

TUGAS AKHIR

**ANALISIS NILAI KEKASARAN SALURAN DI
SALURAN SENDANG PITU
(ANALYSIS OF CHANNEL ROUGHNESS IN THE
SENDANG PITU CANAL)**

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



**DHAVA ADHYASTA
21511254**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2026**

TUGAS AKHIR

ANALISIS NILAI KEKASARAN SALURAN DI SALURAN SENDANG PITU (ANALYSIS OF CHANNEL ROUGHNESS IN THE SENDANG PITU CANAL)

Disusun oleh



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

Diuji pada tanggal 31 Desember 2025

Oleh Dewan Penguji:

Pembimbing

 22/1/26


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

Penguji I

 22/1/26

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

Penguji II

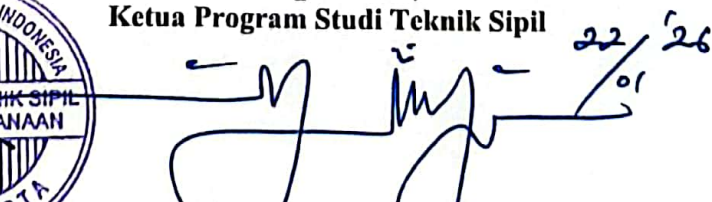
 22/1/26

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

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



 22/1/26
D. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.(Eng), IPM.
NIK: 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Dengan ini saya menyatakan bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan program Sarjana pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, sepenuhnya merupakan hasil karya pribadi. Segala kutipan atau bagian tertentu yang bersumber dari karya orang lain telah dicantumkan dengan jelas sesuai aturan, norma, serta etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa sebagian maupun seluruh isi laporan ini bukan hasil karya saya sendiri atau mengandung unsur plagiasi, maka saya bersedia menerima konsekuensi, termasuk pencabutan gelar akademik yang telah diberikan, sesuai ketentuan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 21 Januari 2026

Yang membuat pernyataan,

A handwritten signature in black ink is written over a 1000 Rupiah postage stamp. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text 'METERAI TEMPEL' and '249144NX263405872'. The signature is a stylized cursive script.

Dhava Adhyasta

(21511254)

KATA PENGANTAR

Segala puji penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul Analisis Nilai Kekasaran Saluran di Saluran Sendang Pitu. Karya Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat akademik untuk memperoleh gelar sarjana pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam proses penyusunannya, penulis menghadapi berbagai kendala. Namun berkat doa, masukan, serta dukungan dari berbagai pihak, akhirnya Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Sehubungan dengan hal tersebut, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Yunalia Muntafi S.T., M.T., Ph.D.(Eng),IPM. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Program Sarjana yang telah memberikan dukungan dan arahan dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Ibu Dinia Anggraheni, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan arahan, koreksi, dan masukan yang sangat berarti.
3. Bapak Pradipta Nandi Wardhana, S.T., M.Eng. dan Ibu Shofwatul Fadilah, S.T.P., M. Eng selaku Dosen Penguji yang telah memberikan masukan, kritik, serta saran yang sangat berarti untuk penyempurnaan laporan ini.
4. Bapak dan Ibu penulis yang telah berkorban begitu banyak baik material maupun spiritual hingga selesainya Tugas Akhir ini.
5. Rekan-rekan dan pihak lain yang telah membantu dalam pengumpulan data, diskusi, dan penyelesaian tugas akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Akhirnya Penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya. Semoga karya ini dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya.

Yogyakarta, 2026

Penulis,

Dhava Adhyasta

(21511254)

DAFTAR ISI

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xiii
ABSTRAK	xv
<i>ABSTRAK</i>	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Tinjauan Pustaka	4
2.2 Penelitian Terdahulu	4
2.2.1 Analisis Koefisien Kekasaran Sungai Sario	4
2.2.2 Kajian Koefisien Kekasaran Manning Pasangan Batu dan Beton	6
2.2.3 Analisa Koefisien Kekasaran di Parit Nanas Pontianak Utara	7
2.2.4 Evaluasi Koefisien Manning pada Berbagai Tipe Dasar Saluran	8
2.2.5 Analisa Koefisien Kekasaran Manning Akibat Vegetasi	9
2.2.6 Manning Roughness Coefficient in Vegetated Open Channels	11
2.3 Penelitian Sekarang	13
2.4 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang	14

BAB III LANDASAN TEORI	18
3.1 Saluran Terbuka	18
3.2 Kekasaran Saluran	18
3.2.1 Pengaruh Material Dinding Saluran	18
3.2.2 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kekasaran Saluran	19
3.3 Persamaan Manning	20
3.4 Persamaan Chezy	21
3.5 Kapasitas dan Penurunan Efektivitas Kapasitas Saluran	23
3.6 Kecepatan Aliran	24
3.7 Jari-Jari Hidraulik	26
3.8 Kemiringan dasar	27
3.8.1 Perhitungan Benang Tengah	28
3.8.2 Perhitungan Jarak Antar Arah Bidik	28
3.8.3 Perhitungan Beda Tinggi	29
3.8.4 Perhitungan Elevasi Sementara	29
3.8.5 Perhitungan Koreksi	29
3.8.6 Perhitungan Beda Tinggi Terkoreksi	30
3.8.7 Perhitungan Elevasi Terkoreksi	30
3.9 Geometri/Penampang Saluran	31
BAB IV METODE PENELITIAN	33
4.1 Jenis Penelitian	33
4.2 Lokasi Penelitian	33
4.3 Alat dan Perangkat Lunak yang Digunakan	34
4.3.1 Alat Penelitian	34
4.3.2 Perangkat Lunak	36
4.4 Pengumpulan Data	36
4.5 Validasi Data	40
4.6 Analisis Data	41
4.6.1 Analisis Data Geometri Saluran	41
4.6.2 Analisis Kecepatan Aliran Rata-rata	41
4.6.3 Analisis Kemiringan Saluran	41

4.6.4	Analisis Kapasitas dan Penurunan Efektivitas Saluran	42
4.6.5	Analisis Koefisien Manning	42
4.6.6	Analisis Koefisien Chezy	42
4.7	Bagan Alir Tugas Akhir	43
BAB V DATA, ANALISIS, DAN PEMBAHASAN		45
5.1	Data Lapangan	45
5.2	Perhitungan Parameter Hidraulik	48
5.3	Perhitungan Kecepatan Aliran Rata-rata	51
5.4	Perhitungan Kemiringan Saluran	52
5.4.1	Perhitungan Benang Tengah	52
5.4.2	Perhitungan Jarak Antar Arah Bidik	54
5.4.3	Perhitungan Beda Tinggi	56
5.4.4	Perhitungan Elevasi Sementara	57
5.4.5	Perhitungan Koreksi	59
5.4.6	Perhitungan Beda Tinggi Terkoreksi	60
5.4.7	Perhitungan Elevasi Terkoreksi	62
5.5	Perhitungan Penurunan Efektivitas Kapasitas Saluran	66
5.6	Analisis Kekasaran dengan Persamaan Manning	68
5.7	Analisis Kekasaran dengan Persamaan Chezy	69
5.8	Pembahasan	71
5.8.1	Kondisi Geometri Saluran	71
5.8.2	Kecepatan Aliran	72
5.8.3	Nilai Kekasaran Berdasarkan Persamaan Manning dan Chezy	76
5.8.4	Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu	77
5.8.5	Perbandingan Kapasitas Saluran dengan Kapasitas Rencana	79
BAB VI KESIMPULAN		80
6.1	Kesimpulan	80
6.2	Saran	81
DAFTAR PUSTAKA		82
LAMPIRAN		85

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Hasil Pengukuran di Sungai Sario	5
Tabel 2.2 Hasil Pengukuran Lapangan	9
Tabel 2.3 Koefisien Kekasaran Manning (n)	10
Tabel 2.4 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang	15
Tabel 3.1 Nilai n Saluran Berdasarkan Material Dinding Saluran	19
Tabel 3.2 Nilai Koefisien Chezy berdasarkan Material dan Kondisi Saluran	22
Tabel 5.1 Hasil Pengukuran Geometri Saluran Variasi Pintu Terbuka Penuh	45
Tabel 5.2 Hasil Pengukuran Geometri Saluran Pintu Tertutup Sebagian	46
Tabel 5.3 Hasil Pengukuran Kecepatan Aliran Variasi Pintu Terbuka Penuh	46
Tabel 5.4 Hasil Pengukuran Kecepatan Aliran Pintu Tertutup Sebagian	47
Tabel 5.5 Hasil Pembacaan Rambu Ukur	47
Tabel 5.6 Hasil Perhitungan Parameter Hidraulik	49
Tabel 5.7 Hasil Perhitungan Kecepatan Aliran Rata-rata	51
Tabel 5.8 Hasil Perhitungan Benang Tengah	53
Tabel 5.9 Hasil Perhitungan Jarak Antar Arah Bidik	54
Tabel 5.10 Hasil Perhitungan Beda Tinggi	56
Tabel 5.11 Hasil Perhitungan Elevasi Sementara	58
Tabel 5.12 Hasil Perhitungan Koreksi	59
Tabel 5.13 Hasil Perhitungan Beda Tinggi Terkoreksi	61
Tabel 5.14 Hasil Perhitungan Elevasi Terkoreksi	63
Tabel 5.15 Hasil Perhitungan Kemiringan Tiap Titik	65
Tabel 5.16 Hasil Perhitungan Penurunan Efektivitas Kapasitas Saluran	67
Tabel 5.17 Hasil Perhitungan Koefisien Kekasaran Manning (n)	69
Tabel 5.18 Hasil Perhitungan Koefisien Chezy	70

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pengukuran Kecepatan dengan Current Meter	6
Gambar 2.2 Pengukuran di Saluran Induk dengan Pelampung	7
Gambar 2.3 Hubungan Persentase Tetumbuhan dan Nilai n	11
Gambar 2.4 Koefisien Manning di Kepadatan Gulma Tinggi	12
Gambar 2.5 Koefisien Manning di Kepadatan Gulma Sedang	12
Gambar 2.6 Koefisien Manning di Kepadatan Gulma Rendah	13
Gambar 3.1 Metode Tiga Titik	26
Gambar 3.2 Perhitungan Kemiringan	31
Gambar 3.3 Penampang Trapesium	32
Gambar 4.1 Peta Lokasi Saluran Sendang Pitu	33
Gambar 4.2 Meteran	34
Gambar 4.3 Current Meter	35
Gambar 4.4 Automatic Level Waterpass	35
Gambar 4.5 Geometri Saluran	37
Gambar 4.6 Titik Pengambilan Searah Aliran	37
Gambar 4.7 Titik Pengambilan Tegak Lurus Terhadap Aliran	38
Gambar 4.8 Titik Pengambilan Vertikal	39
Gambar 4.9 Posisi Rambu	40
Gambar 5.1 Kemiringan Saluran Setiap Titik	65
Gambar 5.2 Grafik Efektivitas Saluran	68
Gambar 5.3 Grafik Kecepatan Aliran Rata-rata	72
Gambar 5.4 Dasar Saluran Penampang A	73
Gambar 5.5 Dasar Saluran Penampang B	74
Gambar 5.6 Dasar Saluran Penampang C	74
Gambar 5.7 Dasar Saluran Penampang D	75
Gambar 5.8 Dasar Saluran Penampang E	75
Gambar 5.9 Grafik Koefisien Kekasaran Manning	76

Gambar 5.10 Grafik Koefisien Chezy	77
Gambar 5.11 Grafik Perbandingan dengan Peneliti Terdahulu	78

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Data Geometri Saluran	86
Lampiran 2	Data Kecepatan Aliran	86
Lampiran 3	Data Kemiringan Saluran	87
Lampiran 4	Dokumentasi Penelitian	87
Lampiran 5	Surat Izin Penelitian	98

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

A	= Penampang saluran
b	= Lebar dasar saluran
Ba	= Benang atas
Bb	= Benang bawah
Bt	= Benang tengah
C	= Koefisien Chezy
D	= Jarak antar titik bidik
E	= Efektivitas saluran
E_0	= Elevasi awal
E_s	= Elevasi sementara
E_t	= Elevasi terkoreksi
K	= Koreksi pembacaan alat
L	= Panjang saluran
m	= Kemiringan sisi
n	= Koefisien Manning
N	= Jumlah titik pengukuran
Q	= Kapasitas saluran
Q_a	= Kapasitas aktual hasil pengukuran lapangan
Q_r	= Kapasitas rencana hasil perhitungan desain
R	= Jari-jari Hidraulik
S	= Kemiringan saluran
V	= Kecepatan aliran
V_i	= Kecepatan aliran pada titik ke-i hasil pengukuran
\bar{V}	= Kecepatan aliran rata-rata
y	= Kedalaman air
ΔE	= Penurunan efektivitas

Δz = Beda tinggi titik bidik

$\Delta z_{koreksi}$ = Beda tinggi terkoreksi

$\sum D$ = Jarak keseluruhan

ABSTRAK

Saluran irigasi memiliki peran penting dalam sistem distribusi air pertanian, sehingga efisiensi hidrauliknya perlu dipertahankan agar kinerja saluran tetap optimal. Salah satu faktor utama yang mempengaruhi efisiensi tersebut adalah nilai kekasaran saluran yang berhubungan dengan kondisi fisik dinding dan dasar saluran. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis nilai kekasaran saluran Sendang Pitu menggunakan pendekatan persamaan Manning dan Chezy, serta mengevaluasi efektivitas kapasitas salurannya berdasarkan kondisi eksisting.

Penelitian dilakukan pada Saluran Sekunder Sendang Pitu di Kecamatan Minggir, Kabupaten Sleman. Data primer diperoleh melalui pengukuran langsung di lapangan meliputi geometri saluran, kecepatan aliran menggunakan *current meter*, dan kemiringan dasar menggunakan *automatic level waterpass*. Analisis dilakukan dengan dua variasi kondisi pintu air, yaitu terbuka penuh dan tertutup sebagian, serta dengan dua pendekatan kemiringan, yaitu kemiringan tiap titik dan kemiringan keseluruhan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil nilai kekasaran Manning (n) berkisar antara 0,030-0,038, sedangkan koefisien Chezy (C) berkisar antara 23-30. Nilai n pada kondisi pintu tertutup sebagian lebih besar dibandingkan dengan kondisi pintu terbuka penuh, sedangkan nilai C menunjukkan hubungan terbalik dengan n . Hasil ini lebih besar dari nilai standar literatur untuk saluran pasangan batu berplester semen, yang mengindikasikan adanya pengaruh vegetasi, endapan sedimen, serta kerusakan fisik saluran terhadap peningkatan hambatan aliran. Nilai efektivitas kapasitas saluran rata-rata sebesar 67,88%, yang menandakan bahwa kinerja saluran termasuk dalam kategori kurang baik dan memerlukan upaya pemeliharaan agar kapasitas hidraulik saluran kembali optimal.

Kata kunci: kekasaran saluran, Manning, Chezy, efektivitas kapasitas saluran, saluran irigasi

ABSTRAK

Irrigation channels play a vital role in agricultural water distribution systems; therefore, maintaining their hydraulic efficiency is essential to ensure optimal channel performance. One of the main factors affecting this efficiency is the channel roughness value, which is closely related to the physical condition of the channel walls and bed. This study aims to analyze the roughness value of the Sendang Pitu channel using the Manning and Chezy equations and to evaluate the channel capacity effectiveness under existing conditions.

The research was conducted on the Sendang Pitu secondary channel located in Minggir District, Sleman Regency. Primary data were obtained through direct field measurements, including channel geometry, flow velocity using a current meter, and bed slope using an automatic level waterpass. The analysis was carried out under two gate-opening conditions fully open and partially closed as well as two slope approaches, namely point-based slope and overall slope.

The results of the study indicate that the Manning roughness coefficient (n) ranges from 0.030 to 0.113, while the Chezy coefficient (C) ranges from 8 to 30. The n value under the partially closed gate condition is higher than that under the fully open gate condition, whereas the C value shows an inverse relationship with n . These results are higher than the standard literature values for plastered masonry channels, indicating the influence of vegetation growth, sediment deposition, and physical deterioration of the channel on the increase in flow resistance. The average effectiveness of channel capacity is 67.88%, indicating that the channel performance is categorized as less effective and requires maintenance efforts to restore its hydraulic capacity to optimal conditions.

Keywords: *channel roughness, Manning, Chezy, channel capacity effectiveness, irrigation channel*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saluran air memiliki peranan penting dalam berbagai aspek kehidupan, seperti distribusi air untuk irigasi, pengendalian banjir, hingga penyediaan air bersih untuk kebutuhan sehari-hari. Kondisi fisik dari saluran yang sangat menentukan performa aliran air salah satunya adalah nilai kekasaran pada dindingnya. Nilai kekasaran adalah parameter penting yang mewakili tingkat hambatan yang ditimbulkan oleh permukaan saluran terhadap aliran. Kekasaran yang tinggi pada saluran dapat menyebabkan kehilangan energi yang signifikan dan memperlambat laju aliran tersebut (Kencanawati dkk., 2016). Fenomena ini tentunya memiliki dampak langsung pada efisiensi operasional saluran air, yang bisa menimbulkan biaya tambahan atau bahkan mempengaruhi efektivitas distribusi air.

Variasi material saluran yang digunakan di Indonesia cukup beragam, mulai dari beton, batu kali, hingga tanah yang masing-masing memiliki karakteristik nilai kekasaran yang berbeda. Kondisi lingkungan, kualitas material, serta faktor-faktor lain seperti erosi dan sedimentasi juga mempengaruhi tingkat kekasaran (Agoes dkk., 2023). Sebagai contoh, saluran berbahan dasar beton umumnya memiliki kekasaran rendah namun seiring waktu dapat berubah akibat pertumbuhan lumut atau endapan sedimen. Kondisi ini menimbulkan tantangan bagi para insinyur sipil dalam mendesain dan memelihara saluran agar tetap memenuhi kapasitas aliran yang diharapkan. Dalam konteks penelitian ini, saluran yang menjadi objek kajian merupakan saluran irigasi yang berfungsi menyalurkan air dari sumber ke lahan pertanian. Karakteristik saluran irigasi penting untuk dianalisis karena secara langsung mempengaruhi ketersediaan air bagi tanaman serta efisiensi sistem distribusi air pertanian. Oleh karena itu, diperlukan pemahaman mendalam mengenai karakteristik nilai kekasaran saluran.

Saluran yang dikaji dalam penelitian ini adalah saluran sekunder Sendang Pitu yang terletak di Kecamatan Minggir, Kabupaten Sleman, Provinsi DIY. Saluran sekunder Sendang Pitu berfungsi menyalurkan air langsung ke lahan pertanian. Saluran ini merupakan bagian sistem irigasi yang telah beroperasi dalam jangka waktu yang lama, sehingga berpotensi mengalami perubahan nilai kekasaran akibat sedimentasi, pertumbuhan vegetasi, serta degradasi material dinding saluran, oleh karena ini dipilih sebagai objek penelitian.

Penelitian mengenai analisis nilai kekasaran saluran menjadi penting untuk menyediakan referensi yang dapat diaplikasikan dalam desain dan pengelolaan saluran yang optimal. Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan data empiris mengenai nilai kekasaran, yang kemudian dapat digunakan sebagai acuan untuk perencanaan infrastruktur air di masa mendatang.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dapat dirumuskan beberapa rumusan masalah sebagai berikut.

1. Bagaimana kondisi geometri saluran Sendang Pitu berdasarkan hasil pengukuran?
2. Berapa kecepatan aliran yang terjadi pada saluran Sendang Pitu berdasarkan hasil pengukuran *current meter*?
3. Berapa nilai kekasaran saluran Sendang Pitu yang dihitung menggunakan persamaan Manning dan Chezy?
4. Bagaimana perbandingan nilai kekasaran hasil analisis dengan nilai standar literatur untuk saluran dengan material pasangan batu?
5. Bagaimana efektivitas kapasitas saluran Sendang Pitu jika dibandingkan dengan kapasitas rencananya?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini berdasarkan rumusan masalah diatas adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui kondisi geometri saluran Sendang Pitu melalui pengukuran langsung di lapangan.
2. Menghitung kecepatan aliran pada saluran Sendang Pitu menggunakan data hasil pengukuran *current meter*.
3. Menentukan nilai kekasaran hidraulik saluran dengan menggunakan persamaan Manning dan Chezy.
4. Membandingkan nilai kekasaran hasil perhitungan dengan standar literatur untuk material pasangan batu.
5. Menganalisis efektivitas kapasitas saluran Sendang Pitu

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut.

1. Menjadi referensi ilmiah mengenai analisis nilai kekasaran saluran terbuka.
2. Mendukung keberlanjutan sistem irigasi yang lebih efisien bagi masyarakat petani pengguna saluran Sendang Pitu.

1.5 Batasan Penelitian

Pembatasan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Penelitian dilakukan di saluran sekunder Sendang Pitu dari bangunan bagi (BVW.7) di bagian hulu hingga bangunan bagi pertama (BSP.1,2).
2. Analisis kekasaran hanya menggunakan pendekatan persamaan Manning dan Chezy.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka adalah proses meninjau ulang pustaka yang telah ada sebelumnya dan sesuai dengan topik yang sedang diteliti untuk menggabungkan apa yang sudah dinyatakan dan dilakukan oleh orang lain dari berbagai jurnal, skripsi, maupun tugas akhir. Tinjauan pustaka dilakukan untuk memperoleh informasi relevan tentang permasalahan dari penelitian sejenis yang dilakukan serta sebagai gambaran untuk pelaksanaan penelitian dengan menggunakan metode-metode yang tepat.

2.2 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu ini diambil dari jurnal maupun skripsi yang telah dipublikasikan oleh akademisi untuk menghindari kesamaan penelitian yang dilakukan saat ini dengan penelitian sebelumnya. Adapun penelitian terdahulu dapat dilihat pada sub-sub bab sebagai berikut.

2.2.1 Analisis Koefisien Kekasaran Sungai di Sungai Sario dengan Persamaan Manning

Montjai dkk. (2015) melakukan penelitian tentang analisis koefisien kekasaran sungai di sungai Sario yang merupakan sungai utama dari DAS Sario. Penelitian ini dilaksanakan selama tiga bulan yaitu pada bulan Januari-Maret 2015. Variabel yang diamati yaitu lebar saluran sungai, lebar puncak sungai, lebar dasar sungai, kedalaman air sungai, kedalaman saluran sungai, bentuk profil melintang saluran sungai, kecepatan aliran sungai, dan kemiringan sungai. Tujuan dari penelitian ini adalah menghitung nilai koefisien kekasaran sungai Sario dengan menggunakan persamaan Manning dan membandingkannya dengan data sekunder.

Penelitian ini menggunakan metode survei dan penentuan titik pengukuran dan pengamatan (*purposive sampling*) dengan beberapa tahapan perencanaan dengan langkah pertama yaitu persiapan alat dan bahan yang akan digunakan saat penelitian. Langkah selanjutnya survei lokasi yang mewakili daerah hulu, tengah dan hilir. Langkah selanjutnya pengumpulan data dari setiap variabel pengamatan yang sudah ditentukan. Langkah selanjutnya analisis data menggunakan persamaan Manning dan hasil analisa disajikan dalam bentuk tabel dan gambar. Adapun hasil pengukuran yang kemudian didapatkan hasil oleh Montjai dkk. (2015) dapat dilihat pada Tabel 2.1 sebagai berikut.

Tabel 2.1 Hasil Pengukuran di Sungai Sario

Titik	Kecepatan	Jari-jari Hidraulik (R)	Kemiringan			n	Keterangan
			m/m	%	Derajat		
1	1,41	0,1129	0,016	1,6	0,9	0,02	Hulu
2	1,37	0,1961	0,016	1,6	0,9	0,03	Hulu
3	1,45	0,4505	0,016	1,6	0,9	0,05	Hulu
4	1,19	0,1120	0,014	1,4	0,8	0,02	Hulu
5	1,00	0,4044	0,010	1,0	0,6	0,05	Hulu
6	0,72	0,3008	0,010	1,0	0,6	0,06	Hulu
7	1,14	0,3638	0,010	1,0	0,6	0,04	Tengah
8	0,91	0,3568	0,009	0,9	0,5	0,05	Tengah
9	0,88	0,3374	0,009	0,9	0,5	0,05	Tengah
10	1,00	0,3915	0,009	0,9	0,5	0,05	Tengah
11	0,84	0,3312	0,009	0,9	0,5	0,05	Hilir
12	1,00	0,3188	0,009	0,9	0,5	0,04	Hilir
13	0,85	0,3606	0,009	0,9	0,5	0,06	Hilir
14	0,53	0,5333	0,004	0,4	0,2	0,08	Hilir

Sumber: Montjai dkk. (2015)

Dari penelitian ini dapat disimpulkan nilai koefisien kekasaran sungai bagian hulu, tengah, dan hilir adalah 0,049, 0,050, dan 0,060.

2.2.2 Kajian Koefisien Kekasaran Manning (n) Pasangan Batu dan Beton

Berdasarkan Kuantifikasi Kekasaran Hidrolis (Studi Kasus Daerah Irigasi Wawotobi Kab. Konawe Sultra)

Tahir & Musa (2020) melakukan penelitian tentang koefisien kekasaran Manning pasangan batu dan beton berdasarkan kuantifikasi kekasaran hidraulik. Penelitian ini dilaksanakan di daerah irigasi Wawotobi Kabupaten Konawe Sulawesi Tenggara. Variabel yang diamati yaitu lebar dasar saluran, lebar atas saluran, kedalaman air saluran, keliling basah, jari-jari hidraulik, kemiringan saluran, kecepatan aliran dan koefisien kekasaran Manning pada kondisi saluran yang berbeda. Adapun gambar yang menunjukkan dokumentasi Tahir & Musa (2020) saat melakukan pengambilan data di lapangan dapat dilihat pada Gambar 2.1 dan Gambar 2.2 sebagai berikut.



Gambar 2.1 Pengukuran Kecepatan dengan *Current Meter*

(Sumber: Tahir & Musa, 2020)



Gambar 2.2 Pengukuran di Saluran Induk dengan Pelampung

(Sumber: Tahir & Musa, 2020)

Penelitian ini menggunakan metode survei dan penentuan titik pengukuran dan pengamatan (*purposive sampling*) berdasarkan pertimbangan tertentu. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh kecepatan aliran pada saluran pasangan batu dan beton berdasarkan analisa kekasaran hidraulik dan mengetahui besarnya koefisien kekasaran Manning pada kondisi saluran pasangan batu dan beton berdasarkan hasil pengukuran. Dari penelitian ini dapat disimpulkan nilai koefisien kekasaran saluran induk dan sekunder Wawatobi pada bagian penampang saluran pasangan batu adalah 0,021 dan penampang saluran pasangan beton adalah 0,019.

2.2.3 Analisa Koefisien Kekasaran Sungai di Parit Nanas Pontianak Utara

Nuri dkk. (2020) melakukan penelitian tentang koefisien kekasaran sungai di parit Nanas Pontianak Utara. Penelitian ini dilaksanakan di jalan 28 Oktober, Kelurahan Siantan Hulu, Kecamatan Pontianak Utara. Variabel yang diamati yaitu penampang saluran, kecepatan aliran, jari-jari hidraulik, dan kemiringan. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui nilai koefisien kekasaran Manning sungai di parit Nanas dan menjelaskan tentang deskripsi sungai pada lokasi pengukuran.

Penelitian ini menggunakan metode survei dan penentuan titik pengukuran dan pengamatan (*purposive sampling*) dengan beberapa tahapan perencanaan dengan langkah pertama yaitu menyiapkan peralatan yang akan digunakan. Langkah selanjutnya mengukur data penampang menggunakan meteran. Langkah

selanjutnya mengukur kecepatan aliran rata-rata di tiga pias yakni $\frac{1}{4} L$, $\frac{1}{2} L$, dan $\frac{3}{4} L$ dengan kedalaman 0,2 h, 0,6 h, dan 0,8 h. Langkah selanjutnya pengolahan data dari data yang sudah diambil.

Dari penelitian ini dapat disimpulkan nilai koefisien kekasaran saluran parit Nanas yang dihitung dengan persamaan Manning dari penampang 1 sampai dengan 5 adalah 0,10, 0,06, 0,13, 0,15, dan 0,19. Perbedaan nilai koefisien kekasaran saluran disebabkan oleh sampah, tumbuhan vegetasi, endapan sedimen, dan air yang keruh.

2.2.4 Evaluasi Koefisien Manning pada Berbagai Tipe Dasar Saluran

Sanusi & Pratiwi (2022) melakukan penelitian tentang koefisien Manning pada berbagai tipe dasar saluran. Variabel yang diamati yaitu debit aliran, kecepatan aliran, dan kemiringan aliran. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui seberapa akurat tabel persamaan Manning pada beberapa tipe saluran yang berbeda dan untuk mengetahui penyebab apa saja yang membuat persamaan Manning tersebut tidak akurat.

Penelitian ini menggunakan metode survei dan penentuan titik pengukuran dan pengamatan (*purposive sampling*) dengan beberapa tahapan perencanaan dengan langkah pertama yaitu pengumpulan data. Langkah selanjutnya mempersiapkan alat yang akan digunakan meliputi alat tulis, meteran, *waterpass*, *current meter*, benang bangunan, dan patok kayu. Langkah selanjutnya analisis koefisien kekasaran Manning untuk mendapatkan koefisien kekasaran Manning. Langkah selanjutnya perbandingan koefisien kekasaran Manning dengan studi literatur. Langkah selanjutnya mengamati perbedaan untuk mengetahui parameter apa saja yang mempengaruhi dalam penentuan koefisien kekasaran Manning. Adapun hasil pengukuran yang didapatkan oleh Sanusi & Pratiwi (2022) dapat dilihat pada Tabel 2.2 sebagai berikut.

Tabel 2.2 Hasil Pengukuran Lapangan

Titik	V rata-rata (m/s)	Jari-jari Hidraulik (R)	Kemiringan
Titik 1	0,13	0,037	0,050
Titik 2	0,13	0,050	0,028
Titik 3	0,23	0,173	0,010
Titik 4	0,13	0,044	0,018
Titik 5	0,37	0,040	0,015

Sumber: Sanusi & Pratiwi (2022)

Berdasarkan Tabel 2.2 didapatkan hasil koefisien Manning dari setiap titik dengan tipe dasar saluran yang berbeda, Titik 1 dasar saluran tanah memiliki nilai n 0,469, titik 2 dasar saluran batu alam 0,174, titik 3 dasar saluran pasangan batu kali 0,134, titik 4 dasar saluran semak belukar 0,128, titik 5 dasar saluran kerikil batu belahan 0,038.

Dari penelitian ini dapat disimpulkan beberapa parameter yang dapat mempengaruhi dalam penentuan koefisien kekasaran Manning yaitu, kondisi lapangan saluran, nilai kecepatan rata-rata aliran, kemiringan saluran, kondisi cuaca, dan kebersihan saluran.

2.2.5 Analisa Angka Koefisien Kekasaran Manning pada Saluran Terbuka Akibat Vegetasi

Arfaah dkk. (2024) melakukan penelitian tentang koefisien kekasaran Manning pada saluran terbuka akibat vegetasi. Variabel yang diamati yaitu luas penampang, lebar permukaan, keliling basah, jari-jari hidraulik, tinggi muka air, kemiringan talut dan kemiringan longitudinal. Tujuan dari penelitian ini adalah menghitung nilai koefisien kekasaran saluran dengan menggunakan persamaan Manning.

Penelitian ini menggunakan metode survei dan penentuan titik pengukuran dan pengamatan (*purposive sampling*) dengan beberapa tahapan perencanaan dengan langkah pertama yaitu pembuatan saluran terbuka. Langkah selanjutnya

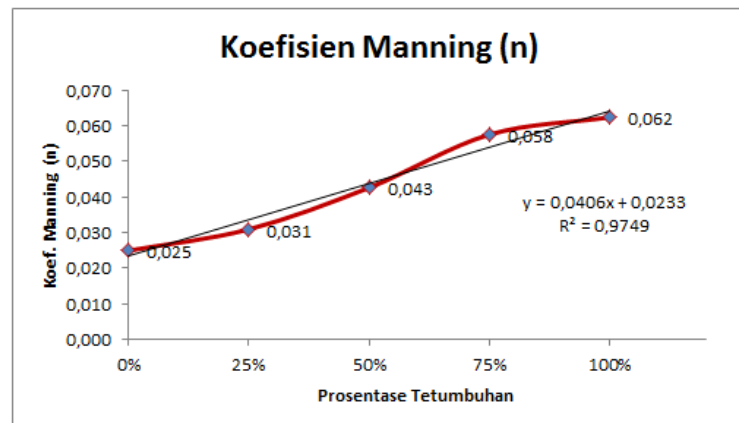
pengambilan data. Langkah selanjutnya analisa data dan penyajian data. Langkah selanjutnya perhitungan koefisien Manning. Dari penelitian ini dapat disimpulkan nilai koefisien kekasaran untuk saluran normal/tanpa adanya tetumbuhan diperoleh nilai koefisien kekasaran 0,025. Sedangkan untuk persentase tetumbuhan sebesar 25%, 50%, 75%, dan 100% terjadi kenaikan nilai koefisien kekasaran berturut-turut sebesar 0,031, 0,043, 0,058, dan 0,062. Adapun hasil lebih rinci yang didapat oleh Arfaah dkk. (2024) dapat dilihat pada Tabel 2.3 sebagai berikut.

Tabel 2.3 Koefisien Kekasaran Manning (n)

Tetumbuhan (%)	V (m/dt)	$R^{2/3}$	$I^{1/2}$	n
0%	0,531	0,254	0,052	0,025
25%	0,428	0,254	0,052	0,031
50%	0,310	0,254	0,052	0,043
75%	0,230	0,254	0,052	0,058
100%	0,212	0,254	0,052	0,062

Sumber: Arfaah dkk. (2024)

Berdasarkan data pada Tabel 2.3 Arfaah dkk. (2024) menyimpulkan bahwa persentase tetumbuhan pada saluran mengakibatkan koefisien kekasaran semakin meningkat. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat lebih lanjut pada Gambar 2.3 sebagai berikut.



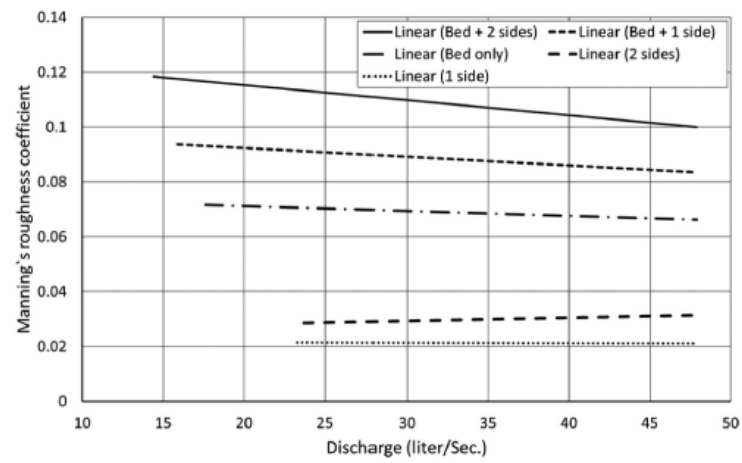
Gambar 2.3 Hubungan Persentase Tetumbuhan dan Nilai n

(Sumber: Arfaah dkk. 2024)

2.2.6 Manning Roughness Coefficient in Vegetated Open Channels

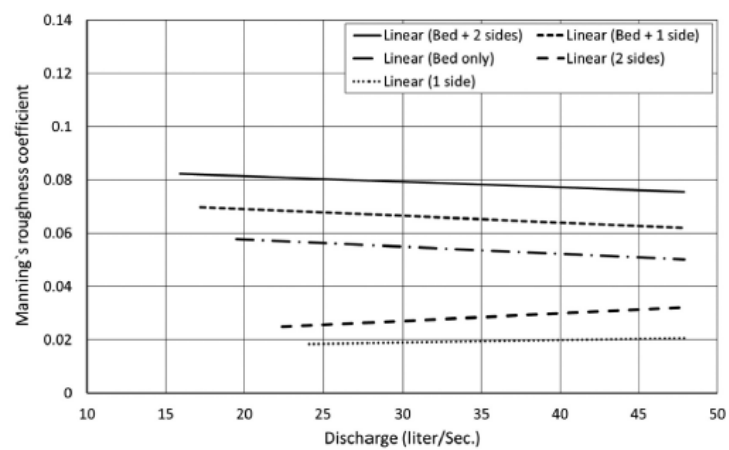
Salah Abd Elmoaty & T. A (2020) melakukan penelitian tentang koefisien kekasaran Manning di saluran terbuka yang di tumbuhi vegetasi. Variabel yang diamati yaitu persentase gulma dan kemiringan permukaan air. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menyimpulkan persamaan untuk memprediksi nilai koefisien kekasaran Manning di saluran bervegetasi berdasarkan parameter terukur seperti persentase gulma dan kemiringan permukaan air. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa koefisien kekasaran Manning berbanding lurus dengan kepadatan gulma.

Percobaan menggunakan tiga kerapatan gulma (0,25 batang/cm², 0,0625 batang/cm², dan 0,028 batang/cm²) dan lima distribusi gulma (dasar dan dua sisi, dasar dan satu sisi, dasar saja, dua sisi, dan satu sisi). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.4, Gambar 2.5, dan Gambar 2.6 sebagai berikut.



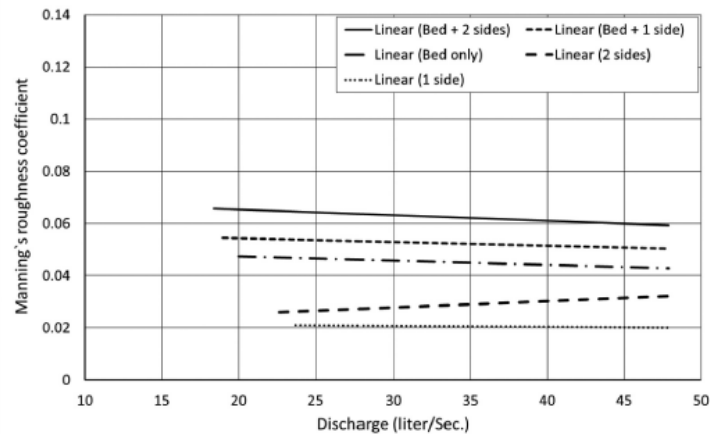
Gambar 2.4 Koefisien Manning di Kepadatan Gulma Tinggi

(Sumber: Salah Abd Elmoaty & T. A, 2020)



Gambar 2.5 Koefisien Manning di Kepadatan Gulma Sedang

(Sumber: Salah Abd Elmoaty & T. A, 2020)



Gambar 2.6 Koefisien Manning di Kepadatan Gulma Rendah

(Sumber: Salah Abd Elmoaty & T. A, 2020)

Dari penelitian ini disimpulkan vegetasi di dasar saluran memiliki pengaruh yang lebih besar dibandingkan dengan vegetasi di dinding saluran.

2.3 Penelitian Sekarang

Selama melakukan tinjauan pustaka terdapat penelitian sejenis mengenai analisis kekasaran saluran. Namun, belum terdapat penelitian yang dilakukan di lokasi saluran Sendang Pitu, sehingga dapat dilakukan penelitian. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh pentingnya memahami pengaruh nilai kekasaran pada aliran, sehingga dapat mendukung sistem distribusi air yang baik.

Metode yang akan digunakan adalah metode survei dan penentuan titik pengukuran dan pengamatan berdasarkan pertimbangan tertentu (*purposive sampling*). Variabel yang akan diamati adalah lebar dasar (b), kemiringan sisi (m), dan kedalaman aliran (y). Tujuan penelitian adalah mengetahui kondisi geometri saluran, menghitung kecepatan aliran, menentukan nilai kekasaran saluran, membandingkan nilai kekasaran dengan standar literatur, dan menganalisis pengaruh nilai kekasaran terhadap kapasitas dan efisiensi penyaluran air.

2.4 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Berdasarkan tinjauan pustaka yang telah dilakukan terdapat penelitian sejenis yaitu tentang analisis kekasaran saluran. Namun, belum ada penelitian kekasaran saluran yang dilakukan di saluran Sendang Pitu. Adapun perbedaan lebih rinci dapat dilihat pada Tabel 2.4 di halaman selanjutnya.

Tabel 2.4 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Peneliti	Montjai dkk., (2015)	Tahir & Musa (2020)	Nuri dkk., (2020)	Sanusi & Pratiwi (2022)	Arfaah dkk. (2024)	Salah Abd Elmoaty & T.A. (2020)	Adhyasta (2025)
Karya Tulis	Jurnal	Jurnal	Jurnal	Jurnal	Jurnal	Jurnal	Tugas Akhir
Judul	Analisis Koefisien Kekasaran Sungai di Sungai Sario dengan Persamaan Manning	Kajian Koefisien Kekasaran Manning (n) Pasangan Batu dan Beton Berdasarkan Kuantifikasi Kekasaran Hidrolis	Analisa Koefisien Kekasaran Sungai Di Parit Nanas Pontianak Utara	Evaluasi Koefisien Manning Pada Berbagai Tipe Dasar Saluran	Analisa Angka Koefisien Kekasaran Manning Pada Saluran Terbuka Akibat Vegetasi	<i>Manning roughness coefficient in vegetated open channels</i>	Analisis Nilai Kekasaran Saluran Pada Saluran Sendang Pitu
Lokasi	Sungai Sario	Irigasi Wawotobi Kabupaten Konawe Sulawesi Tenggara	Parit Nanas jalan 28 Oktober, Kelurahan Siantan Hulu, Kecamatan Pontianak Utara	Lab Hidraulika Universitas Komputer Indonesia	Universitas Darul Ulum	<i>Hydarulic lap of the channel maintenance research institute of the national water research center, egypt</i>	Balongan, Sendangrejo, Kec. Minggir, Kab. Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta

Lanjutan Tabel 2.4 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Peneliti	Montjai dkk., (2015)	Tahir & Musa (2020)	Nuri dkk., (2020)	Sanusi & Pratiwi (2022)	Arfaah dkk. (2024)	Salah Abd Elmoaty & T.A. (2020)	Adhyasta (2025)
Metode	<ul style="list-style-type: none"> - Menggunakan 14 titik pengamatan yang mewakili daerah hulu, tengah, dan hilir. - Kecepatan aliran diukur dengan <i>current meter</i>. - Koefisien kekasaran dianalisis dengan persamaan Manning. 	<ul style="list-style-type: none"> - Pengambilan titik pada penampang pasangan beton dan pasangan batu. - Kecepatan aliran diukur dengan <i>current meter</i> dan pelampung. - Koefisien kekasaran dianalisis dengan persamaan Manning. 	<ul style="list-style-type: none"> - Menggunakan 5 titik pengamatan. - Kecepatan aliran diukur dengan <i>current meter</i>. - Koefisien kekasaran dianalisis dengan persamaan Manning. 	<ul style="list-style-type: none"> - Menggunakan 5 titik pengamatan. - Kecepatan aliran diukur dengan <i>current meter</i>. - Koefisien kekasaran dianalisis dengan persamaan Manning. 	<ul style="list-style-type: none"> - Menggunakan 5 titik pengamatan dengan 5 variasi vegetasi. - Kecepatan aliran diukur dengan <i>current meter</i>. - Koefisien kekasaran dianalisis dengan persamaan Manning. 	<ul style="list-style-type: none"> - Titik pengamatan diambil di saluran terbuka dengan 3 variasi kepadatan gulma dan 5 sebaran gulma. - Koefisien kekasaran dianalisis dengan persamaan Manning. 	<ul style="list-style-type: none"> - Menggunakan 5 titik pengamatan. - Menggunakan 2 variasi bukaan pintu saluran. - Kecepatan aliran diukur dengan <i>current meter</i>. - Koefisien kekasaran dianalisis dengan persamaan Manning dan persamaan Chezy.

Lanjutan Tabel 2.4 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Peneliti	Montjai dkk., (2015)	Tahir & Musa (2020)	Nuri dkk., (2020)	Sanusi & Pratiwi (2022)	Arfaah dkk. (2024)	Salah Abd Elmoaty & T.A. (2020)	Adhyasta (2025)
Hasil	Nilai koefisien kekasaran pada bagian hulu, tengah, dan hilir sungai adalah 0,049, 0,050, dan 0,060	Nilai koefisien kekasaran saluran induk dan sekunder pada penampang saluran pasangan batu adalah 0,021 dan penampang saluran beton adalah 0,019	Nilai koefisien kekasaran saluran dari penampang 1 sampai dengan 5 adalah 0,10, 0,06, 0,13, 0,15, dan 0,19	Nilai koefisien kekasaran saluran dari tipe dasar saluran 1 sampai dengan 5 adalah 0,496, 0,174, 0,134, 0,128, dan 0,038	Nilai koefisien kekasaran saluran dari berbagai persentase tetumbuhan 1 sampai dengan 5 adalah 0,025, 0,031, 0,043, 0,058, dan 0,062	Vegetasi pada dasar saluran memiliki pengaruh lebih besar dibandingkan vegetasi di dinding saluran.	Nilai koefisien kekasaran Manning berkisar antara 0,030-0,038, sedangkan koefisien Chezy rata-rata adalah 23-30.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Saluran Terbuka

Saluran terbuka adalah saluran yang memungkinkan air mengalir bebas, sehingga tekanan pada permukaan air sama dengan tekanan atmosfer (Harseno & Jonas, 2007). Saluran ini dapat berupa saluran alami seperti sungai dan selokan namun juga dapat berupa saluran buatan seperti saluran irigasi dan drainase. Saluran alami terbentuk secara alami tanpa campur tangan manusia. Contoh saluran alami adalah sungai. Saluran buatan dirancang dan dibangun oleh manusia untuk kepentingan tertentu. Contoh saluran buatan adalah saluran irigasi dan drainase.

3.2 Kekasaran Saluran

Kekasaran saluran merupakan tingkat kekasaran atau kehalusan permukaan dasar saluran. Permukaan yang lebih halus akan meningkatkan kecepatan aliran air (Barid & Yacob, 2007). Nilai kekasaran ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk jenis material dinding saluran, kondisi permukaan, keberadaan vegetasi, bentuk penampang saluran, dan sedimentasi.

3.2.1 Pengaruh Material Dinding Saluran

Material dinding saluran adalah salah satu faktor utama yang mempengaruhi nilai kekasaran saluran. Berbagai jenis material memiliki karakteristik permukaan yang berbeda. Misalnya, saluran yang dilapisi dengan beton halus memiliki nilai kekasaran yang rendah karena permukaannya rata dan sedikit menghambat aliran. Sebaliknya, saluran yang menggunakan pasangan batu atau material alami seperti tanah cenderung memiliki nilai kekasaran lebih tinggi karena permukaannya lebih kasar dan tidak seragam. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 3.1 sebagai berikut.

Tabel 3.1 Nilai n Saluran Berdasarkan Material Dinding Saluran

Saluran	Tipe dan Bahan	Harga n		
		Minimum	Normal	Maksimum
Beton	Gorong-gorong lurus dan bebas dari kotoran	0,010	0,011	0,013
	Gorong-gorong dengan lengkungan dan sedikit kotoran	0,011	0,013	0,014
	Beton dipoles	0,011	0,012	0,014
	Saluran pembuang dengan bak kontrol	0,013	0,015	0,017
Tanah	Bersih baru	0,016	0,018	0,020
	Bersih telah melapuk	0,018	0,022	0,025
	Berkerikil	0,022	0,025	0,030
	Berumput pendek, sedikit tanaman pengganggu	0,022	0,027	0,033
Alam	Bersih lurus	0,025	0,030	0,033
	Bersih, berkelok-kelok	0,033	0,040	0,045
	Banyak tanaman pengganggu	0,050	0,070	0,080
	Dataran banjir berumput pendek - tinggi	0,025	0,030	0,035
	Saluran belukar	0,035	0,050	0,070

Sumber: Chow (1959)

3.2.2 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kekasaran Saluran

Kekasaran saluran dipengaruhi oleh berbagai faktor yang berhubungan dengan kondisi fisik dan lingkungan saluran. Salah satu faktor utama adalah vegetasi di dalam atau di sekitar saluran. Kehadiran tumbuhan seperti rumput atau alga dapat meningkatkan hambatan terhadap aliran air, sehingga memperbesar nilai kekasaran (Agoes dkk., 2023). Selain itu sedimentasi berupa endapan lumpur, pasir, atau kerikil yang terakumulasi di dasar saluran juga mempengaruhi kekasaran, karena mengurangi luas penampang efektif dan menciptakan ketidakberaturan pada permukaan aliran. Kerusakan dinding saluran seperti retakan atau erosi, juga meningkatkan nilai kekasaran dengan menciptakan hambatan bagi aliran air. Faktor lain yang tidak kalah penting adalah bentuk penampang saluran. Saluran dengan

bentuk tidak seragam atau berliku cenderung memiliki nilai kekasaran lebih tinggi dibandingkan dengan saluran yang bentuknya seragam.

3.3 Persamaan Manning

Persamaan Manning merupakan rumus empiris yang digunakan untuk menghitung kecepatan rata-rata aliran air dalam saluran terbuka seperti sungai, irigasi, dan drainase. Persamaan ini mempertimbangkan berbagai faktor yang mempengaruhi aliran seperti kekasaran permukaan saluran, kemiringan dasar, serta bentuk dan ukuran penampang aliran (Arfaah dkk., 2024). Persamaan Manning dinyatakan sebagai:

$$V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2} \quad (3.1)$$

dengan:

- V = Kecepatan aliran (m/s)
- n = Koefisien kekasaran Manning
- R = Jari-jari hidraulik (m)
- A = Luas penampang basah (m²)
- P = Keliling penampang basah (m)
- S = Kemiringan dasar saluran

Persamaan Manning banyak digunakan dalam analisis dan desain saluran terbuka termasuk saluran irigasi, drainase, dan sungai. Koefisien kekasaran bervariasi tergantung pada material saluran, kondisi permukaan, dan vegetasi. Keunggulan dari persamaan Manning adalah sederhana dan cocok untuk berbagai jenis saluran terbuka.

Dalam penelitian ini, persamaan Manning digunakan untuk menentukan nilai koefisien kekasaran saluran (n) berdasarkan data hasil pengukuran di lapangan. Oleh karena itu persamaan 3.1 dapat dituliskan kembali dalam bentuk turunan sebagai:

$$n = \frac{R^{2/3} \times S^{1/2}}{V} \quad (3.2)$$

Persamaan ini digunakan untuk menghitung nilai kekasaran saluran berdasarkan parameter kecepatan aliran, jari-jari hidraulik, dan kemiringan dasar saluran yang diperoleh dari hasil pengukuran.

3.4 Persamaan Chezy

Persamaan Chezy adalah salah satu formula hidraulika klasik yang digunakan untuk menghitung kecepatan aliran pada saluran terbuka. Persamaan ini dinamai berdasarkan insinyur Prancis Antoine de Chezy, yang mengembangkannya pada abad ke-18. Persamaan Chezy dinyatakan sebagai:

$$V = C \sqrt{R \times S} \quad (3.3)$$

dengan:

- V = Kecepatan aliran (m/s)
- C = Koefisien Chezy ($m^{1/2}/s$)
- R = Jari-jari hidraulik (m)
- S = Kemiringan dasar saluran

Dalam penelitian ini, persamaan Chezy digunakan untuk menentukan nilai koefisien kekasaran saluran (C) berdasarkan data hasil pengukuran di lapangan. Oleh karena itu persamaan 3.3 dapat dituliskan kembali dalam bentuk turunan sebagai:

$$C = \frac{V}{\sqrt{R \times S}} \quad (3.4)$$

Persamaan ini digunakan untuk menghitung nilai kekasaran saluran berdasarkan parameter kecepatan aliran, jari-jari hidraulik, dan kemiringan dasar saluran yang diperoleh dari hasil pengukuran.

Triatmodjo (2014) menyatakan persamaan Chezy memiliki hubungan erat dengan persamaan Manning. Koefisien Chezy dapat dihitung menggunakan koefisien Manning dengan formula:

$$C = \frac{1}{n} \times R^{1/6} \quad (3.5)$$

Substitusi ini memungkinkan penggunaan nilai n dalam analisis yang menggunakan pendekatan persamaan Chezy. Persamaan chezy umumnya digunakan dalam perhitungan aliran pada saluran alami seperti sungai atau kanal. Persamaan Chezy juga umum digunakan untuk studi perbandingan antara aliran saluran teratur dan tidak teratur. Keunggulan dari persamaan chezy adalah lebih sederhana dalam representasi matematis untuk aliran linier. Sedangkan keterbatasan dari persamaan Chezy adalah aliran yang terjadi diasumsikan seragam dan stabil yang tidak selalu terjadi di lapangan.

Sebagai acuan praktis dalam penentuan nilai koefisien kekasaran, koefisien Chezy juga dapat dikaitkan dengan jenis material dan kondisi saluran. Perbedaan material pelapis dan karakteristik alur aliran akan mempengaruhi besar kecilnya nilai koefisien Chezy yang digunakan. Oleh karena itu, tabel nilai koefisien Chezy dapat dilihat pada Tabel 3.2 sebagai berikut.

Tabel 3.2 Nilai Koefisien Chezy berdasarkan Material dan Kondisi Saluran

Deskripsi Saluran	Koefisien Chezy (C)
Saluran berlapis beton	± 100
Saluran tanah tanpa pelapis	73
Saluran alami lurus, stabil, dan dalam	49
Sungai alami berkelok-kelok	42
Sungai tidak seragam dan bervegetasi	37
Sungai pegunungan dasar berbatu	29

Sumber: Warmink dkk. (2007)

3.5 Kapasitas dan Penurunan Efektivitas Kapasitas Saluran

Kapasitas saluran menggambarkan kemampuan suatu saluran dalam menyalurkan debit air maksimum tanpa menyebabkan limpasan atau kerusakan pada konstruksi. Kapasitas ini sangat dipengaruhi oleh bentuk penampang saluran, kecepatan aliran, kemiringan dasar, serta kekasaran dinding saluran. Kapasitas saluran dinyatakan sebagai hasil perkalian antara luas penampang basah (A) dengan kecepatan aliran rata-rata (V) yang dapat ditulis dengan persamaan sebagai berikut.

$$Q = A \times V \quad (3.6)$$

dengan:

Q = Kapasitas saluran (m^3/s)

A = Luas penampang basah (m^2)

V = Kecepatan aliran rata-rata (m/s)

Luas penampang basah diperoleh berdasarkan bentuk geometri saluran sedangkan kecepatan aliran diperoleh dari hasil pengukuran kecepatan di lapangan atau dari perhitungan menggunakan persamaan hidraulik seperti persamaan Manning.

Efektivitas kapasitas saluran menunjukkan sejauh mana kemampuan saluran dalam menyalurkan debit air sesuai dengan kondisi rencana awal (Marhendi & Kusuma Ningsih, 2020). Efektivitas ini dapat dinyatakan sebagai perbandingan antara kapasitas aktual hasil pengukuran di lapangan dengan kapasitas rencana hasil perhitungan desain. Efektivitas saluran dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$E = \frac{Q_a}{Q_r} \times 100\% \quad (3.7)$$

dengan:

E = Efektivitas saluran (%)

Q_a = Kapasitas aktual hasil pengukuran lapangan (m^3/s)

Q_r = Kapasitas rencana hasil perhitungan desain (m^3/s)

Berdasarkan persamaan tersebut, penurunan efektivitas saluran dapat dinyatakan sebagai:

$$\Delta E = 100\% - E \quad (3.8)$$

dengan:

ΔE = Penurunan efektivitas (%)

Q_a = Kapasitas aktual hasil pengukuran lapangan (m^3/s)

Q_r = Kapasitas rencana hasil perhitungan desain (m^3/s)

Nilai penurunan efektivitas menunjukkan besarnya penurunan kemampuan saluran dalam menyalurkan debit dibandingkan kondisi idealnya. Semakin besar nilai penurunannya, maka semakin besar pula degradasi fungsi saluran. Penurunan efektivitas ini dapat disebabkan oleh berbagai faktor, antara lain sedimentasi pada saluran, pertumbuhan vegetasi di dinding saluran, maupun perubahan kekasaran permukaan.

Penurunan efektivitas merupakan indikator penting untuk menentukan tingkat kinerja saluran dan kebutuhan rehabilitasi. Jika nilai efektivitas yang diperoleh masih di atas 70% maka saluran dapat dikategorikan masih berfungsi dengan baik. Namun apabila nilainya dibawah 70% maka diperlukan tindakan perbaikan seperti pengerukan sedimen, pelapisan ulang dinding saluran, atau normalisasi penampang agar kapasitas aliran kembali sesuai desain (Marhendi & Kusuma Ningsih, 2020).

3.6 Kecepatan Aliran

Kecepatan aliran adalah besaran yang menunjukkan seberapa cepat air bergerak di sepanjang saluran (Sri Martini dkk., 2020). Kecepatan aliran merupakan parameter yang penting dalam analisis hidraulika saluran terbuka. Kecepatan aliran

dapat dipengaruhi oleh kemiringan dasar saluran, bentuk penampang, dan kekasaran permukaan (Aribawa, 2003).

Salah satu alat yang umum digunakan untuk mengukur kecepatan aliran adalah *current meter*. Alat ini bekerja berdasarkan prinsip jumlah putaran baling-baling terhadap waktu tertentu saat terkena aliran air. Semakin cepat aliran air, maka putaran baling-baling semakin cepat.

Sebelum digunakan dalam pengukuran lapangan *current meter* harus dikalibrasi terlebih dahulu agar data yang dihasilkan valid. Kalibrasi dilakukan dengan cara menguji alat di saluran uji dengan kecepatan yang sudah diketahui lalu membandingkan hasil pengukuran alat dengan kecepatan aktual tersebut.

Dalam praktik pengukuran di lapangan, data kecepatan aliran biasanya diambil pada beberapa titik pengamatan di penampang saluran. Nilai kecepatan yang diperoleh pada titik-titik tersebut kemudian dirata-ratakan untuk mendapatkan kecepatan rata-rata aliran yang akan digunakan dalam perhitungan hidraulis. Untuk itu, perhitungan kecepatan rata-rata dapat dirumuskan sebagai:

$$\bar{V} = \frac{\sum V_i}{N} \quad (3.9)$$

dengan:

\bar{V} = Kecepatan aliran rata-rata (m/s)

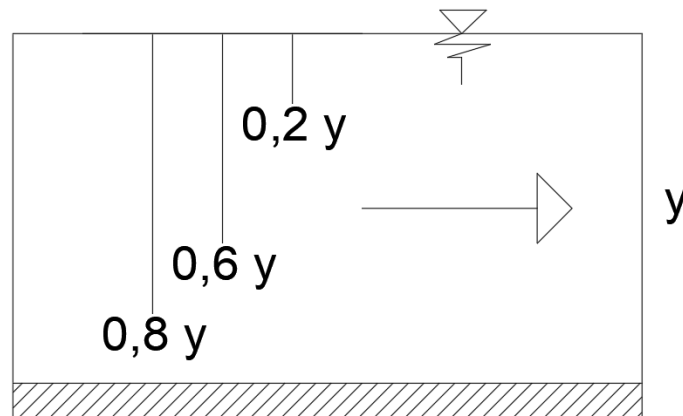
V_i = Kecepatan aliran pada titik ke- i hasil pengukuran (m/s)

N = Jumlah titik pengukuran

Dalam praktik pengukuran hidraulika, salah satu metode umum yang digunakan untuk menentukan kecepatan rata-rata aliran adalah metode tiga titik metode ini dilakukan dengan mengukur kecepatan aliran pada tiga kedalaman berbeda dari permukaan air, yaitu pada $0,2y$, $0,6y$, dan $0,8y$ dimana y merupakan kedalaman aliran.

Penggunaan metode tiga titik dalam penelitian ini mengacu pada pedoman pengukuran debit sungai dan saluran terbuka yang dikeluarkan oleh kementerian Pekerjaan Umum, yang menyatakan bahwa untuk saluran dengan kedalaman air

lebih dari 0,75 m, pengukuran kecepatan aliran dianjurkan menggunakan metode tiga titik berdasarkan kedalaman. Untuk memperjelas posisi titik pengukuran dapat dilihat pada Gambar 3.1 sebagai berikut.



Gambar 3.1 Metode Tiga Titik

3.7 Jari-Jari Hidraulik

Jari-jari hidraulik adalah parameter yang menunjukkan efisiensi hidraulik suatu penampang aliran dalam saluran terbuka (Qalzum dkk., 2020). Nilai ini diperoleh dari perbandingan antara luas penampang basah (A) dengan keliling basah (P) yang dirumuskan sebagai:

$$R = \frac{A}{P} \quad (3.10)$$

dengan:

R = Jari-jari hidraulik (m)

A = Luas penampang basah (m^2)

P = Keliling basah (m)

Luas penampang basah adalah luas penampang aliran yang bersentuhan dengan air (Hidayatullah dkk., 2021). Nilai ini bergantung pada bentuk geometri saluran dan kedalaman aliran. Perhitungan luas penampang ini sangat penting karena langsung berkaitan dengan kapasitas saluran. Perubahan kecil pada

kedalaman aliran dapat mengubah nilai A secara signifikan. Hal ini berdampak langsung pada perhitungan debit terutama pada saat terjadi variasi curah hujan atau perubahan tinggi muka air. Selain itu luas penampang basah juga mempengaruhi kecepatan aliran karena berhubungan dengan jari-jari hidraulik dan keliling basah.

Keliling basah adalah panjang total sisi saluran yang bersentuhan langsung dengan air (Rahmasari dkk., 2024). Nilai ini bergantung pada bentuk geometri saluran yang terdiri atas bagian dasar dan dinding saluran yang terendam. Keliling basah merupakan faktor penting karena berbanding terbalik dengan efisiensi aliran. Semakin besar nilai P , maka semakin besar pula gesekan antara air dan permukaan saluran, sehingga memperbesar kehilangan energi dan menurunkan kecepatan aliran. Dalam pengujian laboratorium maupun simulasi numerik, nilai P sering digunakan untuk menghitung jari-jari hidraulik dan memperkirakan kebutuhan pelapis saluran guna mengurangi kehilangan akibat gesekan.

Semakin besar nilai jari-jari hidraulik, maka semakin efisien saluran tersebut dalam menghantarkan air karena proporsi air yang bersentuhan dengan dinding saluran lebih kecil sehingga kecepatan aliran meningkat. Dalam konteks persamaan Manning jari-jari hidraulik sangat penting karena mempengaruhi kecepatan dan debit aliran. Sebagai variabel pangkat $2/3$, nilai R yang mengalami perubahan kecil dapat memberikan dampak yang signifikan terhadap hasil perhitungan kecepatan aliran. Bentuk penampang seperti trapesium menghasilkan jari-jari hidraulik yang lebih besar dibandingkan dengan bentuk penampang lainnya, sehingga secara teoritis dapat meningkatkan efisiensi aliran.

3.8 Kemiringan dasar

Kemiringan dasar merupakan parameter penting dalam desain dan analisis aliran saluran terbuka. Kemiringan dasar adalah perbandingan antara selisih elevasi muka air dengan panjang lintasan saluran. Sebelum diperoleh persamaan utama kemiringan dasar saluran, terlebih dahulu diperlukan beberapa tahapan perhitungan yang bersifat pendukung. Rumus-rumus pendukung ini digunakan untuk memastikan bahwa data yang dipakai dalam analisis sudah akurat dan sesuai dengan kondisi lapangan. Setelah semua variabel pendukung diperoleh, maka

kemiringan dasar saluran dapat dihitung menggunakan rumus utama yang dinyatakan sebagai perbandingan antara selisih elevasi dengan panjang saluran. Tahapan ini meliputi perhitungan bentang tengah, perhitungan jarak antar arah bidik, perhitungan beda tinggi, perhitungan elevasi sementara, perhitungan koreksi, perhitungan beda tinggi terkoreksi, hingga didapatkan nilai elevasi terkoreksi yang dapat dirumuskan sebagai berikut.

3.8.1 Perhitungan Benang Tengah

Benang tengah merupakan nilai rata-rata bacaan benang atas dengan benang bawah pada alat ukur *waterpass*. Nilai ini digunakan untuk meminimalisir kesalahan pembacaan skala pada rambu ukur. Benang tengah dirumuskan sebagai:

$$Bt = \frac{(Ba+Bb)}{2} \quad (3.11)$$

dengan:

Bt = Benang tengah (m)

Ba = Benang atas (m)

Bb = Benang bawah (m)

3.8.2 Perhitungan Jarak Antar Arah Bidik

Jarak antar arah bidik adalah panjang lintasan horizontal yang dihitung berdasarkan bacaan benang atas dan benang bawah. Perhitungan jarak ini penting untuk mengetahui panjang pengukuran antar titik. Jarak antar arah bidik dirumuskan sebagai:

$$D = 100((Ba \text{ belakang} - Bb \text{ belakang}) + (Ba \text{ muka} - Bb \text{ muka})) \quad (3.12)$$

dengan:

D = Jarak (m)

Ba = Benang atas (m)

Bb = Benang bawah (m)

3.8.3 Perhitungan Beda Tinggi

Beda tinggi adalah selisih ketinggian antara titik bidik belakang dan titik bidik muka. Nilai ini menjadi dasar dalam menentukan perubahan elevasi. Beda tinggi dirumuskan sebagai:

$$\Delta z = Bt \text{ belakang} - Bt \text{ muka} \quad (3.13)$$

dengan:

Δz = Beda tinggi titik bidik (m)

Bt = Benang tengah (m)

3.8.4 Perhitungan Elevasi Sementara

Elevasi sementara merupakan nilai ketinggian suatu titik hasil penambahan atau pengurangan beda tinggi terhadap elevasi titik sebelumnya. Nilai ini bersifat sementara sebelum dilakukan koreksi. Elevasi acuan pada perhitungan ini diperoleh dari titik kontrol (*Benchmark*) dari data sekunder. Elevasi sementara dirumuskan sebagai:

$$Es = E0 + \Delta z \quad (3.14)$$

dengan:

Es = Elevasi sementara (m)

$E0$ = Elevasi awal (m)

Δz = Beda tinggi (m)

3.8.5 Perhitungan Koreksi

Koreksi adalah nilai penyesuaian yang diberikan pada hasil pengukuran untuk mengurangi pengaruh kesalahan kumulatif, sehingga data yang diperoleh lebih akurat. Koreksi dirumuskan sebagai:

$$K = \frac{D}{\sum D} (-\sum \Delta z) \quad (3.15)$$

dengan:

K = Koreksi (m)

D = Jarak antar titik (m)

$\sum D$ = Jarak keseluruhan (m)

$\sum \Delta z$ = Jumlah beda tinggi (m)

3.8.6 Perhitungan Beda Tinggi Terkoreksi

Beda tinggi setiap slag adalah perbedaan elevasi pada tiap segmen atau lintasan pengukuran yang dibatasi oleh dua titik bidik. Perhitungan ini digunakan untuk memantau konsistensi hasil. Beda tinggi setiap slag dirumuskan sebagai:

$$\Delta z_{koreksi} = K + \Delta z \quad (3.16)$$

dengan:

$\Delta z_{koreksi}$ = Beda tinggi terkoreksi (m)

K = Koreksi (m)

Δz = Beda tinggi (m)

3.8.7 Perhitungan Elevasi Terkoreksi

Elevasi terkoreksi merupakan elevasi akhir yang diperoleh setelah nilai koreksi diterapkan pada elevasi sementara. Nilai ini digunakan sebagai data resmi dalam analisis hidraulika saluran. Elevasi terkoreksi dirumuskan sebagai:

$$Et = Es + \Delta z_{koreksi} \quad (3.17)$$

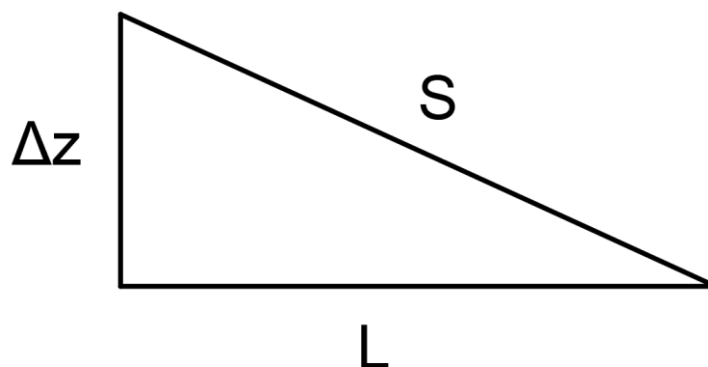
dengan:

Et = Elevasi terkoreksi (m)

Es = Elevasi sementara (m)

$\Delta z_{koreksi}$ = Beda tinggi terkoreksi (m)

Dengan diperolehnya nilai elevasi terkoreksi, maka selanjutnya kemiringan dasar saluran dapat dirumuskan seperti pada Gambar 3.2 sebagai berikut.



Gambar 3.2 Perhitungan Kemiringan

$$S = \frac{\Delta z}{L} \quad (3.18)$$

dengan:

S = Kemiringan dasar

Δz = Perubahan elevasi dasar saluran (m)

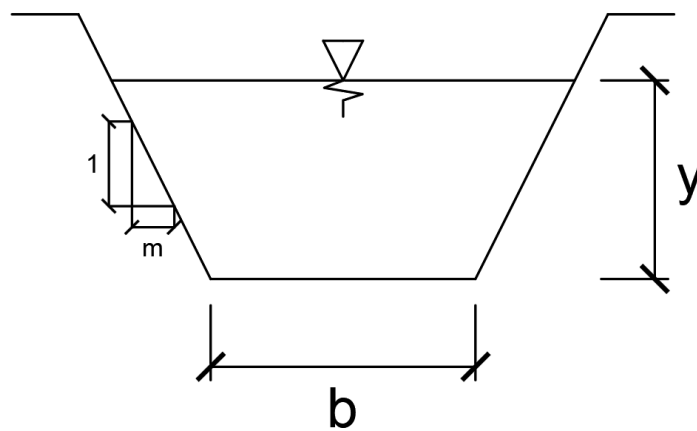
L = Panjang saluran (m)

Kemiringan dasar biasanya dinyatakan dalam bentuk desimal atau persen. Nilai kemiringan secara langsung mempengaruhi kecepatan aliran. Semakin besar kemiringan dasar, maka energi potensial air yang tersedia akan semakin besar, sehingga kecepatan aliran akan meningkat (Sogen & Harling, 2017). Namun, kemiringan yang terlalu curam dapat menyebabkan erosi pada dasar saluran, sedangkan kemiringan yang terlalu landai beresiko menimbulkan sedimentasi karena kecepatan aliran yang rendah.

3.9 Geometri/Penampang Saluran

Penampang saluran merupakan bagian melintang dari saluran terbuka yang sangat mempengaruhi karakteristik aliran seperti kecepatan, debit, dan gaya gesek (Syarif dkk., 2023). Bentuk penampang juga berpengaruh dalam menentukan efisiensi hidraulik suatu saluran karena masing-masing bentuk memiliki perbandingan antara luas penampang dan keliling basah tersendiri.

Saluran berbentuk trapesium adalah bentuk yang paling umum digunakan dalam sistem irigasi karena memiliki efisiensi hidraulik yang baik dan konstruksi yang relatif mudah. Luas penampang dan keliling basah dapat diatur dengan fleksibel sesuai kebutuhan debit. Selain itu bentuk trapesium adalah bentuk yang memiliki kestabilan terhadap erosi dan mudah dipelihara (Octaviani & Har, 2023). Adapun ilustrasi penampang trapesium dapat dilihat pada Gambar 3.3 sebagai berikut.



Gambar 3.3 Penampang Trapesium

Sehingga luas penampang basah dan keliling basah pada geometri saluran trapesium dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$A = (b + m \times y) \times y \quad (3.19)$$

$$P = b + 2 \times y \times \sqrt{1 + m^2} \quad (3.20)$$

dengan:

A = Luas penampang basah (m^2)

P = Keliling basah (m)

b = Lebar dasar saluran (m)

y = Kedalaman aliran (m)

m = Kemiringan sisi (m)

BAB IV

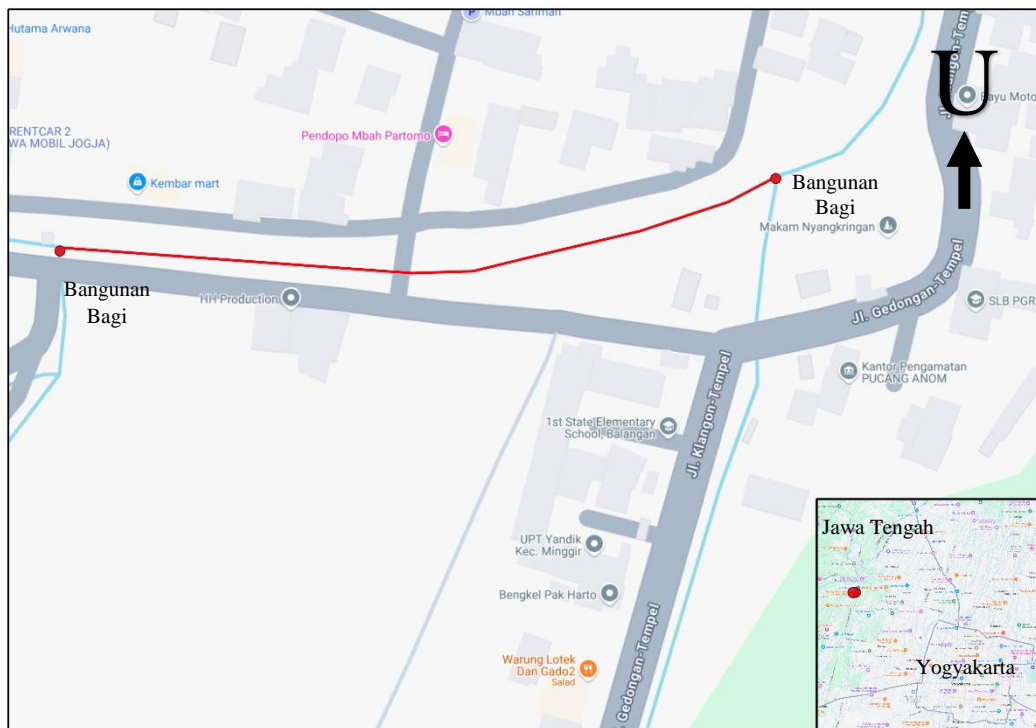
METODE PENELITIAN

4.1 Jenis Penelitian

Secara umum penelitian akademik dibagi menjadi dua jenis utama yaitu kuantitatif dan kualitatif. Penelitian yang dilakukan penulis tergolong penelitian kuantitatif yang menggunakan angka serta melibatkan perhitungan dan pengelolaan data lapangan dari setiap lokasi yang ditinjau (Syahrums & Salim, 2012).

4.2 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada pada saluran sekunder Sendang Pitu dari hulu saluran hingga bangunan bagi pertama. Adapun peta lokasi saluran Sendang Pitu dapat dilihat pada Gambar 4.1 sebagai berikut.



Gambar 4.1 Peta Lokasi Saluran Sendang Pitu

4.3 Alat dan Perangkat Lunak yang Digunakan

Dalam penelitian ini digunakan beberapa alat ukur lapangan untuk memperoleh data primer terkait geometri, kecepatan aliran, dan kemiringan dasar saluran. Selain itu sejumlah perangkat lunak juga digunakan sebagai pendukung dalam proses pengolahan data, pembuatan peta, serta visualisasi hasil analisis. Rician alat dan perangkat lunak yang digunakan dijelaskan sebagai berikut.

4.3.1 Alat Penelitian

1. Meteran

Meteran digunakan untuk melakukan pengukuran geometri saluran di lapangan, meliputi lebar dasar, kedalaman aliran, dan kemiringan sisi. Pada penelitian ini digunakan meteran merek MDN 7,5 m. Adapun gambar meteran yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.2 sebagai berikut.



Gambar 4.2 Meteran

2. *Current Meter*

Current meter digunakan untuk melakukan pengukuran kecepatan aliran pada titik-titik tertentu pada saluran. Data kecepatan aliran digunakan dalam perhitungan debit. Pada penelitian ini digunakan *current meter*

merek HYQUEST SOLUTIONS seri OSS-B1. Adapun gambar *current meter* yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.3 sebagai berikut.



Gambar 4.3 *Current Meter*

3. *Automatic Level (Waterpass)*

Automatic level waterpass digunakan untuk melakukan pengukuran perbedaan elevasi dasar saluran antar titik pengukuran. Data ini digunakan dalam penentuan kemiringan dasar saluran. Pada penelitian ini digunakan merek Sokkia seri WB8283 . Adapun gambar *Waterpass* yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.4 sebagai berikut.



Gambar 4.4 *Automatic Level Waterpass*

4.3.2 Perangkat Lunak

1. QGIS dan Google Earth

QGIS dan Google earth digunakan untuk menyusun peta lokasi penelitian serta menganalisis kondisi saluran dan lingkungannya secara spasial maupun visual berbasis citra satelit.

2. Microsoft Excel

Microsoft Excel digunakan sebagai alat bantu perhitungan dan pengolahan data, seperti perhitungan debit, kemiringan, dan parameter hidraulika lainnya.

3. AutoCAD 2D dan 3D

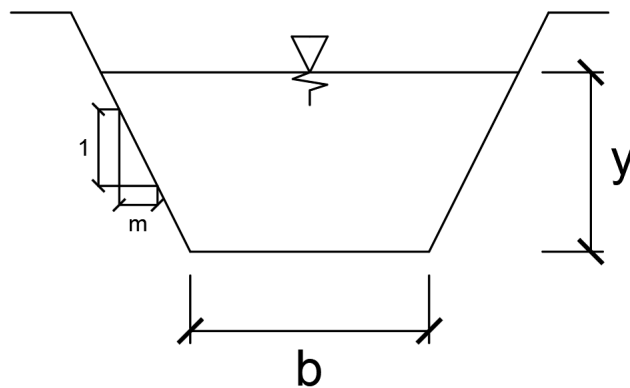
Autocad digunakan untuk membuat gambar teknis serta pemodelan sederhana geometri saluran. Selain itu, digunakan juga untuk memperkirakan kondisi lapangan secara visual guna mendukung proses perhitungan.

4.4 Pengumpulan Data

Data yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu data primer dan data sekunder. Data primer adalah data yang dikumpulkan secara langsung melalui penelitian di lapangan. Sedangkan data sekunder adalah data yang diperoleh melalui studi pustaka dan tersedia untuk umum. Adapun data yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

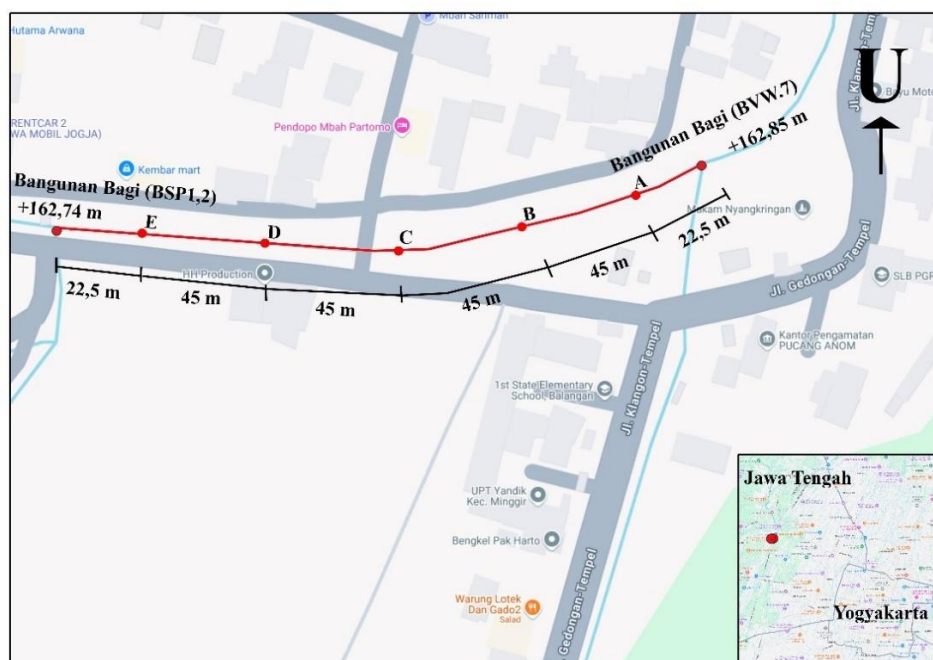
1. Data primer

- a. Geometri saluran yang didapat melalui pengukuran langsung di lapangan menggunakan alat meteran. Variabel yang diamati yaitu lebar dasar (b), kemiringan sisi (m), dan kedalaman aliran (y). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.5 sebagai berikut.



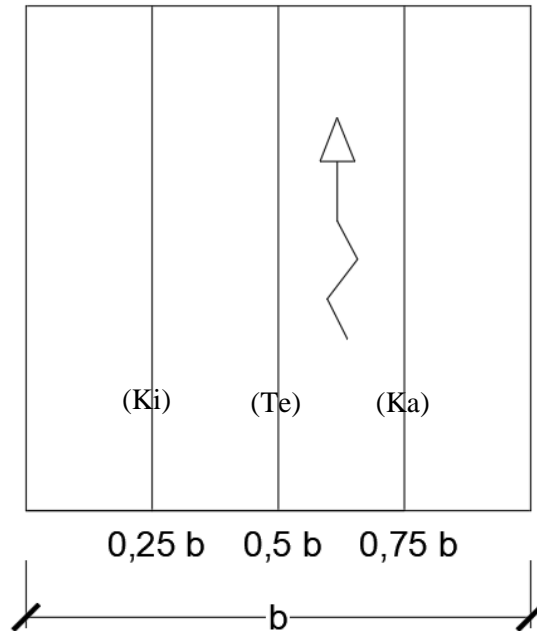
Gambar 4.5 Geometri Saluran

- b. Kecepatan aliran saluran yang didapat melalui pengukuran langsung di lapangan menggunakan alat *current meter*. Pengukuran longitudinal dilakukan di lima titik dari bangunan bagi di bagian hulu saluran hingga bangunan bagi pertama yakni $0,1L$, $0,3L$, $0,5L$, $0,7L$ dan $0,9L$ dimana L merupakan panjang keseluruhan saluran yang ditinjau sepanjang 225 m. Untuk memperjelas posisi dapat dilihat pada Gambar 4.6 sebagai berikut.



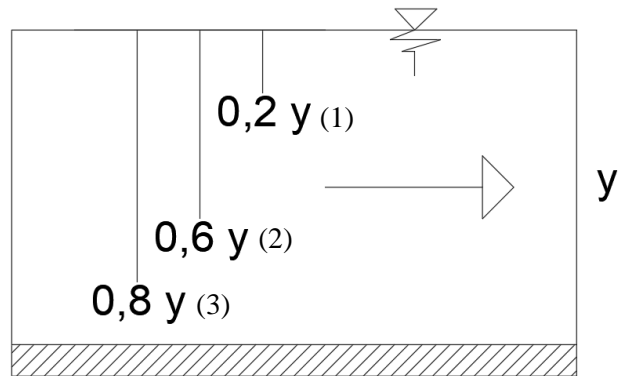
Gambar 4.6 Titik Pengambilan Searah Aliran

Pengukuran horizontal menggunakan tiga titik yaitu di $0,25b$, $0,5b$, dan $0,75b$ untuk memperjelas posisi dapat dilihat pada Gambar 4.7 sebagai berikut.



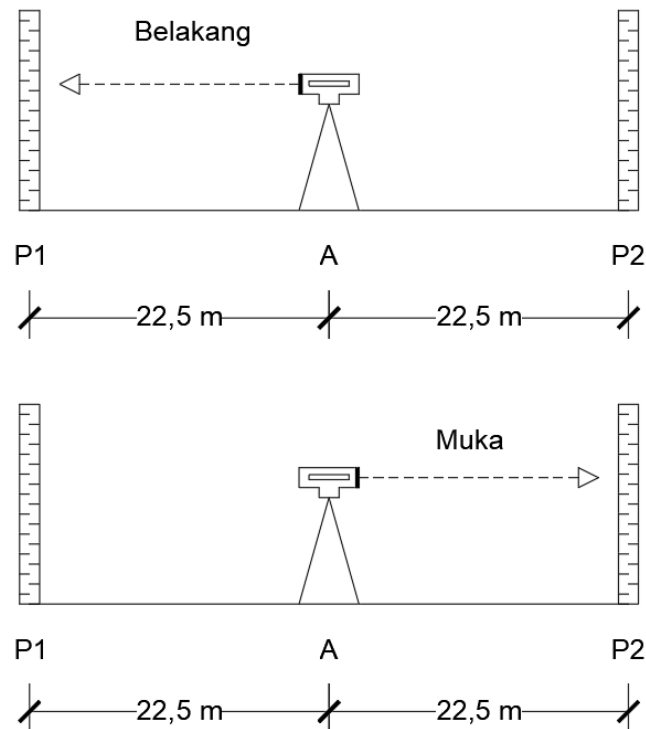
Gambar 4.7 Titik Pengambilan Tegak Lurus Terhadap Aliran

Pengukuran vertikal menggunakan metode tiga titik yaitu di $0,2y$, $0,6y$, dan $0,8y$. Meskipun kedalaman aliran pada lokasi penelitian hanya sekitar $0,6$ m, metode tiga titik tetap diterapkan dengan pertimbangan untuk memperoleh distribusi kecepatan vertikal yang lebih rinci dan hasil kecepatan rata-rata yang lebih akurat serta representatif terhadap kondisi aliran sebenarnya dibandingkan dengan metode satu titik atau dua titik, untuk memperjelas posisi dapat dilihat pada Gambar 4.8 sebagai berikut.



Gambar 4.8 Titik Pengambilan Vertikal

- c. Kemiringan saluran yang didapat melalui pengukuran langsung di lapangan menggunakan alat *automatic waterpass*. Titik-titik pengamatan diberi kode P1, P2, P3 dan seterusnya. P1 merupakan arah bidik belakang dari titik A, sedangkan P2 merupakan arah bidik muka dari titik A dengan jarak rambu sejauh 22,5 meter. Selanjutnya P2 menjadi arah bidik belakang dari titik B dan P3 merupakan arah bidik muka titik B, begitu pula seterusnya hingga titik akhir pengukuran. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.9 sebagai berikut.



Gambar 4.9 Posisi Rambu

2. Data sekunder

- a. Data geometrik saluran yang didapat dari Balai Besar Wilayah Sungai
- b. Data hidraulik saluran yang didapat dari Balai Besar Wilayah Sungai

4.5 Validasi Data

Validasi data lapangan dilakukan untuk memastikan bahwa data geometri saluran, kecepatan aliran, serta kemiringan saluran yang digunakan dalam analisis diperoleh secara akurat dan dapat dipertanggungjawabkan. Proses validasi dilakukan melalui pengecekan berulang dan kalibrasi alat.

Pada pengambilan data geometri saluran, pengukuran dilakukan sebanyak minimal dua kali pada titik yang sama untuk mengurangi potensi kesalahan pengamatan. Pengukuran menggunakan meteran yang telah dicek kelurusannya sebelum digunakan. Apabila terdapat selisih hasil pengukuran lebih dari toleransi yang diizinkan, maka pengukuran diulang hingga diperoleh nilai yang konsisten.

Pada pengukuran kecepatan aliran, alat yang digunakan adalah *current meter*. Validasi dilakukan dengan memastikan baling-baling berputar dengan stabil sebelum pencatatan dimulai dan melakukan pengukuran ulang sebelum melakukan pencatatan untuk menghindari kesalahan akibat fluktuasi aliran. Kecepatan akhir dihitung dari nilai rata-rata hasil pengukuran yang konsisten.

Pada pengukuran kemiringan saluran, validasi dilakukan dengan melakukan pengukuran ulang di titik yang sama sebanyak minimal dua kali sebelum melakukan pencatatan. Pengukuran juga dilakukan untuk perjalanan pergi dan pulang sehingga bisa dibandingkan hasilnya.

Melalui proses validasi ini, data lapangan yang diperoleh dapat dipastikan memiliki tingkat akurasi yang memadai dan layak digunakan dalam proses analisis nilai kekasaran saluran.

4.6 Analisis Data

Analisis data dilakukan untuk mengolah hasil pengukuran di lapangan menjadi parameter yang dibutuhkan dalam penelitian. Tahapan analisis yang dilakukan adalah sebagai berikut.

4.6.1 Analisis Data Geometri Saluran

Data dimensi saluran hasil pengukuran lapangan berupa lebar dasar (b), kemiringan sisi (m), dan kedalaman aliran (y) yang digunakan untuk menghitung luas penampang basah (A), keliling basah (P), dan jari-jari hidraulik (R). Perhitungan dilakukan dengan bantuan Microsoft Excel.

4.6.2 Analisis Kecepatan Aliran Rata-rata

Data kecepatan hasil pengukuran dengan *current meter* diolah untuk mendapatkan kecepatan rata-rata pada setiap penampang. Perhitungan dilakukan dengan bantuan Microsoft Excel.

4.6.3 Analisis Kemiringan Saluran

Kemiringan saluran pada saluran Sendang Pitu didapat melalui pengukuran menggunakan alat *automatic waterpass* dengan menghitung benang tengah (Bt), jarak antar arah bidik (D), beda tinggi (Δh), elevasi sementara (Es), koreksi (K),

beda tinggi terkoreksi ($\Delta z_{koreksi}$), dan elevasi terkoreksi (Et) sehingga dapat diketahui kemiringannya (S). Perhitungan dilakukan dengan bantuan Microsoft Excel.

4.6.4 Analisis Kapasitas dan Penurunan Efektivitas Saluran

Analisis dilakukan dengan menghitung kapasitas saluran tiap penampang (Q) lalu menghitung efektivitasnya (E) dengan membandingkan kapasitas aktual (Qa) dengan kapasitas rencana (Qr) kemudian menghitung penurunan efektivitasnya (ΔE) dengan mengurangi 100% dengan hasil efektivitas tiap penampangnya. Perhitungan dilakukan dengan dua pendekatan yaitu metode rata-rata dan metode minimum agar mendapatkan gambaran yang lebih komprehensif. Perhitungan dilakukan dengan bantuan Microsoft Excel.

4.6.5 Analisis Koefisien Manning

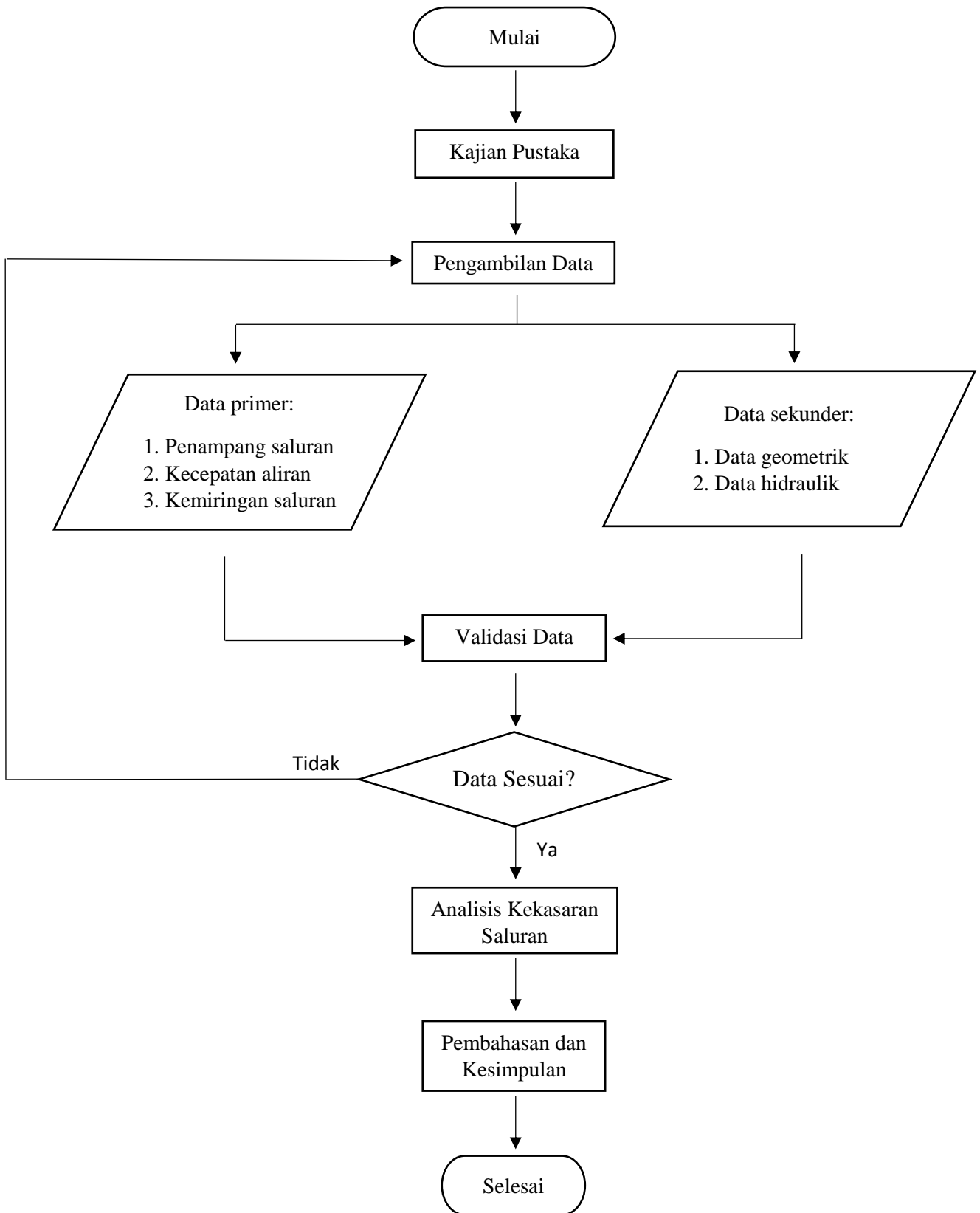
Analisis dilakukan dengan memasukkan data kecepatan aliran (V), jari-jari hidraulik (R), dan kemiringan saluran (S) yang sudah didapat dari pengukuran langsung di lapangan lalu dilanjut dengan menghitung koefisien dengan persamaan Manning. Perhitungan dilakukan dengan dua kemiringan yaitu kemiringan setiap titik dan kemiringan keseluruhan. Perhitungan dilakukan dengan bantuan Microsoft Excel.

4.6.6 Analisis Koefisien Chezy

Analisis dilakukan dengan memasukkan data kecepatan aliran (V), jari-jari hidraulik (R), dan kemiringan saluran (S) yang sudah didapat dari pengukuran langsung di lapangan lalu dilanjut dengan menghitung koefisien dengan persamaan Chezy. Perhitungan dilakukan dengan dua kemiringan yaitu kemiringan setiap titik dan kemiringan keseluruhan. Perhitungan dilakukan dengan bantuan Microsoft Excel.

4.7 Bagan Alir Tugas Akhir

Bagan alir atau *flowchart* adalah diagram yang digunakan untuk menggambarkan alur kerja, proses atau prosedur dalam bentuk grafis yang terhubung oleh garis atau panah. Bagan alir membantu dalam memahami suatu proses dengan lebih jelas dan sistematis. Adapun bagan alir analisis nilai kekasaran saluran Sendang Pitu dapat dilihat pada halaman selanjutnya.



BAB V

DATA, ANALISIS, DAN PEMBAHASAN

5.1 Data Lapangan

Pengumpulan data lapangan dilakukan di saluran sekunder Sendang Pitu yang berada di Kecamatan Minggir, Kabupaten Sleman. Tujuan pengumpulan data ini adalah untuk mengetahui kondisi eksisting saluran yang meliputi bentuk geometri, kecepatan aliran, dan kemiringan dasar saluran. Data yang diperoleh dari hasil pengukuran ini menjadi dasar untuk melakukan analisis hidraulik lebih lanjut, khususnya dalam menghitung kapasitas saluran dan menentukan nilai kekasaran hidraulik menggunakan persamaan Manning maupun Chezy.

Hasil pengukuran geometri saluran dilakukan dengan alat ukur sederhana seperti meteran. Dimensi yang diukur meliputi lebar dasar, kemiringan, dan kedalaman aliran. Dari hasil pengukuran diketahui lebar dasar saluran 5,5 m, kedalaman aliran rata-rata saat pengukuran adalah 0,6 m untuk variasi pintu terbuka penuh dan 0,58 untuk variasi pintu tertutup sebagian. Untuk lebih jelasnya hasil pengukuran geometri saluran dapat dilihat pada Tabel 5.1 dan 5.2 sebagai berikut.

Tabel 5.1 Hasil Pengukuran Geometri Saluran Variasi Pintu Terbuka Penuh

Titik	Kedalaman Air	Lebar Dasar Saluran	Horizontal	Vertikal	Kemiringan Sisi
A	0,65	5,50	1,00	1,25	0,80
B	0,66	5,50	1,00	1,28	0,78
C	0,56	5,50	1,00	1,17	0,85
D	0,58	5,50	1,00	1,00	1,00
E	0,56	5,50	1,00	1,00	1,00

Tabel 5.2 Hasil Pengukuran Geometri Saluran Pintu Tertutup Sebagian

Titik	Kedalaman Air	Lebar Dasar Saluran	Horizontal	Vertikal	Kemiringan Sisi
A	0,62	5,50	1,00	1,25	0,80
B	0,63	5,50	1,00	1,28	0,78
C	0,55	5,50	1,00	1,17	0,85
D	0,55	5,50	1,00	1,00	1,00
E	0,54	5,50	1,00	1,00	1,00

Selain geometri, kecepatan aliran juga diukur menggunakan *current meter*. Hasil pengukuran menunjukkan kecepatan rata-rata aliran adalah 0,48 m/s untuk variasi pintu terbuka penuh dan 0,42 untuk variasi pintu tertutup sebagian. Untuk lebih jelasnya hasil pengukuran kecepatan aliran dapat dilihat pada Tabel 5.3 dan 5.4 sebagai berikut. Kodefikasi yang digunakan pada Tabel 5.3 dan Tabel 5.4 merujuk pada penamaan titik pengambilan kecepatan aliran yang telah dijelaskan pada gambar di subbab 4.4.

Tabel 5.3 Hasil Pengukuran Kecepatan Aliran Variasi Pintu Terbuka Penuh

Kecepatan Aliran (V) [m/s]									
A1Ki	0,655	B1Ki	0,487	C1Ki	0,656	D1Ki	0,567	E1Ki	0,577
A2Ki	0,493	B2Ki	0,475	C2Ki	0,641	D2Ki	0,513	E2Ki	0,384
A3Ki	0,416	B3Ki	0,363	C3Ki	0,364	D3Ki	0,436	E3Ki	0,326
A1Te	0,688	B1Te	0,591	C1Te	0,555	D1Te	0,564	E1Te	0,577
A2Te	0,513	B2Te	0,586	C2Te	0,545	D2Te	0,513	E2Te	0,425
A3Te	0,432	B3Te	0,406	C3Te	0,427	D3Te	0,384	E3Te	0,384
A1Ka	0,608	B1Ka	0,577	C1Ka	0,452	D1Ka	0,567	E1Ka	0,513
A2Ka	0,491	B2Ka	0,513	C2Ka	0,347	D2Ka	0,513	E2Ka	0,384
A3Ka	0,413	B3Ka	0,384	C3Ka	0,277	D3Ka	0,352	E3Ka	0,355

Tabel 5.4 Hasil Pengukuran Kecepatan Aliran Pintu Tertutup Sebagian

Kecepatan Aliran (V) [m/s]									
A1Ki	0,555	B1Ki	0,425	C1Ki	0,545	D1Ki	0,513	E1Ki	0,477
A2Ki	0,384	B2Ki	0,386	C2Ki	0,513	D2Ki	0,437	E2Ki	0,313
A3Ki	0,327	B3Ki	0,282	C3Ki	0,313	D3Ki	0,384	E3Ki	0,298
A1Te	0,586	B1Te	0,513	C1Te	0,461	D1Te	0,513	E1Te	0,527
A2Te	0,406	B2Te	0,491	C2Te	0,427	D2Te	0,416	E2Te	0,359
A3Te	0,356	B3Te	0,327	C3Te	0,327	D3Te	0,326	E3Te	0,287
A1Ka	0,523	B1Ka	0,495	C1Ka	0,384	D1Ka	0,501	E1Ka	0,438
A2Ka	0,406	B2Ka	0,427	C2Ka	0,234	D2Ka	0,418	E2Ka	0,328
A3Ka	0,327	B3Ka	0,316	C3Ka	0,182	D3Ka	0,298	E3Ka	0,298

Kemiringan dasar saluran dihitung berdasarkan perbandingan antara selisih elevasi dasar saluran dengan panjang saluran. Untuk lebih jelasnya hasil pengukuran perbedaan elevasi dapat dilihat pada Tabel 5.5 sebagai berikut.

Tabel 5.5 Hasil Pembacaan Rambu Ukur

STA	Arah Bidik	Pembacaan Rambu			
		Benang Atas (Ba) [m]	Benang Tengah (Bt) [m]	Benang Bawah (Bb) [m]	
A	Pergi	P1	1,535	1,423	1,310
		P2	1,560	1,448	1,335
B		P2	1,480	1,368	1,255
		P3	1,460	1,348	1,235
C		P3	1,325	1,213	1,100
		P4	1,430	1,318	1,205
D		P4	1,485	1,373	1,260
		P5	1,515	1,405	1,295
E		P5	1,529	1,415	1,301
	P6	1,249	1,135	1,021	

Lanjutan Tabel 5.5 Hasil Pembacaan Rambu Ukur

STA	Arah Bidik		Pembacaan Rambu		
			Benang Atas (Ba) [m]	Benang Tengah (Bt) [m]	Benang Bawah (Bb) [m]
E	Pulang	P6	1,249	1,135	1,021
		P5	1,530	1,416	1,302
D		P5	1,455	1,328	1,200
		P4	1,425	1,329	1,232
C		P4	1,510	1,398	1,285
		P3	1,402	1,291	1,180
B		P3	1,485	1,374	1,262
		P2	1,512	1,399	1,285
A		P2	1,515	1,403	1,290
		P1	1,485	1,373	1,260

5.2 Perhitungan Parameter Hidraulik

Parameter hidraulik saluran diperlukan untuk mengetahui kapasitas aliran dan kondisi aktual saluran. Perhitungan dilakukan berdasarkan data geometri yang telah diperoleh di lapangan. Parameter yang dihitung meliputi luas penampang, keliling basah, dan jari-jari hidraulik. Nilai-nilai ini menjadi dasar dalam perhitungan lebih lanjut.

1. Luas Penampang Basah

Luas penampang basah adalah potongan melintang saluran yang ditempati air. Luas penampang basah dapat dihitung menggunakan persamaan 3.19. Berikut ini adalah contoh perhitungan di salah satu titik pengambilan.

$$A = (b + m \times y) \times y$$

$$A = (5,50 + 0,80 \times 0,65) \times 0,65$$

$$A = 3,91 \text{ m}^2$$

2. Keliling Basah

Keliling basah adalah panjang garis batas antara air dengan dinding atau dasar saluran. Keliling basah dapat dihitung menggunakan persamaan 3.20. Berikut ini adalah contoh perhitungan di salah satu titik pengambilan.

$$P = b + 2 \times y \times \sqrt{1 + m^2}$$

$$P = 5,50 + 2 \times 0,65 \times \sqrt{1 + 0,80^2}$$

$$P = 7,16 \text{ m}$$

3. Jari-jari Hidraulik

Jari-jari hidraulik adalah perbandingan antara luas penampang basah dengan keliling basah. Jari-jari hidraulik dapat dihitung menggunakan persamaan 3.10. Berikut ini adalah contoh perhitungan di salah satu titik pengambilan.

$$R = \frac{A}{P}$$

$$R = \frac{3,91}{7,16}$$

$$R = 0,55 \text{ m}$$

Berdasarkan tahapan perhitungan diatas, hasil lengkap perhitungan luas penampang, keliling basah, dan jari-jari hidraulik dari seluruh titik pengambilan dan seluruh variasi dapat dilihat pada Tabel 5.6 sebagai berikut.

Tabel 5.6 Hasil Perhitungan Parameter Hidraulik

Titik	Variasi	Luas Penampang (A) [m²]	Keliling Basah (P) [m]	Jari-jari Hidraulik (R) [m]
A	Terbuka Penuh	3,91	7,16	0,55
B		3,97	7,18	0,55
C		3,35	6,97	0,48
D		3,53	7,14	0,49
E		3,39	7,08	0,48

Lanjutan Tabel 5.6 Hasil Perhitungan Parameter Hidraulik

Titik	Variasi	Luas Penampang (<i>A</i>) [m²]	Keliling Basah (<i>P</i>) [m]	Jari-jari Hidraulik (<i>R</i>) [m]
A	Tertutup Sebagian	3,72	7,09	0,52
B		3,78	7,10	0,53
C		3,28	6,95	0,47
D		3,33	7,06	0,47
E		3,26	7,02	0,46

Berdasarkan Tabel 5.6, hasil perhitungan parameter hidraulik meliputi luas penampang aliran, keliling basah, dan jari-jari hidraulik pada setiap titik pengamatan menunjukkan adanya variasi antara kondisi pintu terbuka penuh dan tertutup sebagian. Pada kondisi pintu terbuka penuh, luas penampang berkisar antara 3,35-3,97 m², sedangkan pada kondisi tertutup sebagian, luas penampang sedikit menurun menjadi 3,26-3,78 m². Penurunan ini menunjukkan bahwa penyempitan bukaan pintu menyebabkan berkurangnya kedalaman sehingga luas penampang aliran ikut berkurang.

Nilai keliling basah pada kondisi terbuka penuh berkisar 6,97-7,18 m, sedangkan pada kondisi tertutup sebagian berkisar 6,95-7,10 m. Perbedaan nilai ini relatif kecil karena dimensi dasar saluran tidak berubah secara signifikan namun, perubahan kedalaman aliran sedikit mempengaruhi panjang keliling basah.

Sementara itu, jari-jari hidraulik menunjukkan kisaran 0,48-0,55 m untuk kondisi terbuka penuh dan 0,46-0,53 m untuk kondisi tertutup sebagian. Nilai jari-jari hidraulik yang lebih besar pada kondisi terbuka penuh menandakan efisiensi hidraulik yang lebih baik, karena proporsi luas penampang terhadap keliling basah lebih tinggi. Secara keseluruhan hasil ini menunjukkan adanya pengaruh langsung dari variasi bukaan pintu terhadap perubahan karakteristik parameter hidraulik pada saluran.

5.3 Perhitungan Kecepatan Aliran Rata-rata

Kecepatan aliran merupakan parameter penting dalam analisis hidraulik saluran terbuka. Nilai kecepatan berhubungan langsung dengan debit dan kapasitas saluran, sehingga pengukurannya di lapangan sangat menentukan akurasi perhitungan. Dalam penelitian ini, kecepatan aliran diukur menggunakan *current meter* pada beberapa titik penampang saluran, kemudian dihitung rata-ratanya untuk memperoleh kecepatan representatif. Kecepatan aliran rata-rata dapat dihitung menggunakan persamaan 3.9. Berikut ini adalah contoh perhitungan di salah satu titik penampang.

$$\bar{V} = \frac{\sum V_i}{n}$$

$$\bar{V} = \frac{0,655 + 0,493 + 0,416 + 0,688 + 0,513 + 0,432 + 0,608 + 0,491 + 0,413}{9}$$

$$\bar{V} = 0,523 \text{ m/s}$$

Berdasarkan tahapan perhitungan diatas, hasil lengkap perhitungan kecepatan rata-rata dari seluruh titik pengambilan dan seluruh variasi dapat dilihat pada Tabel 5.7 sebagai berikut.

Tabel 5.7 Hasil Perhitungan Kecepatan Aliran Rata-rata

Titik	Variasi	Kecepatan Aliran Rata-rata (\bar{V}) [m/s]
A	Terbuka Penuh	0,523
B		0,487
C		0,474
D		0,490
E		0,436
A	Tertutup Sebagian	0,430
B		0,407
C		0,367
D		0,423
E		0,369

Berdasarkan Tabel 5.7, hasil perhitungan menunjukkan bahwa kecepatan aliran rata-rata pada kondisi pintu terbuka penuh berkisar antara 0,436-0,523 m/s, dengan nilai rata-rata sebesar 0,481 m/s. Sementara itu, pada kondisi pintu tertutup sebagian, kecepatan aliran berada pada kisaran 0,367-0,430 m/s, dengan rata-rata sebesar 0,401 m/s.

5.4 Perhitungan Kemiringan Saluran

Kemiringan dasar saluran merupakan parameter penting yang menentukan energi potensial aliran. Nilai ini diperoleh dari hasil pengukuran beda elevasi dasar saluran dibagi panjang saluran. Pengukuran elevasi dilakukan menggunakan *waterpass* pada titik awal dan akhir saluran penelitian. Untuk memperoleh nilai kemiringan dasar saluran yang akurat, diperlukan serangkaian tahapan perhitungan yang sistematis. Tahapan ini meliputi perhitungan benang tengah, jarak antar arah bidik, serta beda tinggi yang diperoleh dari hasil pengukuran lapangan. Selanjutnya, dilakukan penentuan elevasi sementara, koreksi pengukuran, hingga diperoleh nilai beda tinggi dan elevasi yang telah terkoreksi. Secara rinci tahapan perhitungan kemiringan saluran dalam penelitian ini dijabarkan sebagai berikut.

5.4.1 Perhitungan Benang Tengah

Benang tengah merupakan nilai rata-rata bacaan benang atas dengan benang bawah pada alat ukur *waterpass*. Benang tengah dihitung menggunakan persamaan 3.11. Berikut ini adalah contoh perhitungan di salah satu titik pengambilan.

$$Bt = \frac{(Ba + Bb)}{2}$$

$$Bt = \frac{(1,535 + 1,310)}{2}$$

$$Bt = 1,423 \text{ m}$$

Berdasarkan tahapan perhitungan diatas, hasil lengkap perhitungan benang tengah dari seluruh titik pengambilan dapat dilihat pada Tabel 5.8 sebagai berikut.

Tabel 5.8 Hasil Perhitungan Benang Tengah

STA	Arah Bidik	Benang Tengah (<i>Bt</i>) [m]		
A	Pergi	P1	1,423	
		P2	1,448	
B		P2	1,368	
		P3	1,348	
C		P3	1,213	
		P4	1,318	
D		P4	1,373	
		P5	1,405	
E		P5	1,415	
		P6	1,135	
E		Pulang	P6	1,135
			P5	1,416
D	P5		1,328	
	P4		1,329	
C	P4		1,398	
	P3		1,291	
B	P3		1,374	
	P2		1,399	
A	P2		1,403	
	P1		1,373	

Tabel 5.8 menunjukkan hasil perhitungan benang tengah dari pembacaan rambu ukur menggunakan *waterpass* pada setiap titik pengukuran. Dari tabel terlihat bahwa setiap titik memiliki dua kali pembacaan, yaitu saat pengukuran pergi dan saat pengukuran pulang. Hal ini dilakukan untuk meminimalkan kesalahan sistematis alat serta meningkatkan akurasi data. Nilai benang tengah pada masing-masing titik relatif konsisten antara pembacaan pergi dan pulang, sehingga

dapat digunakan sebagai dasar untuk perhitungan beda tinggi dan elevasi pada tahap berikutnya

5.4.2 Perhitungan Jarak Antar Arah Bidik

Jarak antar arah bidik adalah panjang lintasan horizontal yang dihitung berdasarkan bacaan benang atas dan benang bawah. Jarak antar arah bidik dihitung menggunakan persamaan 3.12. Berikut ini adalah contoh perhitungan di salah satu titik pengambilan.

$$D = 100((Ba \text{ belakang} - Bb \text{ belakang}) + (Ba \text{ muka} - Bb \text{ muka}))$$

$$D = 100((1,535 - 1,310) + (1,560 - 1,335))$$

$$D = 45 \text{ m}$$

Berdasarkan tahapan perhitungan diatas, hasil lengkap perhitungan jarak dari seluruh titik pengambilan dapat dilihat pada Tabel 5.9 sebagai berikut.

Tabel 5.9 Hasil Perhitungan Jarak Antar Arah Bidik

STA	Arah Bidik	Jarak (D) [m]
A	Pergi	P1
		P2
B		P2
		P3
C		P3
		P4
D	P4	
	P5	
E	P5	
	P6	

Lanjutan Tabel 5.9 Hasil Perhitungan Jarak Antar Arah Bidik

STA	Arah Bidik	Jarak (<i>D</i>) [m]
E	Pulang	P6
		P5
D		P5
		P4
C		P4
		P3
B		P3
		P2
A		P2
		P1
$\Sigma =$		450,2

Tabel 5.9 menunjukkan hasil perhitungan antar titik pengamatan dengan menggunakan pembacaan benang atas dan bawah pada *waterpass*. Secara teoritis, setiap jarak antar titik pengukuran direncanakan sama yaitu 45 meter, sehingga total panjang lintasan pengukuran seharusnya tepat 450 meter. Namun, hasil pengukuran menunjukkan adanya variasi jarak. Akibatnya jumlah total jarak yang diperoleh adalah 450,2 m.

Perbedaan ini muncul karena adanya faktor ketelitian lapangan, seperti keterbatasan posisi berdirinya rambu ukur, kondisi medan yang tidak rata, serta kemungkinan kesalahan pembacaan benang atas dan bawah. Selain itu, faktor keterbatasan pandangan optik *waterpass* juga dapat mempengaruhi akurasi pembacaan jarak. Meskipun terdapat variasi kecil sekitar 0,2 m dari panjang rencana hasil masih dapat diterima, karena berada dalam batas toleransi pengukuran lapangan yaitu 0,1% . Dengan demikian data jarak ini tetap layak digunakan sebagai dasar untuk perhitungan beda tinggi dan elevasi pada tahap selanjutnya.

5.4.3 Perhitungan Beda Tinggi

Beda tinggi adalah selisih ketinggian antara titik bidik belakang dan titik bidik muka. Nilai ini menjadi dasar dalam menentukan perubahan elevasi. Beda tinggi dihitung menggunakan persamaan 3.13. Berikut ini adalah contoh perhitungan di salah satu titik pengambilan.

$$\Delta z = Bt \text{ belakang} - Bt \text{ muka}$$

$$\Delta z = 1,423 - 1,448$$

$$\Delta z = -0,025 \text{ m}$$

Berdasarkan tahapan perhitungan diatas, hasil lengkap perhitungan beda tinggi dari seluruh titik pengambilan dapat dilihat pada Tabel 5.10 sebagai berikut.

Tabel 5.10 Hasil Perhitungan Beda Tinggi

STA	Arah Bidik		Beda Tinggi (Δz) [m]	
A	Pergi	P1	-0,025	-0,423
		P2		
B		P2	0,020	
		P3		
C		P3	-0,105	
		P4		
D		P4	-0,032	
		P5		
E		P5	-0,280	
		P6		

Lanjutan Tabel 5.10 Hasil Perhitungan Beda Tinggi

STA	Arah Bidik	Beda Tinggi (Δz) [m]
E	Pulang	P6
		P5
D		P5
		P4
C		P4
		P3
B		P3
		P2
A		P2
		P1
$\sum \Delta h =$		-0,593

Tabel 5.10 menunjukkan hasil perhitungan beda tinggi pada setiap titik pengamatan arah pergi dan pulang. Nilai beda tinggi diperoleh dari selisih bacaan benang tengah belakang dan benang tengah muka, sehingga tanda negatif menunjukkan bahwa titik yang diamati lebih rendah dibandingkan titik acuan sebelumnya. Dari hasil pengukuran arah pergi, total beda tinggi yang diperoleh adalah -0,423 m, sedangkan pada arah pulang diperoleh -0,171 m. Jumlah keseluruhan beda tinggi dari kedua arah adalah -0,593 m, yang menunjukkan bahwa secara umum elevasi titik akhir lebih rendah dibanding titik awal. Data ini selanjutnya akan digunakan untuk perhitungan koreksi elevasi agar diperoleh nilai elevasi terkoreksi yang lebih akurat.

5.4.4 Perhitungan Elevasi Sementara

Elevasi sementara merupakan nilai ketinggian suatu titik hasil penambahan atau pengurangan beda tinggi terhadap elevasi titik sebelumnya. Elevasi Sementara dihitung menggunakan persamaan 3.14. Berikut ini adalah contoh perhitungan di salah satu titik pengambilan.

$$Es = E0 + \Delta h$$

$$Es = 162,85 + (-0,025)$$

$$Es = 162,825 \text{ m}$$

Berdasarkan tahapan perhitungan diatas, hasil lengkap perhitungan elevasi sementara dari seluruh titik pengambilan dapat dilihat pada Tabel 5.11 sebagai berikut.

Tabel 5.11 Hasil Perhitungan Elevasi Sementara

STA	Arah Bidik	Elevasi (<i>Es</i>) [m]	
A	Pergi	P1	162,850
		P2	162,825
B		P2	
C		P3	162,845
		P3	
D		P4	162,740
		P4	
E		P5	162,708
		P5	
E		P6	162,428
	P6		
D	Pulang	P5	162,147
		P5	
C		P4	162,146
		P4	
B		P3	162,252
		P3	
A		P2	162,227
		P2	
A	P1	162,257	

Tabel 5.11 menunjukkan hasil perhitungan elevasi sementara dari pengukuran *waterpass* arah pergi dan arah pulang. Pada arah pergi, pengukuran dimulai dari STA A dengan elevasi awal 162,850 m lalu dilanjutkan ke titik B, C, D, hingga titik E dengan elevasi 162,428 m. Selanjutnya pada arah pulang pengukuran dilakukan dari titik E kembali menuju titik A.

5.4.5 Perhitungan Koreksi

Koreksi adalah nilai penyesuaian yang diberikan pada hasil pengukuran untuk mengurangi pengaruh kesalahan kumulatif, sehingga data yang diperoleh lebih akurat. Koreksi dihitung menggunakan persamaan 3.15. Berikut ini adalah contoh perhitungan di salah satu titik pengambilan.

$$K = \frac{D}{\sum D} (-\sum \Delta h)$$

$$K = \frac{45}{450,2} (-(-0,593))$$

$$K = 0,05927 \text{ m}$$

Berdasarkan tahapan perhitungan diatas, hasil lengkap perhitungan koreksi dari seluruh titik pengambilan dapat dilihat pada Tabel 5.12 sebagai berikut.

Tabel 5.12 Hasil Perhitungan Koreksi

STA	Arah Bidik	Koreksi (K) [m]
A	Pergi	P1
		P2
B		P2
		P3
C		P3
		P4
D	P4	
	P5	
E	P5	
	P6	

Lanjutan Tabel 5.12 Hasil Perhitungan Koreksi

STA	Arah Bidik	Koreksi (K) [m]
E	P6	0,06006
	P5	
D	P5	0,05901
	P4	
C	P4	0,05888
	P3	
B	P3	0,05927
	P2	
A	P2	0,05927
	P1	
$\Sigma K =$		0.593

Tabel 5.12 menunjukkan hasil distribusi koreksi pada setiap titik bidikan untuk arah pergi dan arah pulang. Nilai koreksi yang diberikan pada setiap titik relatif kecil, berkisar antara 0,058 hingga 0,060 m. jika dijumlahkan, total koreksi yang diperoleh adalah 0,593 m dan nilai ini sesuai dengan besar selisih penutupan beda tinggi yang sebelumnya diperoleh yaitu -0,593 m. Kesesuaian antara total koreksi dan total beda tinggi ini menandakan bahwa kesalahan yang muncul pada pengukuran sementara telah penuh di kompensasi melalui proses distribusi koreksi.

5.4.6 Perhitungan Beda Tinggi Terkoreksi

Beda tinggi setiap slag adalah perbedaan elevasi pada tiap segmen atau lintasan pengukuran yang dibatasi oleh dua titik bidik. Beda tinggi terkoreksi dihitung menggunakan persamaan 3.16. Berikut ini adalah contoh perhitungan di salah satu titik pengambilan.

$$\Delta z_{koreksi} = K + \Delta z$$

$$\Delta z_{koreksi} = 0,05927 + (-0,025)$$

$$\Delta z_{koreksi} = 0,034 \text{ m}$$

Berdasarkan tahapan perhitungan diatas, hasil lengkap perhitungan beda tinggi terkoreksi dari seluruh titik pengambilan dapat dilihat pada Tabel 5.13 sebagai berikut.

Tabel 5.13 Hasil Perhitungan Beda Tinggi Terkoreksi

STA	Arah Bidik		Beda Tinggi Terkoreksi ($\Delta z_{koreksi}$) [m]
A	Pergi	P1	0,034
		P2	
B		P2	0,079
		P3	
C		P3	-0,046
		P4	
D		P4	0,026
		P5	
E		P5	-0,220
		P6	
E	Pulang	P6	-0,221
		P5	
D		P5	0,058
		P4	
C		P4	0,165
		P3	
B		P3	0,034
		P2	
A		P2	0,089
		P1	
$\sum \Delta z_{koreksi} =$			0,000

Tabel 5.13 menunjukkan hasil perhitungan beda tinggi terkoreksi untuk setiap titik bidik baik arah pergi maupun pulang. Nilai beda tinggi terkoreksi yang muncul merupakan hasil penyesuaian dari beda tinggi sementara dengan koreksi yang sudah didistribusikan sesuai panjang lintasan. Terlihat bahwa besaran beda tinggi terkoreksi bervariasi tergantung pada arah tinggi yang terjadi di lapangan. Namun, ketika seluruh beda tinggi terkoreksi di jumlahkan hasilnya adalah 0,000 m.

Jumlah tersebut harus bernilai nol karena prinsip dasar pengukuran *waterpass* adalah sebagai pengendalian kesalahan. Dengan kata lain, setelah seluruh koreksi didistribusikan, tidak boleh ada selisih antara titik awal dan titik akhir pengukuran. Kondisi ini menunjukkan bahwa data hasil *waterpass* dapat diterima dan memenuhi syarat ketelitian.

5.4.7 Perhitungan Elevasi Terkoreksi

Elevasi terkoreksi merupakan elevasi akhir yang diperoleh setelah nilai koreksi diterapkan pada elevasi sementara. Elevasi terkoreksi dihitung menggunakan persamaan 3.17. Berikut ini adalah contoh perhitungan di salah satu titik pengambilan.

$$Et = Es + \Delta z_{koreksi}$$

$$Et = 162,850 + 0,034$$

$$Et = 162,884 \text{ m}$$

Berdasarkan tahapan perhitungan diatas, hasil lengkap perhitungan elevasi terkoreksi dari seluruh titik pengambilan dapat dilihat pada Tabel 5.14 sebagai berikut.

Tabel 5.14 Hasil Perhitungan Elevasi Terkoreksi

STA	Arah Bidik	Elevasi Terkoreksi (<i>Et</i>) [m]	
A	Pergi	P1	162,850
		P2	162,884
B		P2	
C		P3	162,964
		P3	
D		P4	162,918
		P4	
E		P5	162,944
		P5	
E		P6	162,724
	P6		
D	Pulang	P5	162,503
		P5	
C		P4	162,561
		P4	
B		P3	162,726
		P3	
A		P2	162,761
		P2	
	P1	162,850	

Tabel 5.14 menunjukkan hasil perhitungan elevasi terkoreksi pada setiap titik pengamatan untuk arah pergi dan arah pulang. Nilai elevasi yang ditampilkan sudah melalui proses distribusi koreksi terhadap kesalahan penutupan, sehingga elevasi yang diperoleh dapat dianggap lebih akurat dibandingkan elevasi sementara. Dari tersebut terlihat bahwa elevasi bertambah atau berkurang secara logis mengikuti

beda tinggi antar titik dan pada akhirnya kembali ke nilai awal seperti yang dapat dilihat pada STA A pada arah pergi dan pulang bernilai sama yaitu 162,850 m.

Konsistensi ini menunjukkan bahwa koreksi telah berhasil menghilangkan selisih atau kesalahan penutupan. Dalam pengukuran *waterpass* pergi pulang titik awal dan titik akhir harus menghasilkan nilai elevasi yang sama setelah koreksi. Jika STA A pergi dan STA A pulang berbeda maka artinya masih terdapat kesalahan yang belum diperbaiki dan hasil pengukuran tidak bisa dinyatakan benar. Dengan demikian, kesamaan elevasi STA A pergi dan STA A pulang menjadi indikator bahwa proses distribusi koreksi sudah dilakukan dengan tepat dan hasil elevasi terkoreksi dapat digunakan sebagai dasar perhitungan lebih lanjut.

Berdasarkan tahapan perhitungan yang telah dilakukan, mulai dari penentuan elevasi sementara, distribusi koreksi, hingga diperoleh nilai elevasi terkoreksi pada setiap titik pengukuran, maka data tersebut siap digunakan untuk analisis lanjutan. Tahapan selanjutnya adalah menghitung kemiringan dasar saluran, yang ditentukan dari selisih elevasi terkoreksi antara titik awal dan titik akhir saluran dibagi dengan panjang lintasan saluran. Kemiringan dasar saluran dapat dihitung menggunakan persamaan 3.15. Adapun tahapan perhitungan kemiringan saluran dalam penelitian ini dijabarkan sebagai berikut.

$$S = \frac{\Delta h}{L}$$

$$S = \frac{162,850 - 162,724}{225}$$

$$S = 0,00056$$

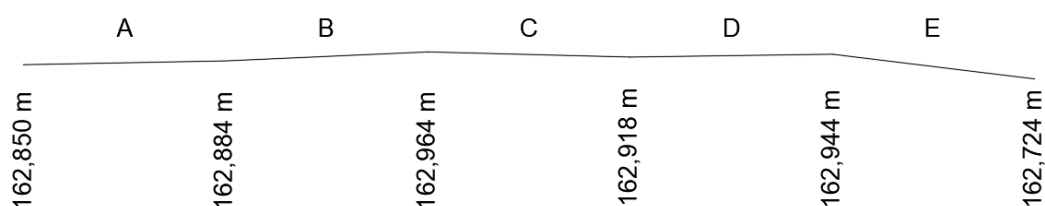
Berdasarkan perhitungan diatas, dapat disimpulkan bahwa saluran pada lintasan penelitian memiliki kemiringan sebesar 0,00056 dengan arah menurun dari STA A menuju STA E.

Selain perhitungan kemiringan dasar saluran secara keseluruhan dari STA A hingga STA E yang menghasilkan kemiringan rata-rata sebesar 0,00056, dilakukan juga analisis kemiringan saluran tiap titik pengamatan. Nilai kemiringan tiap titik tersebut ditampilkan pada Tabel 5.15 sebagai berikut.

Tabel 5.15 Hasil Perhitungan Kemiringan Tiap Titik

Titik	Kemiringan Saluran (S)
A	-0,000761637
B	-0,001761637
C	0,001016141
D	-0,000580335
E	0,004887467

Berdasarkan Tabel 5.15 hasil perhitungan kemiringan saluran pada setiap titik menunjukkan adanya variasi nilai yang mencerminkan kondisi topografi dan karakteristik saluran yang tidak seragam. Titik A, B, dan D memiliki nilai kemiringan negatif yang menunjukkan adanya kecenderungan elevasi meningkat terhadap arah aliran atau ketidakteraturan permukaan dasar saluran, kemungkinan akibat faktor sedimentasi atau ketidaktepatan pengukuran elevasi. Sementara itu titik C dan E memiliki nilai kemiringan positif yang menandakan bahwa aliran pada segmen tersebut menurun. Untuk memperjelas hasil perhitungan kemiringan dasar saluran pada tiap titik pengamatan, disajikan gambar profil memanjang saluran yang menggambarkan perubahan elevasi dasar saluran dari titik A hingga titik E yang dapat dilihat pada Gambar 5.1 sebagai berikut.

**Gambar 5.1 Kemiringan Saluran Setiap Titik**

Pada Gambar 5.1, skala sumbu vertikal diperbesar 25 kali terhadap skala horizontal. Pembesaran skala vertikal ini dilakukan untuk memperjelas perubahan elevasi dasar saluran dan kecenderungan kemiringan antar titik pengamatan.

5.5 Perhitungan Penurunan Efektivitas Kapasitas Saluran

Penurunan efektivitas kapasitas saluran menunjukkan sejauh mana kemampuan saluran dalam mengalirkan debit air telah menurun dibandingkan dengan kondisi rencana awal. Penurunan ini dapat disebabkan oleh perubahan kondisi fisik saluran seperti sedimentasi, pertumbuhan vegetasi atau kerusakan konstruksi yang mempengaruhi luas penampang dan kecepatan aliran. Nilai kapasitas saluran dihitung menggunakan persamaan 3.6. Berikut ini adalah contoh perhitungan di salah satu titik penampang.

$$Q = A \times V$$

$$Q = 3,91 \times 0,523$$

$$Q = 2,047 \text{ m}^3/\text{s}$$

Setelah kapasitas pada masing-masing diperoleh, dilakukan perhitungan efektivitas kapasitas saluran untuk menunjukkan tingkat kinerja saluran terhadap kapasitas rencananya. Adapun nilai kapasitas rencana diperoleh dari hasil perkalian antara kecepatan aliran yang bersumber dari data sekunder dengan luas penampang basah, dimana kedalaman aliran yang digunakan dalam perhitungan disesuaikan dengan kedalaman aktual pada kondisi lapangan. Nilai efektivitas kapasitas saluran dihitung menggunakan persamaan 3.7. Berikut ini adalah contoh perhitungan di salah satu titik penampang.

$$E = \frac{Q \text{ aktual}}{Q \text{ rencana}} \times 100\%$$

$$E = \frac{2,047}{2,778} \times 100\%$$

$$E = 73,69\%$$

Nilai efektivitas menunjukkan seberapa besar persentase kemampuan saluran saat ini dibandingkan dengan kondisi idealnya. Semakin kecil efektivitasnya semakin besar penurunan kemampuan saluran untuk menyalurkan debit sesuai rencana. Langkah selanjutnya adalah menentukan penurunan efektivitas kapasitas saluran yang menunjukkan besarnya penurunan kinerja saluran dalam bentuk persentase. Nilai penurunan efektivitas saluran dihitung menggunakan persamaan 3.8. Berikut ini adalah contoh perhitungan di salah satu titik penampang.

$$\Delta E = 100\% - E$$

$$\Delta E = 100\% - 73,69\%$$

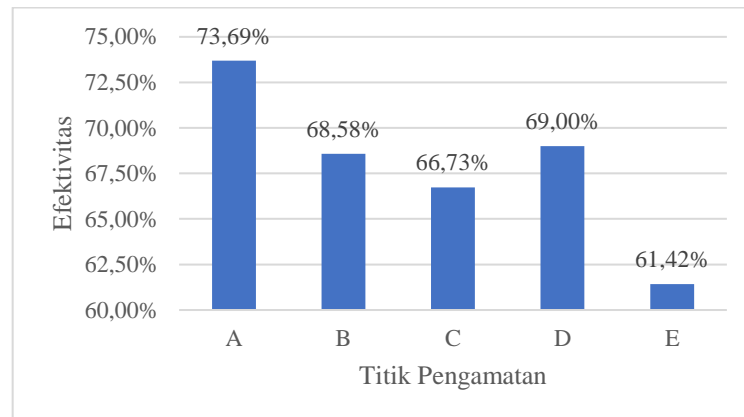
$$\Delta E = 26,31\%$$

Berdasarkan perhitungan diatas, hasil lengkap perhitungan kapasitas saluran, efektivitas kapasitas saluran, dan penurunan efektivitas kapasitas saluran untuk setiap penampang dapat dilihat pada Tabel 5.16 sebagai berikut.

Tabel 5.16 Hasil Perhitungan Penurunan Efektivitas Kapasitas Saluran

Titik	Kapasitas Aktual (Qa) [m³/s]	Kapasitas Rencana (Qr) [m³/s]	Efektivitas (E) [%]	Penurunan Efektivitas (ΔE) [%]
A	2,047	2,778	73,69%	26,31%
B	1,933	2,819	68,58%	31,42%
C	1,586	2,377	66,73%	33,27%
D	1,728	2,504	69,00%	31,00%
E	1,480	2,409	61,42%	38,58%
Rata-rata			67,88%	32,12%
Minimum			61,42%	26,31%

Berdasarkan Tabel 5.16, nilai efektivitas kapasitas saluran pada setiap titik berkisar antara 61,42% hingga 73,69% dengan rata-rata sebesar 67,88%. Sedangkan, penurunan efektivitas kapasitas saluran pada setiap titik berkisar antara 26,31% hingga 38,58% dengan rata-rata sebesar 32,12%. Untuk memperjelas variasi nilai efektivitas kapasitas saluran pada setiap titik pengamatan, disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.2 sebagai berikut.



Gambar 5.2 Grafik Efektivitas Saluran

Dari Gambar 5.2 dapat diinterpretasikan bahwa kondisi eksisting saluran sudah mengalami degradasi kinerja dibandingkan dengan kapasitas rencananya.

5.6 Analisis Kekasaran dengan Persamaan Manning

Koefisien kekasaran saluran merupakan parameter penting dalam analisis hidraulika yang menggambarkan tingkat kekasaran permukaan saluran terhadap aliran air. Nilai ini dipengaruhi oleh kondisi permukaan dasar saluran, bentuk penampang, vegetasi, endapan, dan kondisi fisik dinding saluran. Semakin besar nilai koefisien kekasaran, semakin besar pula tahanan aliran yang terjadi, sehingga kecepatan aliran menjadi lebih kecil. Koefisien kekasaran Manning dapat dihitung menggunakan persamaan 3.2. Berikut ini adalah contoh perhitungan di salah satu titik penampang.

$$n = \frac{R^{2/3} \times S^{1/2}}{V}$$

$$n = \frac{0,55^{2/3} \times 0,00076^{1/2}}{0,523}$$

$$n = 0,035$$

Berdasarkan perhitungan diatas, hasil lengkap perhitungan koefisien kekasaran Manning untuk setiap penampang dan setiap variasi dapat dilihat pada Tabel 5.17 sebagai berikut.

Tabel 5.17 Hasil Perhitungan Koefisien Kekasaran Manning (n)

Titik	Kemiringan	n	
		Terbuka penuh	Tertutup sebagian
A	Setiap titik	0,035	0,042
B		0,058	0,068
C		0,041	0,051
D		0,031	0,035
E		0,098	0,113
A	Kemiringan keseluruhan	0,030	0,036
B		0,033	0,038
C		0,031	0,038
D		0,030	0,034
E		0,033	0,038

Berdasarkan Tabel 5.17, perhitungan koefisien kekasaran Manning dilakukan untuk dua kondisi bukaan pintu yaitu pintu terbuka penuh dan pintu tertutup sebagian, dengan dua metode analisis kemiringan saluran yaitu kemiringan tiap titik dan kemiringan keseluruhan.

Berdasarkan pendekatan kemiringan setiap titik, nilai n pada kondisi pintu terbuka penuh berkisar antara 0,031-0,098, sedangkan pada kondisi tertutup sebagian berkisar antara 0,035-0,113. Sementara itu, berdasarkan pendekatan kemiringan keseluruhan, nilai n pada kondisi pintu terbuka penuh berkisar antara 0,030-0,033, sedangkan pada kondisi tertutup sebagian berkisar antara 0,034-0,038. Hasil ini menandakan bahwa pendekatan kemiringan memberikan hasil yang lebih stabil dan representatif terhadap kondisi hidraulik saluran secara umum.

5.7 Analisis Kekasaran dengan Persamaan Chezy

Koefisien Chezy merupakan parameter penting dalam analisis hidraulika yang menggambarkan hubungan antara kecepatan aliran, kekasaran saluran, serta kemiringan pada saluran terbuka. Nilai koefisien Chezy menunjukkan tingkat

efisiensi aliran air di dalam saluran, dimana semakin besar koefisien Chezy, maka semakin lancar aliran dan semakin kecil hambatan yang terjadi. Koefisien Chezy dapat dihitung menggunakan persamaan 3.4. Berikut ini adalah contoh perhitungan di salah satu titik penampang.

$$C = \frac{1}{n} \times R^{1/6}$$

$$C = \frac{1}{0,035} \times 0,55^{1/6}$$

$$C = 26$$

Berdasarkan perhitungan diatas, hasil lengkap perhitungan koefisien Chezy untuk setiap penampang dan setiap variasi dapat dilihat pada Tabel 5.18 sebagai berikut.

Tabel 5.18 Hasil Perhitungan Koefisien Chezy

Titik	Kemiringan	C	
		Terbuka penuh	Tertutup sebagian
A	Setiap titik	26	22
B		16	13
C		21	17
D		29	26
E		9	8
A	Kemiringan keseluruhan	30	25
B		28	24
C		29	23
D		29	26
E		27	23

Berdasarkan Tabel 5.18, perhitungan koefisien Chezy dilakukan untuk dua kondisi bukaan pintu yaitu pintu terbuka penuh dan pintu tertutup sebagian, dengan

dua metode analisis kemiringan saluran yaitu kemiringan tiap titik dan kemiringan keseluruhan.

Berdasarkan pendekatan kemiringan setiap titik, nilai C pada kondisi pintu terbuka penuh berkisar antara 9-29, sedangkan pada kondisi pintu tertutup sebagian berkisar antara 8-26. Sementara itu, berdasarkan pendekatan kemiringan keseluruhan, nilai C relatif stabil dibandingkan pendekatan kemiringan setiap titik. Untuk kondisi pintu terbuka penuh berkisar antara 27-30, sedangkan untuk pintu tertutup sebagian berkisar antara 23-26. Hasil ini menunjukkan bahwa pendekatan kemiringan keseluruhan memberikan nilai C yang lebih seragam dan merepresentasikan kondisi hidraulik saluran secara umum.

5.8 Pembahasan

Pembahasan pada bagian ini menjelaskan hasil analisis dan pengukuran yang telah dilakukan pada saluran Sendang Pitu dengan dua kondisi pengoperasian pintu air, yaitu pintu terbuka penuh dan tertutup sebagian. Pembahasan mengaitkan kondisi geometri aktual, pengukuran kecepatan, estimasi nilai kekasaran (n dan C), perbandingan hasil dengan penelitian terdahulu, serta implikasinya terhadap kapasitas dan efektivitas saluran.

Pengujian dua kondisi pintu ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh bukaan pintu terhadap karakteristik aliran, terutama terhadap perubahan kecepatan, debit, dan nilai kekasaran hidraulik.

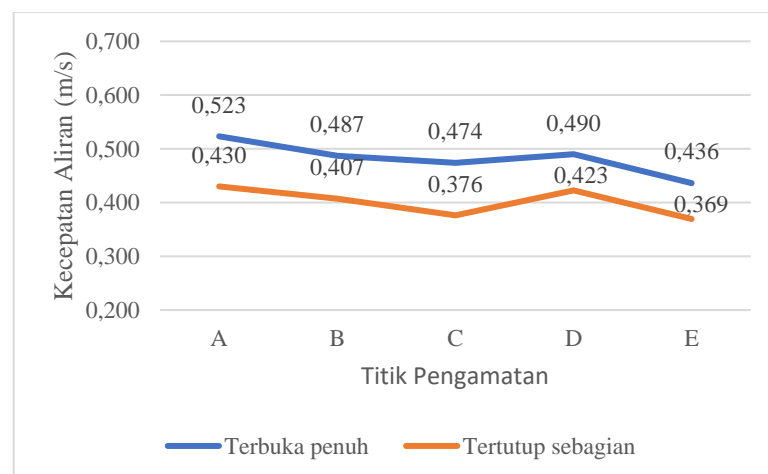
5.8.1 Kondisi Geometri Saluran

Berdasarkan Tabel 5.6 jika dibandingkan antara dua variasi, terlihat bahwa nilai rata-rata jari-jari hidraulik pada kondisi pintu terbuka penuh lebih besar dibandingkan kondisi tertutup sebagian. Dapat diartikan bahwa pintu terbuka penuh menghasilkan aliran yang lebih efisien dengan kehilangan energi akibat gesekan yang lebih kecil. Sebaliknya, kondisi pintu tertutup sebagian menimbulkan peningkatan hambatan aliran sehingga efisiensi hidraulik menurun. Fenomena ini sejalan dengan teori hidraulika saluran terbuka, dimana perubahan geometri penampang akan mempengaruhi jari-jari hidraulik dan kehilangan energi (Chow, 1959). Dengan demikian, hasil perhitungan ini mendukung pemahaman bahwa

bukaan pintu berpengaruh langsung terhadap efisiensi aliran dan distribusi energi di dalam saluran.

5.8.2 Kecepatan Aliran

Berdasarkan Tabel 5.3 dan Tabel 5.4, secara teoritis distribusi kecepatan dalam saluran terbuka. Kecepatan maksimum biasanya terjadi di bagian tengah saluran dan sedikit di bawah permukaan air. Hal ini disebabkan oleh gaya gesek dinding dan dasar saluran yang menahan aliran di lapisan bawah dan samping saluran, sementara lapisan permukaan mengalami hambatan dari gesekan dengan udara (Triatmodjo, 2014). Kondisi pengukuran di lapangan yang menunjukkan kecepatan terbesar di bagian tengah dan dekat permukaan air mengindikasikan bahwa pola aliran yang terjadi di saluran Sendang Pitu konsisten dengan teori aliran saluran terbuka. Dengan demikian, distribusi kecepatan yang diperoleh dari hasil pengamatan sesuai dengan pola kecepatan teoritis. Untuk melihat pola perubahan kecepatan aliran pada setiap titik pengamatan, grafik kecepatan aliran rata-rata ditampilkan pada Gambar 5.3 sebagai berikut.



Gambar 5.3 Grafik Kecepatan Aliran Rata-rata

Berdasarkan Gambar 5.3, pola kecepatan aliran yang tidak selalu menurun dari titik A hingga E dapat dijelaskan oleh kondisi fisik saluran yang berbeda-beda pada setiap lokasi pengamatan. Variasi kondisi dasar dan dinding saluran seperti adanya bagian yang bersih, tertutup sedimentasi, ditumbuhi vegetasi, maupun

kerusakan pada sisi saluran dapat meningkatkan atau menurunkan gaya gesek lokal yang bekerja pada aliran. Perbedaan hambatan inilah yang menyebabkan kecepatan aliran mengalami fluktuasi antar titik sehingga nilai kecepatan tidak sepenuhnya mengikuti tren penurunan menuju hilir. Untuk mendukung penjelasan mengenai fluktuasi kecepatan aliran tersebut, kondisi fisik dasar dan dinding saluran pada setiap titik pengamatan ditampilkan pada gambar sebagai berikut. Garis merah yang ditampilkan menunjukkan lokasi penampang yang diamati.



Gambar 5.4 Dasar Saluran Penampang A

Gambar 5.4 menunjukkan kondisi dasar saluran yang tampak dalam keadaan bersih tanpa adanya tumpukan sedimen. Selain itu, tidak ditemukan pertumbuhan vegetasi air yang dapat menambah kekasaran lokal. Dinding saluran juga tampak dalam kondisi baik, tidak menunjukkan kerusakan struktural yang signifikan. Kondisi fisik yang relatif bersih ini berkontribusi pada rendahnya gaya gesek lokal sehingga kecepatan aliran pada titik ini cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan titik yang lain.



Gambar 5.5 Dasar Saluran Penampang B

Gambar 5.5 menunjukkan kondisi dasar saluran yang tampak dalam keadaan cukup kotor. Terdapat beberapa benda mengganggu, tumpukan sedimen dan batu yang meningkatkan gaya gesek lokal. Dinding saluran terlihat dalam kondisi yang cukup baik, tidak menunjukkan kerusakan struktural yang signifikan. Kondisi fisik yang cukup kotor ini berkontribusi pada meningkatnya gaya gesek lokal sehingga kecepatan aliran pada titik ini cenderung lebih rendah dibandingkan dengan titik sebelumnya.



Gambar 5.6 Dasar Saluran Penampang C

Gambar 5.6 menunjukkan kondisi dasar saluran yang tampak dalam keadaan cukup kotor. Terdapat tumpukan sedimen dan batu yang meningkatkan gaya gesek lokal. Dinding saluran terlihat dalam kondisi yang cukup baik, tidak menunjukkan

kerusakan struktural yang signifikan. Kondisi fisik yang cukup kotor ini berkontribusi pada meningkatnya gaya gesek lokal sehingga kecepatan aliran pada titik ini cenderung lebih rendah dibandingkan dengan titik sebelumnya.



Gambar 5.7 Dasar Saluran Penampang D

Gambar 5.7 menunjukkan kondisi dasar saluran yang tampak dalam keadaan cukup bersih. Terdapat beberapa benda mengganggu yang sedikit meningkatkan gaya gesek lokal. Dinding saluran terlihat dalam kondisi yang cukup baik, tidak menunjukkan kerusakan struktural yang signifikan. Kondisi fisik yang cukup bersih ini berkontribusi pada menurunnya gaya gesek lokal sehingga kecepatan aliran pada titik ini sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan titik sebelumnya.

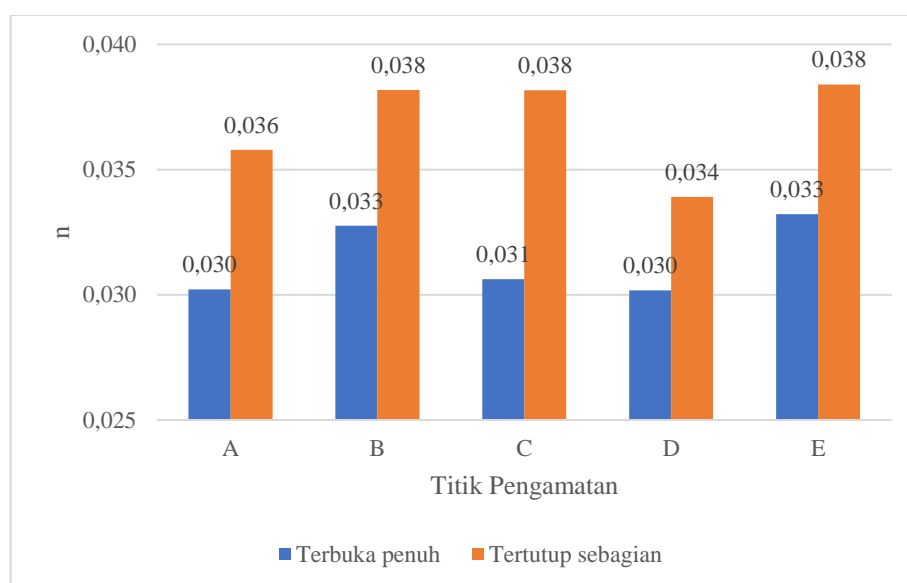


Gambar 5.8 Dasar Saluran Penampang E

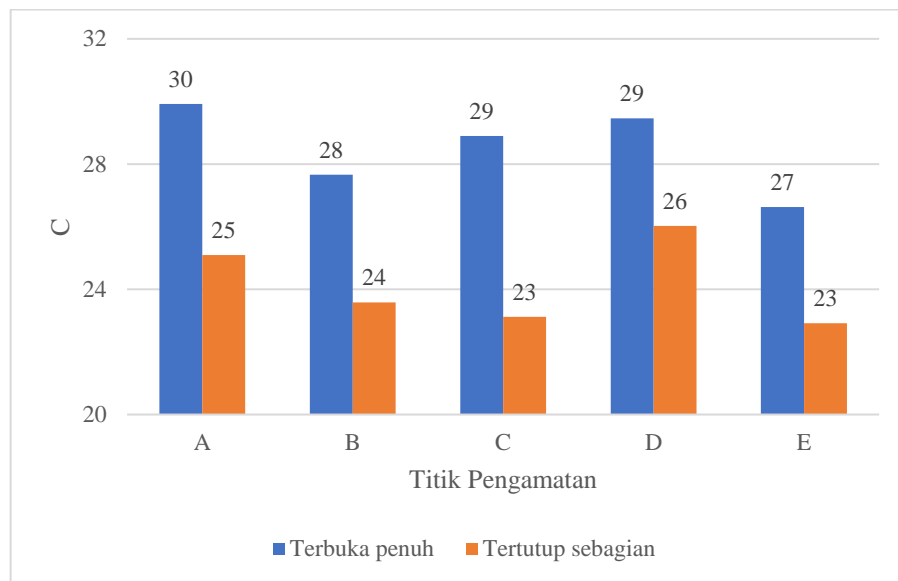
Gambar 5.8 menunjukkan kondisi dasar saluran yang tampak dalam keadaan kotor. Terdapat beberapa benda mengganggu, tumpukan sedimen dan batu yang meningkatkan gaya gesek lokal. Dinding saluran terlihat dalam kondisi yang cukup buruk. Kondisi fisik yang cukup kotor ini berkontribusi pada meningkatnya gaya gesek lokal sehingga kecepatan aliran pada titik ini paling rendah dibandingkan dengan titik yang lain.

5.8.3 Nilai Kekasaran Berdasarkan Persamaan Manning dan Chezy

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 5.17 dan Tabel 5.18, dapat dilihat bahwa nilai koefisien kekasaran Manning dan koefisien Chezy menunjukkan pola saling berhubungan antara kedua variasi kondisi bukaan pintu. Nilai kekasaran Manning cenderung lebih besar pada kondisi pintu tertutup sebagian dibandingkan pada kondisi pintu terbuka penuh. Sebaliknya, nilai koefisien Chezy justru lebih kecil pada kondisi pintu tertutup sebagian. Untuk memperjelas hubungan antara nilai koefisien kekasaran Manning dan koefisien Chezy dapat dilihat pada Gambar 5.9 dan Gambar 5.10 sebagai berikut.



Gambar 5.9 Grafik Koefisien Kekasaran Manning



Gambar 5.10 Grafik Koefisien Chezy

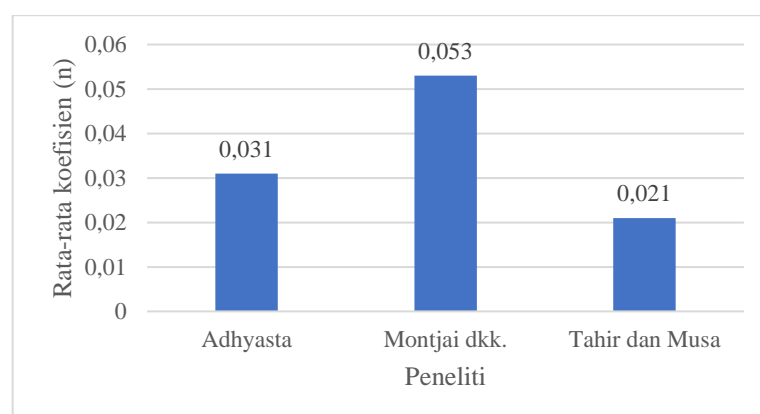
Berdasarkan Gambar 5.9 dan Gambar 5.10 dapat disimpulkan bahwa penutupan sebagian pintu meningkatkan nilai kekasaran hidraulik (n) dan menurunkan nilai efisiensi aliran (C). Hal ini sesuai dengan prinsip dasar hidraulika saluran terbuka, dimana semakin besar kekasaran permukaan aliran, maka semakin kecil kemampuan aliran dalam mempertahankan kecepatannya (Chow, 1959). Secara umum, hasil ini menunjukkan konsistensi dengan teori Manning dan Chezy serta menggambarkan bahwa perubahan kondisi bukaan pintu memberikan pengaruh nyata terhadap kekasaran dan efisiensi aliran saluran.

5.8.4 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Hasil perhitungan koefisien kekasaran Manning dan Chezy pada penelitian ini menunjukkan nilai yang bervariasi, dengan n berkisar antara 0,030-0,033 pada kondisi terbuka penuh dan 0,034-0,038 pada kondisi tertutup sebagian, sedangkan nilai C berkisar antara 27-30 pada kondisi terbuka penuh dan 23-25 pada kondisi tertutup sebagian. Jika dibandingkan dengan penelitian terdahulu, hasil penelitian ini menunjukkan konsistensi pola bahwa peningkatan hambatan fisik di saluran akan memperbesar nilai n dan menurunkan nilai C .

Montjai dkk. (2015) yang meneliti Sungai Sario memperoleh nilai n antara 0,049-0,060. Nilai ini mendekati kisaran nilai pada titik A, B, C, D dan E dalam

penelitian ini. Penelitian Tahir dan Musa (2020) di daerah irigasi Wawotobi didapat nilai n untuk saluran pasangan batu sebesar 0,021. Nilai tersebut lebih rendah dibandingkan hasil penelitian ini yang menunjukkan kisaran 0,030-0,038. Perbedaan ini menunjukkan bahwa saluran pada penelitian ini memiliki kondisi fisik yang lebih kasar dan kurang terpelihara dibandingkan saluran pada penelitian Tahir dan Musa (2020). Perbandingan dengan penelitian terdahulu menunjukkan bahwa saluran irigasi di wilayah penelitian memiliki koefisien kekasaran Manning yang relatif lebih tinggi dan efisiensi aliran yang relatif lebih rendah dibandingkan beberapa penelitian terdahulu, terutama pada saluran yang terpelihara dengan baik. Untuk memperjelas perbandingan nilai kekasaran hasil penelitian ini dengan penelitian sebelumnya, dapat dilihat pada Gambar 5.11 sebagai berikut.



Gambar 5.11 Grafik Perbandingan dengan Peneliti Terdahulu

Berdasarkan perbandingan dengan tabel koefisien kekasaran Manning menurut Chow (1959), nilai koefisien kekasaran Manning (n) hasil penelitian ini pada kisaran 0,030-0,038 menunjukkan nilai yang melebihi rentang nilai yang direkomendasikan untuk saluran pasangan batu berplester semen. Chow (1959) menyatakan bahwa nilai n untuk saluran berlapis dengan kondisi terpelihara umumnya berkisar antara 0,011-0,014. Nilai n yang melebihi rentang tersebut mengindikasikan bahwa kondisi fisik saluran pada lokasi penelitian mengalami tingkat kekasaran yang lebih tinggi dibandingkan kondisi saluran yang diklasifikasikan dalam tabel Chow (1959). Hal ini dipengaruhi oleh keberadaan

vegetasi, endapan sedimen, serta kerusakan atau ketidakteraturan permukaan saluran yang signifikan.

Selanjutnya, nilai koefisien Chezy (C) yang diperoleh pada penelitian ini berkisar antara 23-30, yang relatif lebih rendah dibandingkan nilai C pada tabel nilai C menurut J. Warmink dkk. (2007). Nilai C yang rendah ini konsisten dengan tingginya nilai n yang diperoleh, sesuai dengan hubungan terbalik antara koefisien Manning dan Chezy. Dengan demikian, meskipun sebagian nilai koefisien kekasaran Manning pada penelitian ini berada di luar rentang tabel Chow (1959), hasil tersebut masih dapat diterima secara hidraulik karena mencerminkan kondisi aktual saluran di lapangan yang memiliki hambatan aliran tinggi. Temuan ini menunjukkan bahwa tabel Chow (1959) berfungsi sebagai acuan kondisi ideal, sedangkan kondisi saluran di lapangan dapat menunjukkan nilai kekasaran yang lebih besar akibat faktor lingkungan dan operasional.

5.8.5 Perbandingan Efektivitas Kapasitas Saluran dengan Kapasitas Rencana

Tabel 5.16 menunjukkan bahwa kapasitas aktual rata-rata adalah $1,75 \text{ m}^3/\text{s}$, sedangkan kapasitas rencana rata-rata adalah $2,58 \text{ m}^3/\text{s}$. ini menghasilkan efektivitas rata-rata sekitar 67,88%, yang artinya kapasitas aktual hanya dua pertiga dari kapasitas desain sehingga diperlukan pemeliharaan (Marhendi & Kusuma Ningsih, 2020). Penurunan ini berkaitan erat dengan nilai kekasaran yang meningkat dan adanya sedimen.

Rekomendasi operasional berdasarkan temuan ini adalah menjadwalkan pembersihan sedimen secara berkala untuk menurunkan n dan mempertimbangkan membuka pintu lebih besar agar saluran mempertahankan kapasitas. Bila penutupan sebagian diperlukan, kombinasikan dengan program pemeliharaan yang lebih intensif supaya penurunan kapasitas keseluruhan tidak kumulatif sehingga mendekati kapasitas rencana.

BAB VI

KESIMPULAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengukuran dan analisis yang telah dilakukan pada saluran Sendang Pitu, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Kondisi geometri saluran Sendang Pitu memiliki lebar dasar rata-rata 5,5 m, kedalaman saluran rata-rata 1,2 m, dan kedalaman air rata-rata 0,6 m. Bentuk penampang adalah trapesium dengan material pasangan batu berplester semen. Secara umum, kondisi fisik saluran tergolong cukup baik dan sesuai untuk fungsi irigasi.
2. Kecepatan aliran hasil pengukuran menggunakan *current meter* menunjukkan nilai rata-rata sebesar 0,48 m/s pada kondisi pintu terbuka penuh dan 0,40 m/s pada kondisi pintu tertutup sebagian.
3. Nilai kekasaran saluran hasil perhitungan menggunakan persamaan Manning pada kondisi pintu terbuka penuh berkisar antara 0,031-0,098 untuk pendekatan kemiringan pertitik, dan 0,030-0,033 untuk pendekatan kemiringan keseluruhan. Sementara pada pintu tertutup sebagian berkisar 0,035-0,113 untuk pendekatan kemiringan pertitik, dan 0,034-0,038 untuk pendekatan kemiringan keseluruhan. Berdasarkan persamaan Chezy pada kondisi pintu terbuka penuh berkisar 9-29 untuk pendekatan kemiringan pertitik, dan 27-30 untuk pendekatan kemiringan keseluruhan. Sementara pada pintu tertutup sebagian berkisar 8-26 untuk pendekatan kemiringan pertitik, dan 23-26 untuk pendekatan kemiringan keseluruhan.
4. Perbandingan nilai kekasaran Manning dan koefisien Chezy hasil analisis dengan nilai standar literatur menunjukkan bahwa koefisien kekasaran Manning lebih besar dan koefisien Chezy lebih kecil dibandingkan dengan kisaran nilai standar untuk saluran pasangan batu berplester semen ($n = 0,025-0,040$ dan $C = 20-40$). Perbedaan ini mengindikasikan bahwa kondisi

eksisting saluran Sendang Pitu telah mengalami peningkatan kekasaran akibat pertumbuhan vegetasi, endapan sedimen, atau kerusakan saluran yang menyebabkan tambahan hambatan aliran.

5. Efektivitas kapasitas saluran Sendang Pitu berdasarkan hasil perhitungan diperoleh rata-rata sebesar 67,88% yang menunjukkan kinerja saluran tergolong kurang efektif. Kondisi ini menandakan adanya penurunan kemampuan saluran dalam menyalurkan debit yang kemungkinan disebabkan oleh peningkatan kekasaran akibat vegetasi, endapan sedimen maupun kerusakan saluran. Oleh karena itu, diperlukan tindakan pemeliharaan agar kapasitas saluran dapat kembali mendekati kondisi rencana.

6.2 Saran

Adapun saran dari peneliti sebagai penyempurnaan dan perbaikan untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut.

1. Berdasarkan hasil penelitian, nilai efektivitas kapasitas saluran yang hanya mencapai 67,88% menunjukkan perlunya pemeliharaan rutin, seperti pembersihan vegetasi, pengerukan sedimen dan perbaikan dinding saluran agar kondisi saluran kembali mendekati kapasitas rencana.
2. Disarankan agar penelitian mendatang membandingkan beberapa metode empiris lain, seperti Darcy-Weisbach atau Strickler guna memperluas basis referensi penentuan kekasaran saluran.

DAFTAR PUSTAKA

- Agoes, H. F., Hayati, F., & Saputra, I. (2023). Kajian Koefisien Kekasaran Saluran Sekunder Irigasi Unit Tanipah Barito Kuala Kalimantan Selatan. *Jurnal Gradasi Teknik Sipil*, 7(2), 222–228. <https://doi.org/10.31961/gradasi.v7i2.2221>
- Arfaah, S., Hidayat, R., & Cahyono, I. (2024). Analisa Angka Koefisien Kekasaran Manning Pada Saluran Terbuka Akibat Vegetasi. *Nucleus Journal*, 3(V), 47–56.
- Aribawa, F. S. (2003). *Pengaruh Kehilangan Energi akibat Saluran Terbuka dalam Media Prototipe dengan Kemiringan Bersudut Studi Lapangan di Saluran Irigasi Dam Bago di Kecamatan Balung Desa Mlokorejo*. 2003.
- Barid, B., & Yacob, M. (2007). Perubahan Kecepatan Aliran Sungai Akibat Perubahan Pelurusan Sungai. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknik*, 10(1), 14–20.
- Chow, V. T. (1959). *Open-Channel Hydraulics*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Harseno, E., & Jonas, S. V. . (2007). Studi Eksperimental Aliran Berubah Beraturan Pada Saluran Terbuka Bentuk Prismatis. *Majalah Ilmiah UKRIm*, 2(12), 1–26.
- Hidayatullah, R. A., Ziana, & Shaskia, N. (2021). Peninjauan Nilai Efisiensi Saluran Sekunder Reuleut pada Daerah Jaringan Irigasi Krueng Tuan. *Journal of The Civil Engineering Student*, 3(2), 197–203. <https://doi.org/10.24815/journalces.v3i2.12523>
- Kencanawati, M., Mustakim, H., & Ramdhan, M. (2016). Analisis Sistem Distribusi Air Bersih Berdasarkan Parameter Debit Dan Tekanan Air (Studi Kasus Perumahan Nusantara Lestari Km. 8 Balikpapan). *Jurnal TRANSUKMA*, 2(1), 1–6.
- Marhendi, T., & Kusuma Ningsih, O. (2020). Efektivitas Operasional Pintu Air Saluran Sekunder Daerah Irigasi Kedung Limus. *CIVeng: Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 1(1), 23–38.

<http://jurnalnasional.ump.ac.id?index.php/civeng>

- Montjai, A. A., Rombang, J. A., & Kalangi, J. I. (2015). Analisis Koefisien Kekasaran Sungai di Sungai Sario dengan Persamaan Manning. *Cocos*, 6(12), 1–9.
- Nuri, Z., Kartini, & Gunarto, D. (2020). Analisa Koefisien Kekasaran Sungai di Parit Nanas Pontianak Utara. *Jurnal PWK, Laut, Sipil, Tambang*, 7(1), 1–7.
- Octaviani, H., & Har, R. (2023). Kajian Teknis Sistem Mine Dewatering dalam Upaya Penanganan Genangan Air Di Area Penambangan Pada Tambang Emas Bawah Tanah Level 7 Di Kabupaten Pesisir Selatan, Provinsi Sumatera Barat. *Jurnal Geosains dan Teknologi*, 6(2), 134–144. <https://doi.org/10.14710/jgt.6.2.2023.134-144>
- Qalzum, U., Musa, R., & Ashad, H. (2020). Analisis Kalibrasi Koefisien Manning pada Saluran Tanah dan Pasangan Batu Saluran Sekunder Belawa Daerah Irigasi Saddang Kabupaten Sidrap. *Jurnal Teknik Sipil MACCA*, 5(3), 267–274. <https://doi.org/10.33096/jtسم.v5i3.204>
- Rahmasari, Putri, A., Ali, M. Y., & Kuba, M. S. (2024). Studi Karakteristik Aliran melalui Bangunan Hidraulis dengan Bentuk yang Berbeda. *Arus Jurnal Sains dan Teknologi*, 2(1), 171–177.
- Salah Abd Elmoaty, M., & T. A, E. S. (2020). Manning roughness coefficient in vegetated open channels. In *Water Science* (Vol. 34, Nomor 1, hal. 121–128). <https://doi.org/10.1080/11104929.2020.1794706>
- Sanusi, W., & Pratiwi, V. (2022). Evaluasi Koefisien Manning Pada Berbagai Tipe Dasar Saluran. *CRANE: Civil Engineering Research Journal*, 3(1), 1–4. <https://doi.org/10.34010/crane.v3i1.7131>
- Sogen, M. D. T., & Harling, V. N. Van. (2017). Studi Perencanaan Pembangunan Pltmh Di Kampung Sasnek Distrik Sawiat Kabupaten Sorong Selatan Provinsi Papua Barat. *Electro Luceat*, 3(1), 32. <https://doi.org/10.32531/jelek.v3i1.63>
- Sri Martini, R., Bahri, Z., & Miranda, A. T. (2020). Pengaruh Debit Aliran Terhadap Sedimentasi Di Sungai Lematang Kabupaten Lahat. *Bearing: Jurnal Penelitian dan Kajian Teknik Sipil*, 6(3), 188–193. <https://doi.org/10.32502/jbearing.2841202063>

- Syahrum, & Salim. (2012). *Metodologi Penelitian Kuantitatif* (hal. 1–173).
- Syarif, M., Yusuf, A. R., & Badrun, B. (2023). Analisis Kecepatan Aliran Pada Penampang Saluran Segi Empat Dan Trapesium Di Saluran Induk Bantimurung Kabupaten Maros. *Jurnal Penelitian Teknik Sipil Konsolidasi*, 1(2), 107–111. <https://doi.org/10.56326/jptsk.v1i2.3025>
- Tahir, M., & Musa, R. (2020). Kajian Koefisien Kekasaran Manning (n) Pasangan Batu dan Beton Berdasarkan Kuantifikasi Kekasaran Hidrolis (Studi Kasus Daerah Irigasi Wawotobi Kab. Konawe Sultra). *Jurnal Teknik Sipil MACCA*, 5(2), 118–132. <https://doi.org/10.33096/jtasm.v5i2.83>
- Triatmodjo, B. (2014). *Hidrolika II*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Warmink, J. J., Booij, M. J., Van Der Klis, H., & Hulscher, S. J. M. . (2007). Uncertainty in water level predictions due to various calibrations. *Caiwa*, 1–18. <https://research.utwente.nl/en/publications/uncertainty-in-water-level-predictions-due-to-various-calibration>

LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Geometri Saluran

Titik	Kedalaman Air (h)		Lebar Dasar Saluran (b)		Lebar Permukaan Air (B)	
	Terbuka penuh	Tertutup sebagian	Terbuka penuh	Tertutup sebagian	Terbuka penuh	Tertutup sebagian
A	0,65	0,62	5,50	5,50	6,54	6,49
B	0,66	0,63	5,50	5,50	6,53	6,48
C	0,56	0,55	5,50	5,50	6,46	6,44
D	0,58	0,55	5,50	5,50	6,46	6,40
E	0,56	0,52	5,50	5,50	6,46	6,58

Titik	Dinding Basah (m)		Dinding Saluran (M)		Kedalaman Saluran (H)	
	Terbuka penuh	Tertutup sebagian	Terbuka penuh	Tertutup sebagian	Terbuka penuh	Tertutup sebagian
A	0,83	0,79	1,60	1,60	1,25	1,25
B	0,84	0,80	1,60	1,60	1,30	1,30
C	0,74	0,72	1,50	1,50	1,20	1,20
D	0,82	0,78	1,50	1,50	1,20	1,20
E	0,79	0,76	1,40	1,40	1,00	1,00

Titik	Lebar Atas Saluran (T)		Luas Penampang (A) [m ²]		Keliling Basah (P) [m]	
	Terbuka penuh	Tertutup sebagian	Terbuka penuh	Tertutup sebagian	Terbuka penuh	Tertutup sebagian
A	7,50	7,50	3,91	3,72	7,16	7,07
B	7,50	7,50	3,97	3,77	7,18	7,10
C	7,50	7,50	3,35	3,28	6,98	6,94
D	7,50	7,50	3,33	3,33	7,14	7,06
E	7,50	7,50	3,34	3,25	7,09	7,02

Titik	Jari-jari Hidrolik (R) [m]		Kemiringan Dinding Saluran
	Terbuka penuh	Tertutup sebagian	
A	0,55	0,52	0,60
B	0,55	0,52	0,78
C	0,48	0,47	0,83
D	0,49	0,47	1,00
E	0,48	0,46	1,00

CS Dipindai dengan CamScanner

Lampiran 2 Data Kecepatan Aliran

Variasi bukaan = Terbuka penuh

Kecepatan Aliran (m/s)									
A1Ki	0,555	B1Ki	0,487	C1Ki	0,656	D1Ki	0,567	E1Ki	0,577
A2Ki	0,493	B2Ki	0,475	C2Ki	0,641	D2Ki	0,513	E2Ki	0,384
A3Ki	0,416	B3Ki	0,362	C3Ki	0,361	D3Ki	0,436	E3Ki	0,228
A1Te	0,688	B1Te	0,531	C1Te	0,555	D1Te	0,564	E1Te	0,577
A2Te	0,513	B2Te	0,506	C2Te	0,545	D2Te	0,513	E2Te	0,425
A3Te	0,432	B3Te	0,406	C3Te	0,427	D3Te	0,384	E3Te	0,364
A1Ka	0,608	B1Ka	0,577	C1Ka	0,452	D1Ka	0,567	E1Ka	0,513
A2Ka	0,491	B2Ka	0,513	C2Ka	0,347	D2Ka	0,513	E2Ka	0,384
A3Ka	0,413	B3Ka	0,384	C3Ka	0,277	D3Ka	0,357	E3Ka	0,355

Variasi bukaan = Tertutup Sebagian

Kecepatan Aliran (m/s)									
A1Ki	0,555	B1Ki	0,425	C1Ki	0,545	D1Ki	0,513	E1Ki	0,477
A2Ki	0,281	B2Ki	0,366	C2Ki	0,513	D2Ki	0,437	E2Ki	0,313
A3Ki	0,327	B3Ki	0,282	C3Ki	0,313	D3Ki	0,361	E3Ki	0,208
A1Te	0,586	B1Te	0,513	C1Te	0,461	D1Te	0,513	E1Te	0,527
A2Te	0,406	B2Te	0,401	C2Te	0,427	D2Te	0,416	E2Te	0,359
A3Te	0,356	B3Te	0,327	C3Te	0,327	D3Te	0,326	E3Te	0,287
A1Ka	0,523	B1Ka	0,435	C1Ka	0,361	D1Ka	0,521	E1Ka	0,438
A2Ka	0,406	B2Ka	0,427	C2Ka	0,234	D2Ka	0,416	E2Ka	0,328
A3Ka	0,327	B3Ka	0,316	C3Ka	0,187	D3Ka	0,288	E3Ka	0,288

Lampiran 3 Data Kemiringan Saluran

STA	Arah Bidik	Pembacaan Rambu			D [m]	Δh	Elevasi	Koreksi	Δh terkoreksi	Elevasi terkoreksi	
		Ba [m]	Bt [m]	Bb [m]							
A	Pergi	P1	1,522	1,423	1,310	45	-0,1025	162,885	0,0527	0,034	162,850
		P2	1,460	1,421	1,335						
		P3	1,460	1,364	1,255						
		P4	1,425	1,348	1,235						
		P5	1,425	1,281	1,160						
		P6	1,425	1,238	1,205						
B	Pergi	P1	1,485	1,338	1,260	45	0,1020	162,845	0,0527	0,079	162,964
		P2	1,415	1,205	1,120						
		P3	1,415	1,148	1,060						
		P4	1,415	1,081	1,000						
		P5	1,415	1,014	0,940						
		P6	1,415	0,947	0,880						
C	Pergi	P1	1,415	1,205	1,120	45	-0,105	162,740	0,0527	-0,048	162,918
		P2	1,415	1,138	1,060						
		P3	1,415	1,071	1,000						
		P4	1,415	1,004	0,940						
		P5	1,415	0,937	0,880						
		P6	1,415	0,870	0,810						
D	Pergi	P1	1,522	1,415	1,301	45,6	-0,230	162,128	0,0606	-0,220	162,724
		P2	1,460	1,353	1,221						
		P3	1,460	1,286	1,151						
		P4	1,460	1,219	1,081						
		P5	1,460	1,152	1,011						
		P6	1,460	1,085	0,941						
E	Pulang	P1	1,522	1,416	1,302	45,6	-0,281	162,147	0,0606	-0,221	162,503
		P2	1,460	1,321	1,230						
		P3	1,460	1,254	1,160						
		P4	1,460	1,187	1,090						
		P5	1,460	1,120	1,020						
		P6	1,460	1,053	0,950						
F	Pulang	P1	1,510	1,306	1,180	44,7	0,107	162,146	0,0588	0,165	162,561
		P2	1,442	1,231	1,110						
		P3	1,442	1,164	1,040						
		P4	1,442	1,097	0,970						
		P5	1,442	1,030	0,900						
		P6	1,442	0,963	0,830						
G	Pulang	P1	1,516	1,339	1,243	45	-0,025	162,227	0,0527	0,1034	162,1761
		P2	1,458	1,272	1,175						
		P3	1,458	1,205	1,105						
		P4	1,458	1,138	1,035						
		P5	1,458	1,071	0,965						
		P6	1,458	1,004	0,895						
Σ					Σ =	454,4	ΣΔh =				

Lampiran 4 Dokumentasi Penelitian























Lampiran 5 Surat Izin Penelitian



Nomor : HM 0506 - Ag / 457
 Sifat :
 Lampiran : -
 Hal : Izin Penelitian dan Pengambilan Data Tugas Akhir
 Yogyakarta, 21 Mei 2025

Yth. Sek. Prodi Teknik Sipil - Program Sarjana,
 Fakultas Teknik Sipil & Perencanaan,
 Universitas Islam Indonesia.
 di Tempat

Menindaklanjuti surat Sek. Prodi Teknik Sipil-Program Sarjana, Fakultas Teknik Sipil & Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Nomor: 372/Sek.Prodi PSTS/20/TAV/2025 tanggal 14 Mei 2025 Hal : Izin Penelitian dan Pengambilan Data Tugas Akhir, dengan ini kami menyampaikan bahwa Balai Besar Wilayah Sungai Serayu Opak memperbolehkan Penelitian berjudul Analisis Nilai Kekasaran Saluran Van Der Wicjk. memberikan izin pelaksanaan penelitian kepada :

Nama : Dhava Adhyasta
 NIM : 21511254
 Program Studi: Teknik Sipil

Bahwa penelitian hanya untuk kebutuhan akademik dan tidak boleh dipublikasikan tanpa seizin Balai Besar Wilayah Sungai Serayu Opak.

Demikian surat ini kami sampaikan atas perhatian dan kerjasamanya kami ucapkan terimakasih.

an. Kepala Balai Besar Wilayah Sungai Serayu Opak
 Kepala Bagian Umum dan Tata Usaha,



Tembusan :

1. Kepala Balai Besar Wilayah Sungai Serayu Opak (sebagai Laporan);
2. Yang bersangkutan.