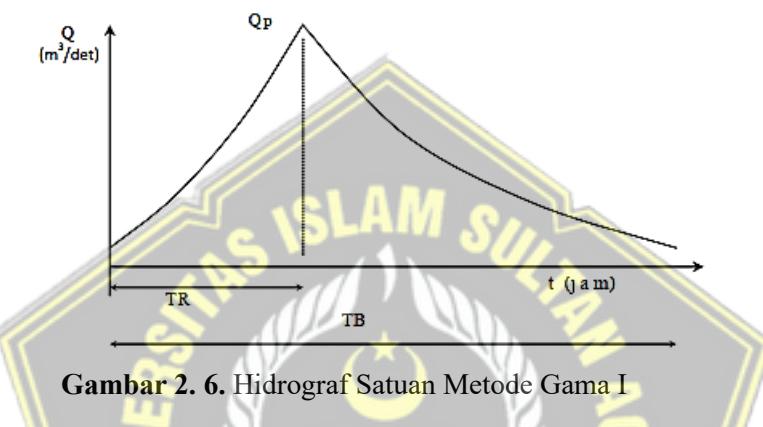
TR = waktu naik (jam)

RUA = Luas relatif DAS sebelah hulu (km^2), yaitu luas DAS di bagian hulu terhadap total luas DAS

Sketsa Penetapan WF, RUA dan hidrograf satuan metode Gama I dapat dilihat pada **Gambar 2.5.** dan **Gambar 2.6.**



Gambar 2. 5. Sketsa Penetapan WF dan RUA



Gambar 2. 6. Hidrograf Satuan Metode Gama I

Hujan efektif dihitung menggunakan metode indeks ϕ , yang dipengaruhi oleh luas DAS dan frekuensi hujan dari sumber SN, dengan rumus sebagai dasar perhitungannya:

$$\emptyset = 10,4903 - 3,589 \cdot 10^{-6} A^2 + 1,6985 \cdot 10^{-13} \left(\frac{A}{SN}\right)^4 \dots \dots \dots (2.12.)$$

Dengan :

\emptyset = Indeks \emptyset (mm/jam), yaitu ambang infiltrasi rata-rata selama hujan berlangsung

A = luas Daerah Aliran Sungai (km^2)

SN = Frekuensi sumber, yaitu rasio antara jumlah segmen sungai tingkat 1 terhadap total segmen sungai semua tingkat

DAS dan tingkat kepadatan sungai, dengan rumus sebagai berikut :

Dengan :

QB = aliran dasar (baseflow) (m^3/det)

A = luas Daerah Aliran Sungai (DAS) (km^2)

D = kerapatan jaringan sungai (km/km^2), yaitu total Panjang sungai dibagi luas DAS

Waktu konsentrasi atau lama hujan terpusat dirumuskan sebagai berikut :

dengan :

t = waktu konsentrasi atau lama hujan terpusat (jam)

L = Panjang sungai utama (km), dari titik terjauh di DAS ke outlet

i = Kemiringan rata-rata sungai, biasanya dinyatakan sebagai rasio tinggi terhadap panjang ($\Delta H/L$)

2.8. Simulasi Hidrolik Menggunakan Aplikasi *HEC – RAS*

2.8.1. Pengertian Umum

Untuk menganalisis kurva muka air sungai dalam kondisi eksisting dan pasca-normalisasi, digunakan perangkat lunak *HEC-RAS* yang dikembangkan oleh U.S. Army Corps of Engineers. Aplikasi ini memungkinkan pemodelan aliran satu dimensi, baik subkritis, superkritis, maupun campuran, dalam sistem drainase sungai. Perhitungan dasar dilakukan melalui analisis energi aliran menggunakan persamaan Manning untuk mengestimasi kehilangan energi akibat gesekan, serta koefisien kontraksi dan ekspansi saluran. Persamaan momentum diterapkan pada kondisi perubahan elevasi muka air yang signifikan, seperti pada lompatan hidrolik, aliran melintasi jembatan, dan *junction*. Untuk simulasi aliran tak tunak, *HEC-RAS* mengadopsi model UNET yang dikembangkan oleh Dr. Robert L. Barkau, dengan fokus pada aliran subkritis (Istiarto, 2007). Hasil simulasi digunakan untuk mengevaluasi kapasitas Sungai Penggaron dalam mengatasi potensi banjir.

2.8.2. Prinsip Dasar Perhitungan

Profil aliran dalam saluran terbuka dijelaskan melalui tiga prinsip konservasi: massa, momentum, dan energi. Karakteristik aliran ditentukan oleh dua variabel utama, yaitu kedalaman dan kecepatan aliran, atau kedalaman dan debit, yang digunakan untuk menganalisis kondisi aliran pada penampang saluran. Untuk evaluasi aliran, digunakan persamaan kontinuitas dan persamaan momentum atau energi, tergantung pada kondisi aliran. Pada aliran menerus, persamaan momentum dan energi menghasilkan hasil serupa, kecuali pada koefisien kecepatan *head* (α) dan momentum (β). Namun, pada kondisi diskontinuitas, seperti perubahan dasar saluran, persamaan momentum lebih tepat digunakan karena tidak memerlukan estimasi kehilangan energi (Istiarto, 2007).

2.8.3. Hasil yang Diperoleh

Hasil atau *output* yang didapatkan dari Analisis hidrologi menggunakan aplikasi *HEC-RAS* adalah berupa bentuk tabel dan gambar pada setiap potongan melintang sungai (*cross section*). Hasil tabel berisikan elevasi muka air, kecepatan aliran air (*velocity*), bilangan *Froude* dan luas permukaan air. Dari Output tersebut diperoleh berapa kapasitas tampungan Sungai Penggaron eksisting dimana jika kapasitas tampungan tidak cukup maka dilakukan simulasi hidrolik dengan penambahan tinggi tanggul serta penambahan luas tampungan dengan melakukan galian.

2.9. Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu dimanfaatkan sebagai bahan pembanding dan referensi, sekaligus untuk menghindari kesamaan konsep dengan studi ini. Adapun kajian-kajian sebelumnya yang dijadikan acuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Anak Agung Ratu Ritaka Wangsa (2021)

Penelitian pertama yang berjudul "Analisis Kapasitas Saluran pada Proyek Normalisasi Sungai di Desa Adat Peming, Banjar Sawangan, Nusa Dua, Bali" menggunakan pendekatan analisis hidrologi sebagai dasar perencanaan teknis. Metodologi

yang diterapkan meliputi pengumpulan data curah hujan, citra dan gambar teknis saluran, informasi Pola pemanfaatan ruang wilayah, Informasi curah hujan dari stasiun pengamatan, serta luas Daerah Aliran Sungai (DAS). Seluruh data tersebut dianalisis untuk memperoleh curah hujan rencana, yang digunakan sebagai bagian dari proses perancangan kapasitas sistem pembuangan air permukaan guna mendukung efektivitas normalisasi sungai.

2. Alianti (2021)

Penelitian kedua berjudul Analisis Normalisasi Sungai Baubau, menggunakan metode analisis dengan langkah berupa pengumpulan data yang kemudian dianalisis hidrologi, hidrolik dan penyelidikan tanah. Hasilnya adalah normalisasi Sungai dengan perkuatan tebing.

3. Thania Hanna S (2023)

Penelitian ketiga berjudul Dampak Normalisasi Sungai Tondano Terhadap Kondisi Lingkungan, Ekonomi Masyarakat Kota Manado, menggunakan metode analisis distribusi dengan langkah berupa pengumpulan data tata guna lahan, tata guna bangunan, kondisi jalan, jaringan drainase yang hasilnya berupa identifikasi kondisi lingkungan sosial dan ekonomi.

4. Armanda Beta (2021)

Penelitian keempat berjudul Kajian Normalisasi Terhadap Sungai Gude Desa Pulolor berbasis HEC-RAS menggunakan metode analisis dengan langkah berupa pengumpulan data yang kemudian dianalisis hidrologi dan hidrolikanya. Hasilnya adalah Hidrograf banjir dan desain penampang sungai.

5. Cahya Nugraha (2019)

Penelitian kelima berjudul Perencanaan Normalisasi Sungai Babak Sebagai Antisipasi Banjir di Kabupaten Lombok Barat, menggunakan metode analisis dengan langkah berupa pengumpulan

data yang kemudian dianalisis hidrologi dan hidrolikanya. Hasilnya adalah Hidrograf banjir dan desain penampang Sungai.

6. Dwiyono Abdul Karim (2022)

Penelitian keenam berjudul Normalisasi Sungai Blorong Guna Menanggulangi Banjir di Kabupaten Kendal menggunakan metode analisis dengan langkah berupa pengumpulan data yang kemudian dianalisis hidrologi dan hidrolikanya. Hasilnya adalah Hidrograf banjir dan desain penampang sungai.

7. Okky Hendra Hermawan (2021)

Penelitian ketujuh berjudul Study Perencanaan Normalisasi Sungai Babakan Kabupaten Brebes menggunakan metode analisis dengan Langkah berupa pengumpulan data yang kemudian dianalisis dengan Langkah berupa pengumpulan data yang kemudian dianalisis hidrologi dan hidrolikannya. Hasilnya adalah hidrograf banjir dan desain penampang Sungai.

8. Erha Intan S (2022)

Penelitian kedelapan berjudul Kajian Efektivitas normalisasi Sungai Terhadap Penurunan Risiko Banjir metode analisis distribusi dengan Langkah berupa pengumpulan data tata guna lahan, tata guna bangunan, kondisi jalan, jaringan drainase yang hasilnya berupa identifikasi risiko banjir.

9. Ninda Prabawanti (2022)

Penelitian kesembilan ini berjudul Perencanaan normalisasi Sungai dan Tanggul Pengendali Banjir Kali Pancir Kabupaten Jombang menggunakan metode analisis dengan Langkah berupa pengumpulan data yang kemudian dianalisis hidrologi dan hidrolikannya. Hasilnya adalah hidrograf banjir dan desain penampang Sungai.

Detail penelitian terdahulu yang digunakan untuk perbandingan dan acuan penelitian ini bisa dilihat pada **Tabel 2.2**.

Tabel 2. 2. Penelitian Terdahulu

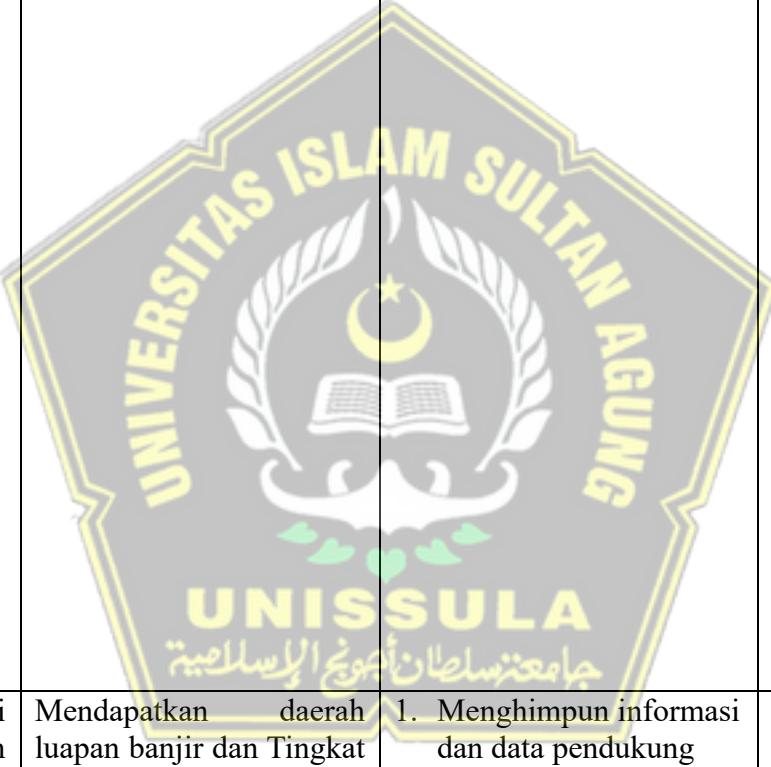
No	Judul, Penulis, Tahun	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Indikator/ Variabel	Hasil Penelitian
1	Analisis Kapasitas Saluran Pada Proyek Normalisasi Sungai Di Desa Adat Peminggir Banjar Sawangan Nusa Dua Bali, Anak Agung Ratna Ritika Wangsa, 2021	Analisis kemampuan saluran sebagai kapasitas tampung terhadap limpasan banjir 5 tahunan	Metodologi : Langkah-langkah dalam penelitian yaitu sebagai berikut : 1. Pengumpulan data langsung dan tidak langsung 2. Analisis Hidrologi menentukan debit rencana 3. Analisis Hidrolik untuk mengevaluasi kapasitas saluran 4. Kesimpulan	1. Curah Hujan 2. Banjir Rancangan	Saluran eksisting dirancang untuk mengakomodasi debit maksimum hingga $60,68 \text{ m}^3/\text{detik}$, sedangkan debit rencana kala ulang 5 tahun hanya $38,526 \text{ m}^3/\text{detik}$. Artinya, saluran cukup aman dan tidak menyebabkan banjir.
2	Analisis Normalisasi Sungai Baubau, Alianti, 2021	Mengkaji efektivitas normalisasi sungai dan penguatan tebing dalam mengurangi risiko banjir di sepanjang bantaran sungai	Metodologi : Langkah-langkah dalam penelitian yaitu sebagai berikut : 1. Pengumpulan data langsung dan tidak langsung 2. Analisis Hidrologi menentukan debit rencana	1. Luas Penampang Sungai (Dimensi) 2. Daya dukung tanah	Penanganan Sungai Baubau dilakukan melalui normalisasi dengan penampang trapezium untuk kala ulang 25 tahun, serta perkuatan tebing kanan-kiri menggunakan talud beton

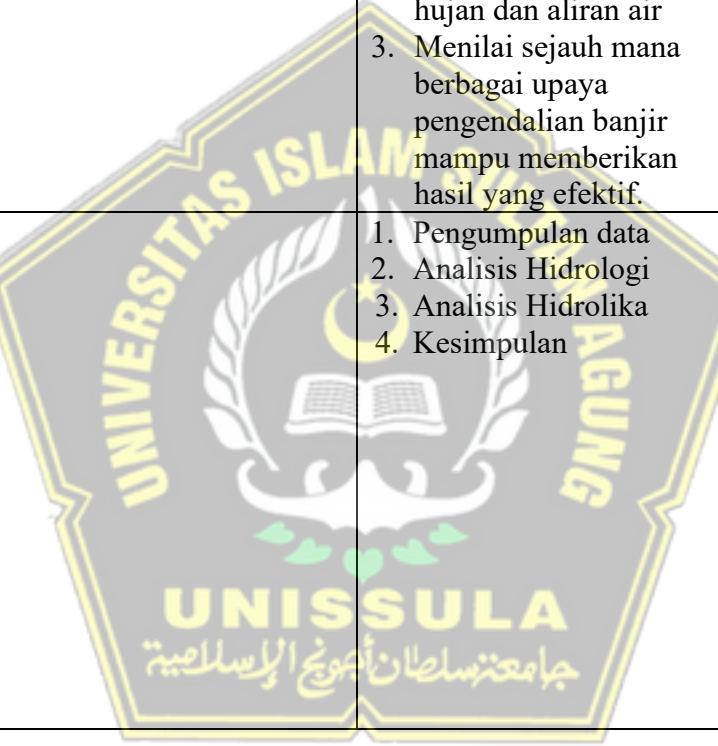
No	Judul, Penulis, Tahun	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Indikator/ Variabel	Hasil Penelitian
			3. Analisis Daya Dukung Tanah 4. Kesimpulan		
3	Dampak Normalisasi Sungai Tomdano Terhadap Kondisi Lingkungan, Sosial dan Ekonomi Masyarakat Kota Manado, Thania Hanna S,2023	Mengetahui dampak normalisasi Sungai Tondano	<p>1. Pengumpulan data</p> <p>2. Kajian ini mencakup kondisi fisik dan ekologis, dinamika kehidupan masyarakat, serta struktur dan potensi ekonomi lokal</p>	<p>1. Kondisi Lingkungan : Tata guna lahan,tata bangunan, kondisi jalan, Jaringan drainase</p> <p>2. Aspek sosial mencerminkan dinamika hubungan antarwarga, tingkat kenyamanan hidup dalam komunitas, keterlibatan masyarakat dalam menjaga kebersihan lingkungan,</p>	<p>Permukiman mendominasi penggunaan lahan (122 ha) di kawasan normalisasi. Kelurahan Komo Luar memiliki kepadatan bangunan tertinggi (97 unit/ha), sementara Singkil Satu mencatat jumlah penduduk terbanyak. Mayoritas warga bekerja sebagai wiraswasta (3.204 jiwa), meski sebagian besar belum mencapai UMK. Pembangunan tanggul memengaruhi aspek lingkungan, sosial, dan ekonomi. Normalisasi sungai memberi dampak positif dan</p>

No	Judul, Penulis, Tahun	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Indikator/ Variabel	Hasil Penelitian
				serta jenis pekerjaan atau sumber penghasilan utama penduduk 3. Kondisi Ekonomi : Tingkat pendapat	direkomendasikan untuk diperluas ke wilayah tanpa tanggul dan sungai besar lainnya
4	Kajian Normalisasi Terhadap Kapasitas Sungai Gude Desa Pulolor Berbasis HEC -RAS, Armanda Beta, 2021	Mengetahui kapasitas penampang Sungai Gude	1. Melakukan akuisisi dan kompilasi data yang diperlukan 2. Menghitung debit rencana berdasarkan parameter hidrologi dan teknis 3. Memasukkan data Sungai Gude ke dalam perangkat lunak HEC-RAS untuk analisis lebih lanjut	1. Curah hujan 2. Penampang Sungai	Debit banjir rencana Sungai Gude untuk kala ulang 2 hingga 100 tahun berada di kisaran $76,89\text{--}131,80 \text{ m}^3/\text{detik}$. Saluran yang ada saat ini belum mampu menampung debit tersebut
5	Perencanaan Normalisasi Sungai Babak Sebagai Antisipasi Banjir Di Kabupaten Lombok Barat, Cahya Nugraha, 2019	Mengetahuo kapasitas penampang Sungai Babak setelah dan sebelum normalisasi	1. Melakukan akuisisi dan kompilasi data yang diperlukan	1. Curah hujan 2. Penampang Sungai	Penampang awal Sungai Babak tidak mampu menampung debit rencana 877,63

No	Judul, Penulis, Tahun	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Indikator/ Variabel	Hasil Penelitian
			<p>2. Menghitung debit rencana berdasarkan parameter hidrologi dan teknis</p> <p>3. Memasukkan data Sungai Gude ke dalam perangkat lunak HEC-RAS untuk analisis lebih lanjut</p>		<p>$m^3/detik$, sehingga terjadi limpasan. Normalisasi dilakukan dengan pelebaran 5 meter, pengurukan 2–3 meter, dan pembangunan tanggul 1–5 meter. Hasilnya, kapasitas sungai meningkat dan mampu menampung debit hingga kala ulang 50 tahun</p>
6	Normalisasi Sungai Blorong Guna Menanggulangi Banjir di Kabupaten Kendal, Dwiyono Abdul Karim, 2022	Menyusun rencana penataan alur Sungai Blorong di wilayah Kendal, termasuk pembangunan infrastruktur pendukung untuk mendukung fungsi pengendalian banjir dan kelestarian lingkungan.	<p>1. Pengumpulan data</p> <p>2. Perhitungan debit rencana</p>	<p>1. Curah Hujan</p> <p>2. stabilitas tanggul</p>	<p>Studi ini menggunakan debit banjir rencana dengan kala ulang 50 tahun sebesar $422,5 m^3/detik$. Hasil simulasi menggunakan <i>HEC-RAS</i> menunjukkan bahwa penampang sungai eksisting tidak mampu menampung debit tersebut, sehingga terjadi limpasan. Setelah dilakukan</p>

No	Judul, Penulis, Tahun	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Indikator/ Variabel	Hasil Penelitian
					perbaikan penampang dan pembangunan tanggul pada ruas-ruas rawan banjir, kapasitas sungai meningkat dan mampu menampung debit rencana secara efektif.
7	Study Perencanaan Normalisasi Sungai Babakan Kabupaten Brebes, Okky Hendra Hermawan, 2021	Merencanakan normalisasi Sungai Babakan agar tidak terjadi banjir	 1. Pengumpulan Data 2. Analisis Hujan Rencana 3. Topografi	1. Curah Hujan 2. Geometri 3. Topografi	Penelitian perencanaan normalisasi Sungai Babakan menghasilkan beberapa temuan utama: 1. Curah hujan rata-rata DAS Babakan sebesar 81,63 mm, dengan puncak 116,88 mm pada 4 Desember 2016. 2. Debit banjir di titik fokus (desa Kubangwungu) mencapai 91,56 m ³ /detik dengan muka air ±2 meter. 3. Simulasi HEC-RAS menunjukkan

No	Judul, Penulis, Tahun	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Indikator/ Variabel	Hasil Penelitian
					<p>penampang eksisting mampu menampung debit tersebut.</p> <p>4. Perencanaan teknis meliputi pelebaran penampang, perbaikan alur, pengeringan dasar sungai, dan pengendalian sedimen.</p> <p>5. Penampang ideal di lokasi Kubangwungu, Sutamaja, dan Kemurang Wetan memiliki lebar 30 m, tinggi 5,2 m, lebar tanggul 4 m, bentuk V, dan nilai koefisien Manning 0,025, disesuaikan dengan kondisi lapangan.</p>
8	Kajian Efektivitas Normalisasi Sungai Terhadap Penurunan Risiko Banjir, Erha Intan S, 2022	Mendapatkan daerah luapan banjir dan Tingkat risiko bencana banjir Sungai Tikala di Kota Manado	<ol style="list-style-type: none"> 1. Menghimpun informasi dan data pendukung terkait kondisi wilayah dan karakteristik sungai 2. Melakukan kajian hidrologi untuk 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Curah hujan 2. Data penutupan lahan 	nilai kerugian akibat banjir secara ekonomi dengan hasil Tingkat resiko dan Tingkat kerugian

No	Judul, Penulis, Tahun	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Indikator/ Variabel	Hasil Penelitian
			memahami pola curah hujan dan aliran air 3. Menilai sejauh mana berbagai upaya pengendalian banjir mampu memberikan hasil yang efektif.		
9	Perencanaan Normalisasi Sungai dan Tanggul Pengendali Banjir Kali Pancir Kabupaten Jombang, Ninda Prabawanti, 2022		1. Pengumpulan data 2. Analisis Hidrologi 3. Analisis Hidrolik 4. Kesimpulan	1. Curah Hujan 2. Dimensi Penampang Sungai	Curah hujan rencana sebesar 126,861 mm menghasilkan debit banjir $249,143 \text{ m}^3/\text{detik}$. Penampang Kali Pancir eksisting tidak mampu menampung debit tersebut. Normalisasi dengan bentuk trapezium dan parapet setinggi 1,10–3,50 m dirancang aman secara struktur. Estimasi biaya Rp150 miliar.

Tabel 2. 3. Rencana Penelitian

No	Judul, Penulis, Tahun	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Indikator/ Variabel	Hasil Penelitian
1	Simulasi Hidrolik Sebelum dan Sesudah Normalisasi Sungai Untuk Mengatasi Banjir Di Area Hulu Bendung (Studi Kasus Sungai Penggaron sebagai Hulu Bendung Pucang Gading), Tessa Kusumaningsih, 2025	1. Menganalisis debit banjir terkini di Sungai Penggaron terhadap Bendung Pucang Gading 2. Menganalisis hidrolik penampang Sungai Penggaron sebelum dan sesudah normalisasi	1. Pengumpulan data 2. Analisis Hidrologi 3. Kajian Curah hujan rencana 4. Kajian debit banjir rencana 5. Simulasi Hidrolik dengan HEC-RAS	1. Curah Hujan 2. Dimensi penampang sungai	1. Debit Banjir terkini 2. Hasil simulasi hidrolik

Tabel 2. 4. Persamaan dan Perbedaan Dari Penelitian Terdahulu

No	Judul, Penulis,Tahun	Perbedaan	Persamaan
1.	Analisis Kapasitas Saluran Pada Proyek Normalisasi Sungai Di Desa Adat Peminge Banjar Sawangan Nusa Dua Bali,Anak Agung Ratu Ritaka Wangsa,2021	Penelitian ini hasilnya hanya berfokus pada hasil analisis hidrologi	Sama sama menganalisis Analisis hidrologi
2.	Analisis Normalisasi Sungai Baubau, Alianti,2021	Penelitian ini hasilnya pada metode penanganan untuk perkuatan tebing	Sama sama menganalisis kapasitas tumpungan sungai.
3.	Dampak Normalisasi Sungai Tomdano Terhadap Kondisi Lingkungan,Sosial dan Ekonomi Masyarakat Kota Manado, Thania Hanna S,2023	Hasil dari penelitian ini lebih kepada identifikasi kondisi lingkungan.	Sama sama menghitung tata guna lahan di sekitar sungai
4.	Kajian Normalisasi Terhadap Kapasitas Sungai Gude Desa Pulolor Berbasis HEC-RAS, Amanda Beta, 2021	Hasil penelitian ini hasilnya hanya menunjukan kondisi debit banjir pada kondisi eksisting	Menggunakan metode penelitian perhitungan yang sama dengan aplikasi HEC – RAS

No	Judul, Penulis,Tahun	Perbedaan	Persamaan
5.	Perencanaan Normalisasi Sungai Babal Sebagai Antisipasi Banjir Di Kabupaten Lombok Barat, Cahya Nugraha, 2019	Penelitian ini hasilnya hanya pada perencanaan tanggul.	Menggunakan metode penelitian perhitungan yang sama dengan aplikasi <i>HEC – RAS</i>
6.	Normalisasi Sungai Blorong Guna Menanggulangi Banjir di Kabupaten Kendal, Dwiyono Abdul Karim, 2022	Penelitian ini menghitung stabilitas lereng	Menggunakan metode penelitian perhitungan yang sama dengan aplikasi <i>HEC – RAS</i>
7.	Study Perencanaan Normalisasi Sungai Babakan Kabupaten Brebes, Okky Hendra Hermawan, 2021	Penelitian ini lebih ke perencanaan untuk normalisasi sungai	Menggunakan metode penelitian perhitungan yang sama dengan aplikasi <i>HEC – RAS</i>
8.	Kajian Efektivitas Normalisasi Sungai Terhadap Penurunan Risiko Banjir, Erha Intan S,2022	Penelitian ini mencakup Tingkat resiko banjir serta perhitungan ekonomi terhadap kerugian yang disebakan oleh banjir	Sama sama menghitung Analisis hidrologi
9.	Perencanaan Normalisasi Sungai dan Tanggul Pengendali Banjir Kali Pancir Kabupaten Jombang, Ninda Prabawanti,2022	Penelitian ini mencakup stabilitas lereng, dan perhitungan rencan anggaran biaya konstruksi	Menggunakan metode penelitian perhitungan yang sama dengan aplikasi <i>HEC – RAS</i>

BAB III

METODE PENELITIAN

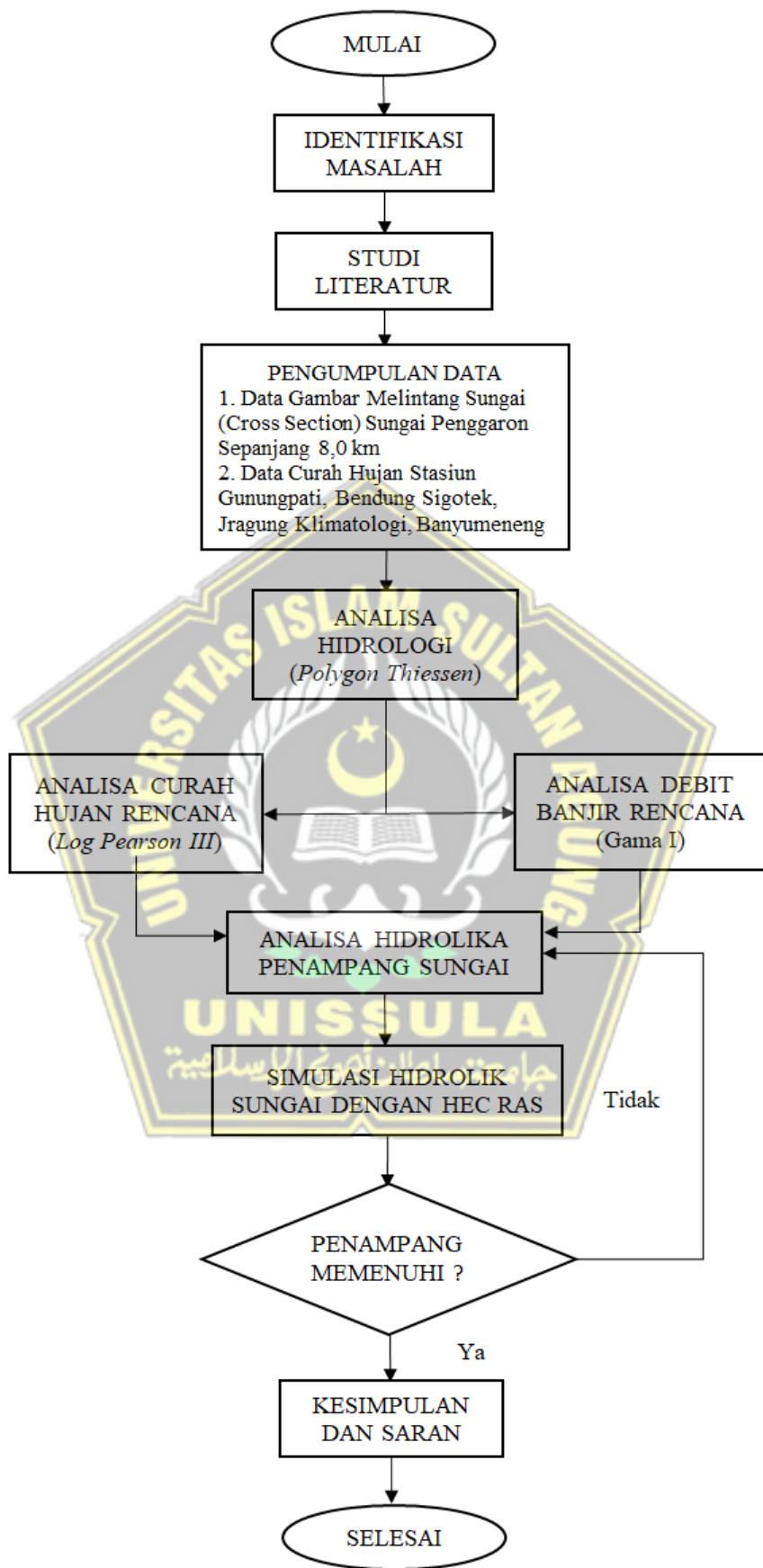
3.1. Pengertian Umum

Pendekatan penelitian diterapkan secara sistematis guna memperoleh hasil optimal dalam studi ini. Tujuan utama penelitian adalah menilai dampak normalisasi Sungai Penggaron terhadap kondisi hulu Bendung Pucang Gading, dengan membandingkan situasi sebelum dan sesudah normalisasi. Data primer dan sekunder yang tersedia menjadi dasar dalam pelaksanaan analisis.

3.2. Tahapan Penelitian

Penelitian ini mengintegrasikan data primer dan sekunder yang berkaitan dengan topik kajian, yang kemudian dianalisis menggunakan metode terapan. Permasalahan yang ditemukan ditelaah melalui studi pustaka berdasarkan referensi dan hasil riset terdahulu. Tujuan utama kajian ini adalah mengidentifikasi dampak positif normalisasi Sungai Penggaron terhadap kondisi hulu Bendung Pucang Gading.

Seluruh tahapan penelitian dilaksanakan sesuai prosedur yang berlaku untuk menghasilkan kesimpulan yang valid serta memberikan rekomendasi bagi pengembangan studi di masa mendatang. Secara keseluruhan, tahapan penelitian dapat dilihat pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3. 1. Skema Tahapan Penelitian

3.3. Data Penelitian

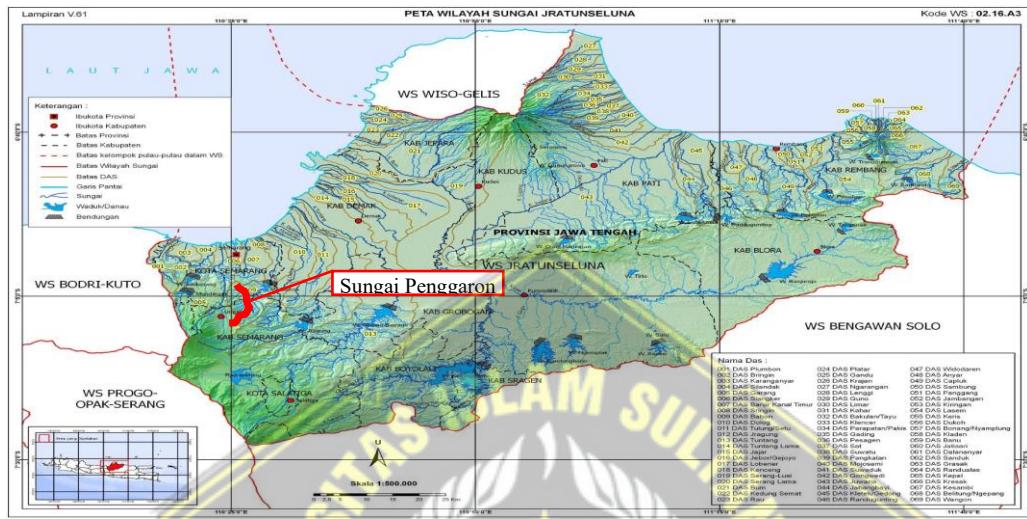
Data Penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Data gambar melintang Sungai (*cross section*) Sungai Penggaron dengan pengukuran langsung.
2. Catatan intensitas hujan berdasarkan lokasi pengukuran Stasiun Hujan Gunungpati 2003 – 2022 (Balai PSDA Bodri Kutho)
3. Catatan intensitas hujan berdasarkan lokasi pengukuran Stasiun Hujan Bendung Sigotek 2003 – 2022 (Balai PSDA Bodri Kutho)
4. Catatan intensitas hujan berdasarkan lokasi pengukuran Stasiun Hujan Jragung Klimatologi 2003 – 2022 (Balai PSDA Bodri Kutho)
5. Catatan intensitas hujan berdasarkan lokasi pengukuran Stasiun Hujan Banyumeneng 2003 – 2022 (Balai PSDA Bodri Kutho)
6. Catatan intensitas hujan berdasarkan lokasi pengukuran Stasiun Hujan Pucang Gading 2003 – 2022 (Balai PSDA Bodri Kutho)

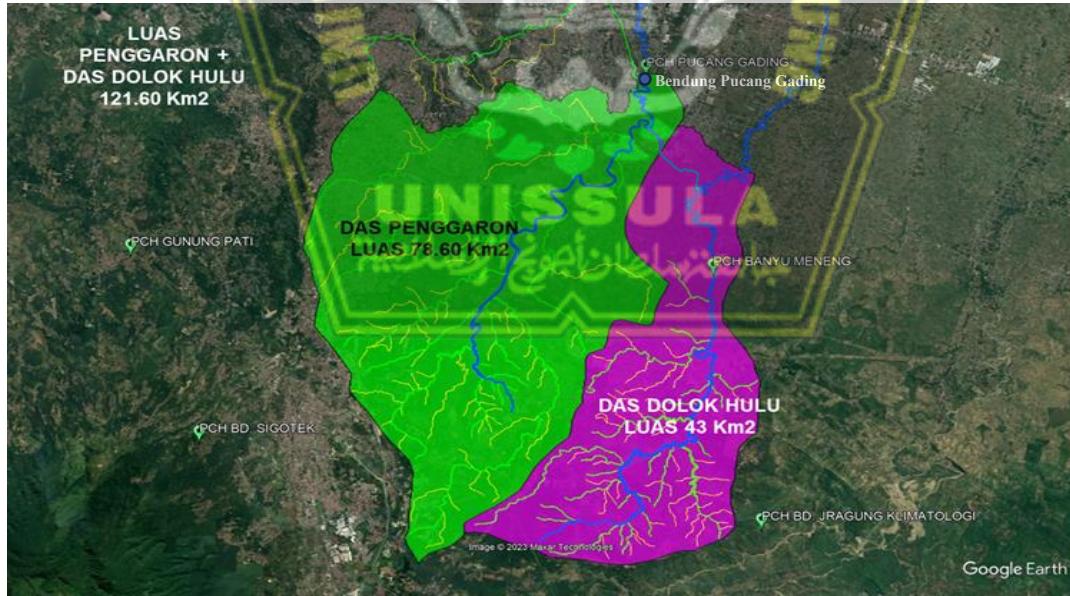
3.4. Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di Sungai Penggaron (DAS Penggaron) ini sepanjang 8,0 Km yang dimulai dari Bendung Pucang Gading yang berada di koordinat $7^{\circ}02'23.4"S$ $110^{\circ}29'03.3"E$ ke arah hulu sampai di koordinat $7^{\circ}4'11.76"S$ $110^{\circ}27'47.59"E$ Jembatan Kedungsari Kelurahan Rejosari Kecamatan Tembalang Kota Semarang . Lokasi ini dipilih sebagai bahan penelitian karena telah terjadi banjir pada tanggal 6 Januari 2023 di Sungai Penggaron dipicu oleh peningkatan curah hujan di daerah hulu (Ungaran) yang mengakibatkan meluapnya Sungai Penggaron di Wilayah Kota Semarang dan terjadi banjir bandang yang menerjang Perumahan Indah Kelurahan Meteseh Kecamatan Tembalang, banjir juga mengakibatkan jebolnya tanggul (parapet) di Perumahan Dinar Indah dan menggenangi pemukiman setinggi +2,00 meter. Pada tanggal 17 Februari 2023 terjadi banjir lagi yang mengakibatkan meluapnya Sungai Penggaron di hulu Bendung Pucang Gading, daerah yang terdampak akibat banjir antara lain di Perumahan Dinar Indah, Perumahan Arion 5 dan Perumahan Arion 6

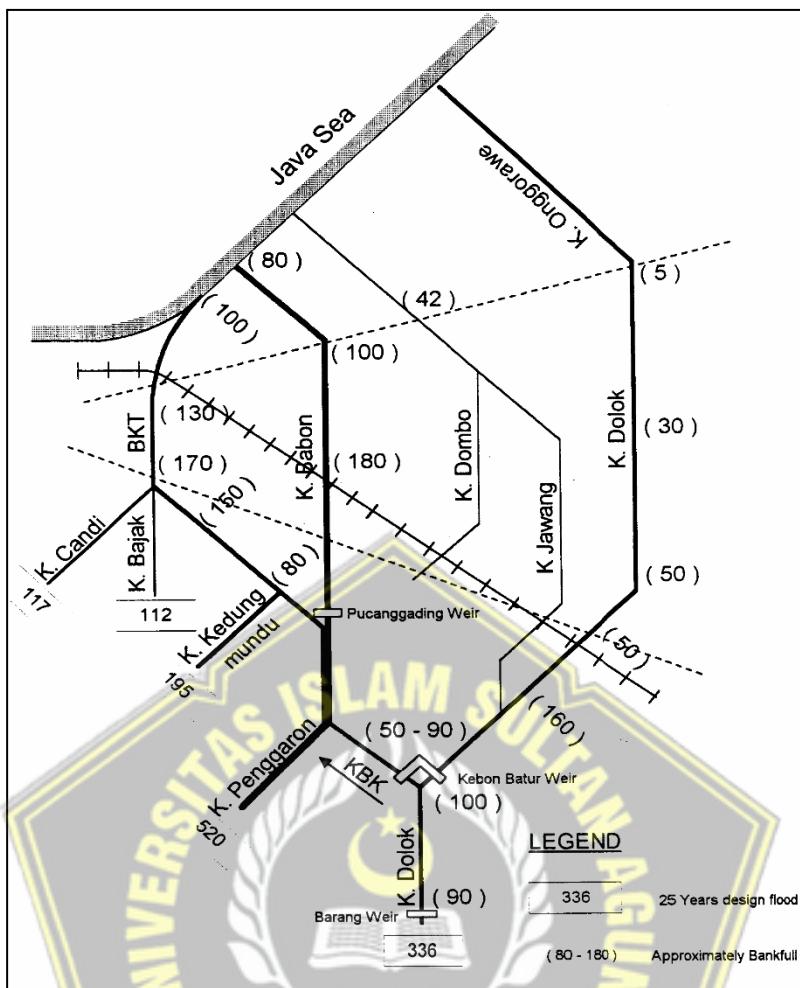
Desa Kebonbatur Kecamatan Mranggen Kabupaten Demak. Oleh karena itu, kondisi tersebut layak dijadikan objek penelitian guna mengidentifikasi solusi yang paling efektif dalam penanganan banjir di Sungai Penggaron, khususnya di wilayah hulu Bendung Pucang Gading. Peta lokasi dan situasi dapat dilihat pada **Gambar 3.2.** dan **Gambar 3.3.**



Gambar 3. 2. Lokasi Sungai Penggaron



Gambar 3. 3. Daerah Tangkapan Air Sub DAS Penggaron dan Sub DAS Dolok Hulu



Gambar 3. 4. Kondisi Eksisting Prasarana SDA Sistem Dolok Penggaron

3.5. Metode Pengumpulan Data

Pendekatan kuantitatif adalah metode ilmiah yang digunakan untuk menelaah suatu permasalahan serta mengungkap keterkaitan antar variabel melalui pengolahan data berbasis angka. Metode ini diterapkan untuk melakukan validasi terhadap model atau hipotesis yang diperkirakan sebagai jawaban atas pertanyaan penelitian. Data yang dikumpulkan bersifat kuantitatif, baik berupa angka maupun data non-digital yang dapat diukur secara statistik. Pendekatan pengambilan data untuk keperluan penelitian kuantitatif meliputi survei, kuesioner terstruktur, observasi kuantitatif, dan dokumentasi yang dapat dikonversi menjadi data numerik. Adapun teknik pengumpulan data dalam metode kuantitatif adalah sebagai berikut:

a. Teknik Pengumpulan Data Primer

Data primer diperoleh menggunakan metode survei lapangan dengan penelusuran dan pengukuran langsung dimensi saluran Sungai Penggaron. Kegiatan ini bertujuan untuk memperoleh gambaran aktual kondisi fisik lokasi penelitian.

b. Teknik Pengumpulan Data Sekunder

Pengumpulan data sekunder dilakukan sebagai bagian dari upaya peneliti dalam mengakses sumber informasi yang mendukung studi. Data tersebut diperoleh dari Balai Besar Wilayah Sungai Pemali Juana, meliputi informasi mengenai curah hujan dan peta topografi DAS Penggaron serta DAS Dolok.

Analisis manfaat normalisasi Sungai Penggaron pada Hulu Bendung Pucang Gading dalam menanggulangi banjir yang terjadi di Sungai Penggaron, digunakan metode kuantitatif dengan menggunakan Metode yang digunakan dalam memperoleh data primer dan sekunder dijelaskan sebagai berikut :

a. Data Primer

Data primer yang akan digunakan peneliti adalah foto Sungai sebelum dan sesudah terjadinya banjir yang limpas di atas tanggul, dan pengukuran langsung dimensi Sungai Penggron.

b. Data Sekunder

Data sekunder yang digunakan dalam penelitian meliputi hasil pengukuran ruas Sungai Penggaron, rekaman curah hujan harian selama 20 tahun dari lima stasiun Gunungpati, Bendung Sigotek, Bendung Jragung Klimatologi, Banyumeneng, dan Pucang Gading serta peta topografi wilayah DAS Penggaron dan DAS Dolok.

3.6. Metode Pengolahan Data

Pendekatan pengolahan data yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada pendekatan analitis sesuai dengan jenis sumber data yang diolah dalam studi. Pertama, data curah hujan minimal 10 tahun diolah

menggunakan distribusi *Log Pearson III* untuk memperoleh curah hujan rencana. Kedua, hasil tersebut digunakan untuk menghitung debit banjir kala ulang terkini dengan metode Gama I. Terakhir, data penampang melintang (*cross section*) sepanjang minimal 300 meter sebelum hulu Bendung Pucang Gading diperlukan guna menghasilkan simulasi hidrolik yang stabil dan akurat melalui aplikasi HEC-RAS.

3.7. Metode Analisis Data

Analisis dilakukan dengan membandingkan kondisi tanggul Sungai Penggaron sebelum dan sesudah normalisasi. Perbandingan ini didasarkan pada perubahan muka air banjir (MAB) serta evaluasi neraca air setelah normalisasi dilakukan. Langkah – Langkah analisis adalah :

1. Analisis data curah hujan di daerah aliran Sungai Bendung Pucang Gading

Analisis dilakukan secara bertahap, dimulai dari pengumpulan data, dilanjutkan dengan pengujian konsistensi, dan diakhiri dengan perhitungan rata-rata curah hujan wilayah dan titik lokal, pengujian kesesuaian distribusi data, serta analisis intensitas hujan. Metode yang digunakan adalah *Poligon Thiessen*, yang efektif untuk wilayah dengan lebih dari satu stasiun hujan. Lokasi stasiun diplot pada peta, lalu dihubungkan membentuk segitiga, dan garis tegak lurus dari titik tengah menghasilkan poligon yang mewakili area pengaruh masing-masing stasiun. Luas tiap poligon dihitung untuk menentukan kontribusi curah hujan terhadap wilayah studi (persamaan rumus 2.2).

Data curah hujan yang telah diperoleh diolah menggunakan distribusi *Log Pearson III* untuk menentukan curah hujan berdasarkan kala ulang tahunan. Hasil olahan ini digunakan dalam analisis debit banjir tahunan. Nilai peluang distribusi ditentukan melalui persamaan pada rumus 2.7.

Nilai standar variable tergantung periode ulang. Nilai standar Cs untuk Cs untuk distribusi *Log Pearson III* dapat dilihat pada **Tabel 2.1**.

2. Analisis debit banjir Sungai Penggaron di hulu Bendung Pucang Gading

Perkiraan debit banjir untuk berbagai kala ulang dilakukan berdasarkan analisis terhadap data aliran sungai yang tersedia. Metode yang digunakan dalam pengolahan data pencatatan debit adalah metode GAMA I, yang dinilai efektif untuk menghasilkan estimasi debit banjir rencana secara akurat berdasarkan karakteristik hidrologi lokal.

Model hidrograf sintetik Gama I terdiri dari tiga elemen utama: waktu naik (TR), debit puncak (Qp), dan waktu dasar (TB), yang masing-masing dijelaskan melalui persamaan pada rumus 2.9, 2.10, dan 2.11.

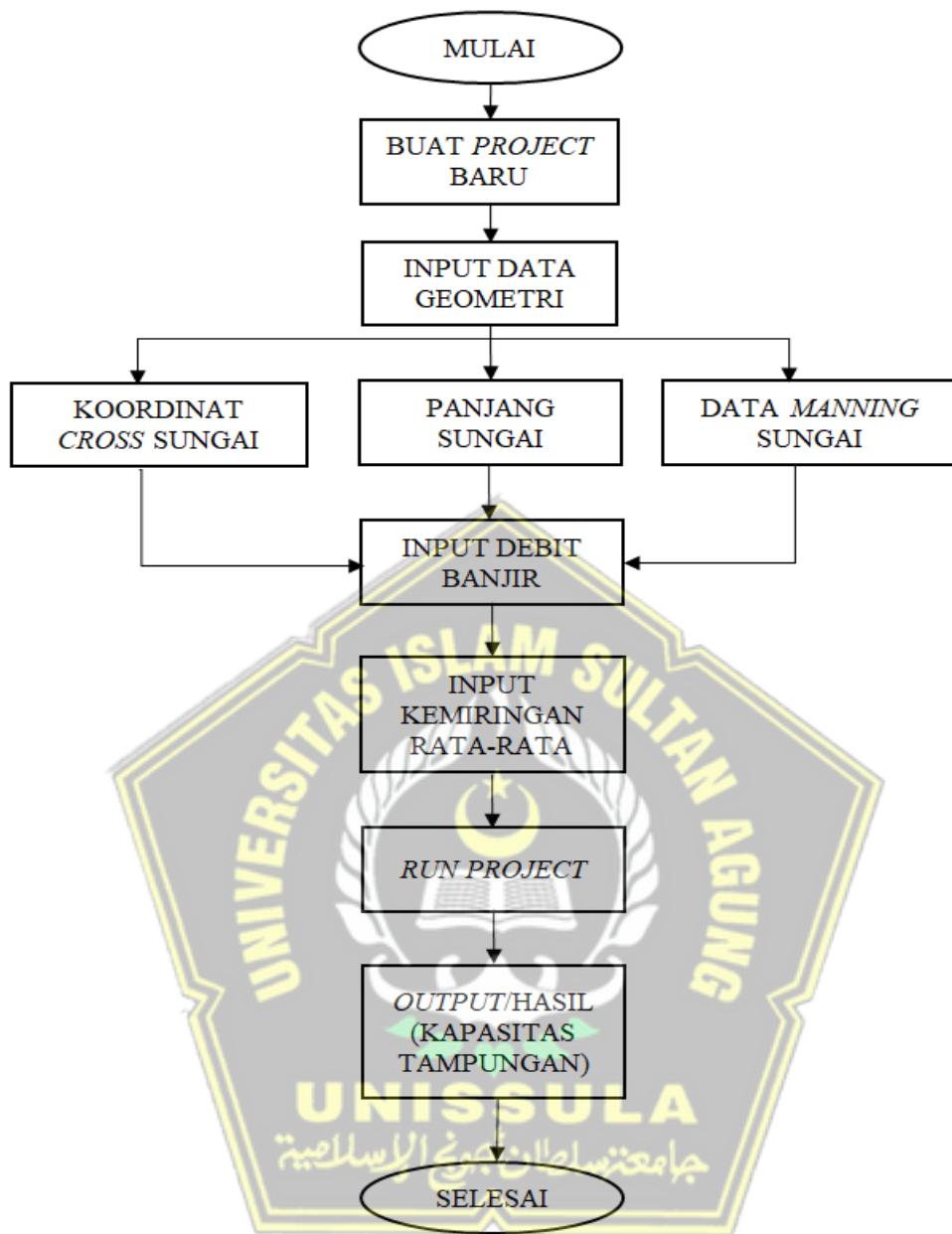
Hujan efektif dihitung menggunakan metode ϕ indeks, yang dipengaruhi oleh luas Daerah Aliran Sungai (DAS) dan frekuensi sumber hujan. Perhitungannya mengacu pada persamaan dalam rumus 2.12.

Aliran dasar dapat diperkirakan sebagai fungsi dari luas Daerah Aliran Sungai (DAS) dan tingkat kerapatan jaringan sungai, sebagaimana dijelaskan dalam persamaan rumus 2.13

Waktu konsentrasi atau lama hujan terpusat dirumuskan dengan persamaan rumus 2.14

3. Simulasi hidrologi menggunakan aplikasi *HEC RAS*

Simulasi hidrologi menggunakan aplikasi *HEC-RAS* bertujuan untuk mengevaluasi kapasitas tampungan banjir Sungai Penggaron di Bendung Pucang Gading, baik sebelum maupun sesudah normalisasi. Proses pengolahan data dalam *HEC-RAS* mengikuti tahapan yang ditampilkan dalam skema **Gambar 3.5**.



Gambar 3. 5. Skema Tahapan Pengolahan Data pada Aplikasi *HEC-RAS*

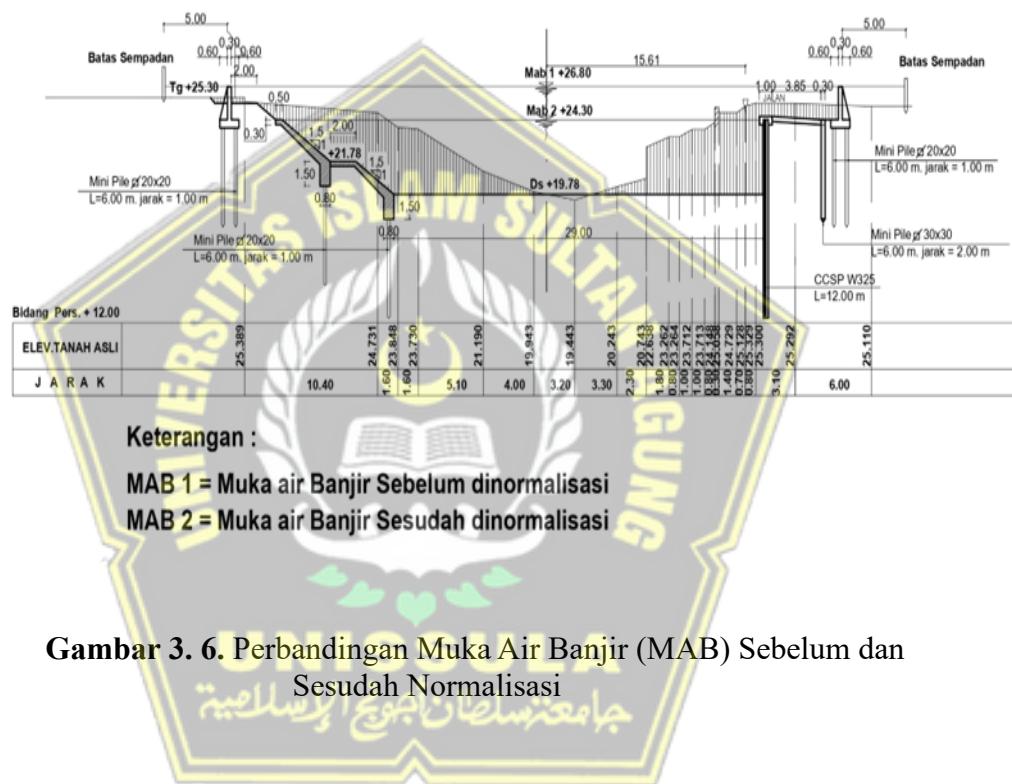
Hasil atau output yang didapatkan dari Analisis hidrologi menggunakan aplikasi *HEC-RAS* adalah berupa bentuk tabel dan gambar pada setiap potongan melintang sungai (*cross section*). Hasil tabel berisikan elevasi muka air, kecepatan aliran air (*velocity*), bilangan *Froude* dan luas permukaan air. Sedangkan hasil gambar meliputi gambar setiap potongan melintang sungai (*cross section*) dan gambar memanjang sungai (*long*

section) dari hulu hingga hilir. Hasil gambar sendiri berisikan tinggi elevasi muka air dari Q2 sampai Q100 secara visual.

4. Perbandingan kondisi Sungai Penggaron sebelum dan sesudah normalisasi

Menggunakan bantuan aplikasi *HEC – RAS*, kondisi ruas hulu Bendung Pucang Gading dibandingkan pada kondisi banjir sebelum dan setelah normalisasi. Contoh perbandingan muka air dapat dilihat pada

Gambar 3.6.



Gambar 3. 6. Perbandingan Muka Air Banjir (MAB) Sebelum dan Sesudah Normalisasi

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisis Data Curah Hujan Harian Maksimum

Data curah hujan dari masing-masing stasiun diolah untuk memperoleh nilai harian maksimum, yaitu hari dengan intensitas hujan tertinggi dalam satu tahun. Nilai maksimum ini kemudian digunakan dalam analisis curah hujan rencana. Contoh hasil pengolahan tersebut ditampilkan pada **Tabel 4.1** untuk wilayah DAS Bendung Pucang Gading.

Tabel 4. 1. Curah Hujan Harian Maksimum Stasiun Gunung Pati

Tahun	Bulan												Maksimum
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
2003	80	98	151	35	25	13	0	0	52	62	37	83	151
2004	147	103	68	25	76	19	13	0	37	26	84	110	147
2005	105	56	99	89	47	39	40	0	17	39	85	79	105
2006	86	85	44	64	41	2,5	0	0	0	7	64	174	174
2007	90	69	305	65	15	29	0	14	0	17	78	77	305
2008	114	76	40	28	58	26	0	24	17	40	75	71	114
2009	108	67	59	17	59	65	69	17	9	35	46	48	108
2010	80	93	98	165	95	64	25	17	95	75	112	54	165
2011	91	68	77	76	48	7	11	0	122	125	200	82	200
2012	99	67,5	56	46	41,5	21	0	0	0	41	75	65	99
2013	77	52	59	59	55	33	26	24	0	0	146	132	146
2014	84	148	32	75	49	56	26	25	0	24	36	75	148
2015	69	91	106	66	99	19	0	0	0	14	64	43	106
2016	136	118	78	79	65	67	65	45	76	152	112	117	152
2017	110	65	63	35	49	47	34	0	18	82	103	55	110
2018	44	77,5	85	40	34	44,5	0	0	26	0	50	55	85
2019	70	85	130	62	27	0	0	3	28	3	23	95	130
2020	98	85	72	64	47	0	61	11	25	32	96	82	98
2021	153	148	50	18	52	51	8	26	75	66	72	63	153
2022	190	83	32	61	41	46	6	66	98	112	105	116	190

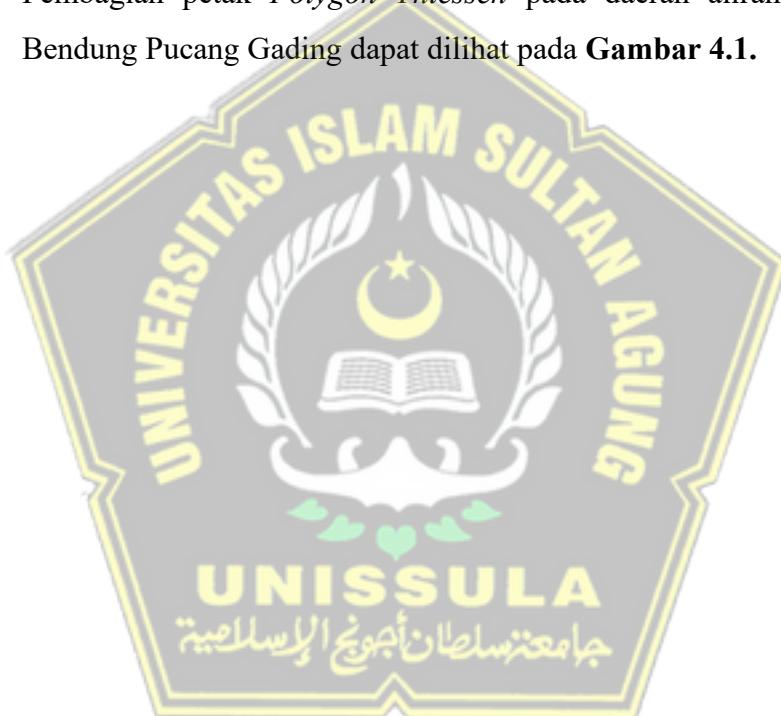
Data tersebut menunjukkan nilai curah hujan harian tertinggi dari salah satu stasiun hujan setiap bulan, yang kemudian dirata-ratakan secara tahunan. Informasi curah hujan harian maksimum dari stasiun lain Banyumeneng, Jragung, Pucang Gading, dan Sumur Jurang (Bendung Sigotek) tersaji dalam lampiran.

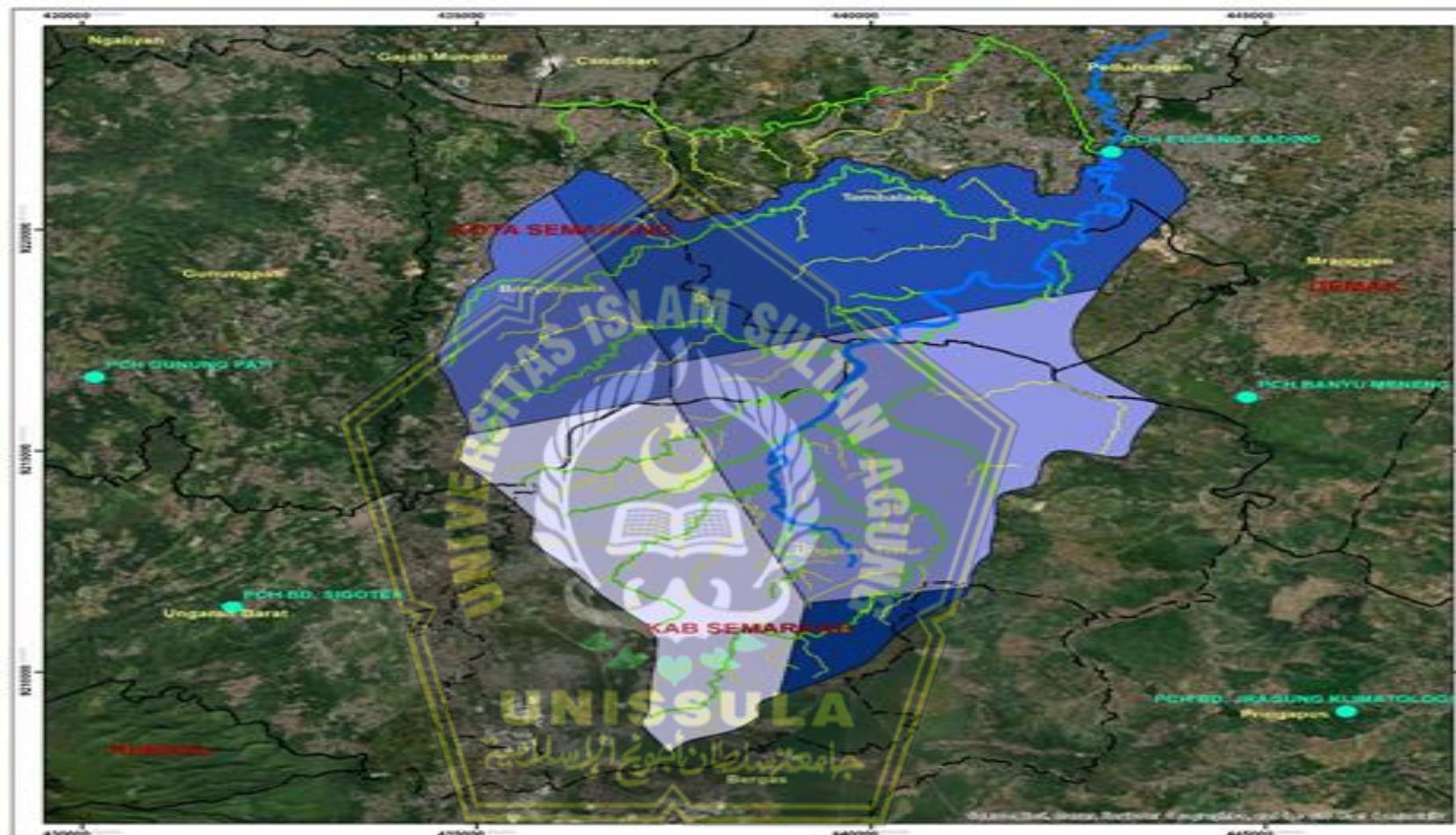
4.2. Analisis Data Curah Hujan Harian Maksimum

Metode *Polygon Thiessen* digunakan untuk menghitung rata-rata curah hujan wilayah berdasarkan luas pengaruh tiap stasiun, terutama saat distribusi hujan tidak merata dijelaskan sebagai berikut:

1. Plot area stasiun hujan pada peta wilayah studi.
2. Menghubungkan titik-titik stasiun hujan yang berdekatan menggunakan garis lurus, sehingga membentuk jaringan segitiga sebagai dasar pembentukan poligon pengaruh.
3. Buat garis tegak lurus dari titik tengah setiap sisi segitiga untuk membentuk poligon pengaruh tiap stasiun.
4. Hitung luas masing-masing poligon, kalikan dengan curah hujan di stasiun terkait, lalu jumlahkan seluruh hasil dan bagi dengan total luas wilayah.

Pembagian petak *Polygon Thiessen* pada daerah aliran Sungai Bendung Pucang Gading dapat dilihat pada **Gambar 4.1**.





Gambar 4. 1. *Polygon Thiessen Daerah Irigasi Sungai Bendung Pucang Gading*

Hasil analisis *Poligon Thiessen* menunjukkan bahwa wilayah kontribusi curah hujan dari setiap stasiun bervariasi sesuai lokasi - beda. Persentase luas pengaruh tersebut digunakan dalam pengolahan data curah hujan harian maksimum untuk memperoleh rata-rata distribusi curah hujan di wilayah DAS Bendung Pucang Gading secara lebih merata. Informasi mengenai luas pengaruh masing-masing stasiun hujan disajikan pada **Tabel 4.2**.

Tabel 4. 2. Luas Pengaruh Hujan pada Setiap Stasiun Hujan

No	Stasiun Hujan	Luas Pengaruh Hujan	
		Presentasi	Km ²
1	Gunungpati	12,56%	9,87
2	Bendung Sigotek	22,21%	17,46
3	Jragun Klimatologi	3,21%	2,52
4	Banyumeneng	33,01%	25,95
5	Pucang Gading	29,01%	22,80
TOTAL		100,00%	78,60

(Sumber Hitungan)

Analisis rata-rata curah hujan harian maksimum dilakukan dengan membandingkan nilai maksimum tahunan dari satu stasiun hujan yang dijadikan acuan. Stasiun tersebut berfungsi sebagai titik referensi untuk menilai curah hujan di stasiun lainnya, dengan mempertimbangkan persentase luas pengaruh berdasarkan sebaran *Poligon Thiessen* sebagaimana tercantum pada **Tabel 4.2**. Hasil analisis rata-rata curah hujan harian maksimum untuk wilayah DAS Bendung Pucang Gading disajikan pada **Tabel 4.3**.

**Tabel 4. 3. Curah Hujan Harian Maksimum Rata – Rata Daerah Aliran Sungai (DAS) Bendung Pucang Gading
(Metode Polygon Thiessen)**

No	Tahun	Tanggal	Tinggi Hujan										Total 100,00%	Max
			Stasiun Gunung Pati	Stasiun Bd. Sigotek	Stasiun Bd. Jragung Klimatologi	Stasiun Banyu Meneng	Stasiun Pucang Gading	Gunung Pati 12,56%	Bd. Sigotek 22,21%	Jragung Klimatologi 3,21%	Banyu Meneng 33,01%	Pucang Gading 29,01%		
1	2003	18-Mar-03	151	70	26	22	0	18,96	15,55	0,83	7,26	0,00	42,60	52,55
		11-Apr-03	18	154	5	4	10	2,26	34,20	0,16	1,32	2,90	40,84	
		12-Oct-03	0	15	59	0	5	0,00	3,33	1,89	0,00	1,45	6,68	
		9-Dec-03	20	13	17	128	15	2,51	2,89	0,55	42,25	4,35	52,55	
		16-Feb-03	60	60	22	26	75	7,53	13,33	0,71	8,58	21,76	51,91	
		30-Nov-03	0	0	35	0	75	0,00	0,00	1,12	0,00	21,76	22,88	
2	2004	29-Dec-04	110	50	220	59	10	13,81	11,10	7,06	19,48	2,90	54,35	139,70
		14-Jan-04	0	103	4	1	35	0,00	22,88	0,13	0,33	10,15	33,49	
		4-Apr-04	0	17	330	32	75	0,00	3,78	10,59	10,56	21,76	46,69	
		29-Mar-04	68	0	29	95	29	8,54	0,00	0,93	31,36	8,41	49,24	
		27-Jan-04	21	95	27	85	300	2,64	21,10	0,87	28,06	87,04	139,70	
3	2005	16-Jan-05	105	25	0	51	0	13,19	5,55	0,00	16,84	0,00	35,57	63,88
		3-Mar-05	27	70	12	0	0	3,39	15,55	0,39	0,00	0,00	19,32	
		3-Aug-05	0	0	65	105	0	0,00	0,00	2,09	34,66	0,00	36,75	
		8-Mar-05	33	50	53	107	40	4,14	11,10	1,70	35,32	11,61	63,88	
		12-Jan-05	0	0	25	31	75	0,00	0,00	0,80	10,23	21,76	32,80	
		4-Mar-05	0	50	22	30	75	0,00	11,10	0,71	9,90	21,76	43,47	
4	2006	25-Dec-06	174	0	49	0	50	21,85	0,00	1,57	0,00	14,51	37,93	78,25
		26-Dec-06	0	60	3	3	63	0,00	13,33	0,10	0,99	18,28	32,69	
		20-Apr-06	18	0	94	50	25	2,26	0,00	3,02	16,51	7,25	29,04	
		28-Jan-06	86	0	76	95	116	10,80	0,00	2,44	31,36	33,66	78,25	
		5-Feb-06	13	15	59	72	150	1,63	3,33	1,89	23,77	43,52	74,15	
5	2007	8-Mar-07	305	0	56	56	107	38,30	0,00	1,80	18,49	31,04	89,63	89,63
		31-Jan-07	90	13	0	0	2	11,30	2,89	0,00	0,00	0,58	14,77	
		4-Dec-07	0	0	69	0	65	0,00	0,00	2,21	0,00	18,86	21,07	
		30-Dec-07	77	0	8	80	18	9,67	0,00	0,26	26,41	5,22	41,56	
		19-Dec-07	20	0	60	65	120	2,51	0,00	1,93	21,46	34,82	60,71	
6	2008	30-Jan-08	114	0	46	100	0	14,32	0,00	1,48	33,01	0,00	48,80	77,82
		15-Nov-08	0	165	8	31	0	0,00	36,65	0,26	10,23	0,00	47,14	
		31-Jan-08	0	0	68	80	85	0,00	0,00	2,18	26,41	24,66	53,25	
		30-Jan-08	114	0	46	100	100	14,32	0,00	1,48	33,01	29,01	77,82	
		30-Jan-08	114	0	46	100	100	14,32	0,00	1,48	33,01	29,01	77,82	
		9-Oct-08	0	0	25	28	100	0,00	0,00	0,80	9,24	29,01	39,06	
		17-Nov-08	14	0	25	60	100	1,76	0,00	0,80	19,81	29,01	51,38	
		12-Jan-09	108	0	5	5	32	13,56	0,00	0,16	1,65	9,28	24,66	
		13-Nov-09	0	35	4	0	0	0,00	7,77	0,13	0,00	0,00	7,90	

No	Tahun	Tanggal	Tinggi Hujan										Total	Max
			Stasiun Gunung Pati	Stasiun Bd. Sigotek	Stasiun Bd. Jragung Klimatologi	Stasiun Banyu Meneng	Stasiun Pucang Gading	Gunung Pati	Bd. Sigotek	Jragung Klimate	Banyu Meneng	Pucang Gading		
								12,56%	22,21%	3,21%	33,01%	29,01%	100,00%	
7	2009	14-Nov-09	0	5	35	50	0	0,00	1,11	1,12	16,51	0,00	18,74	82,30
		9-Jun-09	65	6	17	160	67	8,16	1,33	0,55	52,82	19,44	82,30	
		8-Feb-10	36	20	30	60	150	4,52	4,44	0,96	19,81	43,52	73,25	
8	2010	7-Apr-10	165	9	0	0	0	20,72	2,00	0,00	0,00	0,00	22,72	66,06
		25-Mar-10	13	121	66	42	50	1,63	26,87	2,12	13,86	14,51	58,99	
		16-Nov-10	0	0	102	68	0	0,00	0,00	3,27	22,45	0,00	25,72	
		18-Oct-10	15	0	3	150	19	1,88	0,00	0,10	49,52	5,51	57,01	
		20-Feb-10	93	48	10	55	87	11,68	10,66	0,32	18,16	25,24	66,06	
		15-Dec-10	0	5	61	85	87	0,00	1,11	1,96	28,06	25,24	56,37	
9	2011	9-Nov-11	200	10	0	28	41	25,11	2,22	0,00	9,24	11,90	48,47	66,32
		14-Sep-11	0	90	18	85	61	0,00	19,99	0,58	28,06	17,70	66,32	
		7-Feb-11	0	12	63	0	100	0,00	2,67	2,02	0,00	29,01	33,70	
		14-Sep-11	0	90	18	85	61	0,00	19,99	0,58	28,06	17,70	66,32	
		12-Jan-11	8	20	42	31	150	1,00	4,44	1,35	10,23	43,52	60,55	
10	2012	24-Jan-12	99	0	8	18	14	12,43	0,00	0,26	5,94	4,06	22,69	29,11
		30-Dec-12	0	55	0	0	7	0,00	12,22	0,00	0,00	2,03	14,25	
		31-Jan-12	0	0	96	50	25	0,00	0,00	3,08	16,51	7,25	26,84	
		5-Mar-12	0	0	18	64	0	0,00	0,00	0,58	21,13	0,00	21,70	
		14-Feb-12	0	0	3	0	100	0,00	0,00	0,10	0,00	29,01	29,11	
11	2013	12-Nov-13	146	22	7	0	63	18,33	4,89	0,22	0,00	18,28	41,72	64,90
		13-Nov-13	0	124	21	0	22	0,00	27,54	0,67	0,00	6,38	34,60	
		15-Nov-13	0	23	73	0	0	0,00	5,11	2,34	0,00	0,00	7,45	
		11-Nov-13	25	0	22	147	15	3,14	0,00	0,71	48,53	4,35	56,72	
		23-Feb-13	52	43	70	62	90	6,53	9,55	2,25	20,47	26,11	64,90	
12	2014	3-Feb-14	148	0	8	0	20	18,58	0,00	0,26	0,00	5,80	24,64	92,74
		5-Jan-14	0	72	0	11	5	0,00	15,99	0,00	3,63	1,45	21,07	
		4-Feb-14	5	1	105	175	106	0,63	0,22	3,37	57,77	30,75	92,74	
		4-Feb-14	5	1	105	175	106	0,63	0,22	3,37	57,77	30,75	92,74	
		4-Feb-14	5	1	105	175	106	0,63	0,22	3,37	57,77	30,75	92,74	
13	2015	19-Mar-15	106	12	1	46	32	13,31	2,67	0,03	15,19	9,28	40,48	80,94
		18-Nov-15	0	79	0	0	0	0,00	17,55	0,00	0,00	0,00	17,55	
		20-Mar-15	0	66	75	108	93	0,00	14,66	2,41	35,65	26,98	79,70	
		13-Feb-15	0	37	62	122	105	0,00	8,22	1,99	40,27	30,46	80,94	
		13-Feb-15	0	37	62	122	105	0,00	8,22	1,99	40,27	30,46	80,94	
14	2016	2-Oct-16	152	54	4	5	65	19,09	11,99	0,13	1,65	18,86	51,72	102,50
		10-Nov-16	9	82	58	54	27	1,13	18,21	1,86	17,83	7,83	46,86	
		10-Oct-16	0	63	95	100	20	0,00	13,99	3,05	33,01	5,80	55,85	

No	Tahun	Tanggal	Tinggi Hujan										Total 100,00%	Max
			Stasiun Gunung Pati	Stasiun Bd. Sigotek	Stasiun Bd. Jragung Klimatologi	Stasiun Banyu Meneng	Stasiun Pucang Gading	Gunung Pati 12,56%	Bd. Sigotek 22,21%	Jragung Klimat 3,21%	Banyu Meneng 33,01%	Pucang Gading 29,01%		
		4-Jan-16	0	0	42	215	104	0,00	0,00	1,35	70,97	30,17	102,50	
		4-Jan-16	0	0	42	215	104	0,00	0,00	1,35	70,97	30,17	102,50	
15	2017	20-Jan-17	110	55	2	37	10	13,81	12,22	0,06	12,21	2,90	41,21	67,41
		16-Feb-17	33	68	7	125	23	4,14	15,10	0,22	41,26	6,67	67,41	
		16-Jan-17	13	12	76	165	7	1,63	2,67	2,44	54,47	2,03	63,24	
		16-Jan-17	13	12	76	165	7	1,63	2,67	2,44	54,47	2,03	63,24	
		4-Apr-17	3	0	39	40	82	0,38	0,00	1,25	13,20	23,79	38,62	
16	2018	9-Mar-18	85	9	34	0	0	10,67	2,00	1,09	0,00	0,00	13,76	51,09
		10-Feb-18	0	73	25	21	32	0,00	16,21	0,80	6,93	9,28	33,23	
		12-Jan-18	7	18	95	0	3	0,88	4,00	3,05	0,00	0,87	8,80	
		8-Dec-18	0	0	0	95	68	0,00	0,00	0,00	31,36	19,73	51,09	
		10-Mar-18	17	22	10	39	88	2,13	4,89	0,32	12,87	25,53	45,75	
17	2019	10-Mar-19	130	35	0	30	4	16,32	7,77	0,00	9,90	1,16	35,16	45,23
		14-Dec-19	0	50	15	0	0	0,00	11,10	0,48	0,00	0,00	11,59	
		7-Apr-19	0	11	115	4	33	0,00	2,44	3,69	1,32	9,57	17,03	
		8-Apr-19	0	0	26	109	29	0,00	0,00	0,83	35,98	8,41	45,23	
		6-Feb-19	0	8	45	10	82	0,00	1,78	1,44	3,30	23,79	30,31	
18	2020	23-Jan-20	98	0	0	0	0	12,31	0,00	0,00	0,00	0,00	12,31	59,06
		20-Nov-20	10	122	89	3	3	1,26	27,10	2,86	0,99	0,87	33,07	
		20-Nov-20	10	122	89	3	3	1,26	27,10	2,86	0,99	0,87	33,07	
		23-Feb-20	0	34	4	98	5	0,00	7,55	0,13	32,35	1,45	41,48	
		20-Feb-20	0	48	4	68	89	0,00	10,66	0,13	22,45	25,82	59,06	
19	2021	18-Jan-21	153	23	0	158	33	19,21	5,11	0,00	52,16	9,57	86,05	86,05
		8-Feb-21	16	106	9	53	29	2,01	23,54	0,29	17,50	8,41	51,75	
		17-Jan-21	30	0	161	3	7	3,77	0,00	5,17	0,99	2,03	11,95	
		18-Jan-21	153	23	0	158	33	19,21	5,11	0,00	52,16	9,57	86,05	
		24-Dec-21	0	0	0	3	136	0,00	0,00	0,00	0,99	39,46	40,45	
20	2022	6-Jan-22	190	0	4	27	0	23,86	0,00	0,13	8,91	0,00	32,90	62,62
		26-Oct-22	4	98	11	9	10	0,50	21,77	0,35	2,97	2,90	28,49	
		14-May-22	12	5	92	29	0	1,51	1,11	2,95	9,57	0,00	15,14	
		26-Nov-22	71	0	9	117	51	8,92	0,00	0,29	38,62	14,80	62,62	
		30-Dec-22	42	0	24	12	138	5,27	0,00	0,77	3,96	40,04	50,04	

Analisis dilakukan dengan mengalikan curah hujan maksimum tiap stasiun dengan persentase wilayah pengaruhnya, menghasilkan rata-rata curah hujan harian maksimum untuk seluruh DAS.

4.3. Pengukuran Pola Sebaran (Uji Dispersi)

Uji dispersi membantu memilih distribusi statistik yang paling cocok dengan karakter data curah hujan, agar hasil analisis mencerminkan kondisi sebenarnya. Hasil pengujian dispersi disajikan pada **Tabel 4.4**:

Tabel 4. 4.

Pengukuran Pola Sebaran (Uji Dispersi) Sub DAS Penggaron

NO	TAHUN	X	Xr	(X-Xr)	(X-Xr) ²	(X-Xr) ³	(X-Xr) ⁴
1	2003	53	72,91	-20,36	414,45	-8437,27	171765,54
2	2004	140	72,91	66,79	4461,44	297997,75	19904471,70
3	2005	64	72,91	-9,03	81,57	-736,77	6654,45
4	2006	78	72,91	5,35	28,58	152,77	816,69
5	2007	90	72,91	16,72	279,53	4673,53	78137,55
6	2008	78	72,91	4,91	24,09	118,20	580,11
7	2009	82	72,91	9,39	88,15	827,63	7770,44
8	2010	66	72,91	-6,85	46,93	-321,52	2202,69
9	2011	66	72,91	-6,58	43,36	-285,50	1879,93
10	2012	29	72,91	-43,80	1918,31	-84019,24	3679919,54
11	2013	65	72,91	-8,00	64,05	-512,65	4102,93
12	2014	93	72,91	19,83	393,41	7803,02	154768,84
13	2015	81	72,91	8,04	64,58	518,99	4170,73
14	2016	102	72,91	29,59	875,41	25900,88	766336,38
15	2017	67	72,91	-5,50	30,26	-166,42	915,37
16	2018	51	72,91	-21,82	476,05	-10386,74	226623,83
17	2019	45	72,91	-27,68	766,08	-21203,50	586871,88
18	2020	59	72,91	-13,85	191,82	-2656,69	36794,85
19	2021	86	72,91	13,14	172,78	2271,13	29853,07
20	2022	63	72,91	-10,28	105,76	-1087,62	11185,01
Total		1458,2		0,00	10526,60	210449,99	25675821,55

Parameter Statistik

Jumlah Data	20
Xr (Hujan rata-rata)	72,91 mm
Standar Deviasi (Sd)	23,54
Koefisien Variasi (Cv)	0,32
Koefisien Skewness (CS)	0,94
Koefisien Kuitrosis (CK)	2,50

Tabel 4. 5.
Pengukuran Pola Sebaran (Uji Dispersi) Sub DAS Dolok

NO	TAHUN	X	Xr	(X-Xr)	(X-Xr) ²	(X-Xr) ³	(X-Xr) ⁴
1	2003	69	84,98	-15,92	253,54	-4037,08	64282,09
2	2004	179	84,98	94,25	8882,65	837170,53	78901496,29
3	2005	81	84,98	-3,94	15,53	-61,19	241,11
4	2006	87	84,98	1,64	2,69	4,41	7,23
5	2007	65	84,98	-20,09	403,62	-8108,73	162906,04
6	2008	74	84,98	-10,62	112,83	-1198,50	12730,68
7	2009	86	84,98	1,31	1,71	2,25	2,94
8	2010	82	84,98	-3,27	10,67	-34,86	113,89
9	2011	51	84,98	-33,69	1134,77	-38226,38	1287708,40
10	2012	71	84,98	-13,59	184,73	-2510,71	34124,17
11	2013	80	84,98	-4,56	20,78	-94,71	431,73
12	2014	138	84,98	52,95	2803,18	148414,48	7857812,89
13	2015	92	84,98	7,03	49,36	346,76	2436,17
14	2016	126	84,98	40,91	1673,58	68465,30	2800876,67
15	2017	115	84,98	29,91	894,43	26749,78	800006,79
16	2018	48	84,98	-37,48	1404,43	-52631,92	1972417,78
17	2019	65	84,98	-19,86	394,57	-7837,64	155685,02
18	2020	48	84,98	-36,78	1352,87	-49760,40	1830255,80
19	2021	80	84,98	-4,71	22,23	-104,79	494,07
20	2022	62	84,98	-23,47	550,83	-12927,73	303410,02
Total		1699,6		0,00	20168,99	903618,85	96187439,75

Parameter Statistik

Jumlah Data

20

Xr (Hujan rata-rata)

84,98 mm

Standar Deviasi (Sd)

32,58

Koefisien Variasi (Cv)

0,38

Koefisien Skewness (Cs)

1,53

Koefisien Kurtosis (Ck)

2,63

Data hasil analisis digunakan untuk menentukan jenis distribusi statistik yang paling tepat dalam perhitungan curah hujan rencana. Proses penentuan dilakukan dengan membandingkan selisih antara nilai koefisien *skewness* (Cs) dan kurtosis (Ck) dari data aktual terhadap nilai teoritis masing-masing distribusi. Distribusi yang memiliki selisih terkecil dianggap paling sesuai dan representatif untuk digunakan dalam analisis. Hasil evaluasi pemilihan jenis distribusi disajikan pada **Tabel 4.6**:

Tabel 4. 6.
Pemilihan Jenis Distribusi (Sub DAS Penggaron)

Jenis Metode	Syarat	Hitungan	Keterangan
Gumbel Tipe I	$C_s = 1,14$	0,94	Tidak Memenuhi
	$C_k = 5,4002$	2,5	Tidak Memenuhi
Log Pearson Tipe III	$C_s \neq 0$	0,94	Memenuhi
	$C_k \approx \text{bebas}$	2,5	Memenuhi
Log Normal	$C_s = 0 \pm 0,3$	0,94	Tidak Memenuhi
	$C_k \approx 3$	2,5	Tidak Memenuhi
Normal	$C_s = 0 \pm 0,3$	0,94	Tidak Memenuhi
	$C_k \approx 3$	2,5	Tidak Memenuhi

Tabel 4. 7.
Pemilihan Jenis Distribusi (Sub DAS Dolok Hulu)

Jenis Metode	Syarat	Hitungan	Keterangan
Gumbel Tipe I	$C_s = 1,14$	1,53	Tidak Memenuhi
	$C_k = 5,4002$	2,63	Tidak Memenuhi
Log Pearson Tipe III	$C_s \neq 0$	1,53	Memenuhi
	$C_k \approx \text{bebas}$	2,63	Memenuhi
Log Normal	$C_s = 0 \pm 0,3$	1,53	Tidak Memenuhi
	$C_k \approx 3$	2,63	Tidak Memenuhi
Normal	$C_s = 0 \pm 0,3$	1,53	Tidak Memenuhi
	$C_k \approx 3$	2,63	Tidak Memenuhi

Hasil dari pemilihan jenis distribusi diatas didapatkan jenis distribusi yang memenuhi syarat adalah jenis distribusi *Log Pearson Type III*.

4.4. Analisis Curah Hujan Rencana

Analisis curah hujan rencana pada daerah aliran sungai Penggaron Bendung Pucang Gading menggunakan jenis distribusi *Log Pearson Type III* sesuai dari hasil Analisis pemilihan jenis distribusi. Analisis curah hujan dengan distribusi *Log Pearson Type III* dapat dilihat pada **Tabel 4.8.** berikut :

Tabel 4. 8.
Perhitungan *Log Pearson Tipe III*

NO	TAHUN	LogX	LogXr	Log(X-Xr)	Log(X-Xr) ²	Log(X-Xr) ³	Log(X-Xr) ⁴
1	2003	1,72	1,84	-0,12	0,0145	-0,00175263	0,000211131
2	2004	2,15	1,84	0,30	0,0925	0,02811116	0,00854748
3	2005	1,81	1,84	-0,04	0,0013	-4,5893E-05	1,6431E-06
4	2006	1,89	1,84	0,05	0,0027	0,00014358	7,5185E-06
5	2007	1,95	1,84	0,11	0,0124	0,00137867	0,00015344
6	2008	1,89	1,84	0,05	0,0025	0,00012444	6,2128E-06
7	2009	1,92	1,84	0,07	0,0055	0,0004092	3,038E-05
8	2010	1,82	1,84	-0,02	0,0005	-9,5562E-06	2,0279E-07
9	2011	1,82	1,84	-0,02	0,0004	-7,3865E-06	1,4385E-07
10	2012	1,46	1,84	-0,38	0,1422	-0,05362699	0,02022295
11	2013	1,81	1,84	-0,03	0,0008	-2,4052E-05	6,9426E-07
12	2014	1,97	1,84	0,13	0,0159	0,0020069	0,00025314
13	2015	1,91	1,84	0,07	0,0045	0,00030136	2,0204E-05
14	2016	2,01	1,84	0,17	0,0288	0,0048751	0,00082663
15	2017	1,83	1,84	-0,01	0,0002	-1,9218E-06	2,3894E-08
16	2018	1,71	1,84	-0,13	0,0176	-0,00234255	0,00031111
17	2019	1,66	1,84	-0,19	0,0345	-0,00640525	0,00118955
18	2020	1,77	1,84	-0,07	0,0049	-0,00034097	2,3821E-05
19	2021	1,93	1,84	0,09	0,0088	0,00082061	7,6827E-05
20	2022	1,80	1,84	-0,04	0,0020	-8,7527E-05	3,8862E-06
Total		36,82		0,000	0,392	-0,026	0,032

Parameter Statistik

Jumlah Data

20

Xr (Hujan rata-rata)

1,84 mm

Standar Deviasi (Sd)

0,14

Koefisien Variasi (Cv)

0,08

Koefisien Skewness (CS)

-0,52

Koefisien Kurtosis (CK)

1,86

Data curah hujan harian maksimum rata-rata dari tahun 2003 hingga 2022 diolah untuk memperoleh nilai rata-rata dan standar deviasi. Kedua parameter ini kemudian dikombinasikan dengan karakteristik distribusi *Log Pearson Tipe III*, sebagaimana

tercantum dalam **Tabel 4.9**, guna menghitung nilai curah hujan rencana untuk berbagai periode ulang tahunan:

Tabel 4. 9.
Nilai Karakteristik Log Pearson Tipe III

Kala Ulang Tahunan	K
2	0,09
5	0,86
10	1,21
25	1,56
50	1,76
100	1,94

(Sumber Hitungan)

Tabel tersebut menyajikan nilai kala ulang tahunan beserta karakteristik distribusi yang digunakan dalam perhitungan curah hujan rencana dengan metode *Log Pearson Tipe III*. Nilai kala ulang yang tercantum juga digunakan sebagai dasar dalam analisis debit banjir rencana. Hasil akhir dari perhitungan curah hujan rencana ditampilkan pada **Tabel 4.10** sebagai berikut:

Tabel 4. 10.
Curah Hujan Rencana Daerah Aliran Sungai Penggaron

Curah Hujan Rencana	
Kala Ulang Tahunan	Nilai Curah Hujan
2	71
5	92
10	104
20	116
50	124
100	132

(Sumber Hitungan)

4.5. Analisis Debit Banjir Rencana

Analisis debit banjir rencana dilakukan menggunakan metode Hidrograf Satuan Unit Gama I, yang dipilih karena tidak tersedia data pencatatan debit langsung di Sungai Penggaron pada Bendung Pucang Gading. Untuk mendukung analisis ini, diperlukan

data tambahan seperti jumlah pangsa sungai, jumlah titik pertemuan aliran (*junction*), panjang sungai, serta nilai koefisien limpasan (*runoff coefficient/C*). Informasi mengenai nilai koefisien *run off*(C) untuk wilayah DAS Bendung Pucang Gading disajikan pada **Tabel 4.11**:

Tabel 4. 11.
Koefisien *Run Off*(C)

No	Tata Guna Lahan	C	Luas		Prosentase	C 3x6
			km ²	Ha		
1	Perkebunan	0,78	5,2	5200	8%	0,060
2	Sawah	0,80	4,85	4850	6%	0,049
3	Pemukiman	0,60	67,32	67320	86%	0,514
4	Tegalan	0,50	2,63	2630	3%	0,017
5	Semak Belukar	0,45	2,5	2500	3%	0,014
6	Hutan	0,40	1,3	1300	2%	0,007
Jumlah			78,6	78600	100%	0,60

(Sumber Hitungan)

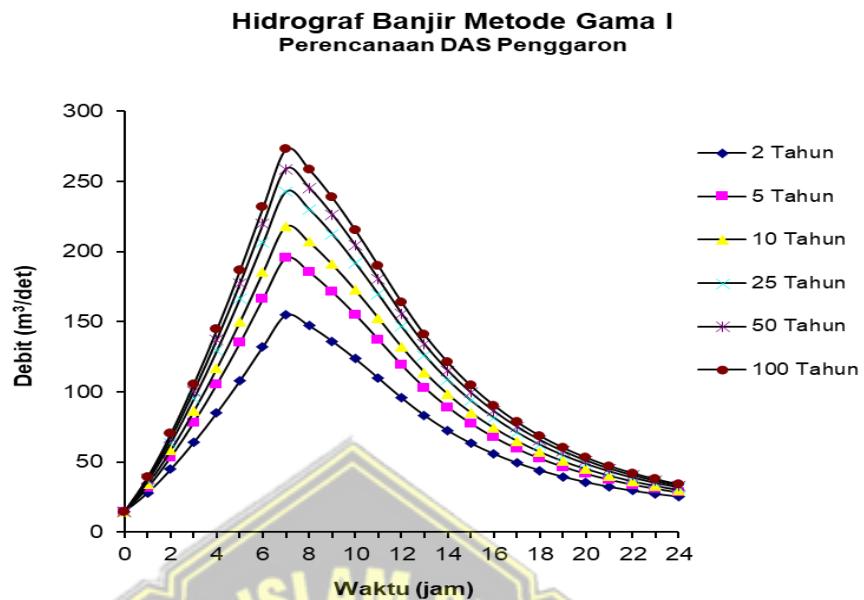
Rekapitulasi hasil perhitungan debit banjir rencana yang diperoleh melalui metode Hidrograf Satuan Unit Gama I disajikan pada **Tabel 4.12**. Tabel ini merangkum nilai debit untuk berbagai kala ulang tahunan berdasarkan karakteristik hidrologi wilayah DAS Bendung Pucang Gading:

UNISSULA
جامعة سلطان عبد العزiz الإسلامية

Tabel 4. 12.
Rekapitulasi Perhitungan Hidrograf Banjir Metode Gama 1

	Kala Ulang					
	2 Th	5 Th	10 Th	25 Th	50 Th	100 Th
0	14,7284	14,7284	14,7284	14,7284	14,7284	14,7284
1	28,0882	31,9723	34,1184	36,4703	37,9985	39,3573
2	44,8487	53,6055	58,4441	63,7464	67,1919	70,2554
3	64,0383	78,374	86,2952	94,9757	100,616	105,631
4	85,1711	105,651	116,967	129,367	137,425	144,59
5	108,004	135,122	150,106	166,526	177,196	186,683
6	132,295	166,474	185,361	206,057	219,505	231,463
7	154,788	195,507	218,006	242,662	258,684	272,929
8	146,988	185,439	206,686	229,969	245,098	258,55
9	136,123	171,416	190,917	212,287	226,174	238,521
10	123,498	155,12	172,593	191,74	204,182	215,245
11	109,734	137,355	152,617	169,341	180,209	189,872
12	95,7484	119,303	132,318	146,581	155,849	164,089
13	83,0898	102,964	113,946	125,98	133,8	140,753
14	72,409	89,1782	98,4441	108,598	115,196	121,063
15	63,3969	77,5461	85,3643	93,9319	99,4991	104,449
16	55,7929	67,7314	74,3281	81,5571	86,2545	90,4311
17	49,377	59,4502	65,0162	71,1157	75,0792	78,6032
18	43,9634	52,4628	57,1592	62,3057	65,6499	68,6234
19	39,3957	46,5672	50,5298	54,8722	57,6939	60,2028
20	35,5417	41,5927	44,9362	48,6001	50,9809	53,0978
21	32,2898	37,3954	40,2165	43,308	45,3168	47,103
22	29,546	33,8539	36,2342	38,8427	40,5377	42,0447
23	27,2309	30,8657	32,8741	35,0751	36,5052	37,7768
24	25,2775	28,3444	30,039	31,8961	33,1028	34,1757
Q Max	154,788	195,507	218,006	242,662	258,684	272,929

abel tersebut menyajikan hasil analisis debit banjir rencana yang diperoleh melalui metode Hidrograf Satuan Unit Gama I. Penentuan nilai debit dilakukan dengan memilih nilai maksimum untuk setiap periode kala ulang tahunan. Visualisasi grafik Hidrograf Satuan Unit Gama I ditampilkan pada **Gambar 4.2**



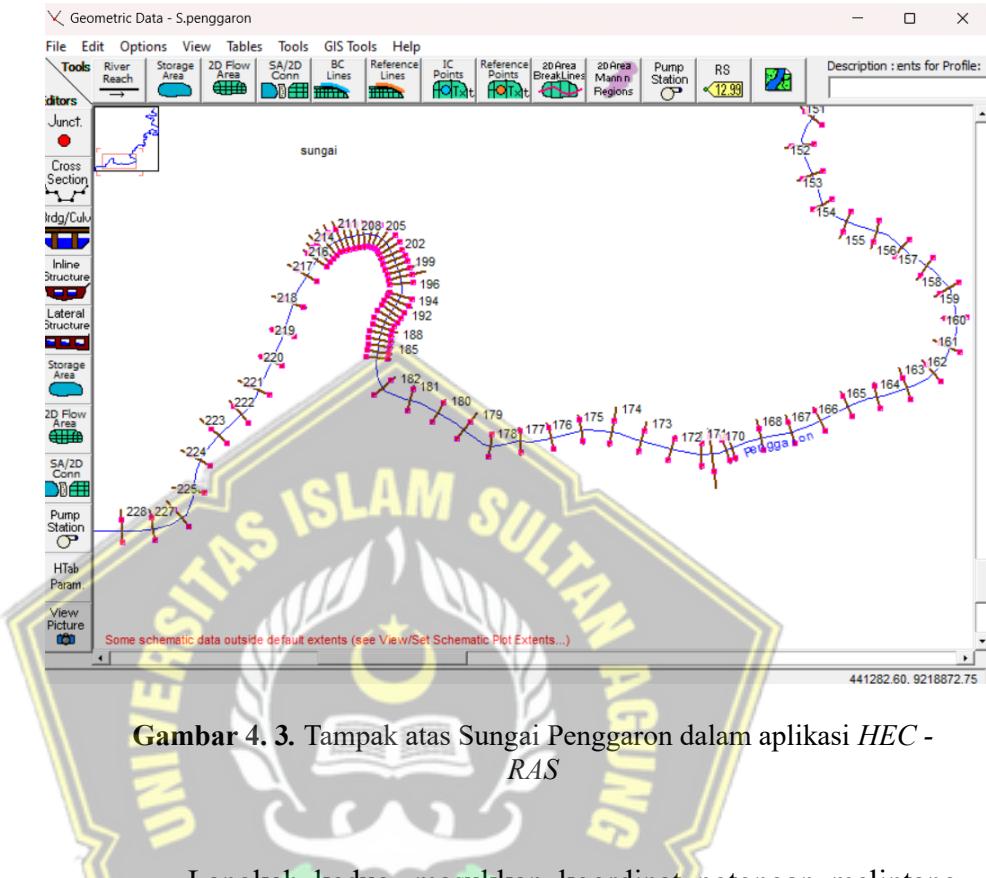
Gambar 4. 2. Grafik Hidrograf Satuan Unit Gama I

Grafik tersebut menggambarkan hasil analisis debit banjir berdasarkan data pada **Tabel 4.10**. Titik puncak tertinggi pada grafik merepresentasikan nilai debit banjir rencana untuk wilayah DAS Bendung Pucang Gading, yang selanjutnya digunakan sebagai input dalam simulasi hidrolik Sungai Penggaron.

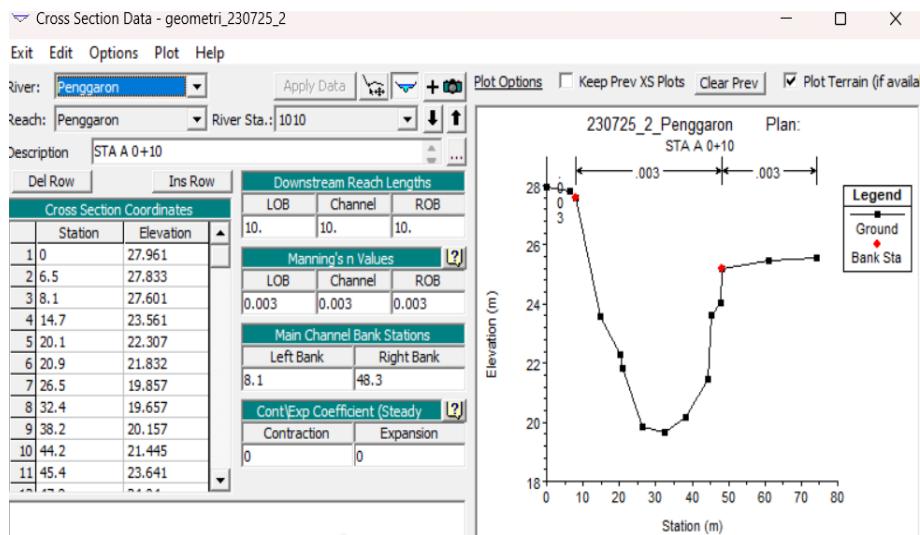
4.6. Simulasi Hidrolik Menggunakan Aplikasi *HEC-RAS*

Simulasi hidrolik dilakukan untuk mengetahui perubahan elevasi muka air pada penampang Sungai Penggaron di sekitar Bendung Pucang Gading, baik sebelum maupun sesudah pelaksanaan normalisasi. Proses simulasi ini menggunakan perangkat lunak *HEC-RAS* sebagai alat bantu analisis. Simulasi hidrolik ini diawali dengan kondisi Sungai Penggaron sebelum normalisasi, dilanjutkan dengan kondisi normalisasi di hulu Bendung Pucang Gading. Berikut adalah tahapan simulasi hidrolik pada aplikasi *HEC-RAS*:

Langkah pertama, buat garis memanjang dari hulu ke hilir sesuai dengan lekuk Sungai Penggaron terhadap Bendung Pucang Gading seperti **Gambar 4.3.** berikut:

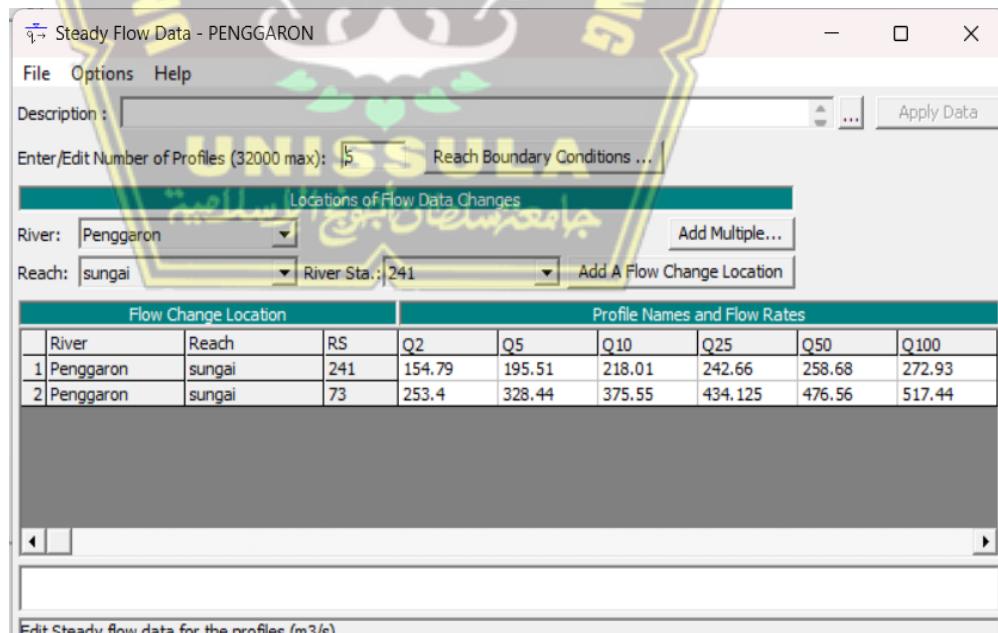


Langkah kedua, masukkan koordinat potongan melintang (*cross section*) Sungai Penggaron dari hilir ke hulu, lalu masukkan jarak antar *cross section*, nilai kekasaran permukaan sungai (*manning value*) dan tentukan titik koordinat tanggul sungai kanan dan tanggul sungai kiri. Contoh *input* data koordinat potongan melintang Sungai Penggaron dapat dilihat pada **Gambar 4.4.** berikut:



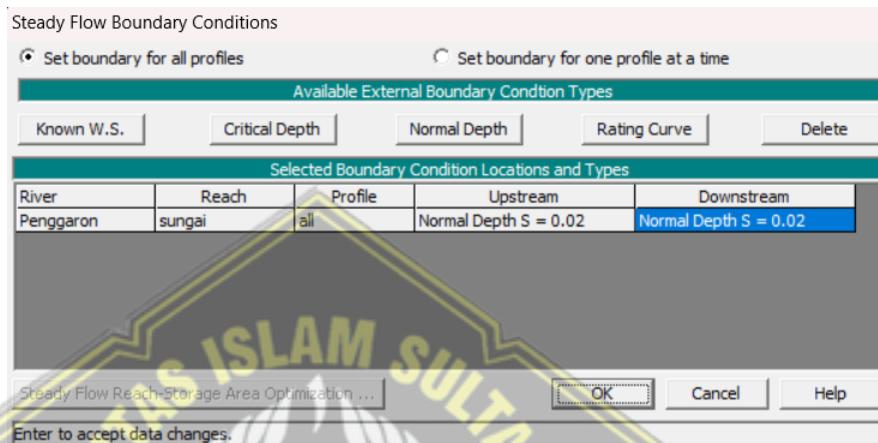
Gambar 4. 4. Gambar Potongan Melintang Sungai Penggaron dalam aplikasi *HEC – RAS*

Langkah ketiga dalam simulasi aliran air adalah memasukkan angka debit banjir yang sudah dihitung menggunakan metode Gama I. Contoh data untuk wilayah Bendung Pucang Gading bisa dilihat pada **Gambar 4.5**



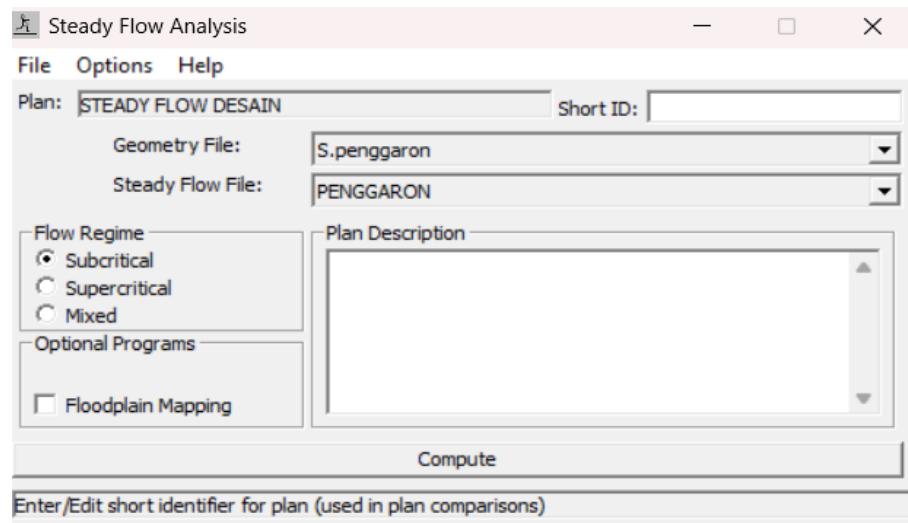
Gambar 4. 5. Data debit banjir rencana dalam aplikasi *HEC – RAS*

Langkah keempat, masukkan rata – rata kemiringan Sungai Penggaron terhadap Bendung Pucang Gading. Data ini bisa didapatkan dari selisih elevasi dasar *cross section* paling hulu dan paling hilir kemudian dibagi total jarak dari *cross section* hulu ke hilir. Contoh input data kemiringan rata – rata Sungai Penggaron dapat dilihat pada **Gambar 4.6.** berikut:



Gambar 4. 6. Kemiringan rata – rata Sungai Penggaron dalam aplikasi *HEC – RAS*

Langkah kelima dalam proses simulasi hidrologi adalah menjalankan perintah pemrosesan (*running*) setelah seluruh data yang diperlukan dimasukkan ke dalam aplikasi *HEC-RAS*. Tahapan ini bertujuan untuk menghasilkan output berupa profil muka air dan parameter hidrologi lainnya. Ilustrasi proses running ditampilkan pada **Gambar 4.7.**



Gambar 4. 7. Kemiringan rata – rata Sungai Penggaron dalam aplikasi *HEC – RAS*

Simulasi hidrolik Sungai Penggaron dengan aplikasi *HEC-RAS* pada penelitian ini memiliki 2 variabel, yaitu kondisi awal (*existing*), dan kondisi normalisasi sungai di hulu Bendung Pucang Gading. Rincian hasil dari aplikasi *HEC-RAS* adalah sebagai berikut:

4.6.1. Hasil Simulasi Hidrolik Sungai Penggaron (Kondisi Awal)

Ringkasan hasil simulasi hidrolik Bendung Pucang Gading pada kondisi awal (*existing*) menggunakan aplikasi *HEC-RAS* dapat dilihat pada **Tabel 4.13.** berikut:

Tabel 4. 13.
Elevasi Muka Air Sungai Penggaron Bendung Pucang Gading
Kondisi Awal (*Existing*)

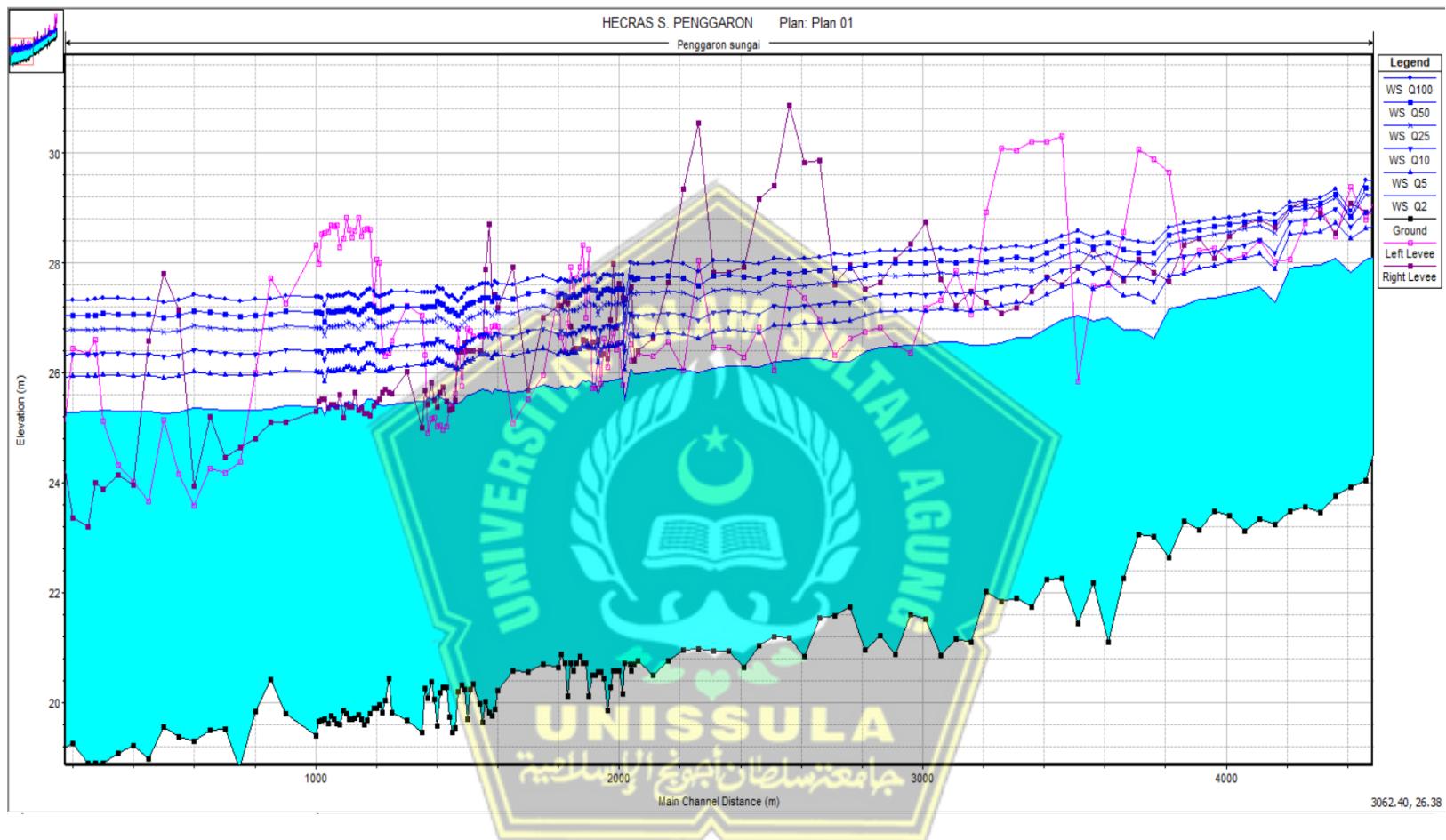
Sta Sungai	Kala Ulang Tahunan	Q Total (m³/s)	Elevasi				Tinggi Jagaan		Kesimpulan
			Dasar Sungai (m)	Muka Air (m)	Tanggul Kiri (m)	Tanggul Kanan (m)	Tanggul Kiri (m)	Tanggul Kanan (m)	
P. 73+30	Perumahan Dinar Indah	Q2	154,79	30,00	34,11	33,09	33,6	-1,02	-0,51
		Q5	195,51	30,00	34,52	33,09	33,6	-1,43	-0,92
		Q10	218,01	30,00	34,73	33,09	33,6	-1,64	-1,13
		Q25	242,66	30,00	34,95	33,09	33,6	-1,86	-1,35
		Q50	258,68	30,00	35,08	33,09	33,6	-1,99	-1,48
		Q100	272,93	30,00	35,2	33,09	33,6	-2,11	-1,60
P. 18	Perumahan Klpang Grand	Q2	253,4	20,70	25,92	25,78	27,36	-0,14	1,44
		Q5	328,44	20,70	26,54	25,78	27,36	-0,76	0,82
		Q10	375,55	20,70	26,89	25,78	27,36	-1,11	0,47
		Q25	434,125	20,70	27,27	25,78	27,36	-1,49	0,09
		Q50	476,56	20,70	27,52	25,78	27,36	-1,74	-0,16
		Q100	517,44	20,70	27,77	25,78	27,36	-1,99	-0,41
P. 12+50	Perumahan Arion Mas	Q2	253,4	19,44	25,44	25,44	25,33	0,00	-0,11
		Q5	328,44	19,44	26,11	25,44	25,33	-0,67	-0,78
		Q10	375,55	19,44	26,47	25,44	25,33	-1,03	-1,14
		Q25	434,125	19,44	26,88	25,44	25,33	-1,44	-1,55
		Q50	476,56	19,44	27,13	25,44	25,33	-1,69	-1,80
		Q100	517,44	19,44	27,4	25,44	25,33	-1,96	-2,07
P. 7+50	Perumahan Arion Mas	Q2	253,4	18,79	25,32	24,38	24,83	-0,94	-0,49
		Q5	328,44	18,79	25,95	24,38	24,83	-1,57	-1,12
		Q10	375,55	18,79	26,34	24,38	24,83	-1,96	-1,51
		Q25	434,125	18,79	26,77	24,38	24,83	-2,39	-1,94
		Q50	476,56	18,79	27,03	24,38	24,83	-2,65	-2,20
		Q100	517,44	18,79	27,3	24,38	24,83	-2,92	-2,47

ELEVASI MUKA AIR LEBIH TINGGI DARI TANGGUL SUNGAI
MAKA TERADI LIMPASAN

Hasil tabel di atas menampilkan elevasi muka air pada setiap *cross section* Sungai Penggaron. Tabel di atas menunjukkan bahwa beberapa elevasi muka air lebih tinggi dari tanggul sungai sehingga mengakibatkan limpas pada tanggul Sungai Penggaron. Hasil dari simulasi hidrolik Sungai Penggaron di Hulu Bendung Pucang Gading pada kondisi awal (*existing*) menunjukkan bahwa terjadi limpas pada debit banjir Q₂, dari hasil tersebut diperlukan normalisasi hulu Bendung Pucang Gading di Sungai Penggaron.

Contoh hasil gambar dari simulasi hidrolik Sungai Penggaron Bendung Pucang Gading pada kondisi awal (*existing*) menggunakan aplikasi *HEC RAS* dapat dilihat pada **Gambar 4.8.** berikut:





Gambar 4. 8. Hasil Simulasi Hidrolik Sungai Penggaron Bendung Pucang Gading Kondisi Awal (Existing) dengan aplikasi HEC – RAS (Gambar Potongan Memanjang Sungai)

4.6.2. Hasil Simulasi Hidrolik Sungai Penggaron (Kondisi Normalisasi)

Ringkasan hasil simulasi hidrolik Sungai Penggaron Bendung Pucang Gading pada kondisi normalisasi hulu menggunakan aplikasi *HEC-RAS* dapat dilihat pada **Tabel 4.14.** berikut:

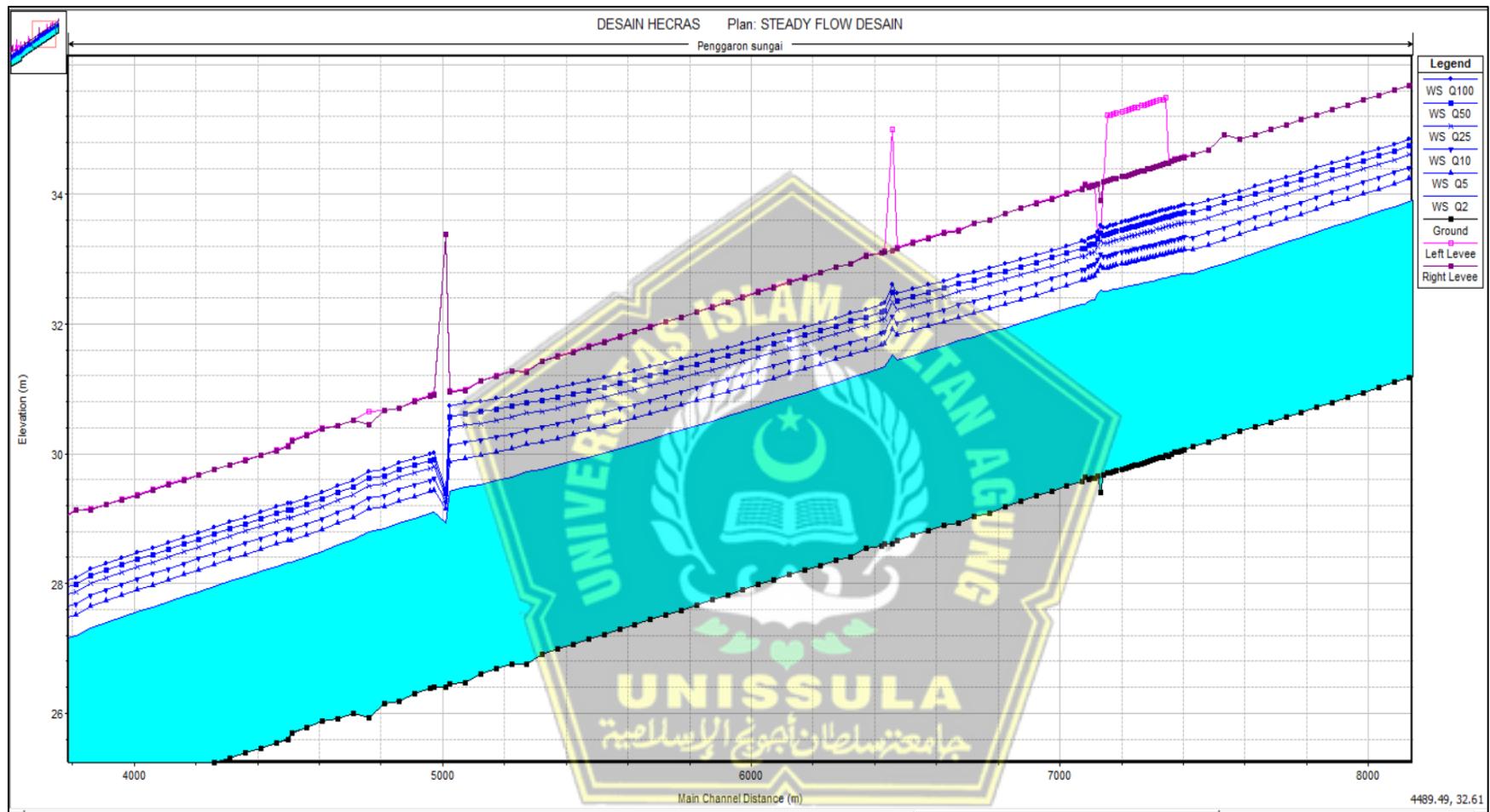
Tabel 4. 14.
Elevasi Muka Air Sungai Penggaron Bendung Pucang Gading
Kondisi Normalisasi

Sta Sungai	Kala Ulang Tahunan	Q Total (m ³ /s)	Elevasi				Tinggi Jagaan		Kesimpulan
			Dasar Sungai (m)	Muka Air (m)	Tanggul Kiri (m)	Tanggul Kanan (m)	Tanggul Kiri (m)	Tanggul Kanan (m)	
P. 73+30	Perumahan Dinar Indah	Q2	154,79	30,00	32,73	34,52	34,51	1,79	1,78
		Q5	195,51	30,00	33,1	34,52	34,51	1,42	1,41
		Q10	218,01	30,00	33,3	34,52	34,51	1,22	1,21
		Q25	242,66	30,00	33,52	34,52	34,51	1,00	0,99
		Q50	258,68	30,00	33,67	34,52	34,51	0,85	0,84
		Q100	272,93	30,00	33,78	34,52	34,51	0,74	0,73
P. 18	Perumahan Klipang Grand	Q2	253,4	20,48	23,65	26,01	26,02	2,36	2,37
		Q5	328,44	20,48	24,13	26,01	26,02	1,88	1,89
		Q10	375,55	20,48	24,4	26,01	26,02	1,61	1,62
		Q25	343,13	20,48	24,72	26,01	26,02	1,29	1,30
		Q50	476,56	20,48	24,95	26,01	26,02	1,06	1,07
		Q100	517,44	20,48	25,17	26,01	26,02	0,84	0,85
P. 12+50	Perumahan Arion Mas	Q2	253,4	19,78	22,94	26,3	24,5	3,36	1,56
		Q5	328,44	19,78	23,41	26,3	24,5	2,89	1,09
		Q10	375,55	19,78	23,67	26,3	24,5	2,63	0,83
		Q25	343,13	19,78	23,98	26,3	24,5	2,32	0,52
		Q50	476,56	19,78	24,2	26,3	24,5	2,10	0,30
		Q100	517,44	19,78	24,41	26,3	24,5	1,89	0,09
P. 7+50	Perumahan Arion Mas	Q2	253,4	19,00	21,93	24,52	24,52	2,59	2,59
		Q5	328,44	19,00	22,37	24,52	24,52	2,15	2,15
		Q10	375,55	19,00	22,62	24,52	24,52	1,90	1,90
		Q25	343,13	19,00	22,91	24,52	24,52	1,61	1,61
		Q50	476,56	19,00	23,12	24,52	24,52	1,40	1,40
		Q100	517,44	19,00	23,32	24,52	24,52	1,20	1,20

SUNGAI PENGGARON MAMPU MENANGANI DEBIT BANJIR HINGGA Q100 TAHUNAN

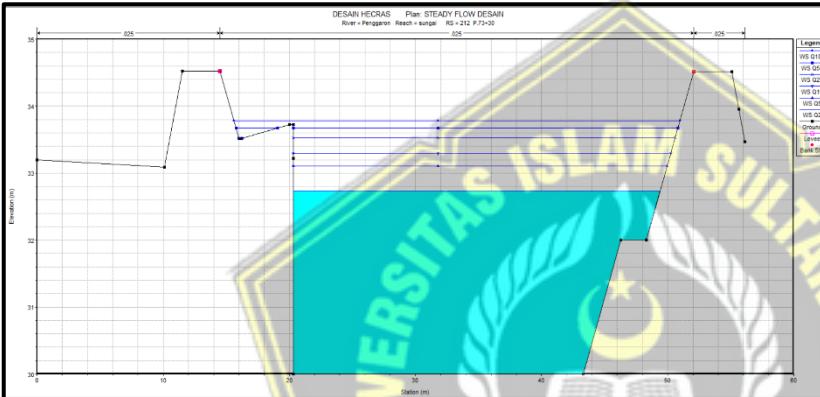
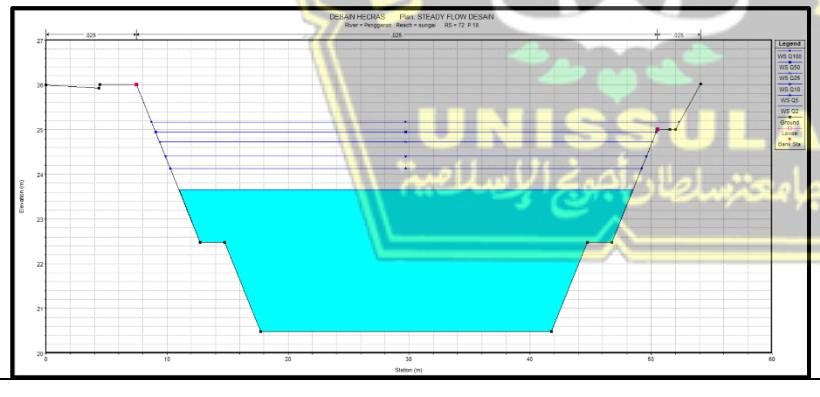
Berdasarkan hasil yang ditampilkan pada **Tabel 4.14.**, dapat disimpulkan bahwa Sungai Penggaron memiliki kapasitas yang memadai untuk menampung debit banjir dengan kala ulang 100 tahun (Q100). Hal ini ditunjukkan oleh elevasi muka air yang berada di bawah ketinggian tanggul, sehingga tidak terjadi limpasan atau pelimpahan air keluar dari tanggul Sungai Penggaron.

Contoh hasil simulasi hidrolik Sungai Penggaron pada Bendung Pucang Gading dalam kondisi normalisasi hulu yang dilakukan menggunakan aplikasi *HEC-RAS* ditampilkan pada Gambar 4.9. Sementara itu, keseluruhan hasil simulasi hidrolik untuk Sungai Penggaron dapat dilihat secara lengkap pada bagian lampiran.

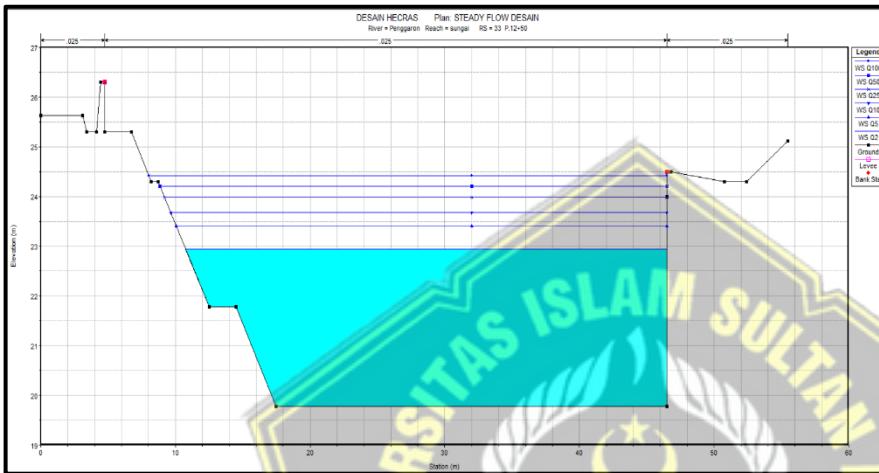


Gambar 4. 9. Hasil Simulasi Hidrolik Bendung Pucang Gading Kondisi Normalisasi dengan aplikasi HEC – RAS
(Gambar Potongan Memanjang Sungai)

Tabel 4. 15.
Gambar Potongan Melintang dan Situasi Sungai Penggaron Setelah Normalisasi

No	Gambar Potongan Melintang Sungai Penggaron	Gambar Situasi Sungai Penggaron
1	<p>Perumahan Dinar Mas</p> 	<p>Perumahan Dinar Mas</p> 
	<p>Perumahan Arion Mas 5</p> 	<p>Perumahan Arion Mas 5</p> 

Perumahan Arion Mas 6



Perumahan Arion Mas 6



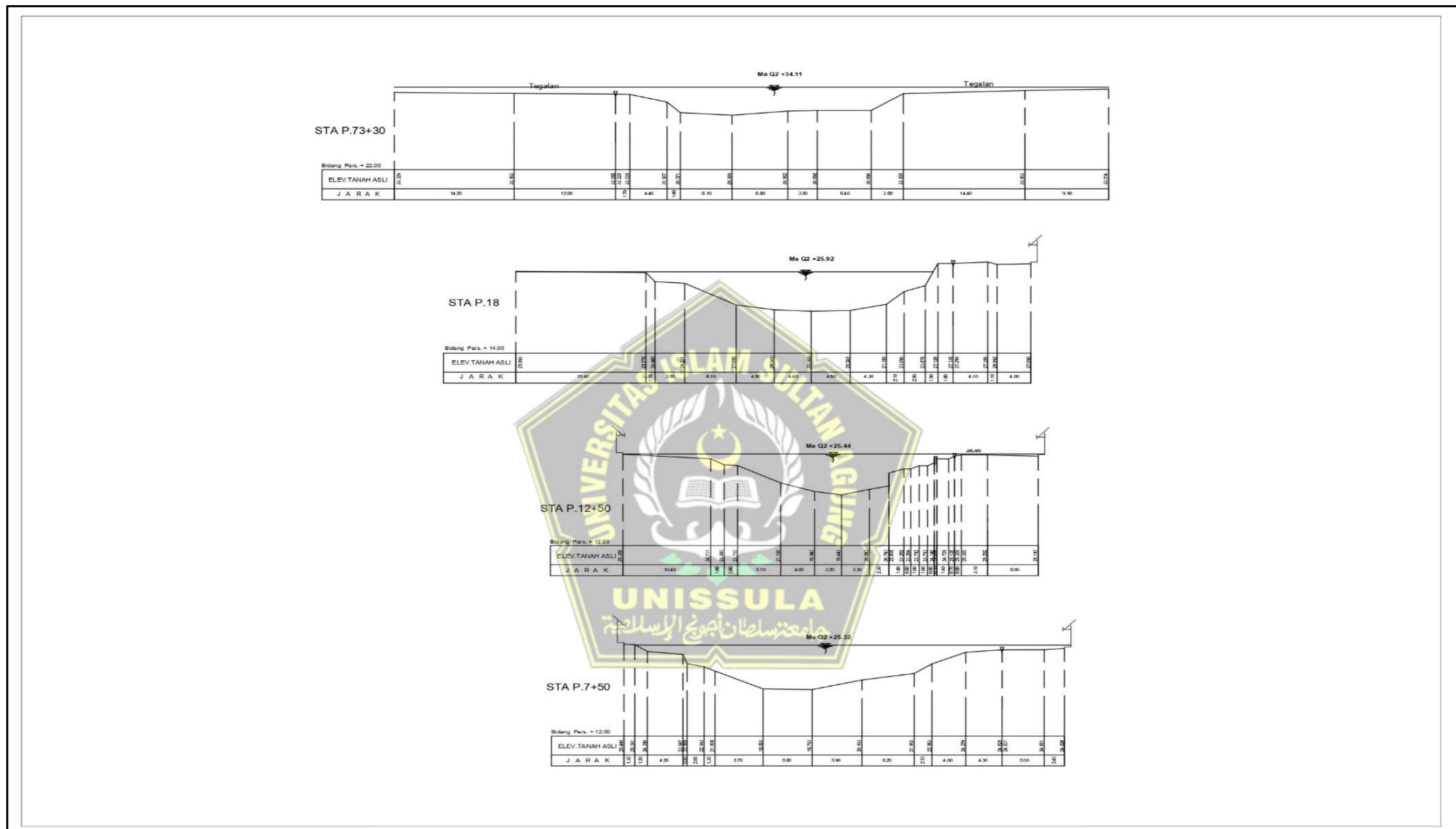
4.7. Normalisasi Sungai Penggaron terhadap Bendung Pucang Gading

Salah satu faktor meningkatnya jumlah sedimentasi yang masuk ke dalam Sungai Penggaron adalah beralihnya fungsi tata guna lahan dari hutan menjadi pemukiman, lahan irigasi, dan lain – lain pada daerah aliran sungai (DAS) Bendung Pucang Gading. Sedimentasi yang masuk ke dalam Sungai Penggaron mengakibatkan menurunnya kapasitas tampungan sungai terhadap debit banjir pada DAS tersebut dan menyebabkan elevasi muka air sungai meluap sehingga terjadi limpasan tanggul. Sebagai penanganan untuk mengatasi debit banjir yang limpas pada tanggul Sungai Penggaron tersebut, perlu dilakukannya normalisasi pada hulu Bendung Pucang Gading.

4.7.1 Kondisi Sungai Penggaron Sebelum Normalisasi

Kondisi Sungai Penggaron saat ini memiliki penampang sungai dengan lebar rata – rata 17 meter di hulu Bendung Pucang Gading sehingga perlu dilakukan normalisasi Sungai Penggaron untuk meningkatkan kemampuan Bendung Pucang Gading dalam pengendalian banjir. Contoh gambar potongan melintang Sungai Penggaron pada kondisi saat ini (*existing*) dapat dilihat pada Gambar 4.10. berikut:

جامعة سلطان عبد العزiz الإسلامية

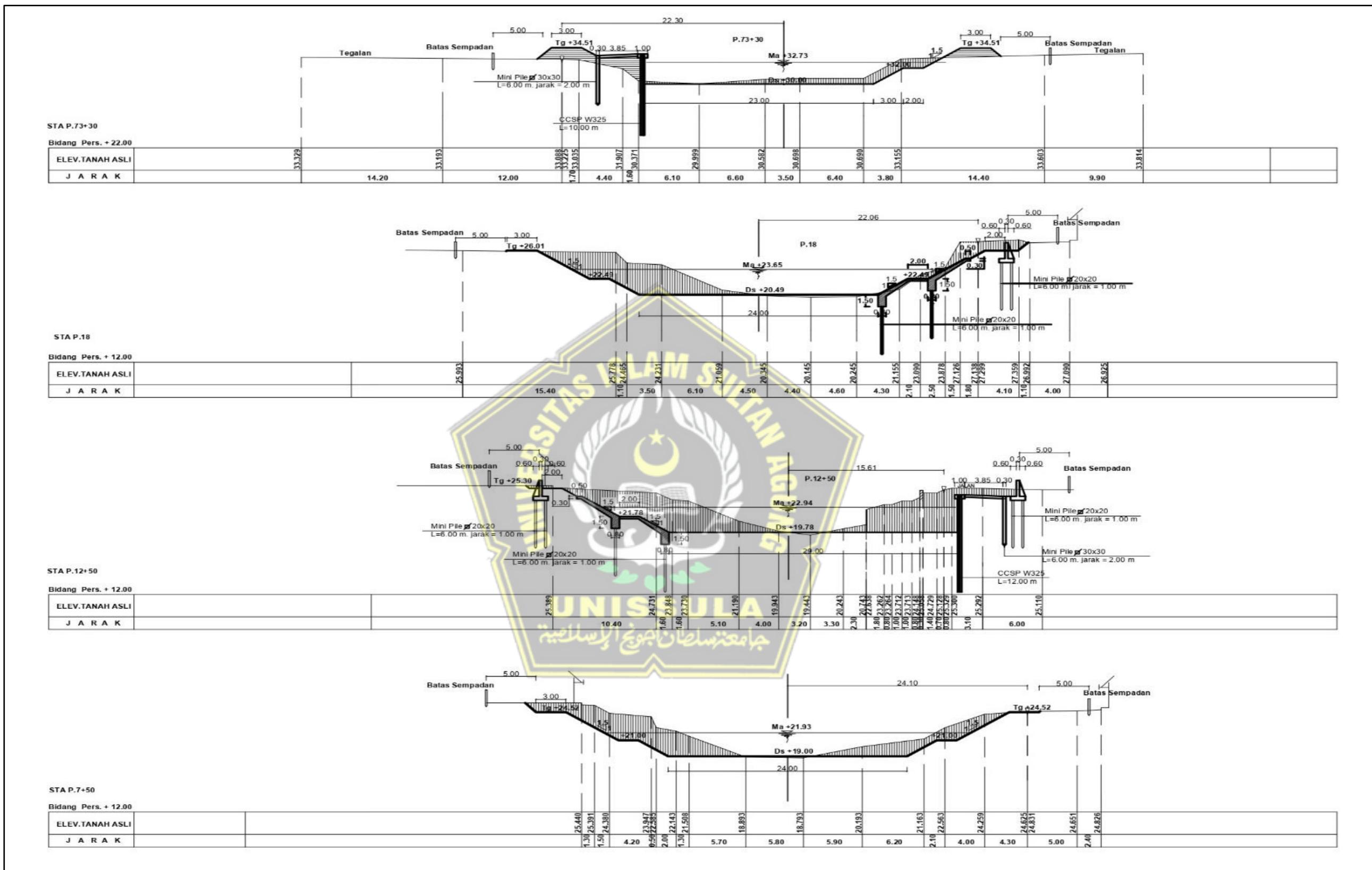


Gambar 4. 10. Gambar Potongan Melintang Sungai Penggaron Kondisi Saat Ini (*Existing*)

4.7.2 Perencanaan Normalisasi Sungai Penggaron

Normalisasi Sungai Penggaron terhadap Bendung Pucang Gading direncanakan dengan melakukan pengurukan sedimentasi di hulu Bendung Pucang Gading dengan lebar rata – rata 24 meter dan peninggian tanggul dengan tinggi rata – rata 1,5 meter, data ini didapatkan dari hasil simulasi hidrolik menggunakan aplikasi *HEC-RAS* dengan melebarkan penampang sungai dan meninggikan tanggul sungai secara bertahap untuk mendapatkan spesifikasi desain normalisasi yang efisien dalam menangani debit banjir yang tinggi. Normalisasi ini bertujuan untuk meningkatkan kapasitas Sungai Penggaron terhadap debit banjir yang tinggi sehingga tidak terjadi limpasan tanggul. Contoh gambar potongan melintang perencanaan normalisasi Sungai Penggaron dapat dilihat pada **Gambar 4.12.** berikut:



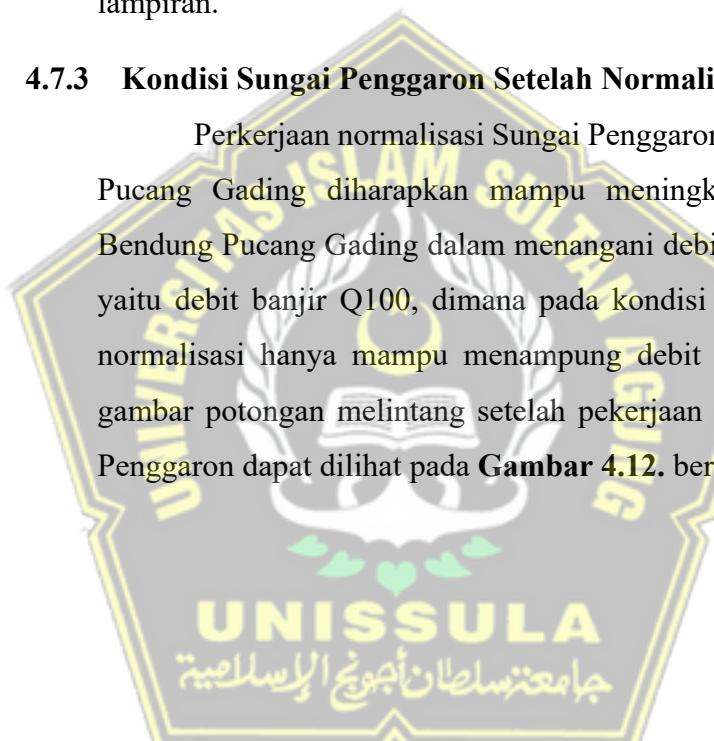


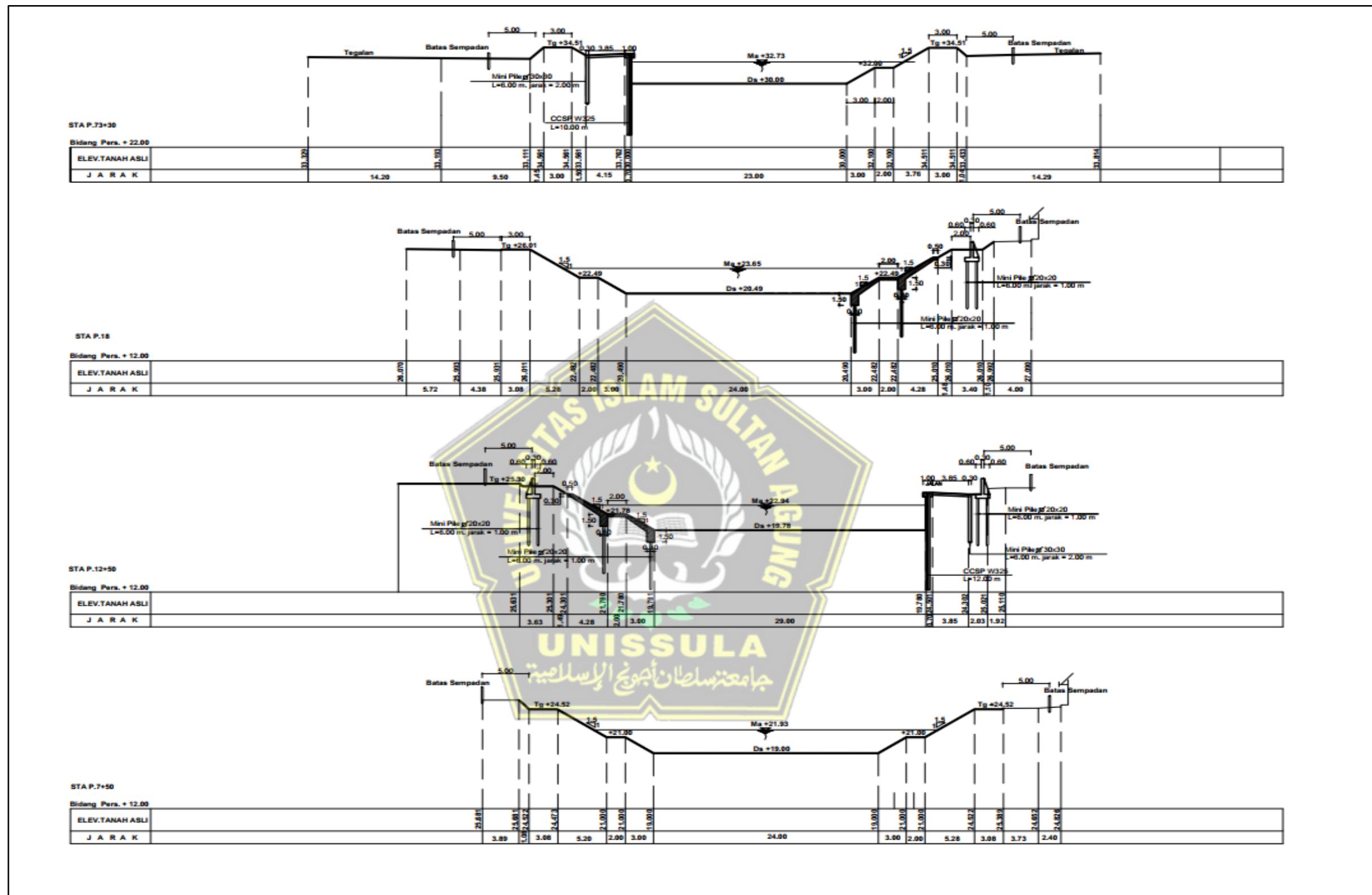
Gambar 4. 11. Gambar Potongan Melintang Sungai Penggaron Kondisi Normalisas

Gambar di atas menampilkan perencanaan normalisasi di beberapa potongan melintang (*cross section*) Sungai Penggaron. Garis tipis menandakan potongan melintang Sungai Penggaron pada kondisi awal (*existing*), garis tebal menandakan potongan melintang perencanaan normalisasi pada Sungai Penggaron, dan garis arsiran menandakan sedimentasi yang perlu digali dalam pelaksanakan normalisasi sungai tersebut. Keseluruhan gambar potongan melintang (*cross section*) perencanaan normalisasi Sungai Penggaron terhadap Bendung Pucang Gading dapat dilihat pada lampiran.

4.7.3 Kondisi Sungai Penggaron Setelah Normalisasi

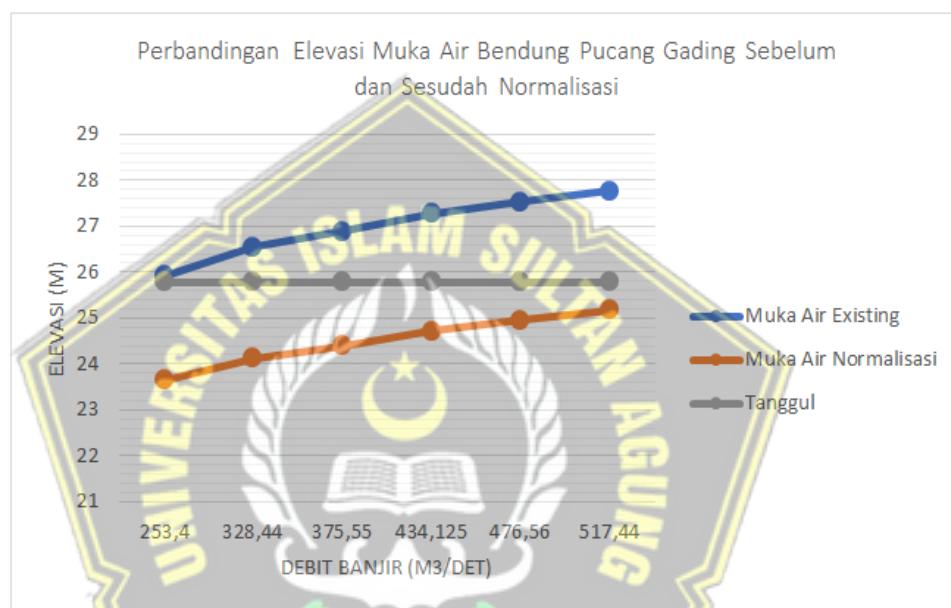
Perkerjaan normalisasi Sungai Penggaron terhadap Bendung Pucang Gading diharapkan mampu meningkatkan kemampuan Bendung Pucang Gading dalam menangani debit banjir yang tinggi yaitu debit banjir Q100, dimana pada kondisi sebelum pekerjaan normalisasi hanya mampu menampung debit banjir Q2. Contoh gambar potongan melintang setelah pekerjaan normalisasi Sungai Penggaron dapat dilihat pada **Gambar 4.12.** berikut:





Gambar 4. 12. Gambar Potongan Melintang Setelah Pekerjaan Normalisasi Sungai Penggarom

Hasil dari perencanaan normalisasi Sungai Penggaron di hulu Bendung Pucang Gading adalah didapatkan penurunan elevasi muka air yang signifikan, hal tersebut membuktikan bahwa dengan pelaksanaan normalisasi Sungai Penggaron di hulu Bendung Pucang Gading dapat meningkatkan kemampuan Bendung Pucang Gading dalam menangani debit banjir yang tinggi. Grafik perbandingan elevasi muka air Bendung Pucang Gading sebelum dan sesudah normalisasi dapat dilihat pada **Gambar 4.13.** berikut:



Gambar 4. 13. Grafik Perbandingan elevasi muka air Bendung Pucang Gading sebelum dan sesudah normalisasi

Sebagai solusi dalam jangka panjang untuk mencegah banyaknya endapan sedimentasi pada dasar Sungai Penggaron, perlu dilakukan pembatasan terkait perubahan fungsi lahan yang awalnya lahan persawahan menjadi pemukiman di Daerah Aliran Sungai Penggaron.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, dapat ditarik beberapa kesimpulan utama sebagai berikut :

1. Hasil analisis debit banjir rencana menggunakan metode Hidrograf Satuan Unit Gama I untuk Sungai Penggaron pada Bendung Pucang Gading menunjukkan nilai debit banjir terkini sebagai berikut: Q2 sebesar $253,4 \text{ m}^3/\text{detik}$, Q5 sebesar $328,44 \text{ m}^3/\text{detik}$, Q10 sebesar $375,55 \text{ m}^3/\text{detik}$, Q25 sebesar $434,125 \text{ m}^3/\text{detik}$, Q50 sebesar $476,56 \text{ m}^3/\text{detik}$, dan Q100 sebesar $517,44 \text{ m}^3/\text{detik}$.
2. Hasil simulasi hidrolik menggunakan aplikasi *HEC-RAS* pada kondisi *existing* belum mampu menampung debit banjir Q2 ($253,4 \text{ m}^3/\text{det}$).
3. Hasil analisis menggunakan aplikasi *HEC-RAS* menunjukkan bahwa setelah dilaksanakan pekerjaan normalisasi Sungai Penggaron di hulu Bendung Pucang Gading kondisi elevasi muka air banjir pada Bendung Pucang Gading menjadi lebih rendah dibandingkan elevasi muka air banjir sebelum dilaksanakan pekerjaan normalisasi. Kapasitas luas tampungan Sungai Penggaron di hulu Bendung Pucang Gading sebelum normalisasi tidak mampu menampung debit Q2 ($253,4 \text{ m}^3/\text{det}$) dengan luas tampungan sungai sebesar $70,55 \text{ m}^2$. Berbeda setelah dilakukan normalisasi di hulu Bendung Pucang Gading, Sungai Penggaron mampu menampung debit Q100 ($517,44 \text{ m}^3/\text{det}$) dengan luas tampungan sungai sebesar $111,99 \text{ m}^2$. Hal ini membuktikan meningkatnya kemampuan pengendalian banjir di bagian hulu Bendung Pucang Gading.

5.2. Saran

Merujuk pada hasil analisis, pembahasan, dan kesimpulan yang telah disampaikan sebelumnya, penulis menyampaikan beberapa saran sebagai berikut:

1. Selain pelaksanaan normalisasi Sungai Penggaron di hulu Bendung Pucang Gading, perlu dilakukan reboisasi di sekitar hulu daerah aliran sungai (DAS) Bendung Pucang Gading sebagai solusi dalam jangka panjang untuk mencegah banyaknya sedimentasi yang masuk dan mengendap di dasar Sungai Penggaron.
2. Dibutuhkan adanya sosialisasi untuk warga di sekitar Sungai Penggaron untuk menjelaskan tentang bahaya membuang sampah disungai, karena banyak sampah sisa hasil panen warga dan sampah domestik yang dibuang ke sungai. Membuang sampah ke sungai dapat menghambat laju aliran sungai dan setelah musim penghujan sisa sampah yang menghambat aliran sungai menghasilkan sedimentasi di bagian hulu Bendung Pucang Gading.
3. Pekerjaan normalisasi sebaiknya dilaksanakan secara serentak dari hulu Sungai Penggaron dengan harapan mendapatkan hasil yang maksimal dan meminimalkan terjadinya sedimentasi kembali.



DAFTAR PUSTAKA

- Aprikaliana, D. E. (2021). *Kajian Teknis Hidrolis & Kondisi Eksisting Kali Babon Semarang*.
- Choirul, D., Fajar Kusuma, R., Eko Wahyuni, S., & Darsono, S. (2015). Pengendalian Banjir DAS Dolok-Penggaron pada Sungai Babon. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 4(4), 242–249. <http://ejournal.s1.undip.ac.id/index.php/jkts>
- Engineering, C., & Sciej, J. (2021). *Sultra*. 2(2), 81–89.
- Harto, Sri BR. 1996. *Analisis Hidrologi*. Yogyakarta: Biro Penerbit Keluarga Mahasiswa UGM.
- Imanullah, H. R. (2021). *Studi Perencanaan Normalisasi Sungai Babakan Kabupaten Brebes*. *Teknik Sipil Universitas Pancasakti Tegal*, 1(1), 23–31.
- Istiarto. 2007. *Pelatihan Software HEC-RAS*. Yogyakarta: Laboratorium Komputasi Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan FT UGM.
- Joice, Marta W dan Adhidarma Wanny. 1992. *Mengenal Dasar Dasar Hidrologi*. Bandung: Nova.
- Karim, D. A., & Arsadani, R. (2022). Normalisasi Sungai Blorong Guna Menanggulangi Banjir Di Kabupaten Kendal. *JTI (Jurnal Teknik Indonesia)*, 03(01), 0–8. <https://ejournal.undaris.ac.id/index.php/jei/article/view/361>
- Kodoatie, Robert J dan Sugiyanto. 2001. *Banjir*. Semarang: Pustaka Pelajar.
- Loebis, Joesron. 1987. *Banjir Rencana untuk Bangunan Air*. Jakarta: Badan Penerbit Pekerjaan Umum.
- Mananoma, T. 2003. *Fenomena Alamiah Erosi dan Sedimentasi Sungai Progo Hilir*. *Jurnal Teknik Sipil*, 1-10.
- Mawardi, Erman dan Moch. Memed. 2006. *Desain Hidraulik Bendung Tetap untuk Irigasi Teknis*. Bandung: Alfabeta.
- Mulyanto, H. R. 2018. *Sungai Fungsi dan Sifat - Sifatnya*. Jakarta: Mobius.

- Munfarid, Sisinggih, D., & Priyantoro, D. (n.d). *Studi Penanggulangan banjir sungai serang welahan drainase (swd) 2 di kabupaten kudus dan jepara provinsi jawa tengah.*
- Muntolib, D. (2006). *Evaluasi Operasi Pintu Pengendali Banjir Pucang Gading.* 1–76.
- Prabawanti, N., Harsanti, W., & ... (2022). Perencanaan Normalisasi Sungai Dan Tanggul Pengendali Banjir Kali Pancir Kabupaten Jombang. *Jurnal Online Skripsi* ..., 3, 261–266. <http://jurnal.polinema.ac.id/index.php/jos-mrk/article/view/1118%0Ahttp://jurnal.polinema.ac.id/index.php/jos-mrk/article/download/1118/835>
- Ritaka Wangsa, A. A. R., Mirayani Pradnyadari, N. L. M. A., & Ramadhana, M. A. (2021). Analisis Kapasitas Saluran Pada Proyek Normalisasi Sungai di Desa Adat Peminggi Banjar Sawangan Nusa Dua Bali. *Jurnal Ilmiah Kurva Teknik*, 10(2), 86–96. <https://doi.org/10.36733/jkt.v10i2.3005>
- Saputra, A. B., & Nusantara, D. A. D. (2021). Kajian Normalisasi Terhadap Kapasitas Sungai Gude Desa Pulolor Berbasis HEC-RAS. *Jurnal Teknik Sipil*, 2(1), 17–22. <https://doi.org/10.31284/j.xls.2021.v2i1.1766>
- Seyhan, Ersin, 1990, Dasar-dasar Hidrologi, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Soemarto, SD. 1987. *Hidrogi Teknik*. Surabaya: Usaha Nasional.
- Soewarno. 1995. *Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisis Data*. Bandung: Nova
- Solon, T. H., Sela, R. L. E., & Warouw, F. (2023). Dampak Normalisasi Sungai Tondano Terhadap Kondisi Lingkungan, Sosial Dan Ekonomi Masyarakat Kota Manado. *Sabua : Jurnal Lingkungan Binaan Dan Arsitektur*, 12(1), 1–10. <https://doi.org/10.35793/sabua.v12i1.48808>
- Sukmajati, E. I., Kusuma, M. S. B., Hatmoko, W., Farid, M., & Natasaputra, S. (2022). Kajian Model Matematik Efektivitas Normalisasi Sungai Terhadap Penurunan Risiko Banjir Studi Kasus: Sungai Tikala Kota Manado. *Jurnal Teknik Sipil*, 28(3), 301–308. <https://doi.org/10.5614/jts.2021.28.3.7>
- Suripin. 2004. Buku Ajar Hidrologi. Semarang: Jurusan Teknik Sipil FT Undip.
- Susetyo, W. A., Hendrasari, R. S., & Utomo, P. (2016). *Pengendalian Banjir*

Sungai Babon Kota Semarang Jawa Tengah. 4–6.

Teoritis, J., Bidang, T., Ketekniksipilan, R., Lingkungan, D., Pengendalian Banjir, S., Penggaron, S., Semarang, K., Devi, Y. L., Nur Trilita, M., & Handajani, N. (2023). *JURNAL REKAYASA SIPIL DAN LINGKUNGAN Penggaron River Flood Study in Semarang Regency*. 4(230), 210–224.

Triatmodjo, Bambang. 2013. *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Beta Offset.

Wahyu, Sri Eko. 2013. *Buku Ajar Kuliah Hidrologi*. Semarang: Universitas Diponegoro.

