TUGAS AKHIR

PERENCANAAN ULANG SISTEM DRAINASE PADA PROYEK PEMBANGUNAN JALAN TOL SERANG-PANIMBANG SEKSI 2 STA 28+250 – STA 30+550

(REDESIGN OF DRAINAGE SYSTEM IN SERANG-PANIMBANG TOLL ROAD CONSTRUCTION PROJECT SECTION 2 STA 28+250 – STA 30+550)

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

Tiara Prameswari
20511218

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

2025

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN ULANG SISTEM DRAINASE PADA PROYEK PEMBANGUNAN JALAN TOL SERANG-PANIMBANG SEKSI 2 STA 28+250 – STA 30+550

(REDESIGN OF DRAINAGE SYSTEM IN SERANG-PANIMBANG TOLL ROAD CONSTRUCTION PROJECT SECTION 2 STA 28+250 – STA 30+550)

Disusun Oleh

Tiara Prameswari
20511218

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

Diuji pada tanggal 11 Maret 2025
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing 22/04/25	Penguji I 21/4-25	Penguji II 23/4/25
Dr. Ir. Ruzardi, M.S., APU SDA., APU BB.	**Dinia Anggraheni S.T., M.Eng.**	**Shofwatul Fadilah, S.T.P., M.Eng.**
NIK: 855110102	**NIK: 165110105**	**NIK: 215111308**

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Ir. Nindia Muntaf, S.T., M.T., Ph.D. (Eng)., IPM.
NIK: 095110101

Dipindai dengan CamScanner

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

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

Yogyakarta, 23 April 2025
Yang membuat pernyataan

Tiara Prameswari
(20511218)

Dipindai dengan CamScanner

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul "Perencanaan Ulang Sistem Drainase pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Serang-Panimbang Seksi 2 STA 28+250 – STA 30+550". Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat strata satu di Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapai, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, alhamdulillah Proposal Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, saya ingin mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M. Eng., Ph.D., IP-M selaku ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia
2. Bapak Dr. Ir. Ruzardi, M.S., APU SDA., APU BB selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, yang telah memberikan banyak ilmu, pengarahan, dan motivasi demi terselesaikannya penyusunan Tugas Akhir
3. Ibu Dinia Anggraheni S.T., M.Eng dan ibu Shofwatul Fadilah S.T.P., M.Eng selaku dosen penguji 1 dan dosen penguji 2 yang telah memberikan kritik, saran, dan memberikan evaluasi sehingga Tugas Akhir ini menjadi lebih baik.
4. Bapak dan Ibu saya yang telah memberikan kasih sayang, doa, dan dukungan tanpa henti. Terimakasih atas semua pengorbanan dan semangat yang selalu diberikan kepada saya dalam penyusunan Tugas Akhir.
5. Kakak dan Adik saya yang selalu memberikan doa, dukungan, dan motivasi dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
6. Teman-teman saya yang selalu membersamai dari awal kuliah hingga selesainya Tugas Akhir.

Akhirnya penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya.

Yogyakarta. 23 April 2025
Penulis

Tiara Prameswari
(20511218)

Dipindai dengan CamScanner

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
HALAMAN PENGESAHAN ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iii
KATA PENGANTAR iv
DAFTAR ISI vi
DAFTAR TABEL ix
DAFTAR GAMBAR xi
DAFTAR LAMPIRAN xii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN xiii
ABSTRAK xv
ABSTRACT xvi
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Tujuan Perencanaan 2
1.4 Manfaat Perencanaan 2
1.5 Batasan Masalah 3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 4
2.1 Perencanaan Terdahulu 4
2.1.1 Perencanaan Ulang Sistem Drainase Proyek Pembangunan Jalan Tol Pasuruan–Probolinggo Seksi 4A STA 36+600 – STA 39+800 4
2.1.2 Studi Perencanaan Saluran Drainase Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Kediri–Kertosono Di Wilayah STA 0+150 – 6+150 5
2.1.3 Analisis Sistem Drainase Jalan Tol Balikpapan–Samarinda KM 22+025 – 52+100 6

2.1.4 Perencanaan Drainase Jalan Tol Pandaan–Malang Sta. 15+000 – Sta.30+000 7
2.1.5 Perencanaan Sistem Drainase Jalan Tol Balikpapan–Samarinda Seksi 4 8
2.2 Rencana Perencanaan Ulang Sistem Drainase Jalan Tol Serang–Panimbang 9
2.3 Perbandingan Perencanaan Saat Ini dengan Perencanaan yang sudah dijalankan 10
BAB III LANDASAN TEORI 15
3.1 Drainase 15
3.2 Sistem Drainase 15
3.2.1 Drainase Permukaan (*Surface Drainage*) 15
3.2.2 Drainase Bawah Permukaan (*Sub Surface Drainage*) 16
3.3 Analisis Hidrologi 17
3.3.1 Uji Konsistensi Data 17
3.3.2 Analisis Frekuensi 18
3.3.3 Uji Kecocokan Distribusi 27
3.3.4 Periode Ulang 30
3.3.5 Koefisien Aliran Permukaan *(RunOff)* 31
3.3.6 Waktu Konsentrasi 32
3.3.7 Intensitas Hujan 34
3.3.8 Debit Rencana 35
3.4 Analisis Hidraulika 35
3.4.1 Perhitungan Geometri Penampang Saluran 37
3.4.2 Perencanaan Gorong-gorong (*Culvert*) 42
3.4.3 Hec-Ras 43
BAB IV METODE PERENCANAAN 44
4.1 Tinjauan Umum 44
4.2 Lokasi Perencanaan 44
4.3 Tahapan Perencanaan 45
4.3.1 Tahap Pengumpulan Data 45
4.3.2 Analisis Data 46

4.4 Bagan Alir Perencanaan 50
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN 52
5.1 Data 52
5.1.1 Skema Sistem Drainase 52
5.1.2 Dimensi Saluran Drainase 55
5.1.3 Tata Guna Lahan 58
5.1.4 Data Curah Hujan 62
5.2 Analisis Uji Konsistensi Data Hujan 63
5.3 Analisis Frekuensi Hujan 66
5.3.1 Analisis Parameter Statistik 66
5.3.2 Penentuan Jenis Distribusi 69
5.3.3 Distribusi Log Pearson III 69
5.4 Pengujian Jenis Distribusi 71
5.4.1 Uji Chi-Kuadrat 71
5.4.2 Uji Smirnov-Kolmogorov 75
5.5 Analisis Debit Rencana 78
5.5.1 Koefisien Pengaliran 78
5.5.2 Kemiringan Saluran dan Kecepatan Aliran 81
5.5.3 Analisis Waktu Konsentrasi 86
5.5.4 Analisis Intensitas Hujan 91
5.5.5 Perhitungan Debit Rencana 93
5.6 Kapasitas Sistem Drainase Eksisting 95
5.7 Evaluasi Kapasitas Sistem Drainase Eksisting 98
5.8 Perencanaan Ulang Sistem Drainase 100
5.9 Analisis Simulasi Aliran Menggunakan Hec-Ras 102
5.9 Pembahasan 103
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 105
6.1 Kesimpulan 105
6.2 Saran 106
DAFTAR PUSTAKA 107
LAMPIRAN 109

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan Perencanaan Saat Ini dengan Perencanaan yang Sudah Dijalankan	11
Tabel 3.1	Persentase Nilai Qy/√n dan Ry/√n	18
Tabel 3.2	Penentuan Jenis Distribusi Dengan Persyaratannya	21
Tabel 3.3	Nilai Variabel Reduksi *Gauss*	22
Tabel 3.4	*Reduced Mean* (Y_n) Untuk Distribusi Gumbel	24
Tabel 3.5	*Reduced Standard Deviation* ($S_{n)}$ Untuk Distribusi Gumbel	24
Tabel 3.6	*Reduced Variate* (Y_{Tr}) Untuk Distribusi Gumbel	24
Tabel 3.7	Nilai K Untuk Distribusi Log Pearson III	26
Tabel 3.8	Nilai Chi Kuadrat Kritik	29
Tabel 3. 9	Nilai Δkritis Uji Smirnov-Kolmogorov	30
Tabel 3.10	Periode Ulang untuk Gorong-Gorong Berdasarkan Fungsi Jalan	31
Tabel 3.11	Koefisien Limpasan untuk Metode Rasional	32
Tabel 3.12	Koefisien Hambatan Berdasarkan Kondisi Permukaan	34
Tabel 3.13	Harga Koefisien Kekasaran Manning	36
Tabel 5.1	Daftar Penamaan Saluran Drainase Samping	54
Tabel 5.2	Daftar Penamaan Saluran Median	54
Tabel 5.3	Data Dimensi Saluran Samping Eksisting	56
Tabel 5.4	Data Dimensi Gorong-Gorong	58
Tabel 5.5	Rekapitulasi Tata Guna Lahan	60
Tabel 5.6	Data Curah Hujan Harian Maksimum 2014 – 2023	63
Tabel 5.7	Uji Konsistensi Data Hujan Dengan Metode RAPS	63
Tabel 5.8	Hasil Uji Konsistensi Data Hujan Dengan Berbagai Tingkat Kepercayaan	65
Tabel 5.9	Perhitungan Parameter Statistik	66
Tabel 5.10	Perhitungan Parameter Statistik Skala Logaritma	68
Tabel 5.11	Hasil Penentuan Jenis Distribusi dan Persyaratannya	69
Tabel 5.12	Analisis Frekuensi Distribusi Log Pearson III	71

Tabel 5.13	Urutan Data Curah Hujan Terbesar ke Terkecil	71
Tabel 5.14	Interval Kelas Pengujian Chi-Kuadrat Log Pearson III	74
Tabel 5.15	Chi-Kuadrat Terhitung Distribusi Log Pearson III	74
Tabel 5.16	Nilai Peluang Empiris	76
Tabel 5.17	Nilai Peluang Teoritis	76
Tabel 5.18	Rekapitulasi Analisis Smirnov Kolmogorov	77
Tabel 5.19	Rekapitulasi Koefisien Aliran Saluran Samping	79
Tabel 5.20	Kemiringan Saluran pada Saluran Samping	82
Tabel 5.21	Kemiringan Saluran pada Saluran Median	83
Tabel 5.22	Kemiringan Saluran pada Gorong-Gorong	83
Tabel 5.23	Kecepatan Aliran pada Saluran Samping	84
Tabel 5.24	Kecepatan Aliran pada Saluran Median	85
Tabel 5.25	Kecepatan Aliran pada Gorong-Gorong	85
Tabel 5.26	Rekapitulasi Waktu Konsentrasi Saluran Samping	89
Tabel 5.27	Rekapitulasi Waktu Konsentrasi Saluran Median	91
Tabel 5.28	Rekapitulasi Waktu Konsentrasi Gorong-Gorong	91
Tabel 5.29	Rekapitulasi Intensitas Hujan Saluran Samping	92
Tabel 5.30	Rekapitulasi Intensitas Hujan Saluran Median	93
Tabel 5.31	Rekapitulasi Intensitas Hujan Gorong-Gorong	93
Tabel 5.32	Rekapitulasi Debit Rencana Saluran Samping	94
Tabel 5.33	Rekapitulasi Debit Rencana Saluran Median	95
Tabel 5.34	Rekapitulasi Debit Limpasan Gorong-Gorong	95
Tabel 5.35	Rekapitulasi Kapasitas Saluran Samping Eksisting	96
Tabel 5.36	Rekapitulasi Kapasitas Saluran Median Eksisting	97
Tabel 5.37	Rekapitulasi Kapasitas Gorong-Gorong	97
Tabel 5.38	Evaluasi Kapasitas Saluran Samping Eksisting	98
Tabel 5.39	Evaluasi Kapasitas Saluran Median Eksisting	98
Tabel 5.40	Evaluasi Kapasitas Gorong-Gorong Eksisting	99
Tabel 5.41	Hasil Perhitungan Desain Ulang Dimensi Saluran	101
Tabel 5.42	Perbandingan Dimensi Saluran Sebelum dan Setelah *Redesign*	104
Tabel 5.43	Analisis Kinerja Saluran Samping *Redesign*	104

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Tipikal Drainase Permukaan Jalan	16
Gambar 3.2	Penampang Saluran Trapesium	37
Gambar 3.3	Penampang Saluran Segi Empat	39
Gambar 3.4	Penampang Saluran Pipa Lingkaran	41
Gambar 3.5	Gorong-gorong Segi Empat	43
Gambar 4.1	Lokasi Perencanaan	44
Gambar 4.2	Peta Topografi pada Lokasi Perencanaan	45
Gambar 4.3	Menu Utama Hec-Ras	48
Gambar 4.4	Pemberian Nama *File Project*	48
Gambar 4.5	Perancangan Data Geometrik	49
Gambar 4.6	Input Data *Cross Section*	49
Gambar 4.7	Input Data *Steady Flow*	50
Gambar 4.8	Bagan Alir Perencanaan	51
Gambar 5.1	Skema Layanan Sistem Drainase Jalan Tol Serang–Panimbang STA 28+250 Hingga STA 30+550	53
Gambar 5.2	Saluran Samping Eksisting Persegi	55
Gambar 5.3	Saluran Samping Eksisting Trapesium dengan Pasangan Batu	55
Gambar 5.4	Saluran Samping Eksisting Trapesium dengan Galian Tanah	56
Gambar 5.5	Saluran Median Utama Eksisting	57
Gambar 5.6	Saluran *Crossing* Median Eksisting	57
Gambar 5.7	Ilustrasi Penampang Gorong-gorong	57
Gambar 5.8	Kondisi Tata Guna Lahan Pada Jalan Tol Serang-Panimbang STA 28+250 – STA 30+550	59
Gambar 5.9	Penampang Saluran SKi-2 Eksisting	96
Gambar 5.10	Dimensi Saluran SKi-2 *Redesign*	101
Gambar 5.11	*Cross Section* Saluran SKi-2 Bagian Hulu	102
Gambar 5.12	*Cross Section* Saluran SKi-2 Bagian Hilir	102
Gambar 5.13	*Long Section* Saluran SKi-2	103

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Curah Hujan Harian 2014 – 2023 (mm) 110
Lampiran 2 Perhitungan Waktu Konsentrasi pada Saluran Samping Kanan 120
Lampiran 3 Perhitungan Waktu Konsentrasi Saluran Samping Kiri 121
Lampiran 4 Perhitungan Waktu Konsentrasi Saluran Median 122
Lampiran 5 Perhitungan Waktu Konsentrasi Gorong-Gorong 123
Lampiran 6 Perhitungan Kapasitas Saluran Samping Redesign 124
Lampiran 7 Simulasi Aliran pada Saluran Eksisting Menggunakan Hec-Ras 125
Lampiran 8 Hasil Analisis Menggunakan Hec-Ras pada Saluran Redesign 129
Lampiran 9 Gambar Saluran Drainase 133

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

A = Luas penampang basah

A_i = Luas daerah tangkapan air

a = Parameter kemencengan (*skewness*)

b = Lebar saluran

C = Koefisien pengaliran

C_k = Koefisien kurtosis

C_s = Koefisien kemencengan (*skewness*)

C_v = Koefisien variasi

DK = Derajat kebebasan

Ef = Frekuensi yang diharapkan sesuai dengan pembagian kelas

H = Tinggi saluran

h = Kedalaman aliran dalam saluran

I = Intensitas curah hujan

K_T = Faktor frekuensi

L_0 = Panjang lintasan aliran diatas permukaan lahan

L_s = Panjang saluran drainase

n = Jumlah data

nd = Koefisien hambatan

Of = Frekuensi yang terbaca pada kelas yang sama

P = Keliling basah

$Q_{eksisting}$ = Debit air yang dapat ditampung oleh saluran eksisting

$Q_{rencana}$ = Debit rencana atau limpasan

$Q_{saluran}$ = Debit aliran dalam saluran

R = Jari-jari hidraulik

R_{24} = Curah hujan maksimum harian

S = Deviasi standar

S_0 = Kemiringan saluran

S_n = Deviasi standar yang tergantung pada jumlah sampel n

t_c = Waktu konsentrasi

t_d = Waktu pengaliran saluran sampai titik keluaran

t_0 = Waktu pengaliran lahan sampai saluran terdekat

V = Kecepatan aliran dalam saluran

w = Tinggi jagaan

X_i = Nilai pengukuran hujan dari suatu curah hujan ke-i

X_T = Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang T-tahunan

$\overline{X}$ = Nilai rata-rata hujan

X^2 = Nilai Chi-Kuadrat terhitung

Y_n = Nilai yang tergantung jumlah sampel n

Y_T = Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dalam logaritmik dengan periode ulang T-tahunan

Δh = Beda elevasi (hulu – hilir)

Δ_{kritis} = Nilai penyimpangan kritis uji Smirvov-Kolmogorov

Δ_{maks} = Nilai penyimpangan terbesar uji Smirvov-Kolmogorov

ABSTRAK

Jalan Tol Serang-Panimbang direncanakan untuk menghubungkan Serang dengan Kawasan Khusus Pariwisata Tanjung Lesung, dengan panjang 23,727 km. Pembangunan jalan tol ini berpotensi meningkatkan risiko genangan pada lahan dan persawahan warga akibat berkurangnya daerah resapan alami, terutama saat curah hujan tinggi. Kondisi ini dapat menyebabkan drainase eksisting tidak mampu menampung aliran air secara maksimal, sehingga diperlukan perencanaan ulang agar kapasitas sistem drainase mencukupi.

Tahapan Perencanaan diawali dengan analisis data hujan harian dari tahun 2014 hingga tahun 2023. Debit rencana dihitung menggunakan metode rasional, dengan intensitas hujan berdasarkan periode ulang 10 tahun untuk saluran samping dan median, serta periode ulang 25 tahun untuk gorong-gorong menggunakan rumus Mononobe. Evaluasi kapasitas dilakukan dengan membandingkan debit rencana dan debit saluran eksisting yang dianalisis menggunakan rumus Manning. Saluran dikategorikan aman jika kapasitasnya lebih besar daripada debit rencana. Untuk memastikan kapasitas sistem drainase ini dapat berfungsi dengan baik, dilakukan simulasi menggunakan Hec-Ras.

Berdasarkan analisis hidrologi, debit rencana terbesar pada saluran samping kanan adalah 1,448 m^3/s, saluran samping kiri 1,041 m^3/s, saluran median 0,148 m^3/s dan gorong-gorong 2,363 m^3/s. Debit ini menjadi acuan dalam perencanaan ulang sistem drainase. Hasil evaluasi menunjukkan limpasan hanya terjadi pada saluran samping sehingga perencanaan ulang dilakukan pada saluran tersebut. Perubahan dilakukan dengan menyesuaikan dimensi saluran agar mampu menampung debit rencana. Desain ulang pada saluran trapesium galian tanah yang dilakukan pada saluran SK-2 dan saluran SKi-2 yang memiliki dimensi yang sama yaitu lebar dasar saluran 1,40 m, kemiringan dinding saluran 1,60 dan tinggi saluran 1,20 m, serta saluran SKi-3 dan saluran SKi-6 yang memiliki dimensi yang sama yaitu lebar dasar saluran 1,40 m, kemiringan dinding saluran 1,60 dan tinggi saluran 1,00 m.

Kata kunci: Drainase Jalan, Debit Rencana, Dimensi Saluran

ABSTRACT

The Serang-Panimbang Toll Road is planned to connect Serang with the Tanjung Lesung Special Tourism Area, with a length 23,727 km. The construction of this toll road has the potential to increase flooding in residents land and rice fields due to the reduction in natural infiltration areas, especially during high rainfall. This condition can cause existing drainage to be unable to accommodate water flow optimally, so redesign is needed so that the drainage system capacity is sufficient.

The Planning stage begins with an analysis of daily rainfall data from 2014 to 2023. The planned discharge is calculated using the rational method, with rainfall intensity based on a 10-year return period for side and median channels, and a 25-year return period for culverts using the Mononobe formula. Capacity evaluation is carried out by comparing the planned discharge. To ensure that the capacity of this drainage system can function properly, a simulation is carried out using Hec-Ras

Based on hydrological analysis, the largest planned discharge on the rightside channel is 1,448 m^3/s, the left side channel is 1,0141 m^3/s, the median channel is 0,148 m^3/s, and the culvert is 2,363 m^3/s. This discharge is used as a reference in the redesign of the drainage system. The evaluation results showed that runoff only occurred on the side channel so that the redesign was carried out on these channels. Changes were made by adjusting the channel dimensions to accommodate the planned discharge. The redesign of the earth excavation trapezoidal channel was carried out on the SK-2 channel and SKi-2 channel which have the same dimensions, namely a channelbase width of 1,40 m, a channel wall slope of 1,60, and a channel height of 1,20 m, as well as the SKi-3 channel and the SKi-6 channel which have the same dimensions, namely a channel base width of 1,40 m, a channel wall slope of 1,60 and a channel height of 1,00 m.

***Keyword**: Road Drainage, Design Discharge, Channel Dimensions*

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan infrastruktur jalan tol memiliki peran penting dalam mendukung pertumbuhan ekonomi dan pengembangan wilayah. Salah satu proyek yang menjadi bagian dari upaya ini adalah Jalan Tol Serang-Panimbang. Jalan tol ini direncanakan untuk menghubungkan Serang dengan Kawasan Khusus Pariwisata Tanjung Lesung, yang termasuk dalam Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) Tanjung Lesung. Jalan Tol Serang–Panimbang memiliki panjang total 83,677 km, dengan proyek konstruksi yang terbagi menjadi tiga seksi, yaitu Seksi 1 Ruas Serang–Rangkasbitung (Sta. 0+000 hingga Sta. 26+950), Seksi 2 Ruas Rangkasbitung–Cileles (Sta. 26+950 hingga Sta. 50+677), dan Seksi 3 Ruas Cileles–Panimbang (Sta. 50+677 hingga Sta. 83+677).

Pada Jalan Tol Serang−Panimbang ini, di dominasi oleh lahan persawahan, serta dilintasi oleh berbagai alur sungai dan lahan resapan air alami. Dilansir dari BantenEkspres.co.id, 2024 menyebutkan mayoritas daerah Jalan Tol Serang−Panimbang memiliki kondisi muka air banjir (MAB) yang tinggi, apalagi jika pada waktu tertentu terjadi curah hujan yang tinggi sehingga meningkatkan terjadinya limpasan di lahan dan persawahan di area sekitar proyek Jalan Tol karena daerah resapannya berkurang. Maka perlu dilakukan upaya dalam menangani air hujan agar tidak menggenangi lahan sekitar dengan memaksimalkan fungsi sistem drainase jalan tol. Hal ini sejalan dengan Pedoman Konstruksi dan Bangunan (PD-T-14-2005-B) tentang Inspeksi dan pemeliharaan drainase jalan yang menjelaskan pentingnya inspeksi dan pemeliharaan drainase jalan secara rutin yang dilakukan dua kali dalam setahun jika bukan dalam kondisi khusus.

Dalam Tugas Akhir ini, dilakukan perencanaan ulang sistem drainase pada Jalan Tol Serang-Panimbang Seksi 2 di STA 28+250 – STA 30+550. Perencanaan

ulang ini perlu dilakukan untuk memastikan sistem drainase dengan dimensi saluran tertentu dapat mengalirkan dan menampung debit limpasan air secara maksimal, sehingga diperoleh perencanaan drainase yang baik dan memberikan perlindungan jangka panjang untuk infrastruktur jalan tol serta menjaga aspek lingkungan disekitar jalan tol.

1.2 Rumusan Masalah

Dari penjelasan latar belakang, diperoleh pembahasan permasalahan yakni sebagai berikut.

1. Berapa besar debit limpasan yang terjadi pada Jalan Tol Serang–Panimbang STA 28+250 hingga STA 30+550?
2. Apakah saluran drainase dan bangunan pelengkap eksisting pada Jalan Tol Serang-Panimbang STA 28+250 hingga STA 30+550 dapat mengalirkan dan menampung debit limpasan yang terjadi?
3. Berapakah kebutuhan dimensi saluran drainase dan bangunan pelengkap yang memadai agar dapat mengalirkan debit limpasan?

1.3 Tujuan Perencanaan

Dari uraian rumusan masalah, perencanaan ini memiliki tujuan sebagai berikut.

1. Menentukan besarnya debit limpasan yang terjadi pada Jalan Tol Serang–Panimbang Seksi 2 di STA 28+250 hingga STA 30+550.
2. Menganalisis kinerja saluran drainase dan bangunan pelengkap eksisting pada Jalan Tol Serang–Panimbang STA 28+250 hingga STA 30+550, dalam mengalirkan dan menampung debit limpasan.
3. Merencanakan kebutuhan dimensi saluran drainase dan bangunan pelengkap agar mampu mengalirkan debit limpasan.

1.4 Manfaat Perencanaan

Manfaat perencanaan ini adalah memberikan informasi mengenai sistem drainase pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Serang–Panimbang Seksi 2 di STA

28+250 hingga STA 30+550. Serta merencanakan sistem drainase yang sesuai dengan kondisi daerah sekitar jalan tol agar tidak menimbulkan genangan yang dapat merusak area sekitar dan Jalan Tol Serang–Panimbang Seksi 2 di STA 28+250 hingga STA 30+550. Selain itu hasil dari perencanaan ini dapat digunakan sebagai masukan dalam pengembangan desain pada sistem drainase jalan tol dan sebagai refrensi mengenai perencanaan ulang sistem drainase jalan tol.

1.5 Batasan Masalah

Analisis untuk perencanaan yang akan dilaksanakan dibatasi dengan beberapa hal antara lain sebagai berikut.

1. Perencanaan ini hanya meninjau perencanaan sistem drainase di kawasan Proyek Pembangunan Jalan Tol Serang–Panimbang Seksi 2 di wilayah Rangkasbitung–Cileles pada STA 28+250 hingga STA 30+550.
2. Debit yang di tinjau hanya dari air hujan
3. Data hidrologi berupa data curah hujan sepuluh tahun terakhir yaitu dari tahun 2014 hingga 2023
4. Tidak menghitung faktor sedimentasi
5. Tidak menghitung kapasitas tampang air sungai terhadap debit banjir tertentu sebagai penerima aliran dari saluran

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perencanaan Terdahulu

Sebagai bahan referensi pada perencanaan ini, maka dipaparkan beberapa perencanaan terdahulu mengenai perencanaan sistem drainase jalan tol yang sudah dilakukan adalah sebagai berikut.

2.1.1 Perencanaan Ulang Sistem Drainase Proyek Pembangunan Jalan Tol Pasuruan–Probolinggo Seksi 4A STA 36+600 – STA 39+800

Firdaus dkk. (2024) melakukan perencanaan ulang sistem drainase jalan tol dengan judul "Perencanaan Ulang Sistem Drainase Proyek Pembangunan Jalan Tol Pasuruan–Probolinggo Seksi 4A STA 36+600 – STA 39+800". Latar belakang perencanaan ini adalah pembangunan jalan tol Pasuruan–Probolinggo Seksi 4A membutuhkan sistem drainase untuk menampung air limpasan permukaan dan menghindarkan daerah sekitarnya dari banjir. Penelitian ini dilakukan untuk mengalirkan limpasan air yang terjadi di permukaan jalan secara gravitasi dan dibuang melalui saluran yang telah ada (eksisting) atau yang belum ada (non-eksisting) menuju saluran akhir

Perhitungan uji konsistensi data curah hujan pada perencanaan ulang sistem drainase jalan tol ini dengan menggunakan metode kurva massa ganda. Analisis curah hujan daerah dengan menggunakan metode Poligon Thiessen. Analisis curah hujan rencana ditentukan menggunakan metode Gumbel yang dibandingkan dengan metode Log Pearson III dengan kala ulang 10 tahun dan metode yang digunakan adalah metode yang memiliki curah hujan paling besar. Uji kesesuain distribusi dengan data dari Gumbel dilakukan dengan menggunakan uji Chi-Square dan uji Smirnov-Kolmogorov. Analisis intensitas hujan menggunakan persamaan Mononobe, dan analisis debit rencana dilakukan dengan metode rasional. Analisis hidraulika digunakan untuk mengetahui kemampuan saluran dalam mengalirkan debit rencana pada saluran median, saluruan samping, dan gorong-gorong berdasarkan rumus Manning.

Hasil analisis yang telah dilakukan, diperoleh curah hujan rancangan dengan kala ulang 10 tahun sebesar 73,158 mm/hari. Debit rencana terbesar pada saluran kiri adalah 0,1441 m^3/detik dan 0,0397 m^3/detik untuk debit terbesar pada saluran kanan. Berdasarkan hasil perhitungan, dimensi drainase tipe 1 adalah seperenam lingkaran dengan jari-jari 0,82 meter dan lebar 3 meter, dimensi tipe 2 adalah persegi dengan lebar 1 meter dan panjang 1 meter, dan dimensi drainase tipe 3 adalah trapesium dengan lebar bawah 0,5 meter dan tinggi 0,5 meter serta dimensi untuk *box culvert* dengan 1 tipe adalah persegi dengan lebar 1 meter dan tinggi 1,5 meter.

2.1.2 Studi Perencanaan Saluran Drainase Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Kediri–Kertosono Di Wilayah STA 0+150 – 6+150

Zulavivah dkk. (2021) melakukan perencanaan tentang perencanaan saluran drainase pada jalan tol dengan judul "Studi Perencanaan Saluran Drainase Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Kediri–Kertosono Di Wilayah STA 0+150 – 6+150". Latar belakang perencanaan ini adalah kondisi jalan tol yang melewati sungai besar yang rawan terkena banjir dan belum direncanakannya sistem drainase yang mengalirkan air limpasan. Perencanaan ini dilakukan untuk meminimalisir air limpasan yang tergenang di badan jalan dan limpasan air dari sekitar jalan tol agar umur rencana jalan tol bisa tercapai.

Perhitungan perencanaan untuk analisa hujan rata-rata daerah menggunakan metode rata-rata aljabar. Analisis distribusi frekuensi menggunakan distribusi Gumbel dan distribusi Log Pearson III, dengan uji kesesuaian distribusi menggunakan uji Chi-Square dan Uji Smirnov-Kolmogorov. Selanjutnya, perhitungan intensitas hujan menggunakan metode Mononobe dan metode rasional untuk analisis debit saluran. Analisis hidrolika menggunakan persamaan manning untuk menghitung kapasitas saluran drainase.

Hasil dari perhitungan curah hujan rancangan metode log Pearson III untuk kala ulang 10 tahun adalah sebesar 126,4157 mm. Dari hasil perencanaan debit hujan rencana maksimum, diperoleh debit maksimum sebesar 0,0973 m^3/detik. Perencanaan saluran drainase merupakan saluran drainase terbuka dengan

penampang berbentuk *U-Ditch* atau persegi dengan dimensi 0,5 m x 0,85 m. Dengan perancangan ini diharapkan air hujan yang mengalir pada ruas Jalan tol Kertosono–Kediri dapat ditampung dan dialirkan dengan baik.

2.1.3 Analisis Sistem Drainase Jalan Tol Balikpapan–Samarinda KM 22+025 – 52+100

Pratama dkk. (2017) melakukan perencanaan sistem drainase jalan tol dengan judul "Analisis Sistem Drainase Jalan Tol Balikpapan–Samarinda KM 22+025 – 52+100". Latar belakang dilakukannya perencanaan ini adalah karena Jalan Tol Balikpapan–Samarinda merupakan jalan yang berguna untuk mengakomodasi meningkatnya aktivitas ekonomi dan sosial di masa depan. Oleh karena itu, untuk menunjang kinerja jalan tol, diperlukan analisis terhadap sistem drainase jalan tol, agar tidak terjadi genangan dan kerusakan struktur jalan.

Analisis sistem drainase dimulai dengan analisis hidrologi menggunakan metode hitung rata-rata aljabar. Uji distribusi parameter yang memenuhi syarat adalah perhitungan Log Pearson III dan uji Sebaran data menggunakan metode Smirnov-Kolmogorov. Pada analisis sistem drainase, intensitas kala ulang yang digunakan adalah kala ulang 25 tahun untuk perencanaan saluran samping dan saluran median jalan tol dan kala ulang 50 tahun untuk perencanaan gorong-gorong. Analisis intensitas hujan dengan kala ulang menggunakan persamaan Mononobe. Selanjutnya, hasil hitungan intensitas hujan kala ulang tersebut digunakan untuk analisis debit menggunakan alat bantu aplikasi EPA SWMM versi 5.1, sehingga didapatkan nilai debit banjir rencana untuk gorong-gorong dan debit rencana untuk saluran samping dan median. Perencanaan hidrolika saluran menggunakan persamaan *passing capacity*.

Dari analisis hidrologi dengan menggunakan distribusi Log Pearson III diperoleh debit maksimum saluran adalah untuk kondisi saluran timbunan sebesar 0,196 m^3/detik, kondisi saluran galian sebesar 0,276 m^3/detik, dan kondisi saluran median sebesar 0,172 m^3/detik. Sesuai dengan hasil penelitian, terdapat tiga jenis saluran yang direncanakan yaitu saluran samping kiri dan kanan menggunakan *U-Ditch* tipe U400D dengan dimensi 400 x 600 x 1200. Saluran median

menggunakan *U-Ditch* tipe U400D dengan dimensi 400 x 600 x 1200. Gorong-gorong menggunakan *box culvert* tipe BC 2 x 2 dengan dimensi 200 x 200 x 1000.

2.1.4 Perencanaan Drainase Jalan Tol Pandaan–Malang Sta.15+000 – Sta.30+000

Nurmajida (2019) melakukan perencanaan sistem drainase jalan tol dengan judul "Perencanaan Drainase Jalan Tol Pandaan–Malang Sta.15+000 – Sta.30+000". Latar belakang dilakukan perencanaan ini adalah kondisi Jalan Tol Pandaan–Malang yang terletak tepat di lembah antara dua gunung yaitu Gunung Arjuno dan Gunung Bromo, sehingga air hujan yang turun di daerah gunung akan mengalir ke arah jalan tol. Oleh karena itu, perencanaan ini dilakukan untuk merencanakan sistem pengelolaan air limpasan yang terjadi di area jalan tol, yang berkaitan dengan sistem drainase yang ada, serta mengarahkan air limpasan langsung ke saluran-saluran drainase.

Metode analisis data yang digunakan dalam perencanaan sistem drainase adalah analisis hidrologi dan analisis hidraulika. Pada analisis hidrologi, dilakukan analisis data curah hujan menggunakan metode Poligon Thiessen, analisis uji konsistensi data menggunakan metode Gumbel, metode log normal dan metode Log Pearson III. Uji kesesuain distribusi dengan data dari Log Pearson III dilakukan menggunakan uji chi-kuadrat dan uji Smirnov-Kolmogorov. Perhitungan hidrograf satuan dilakukan menggunakan metode Nakayasu, sedangkan perhitungan *base flow* dilakukan dengan metode Hidrograf Satuan Sintetis Gama I. Analisis intensitas hujan menggunakan metode Mononobe dan analisis debit menggunakan metode rasional. Analisis hidraulika digunakan untuk mengetahui kapasitas saluran pada saluran tepi, saluran median dan *crossing median* yang dapat menampung air limpasan dan untuk merancang gorong-gorong dan jembatan di perpotongan sungai dan jalan tol.

Hasil analisis hidrologi menunjukkan debit banjir terbesar pada masing-masing sungai adalah 315,25 m^3/s. Berdasarkan perhitungan debit banjir, dimensi gorong gorong terbesar adalah 6 meter x 6 meter yang direncanakan menggunakan *box culvert*. Jembatan terbesar memiliki panjang 190 meter. Dari analisis hidrologi saluran, debit limpasan saluran terbesar adalah 2,188 m^3/s.

Saluran drainase menggunakan beberapa material yaitu pasangan batu kali dan beton pracetak (*U-Ditch*) yang disesuaikan dengan kemiringan saluran. Dimensi beberapa bangunan pelengkap drainase yaitu saluran pelindung lereng berdimensi 0,2 meter x 0,2 meter berbahan dasar beton, pipa *deck drain* berdiameter 0,232 meter berbahan dasar PVC, serta bangunan terjun dengan tinggi terjunan 0,5 meter.

2.1.5 Perencanaan Sistem Drainase Jalan Tol Balikpapan–Samarinda Seksi 4

Rahmawati dkk. (2018) melakukan perencanaan sistem drainase jalan tol dengan judul "Perencanaan Sistem Drainase Jalan Tol Balikpapan–Samarinda Seksi 4". Latar belakang perencanaan ini adalah Jalan Tol Balikpapan–Samarinda merupakan jalan baru, yang akan menutupi area resapan air, sehingga mengurangi kemampuan air untuk meresap langsung ke dalam tanah. Oleh karena itu, perencanaan ini dilakukan untuk merencanakan suatu sistem drainase dengan mengeluarkan air secepat mungkin dari permukaan jalan, baik air hujan, aliran air yang berasal dari daerah pengaliran sekitar, maupun air yang berasal dari drainase yang melintas di jalan tol atau sungai dari area yang lebih luas.

Analisis hidrologi pada sistem drainase jalan tol ini dilakukan dengan metode rata-rata aljabar untuk mencari hujan rata-rata. Analisis distribusi frekuensi dilakukan dengan beberapa distribusi, yaitu distribusi normal, distribusi log normal, distribusi Gumbel, dan distribusi Log Pearson III. Uji keselarasan dengan data Log Pearson III menggunakan metode uji Chi-Kuadrat dan uji Smirnov-Kolmogorov. Perhitungan curah hujan rencana untuk perencanaan saluran gorong-gorong menggunakan periode ulang 50 tahun, sedangkan untuk saluran samping dan saluran median menggunakan periode ulang selama 10 tahun. Analisis intensitas hujan menggunakan persamaan Mononobe, sementara analisis debit dilakukan menggunakan metode rasional dan metode hidrograf satuan sintetis Gama I berdasarkan periode ulang tertentu. Analisis hidraulika dilakukan untuk mengetahui kemampuan saluran dalam mengalirkan debit rencana pada saluran media, saluran samping dan saluran gorong-gorong berdasarkan analisis hidrologi.

Hasil analisis hidrologi menunjukkan bahwa pada periode ulang 50 tahun, debit maksimum yang diperoleh sebesar 80,06 m^3/dt, sedangkan pada pada periode ulang 10 tahun diperoleh debit maksimum sebesar 1,058 m^3/dt untuk saluran samping dan 0,049 m^3/dt untuk saluran median. Berdasarkan analisis hidraulika, gorong-gorong direncanakan dengan menggunakan *box culvert* dengan dimensi 2 m x 2 m, serta 2 buah *box culvert* yang masing-masing berdimensi 2 m x 2 m. Perencanaan saluran samping menggunakan *U-ditch* dengan dimensi 0,6 m x 1 m dan 1,8 m x 1 m. Saluran median berupa saluran terbuka dengan diameter 40 cm, sedangkan saluran pada *outlet* digunakan saluran bulat tertutup berdiameter 60 cm.

2.2 Rencana Perencanaan Ulang Sistem Drainase Jalan Tol Serang–Panimbang

Pada saat ini belum terdapat perencanaan mengenai perencanaan ulang sistem drainase Jalan Tol Serang–Panimbang. Oleh karena itu, akan dilakukan penelitian mengenai perencanaan ulang sistem drainase Jalan Tol Serang–Panimbang. Latar belakang perencanaan ulang ini adalah memastikan sistem drainase jalan tol mampu mengalirkan dan menampung debit aliran dengan kondisi Jalan Tol Serang–Panimbang yang memiliki tingkat kemiringan yang cukup beragam. Lokasi pembangunan jalan tol ini didominasi oleh area persawahan dan banyak terdapat alur serta sungai. Selain itu, jalan tol ini merupakan jalan baru yang dapat menutupi daerah resapan air yang semula air dapat terserap langsung ke dalam tanah.

Perbedaan perencanaan sekarang dengan perencanaan terdahulu adalah lokasi dan data curah hujan yang digunakan. Data curah hujan dalam perencanaan ini merupakan data curah hujan selama 10 tahun dari tahun 2014 hingga tahun 2023. Pada perencanaan ulang sistem drainase ini, untuk analisis frekuensi hujan dilakukan uji distribusi frekuensi dengan beberapa distribusi, yaitu distribusi normal, distribusi log normal, distribusi Gumbel, dan distribusi Log Pearson III. Dari distribusi frekuensi yang memenuhi syarat parameter statistik, dilakukan uji kecocokan distribusi menggunakan uji Chi-Kuadrat dan uji Smirnov-

Kolmogorov. Sementara itu, analisis intensitas hujan menggunakan persamaan Mononobe. Dalam menghitung debit limpasan, metode yang digunakan adalah metode rasional. Analisis hidraulika digunakan untuk menghitung kapasitas saluran drainase dalam menampung debit limpasan dan perencanaan gorong-gorong.

2.3 Perbandingan Perencanaan Saat Ini dengan Perencanaan yang sudah dijalankan

Berdasarkan Perencanaan sistem drainase yang pernah dilakukan sebelumnya, terdapat beberapa persamaan dan perbedaan. Adapun persamaan dan perbedaan antara perencanaan terdahulu dengan perencanaan saat ini dapat dilihat pada **Tabel 2.1** berikut.

Tabel 2.1 Perbandingan Perencanaan Saat Ini dengan Perencanaan yang Sudah Dijalankan

Peneliti	**Firdaus dkk.**	**Zulavivah dkk.**	**Pratama dkk.**	**Nabila Nurmajida**	**Rahmawati dkk.**	**Tiara Prameswari**
Tahun	**2024**	**2021**	**2017**	**2019**	**2018**	**2024**
Judul Perencanaan	Perencanaan Ulang Sistem Drainase Proyek Pembangunan Jalan Tol Pasuruan–Probolinggo Seksi 4A STA 36+600 – STA 39+800	Studi Perencanaan Saluran Drainase Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Kediri–Kertosono Di Wilayah STA 0+150 – STA 6+150	Analisis Sistem Drainase Jalan Tol Balikpapan–Samarinda KM 22+025 – 52+100	Perencanaan Drainase Jalan Tol Pandaan–Malang Sta.15+000–Sta.30+000	Perencanaan Sistem Drainase Jalan Tol Balikpapan–Samarinda Seksi 4	Perencanaan Ulang Sistem Drainase Jalan Tol Serang–Panimbang Seksi 2 STA 28+250 – STA 30+550
Lokasi Perencanaan	Jalan Tol Pasuruan–Probolinggo Seksi 4A STA 36+600 – STA 39+800	Jalan Tol Kediri–Kertosono STA 0+150 – STA 6+150	Jalan Tol Balikpapan–Samarinda KM 22+025 – 52+100	Jalan Tol Pandaan–Malang Sta.15+000–Sta.30+000	Jalan Tol Balikpapan–Samarinda Seksi 4	Jalan Tol Serang–Panimbang Seksi 2 STA 28+250 – STA 30+550
Metode Perencanaan	1. Perhitungan uji konsistensi data curah hujan menggunakan metode kurva massa ganda. 2.Analisis curah hujan daerah menggunakan	1.Analisis hidrologi menggunakan metode rata-rata aljabar 2. Analisis frekuensi hujan menggunakan metode Gumbel	1. Analisis data hujan menggunakan metode hitung rata-rata aljabar 2. Uji distribusi menggunakan distribusi Log Pearson III yang	1. Analisis data curah hujan menggunakan metode Poligon Thiessen 2. Analisis uji konsistensi data menggunakan	1. Analisis hidrologi menggunakan metode rata-rata aljabar 2. Analisis distribusi frekuensi menggunakan distribusi normal,	1.Analisis frekuensi hujan dilakukan uji distribusi frekuensi menggunakan distribusi Normal, distribusi Log Normal, distribusi Gumbel dan

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Perencanaan Saat Ini dengan Perencanaan yang Sudah Dijalankan

Peneliti	**Firdaus dkk.**	**Zulavivah dkk.**	**Pratama dkk.**	**Nabila Nurmajida**	**Rahmawati dkk.**	**Tiara Prameswari**
Tahun	**2024**	**2021**	**2017**	**2019**	**2018**	**2024**
Metode Perencanaan	Metode Poligon Thiessen 3.Analisis curah hujan menggunakan metode Gumbel yang dibandingkan dengan metode Log Pearson III 4. Uji kesesuaian distribusi menggunakan uji Chi-Square dan uji Smirnov-Kolmogorov 5.Analisis intensitas hujan menggunakan rumus Mononobe	dan metode Log Pearson III 3. Uji kesesuaian menggunakan uji Chi-Square dan uji Smirnov-Kolmogorov 4. Perhitungan intensitas hujan menggunakan metode Mononobe 5. Analisis debit saluran menggunakan metode rasional 6. Analisis hidraulika menggunakan persamaan Manning untuk	Memenuhi syarat parameter 3.Uji sebaran menggunakan metode Smirnov-Kolmogorov 4.Analisis intensitas hujan dengan kala ulang menggunakan Persamaan Mononobe 5. Analisis debit menggunakan alat bantu aplikasi EPA SWMM versi 5.1	metode Gumbel, metode log normal, dan metode Log Pearson III 3.Uji kesesuaian distribusi menggunakan uji Chi-Square dan uji Smirnov-Kolmogorov 4.Perhitungan hidrograf satuan menggunakan metode Nakayasu dan perhitungan *base flow* dengan metode HSS Gama I	Distribusi log normal, distribusi Gumbel, dan distribusi Log Pearson III 3.Uji keselarasan menggunakan uji Chi-Kuadrat dan uji Smirnov-Kolmogorov 4.Analisis intensitas hujan dengan persamaan Mononobe 5.Analisis debit menggunakan metode rasional dan metode HSS Gama 1	distribusi Log Pearson III. 2.Uji kecocokan distribusi dengan data dari Log Pearson III menggunakan uji Chi-Kuadrat dan uji Smirnov-Kolmogorov 3. Analisis intensitas hujan menggunakan persamaan Mononobe 4.Analisis Debit limpasan menggunakan metode rasional

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Perencanaan Saat Ini dengan Perencanaan yang Sudah Dijalankan

Peneliti	**Firdaus dkk.**	**Zulavivah dkk.**	**Pratama dkk.**	**Nabila Nurmajida**	**Rahmawati dkk.**	**Tiara Prameswari**
Tahun	**2024**	**2021**	**2017**	**2019**	**2018**	**2025**
Metode Perencanaan	6.Analisis debit rencana dilakukan dengan metode rasional 7.Analisis hidraulika digunakan untuk menghitung kapasitas saluran dalam mengalirkan debit rencana pada saluran median, saluran samping, dan gorong-gorong.	menghitung perencanaan kapasitas saluran drainase	6.Perencanaan hidraulika saluran menggunakan persamaan passing capacity	5. Analisis intensitas hujan menggunakan persamaan Mononobe 6. Analisis debit menggunakan metode rasional 7. Analisis hidraulika digunakan untuk menghitung kapasitas saluran yang dapat menampung air limpasan dan untuk mendesain gorong-gorong dan jembatan	6.Analisis hidraulika digunakan untuk mengetahui kemampuan saluran dalam mengalirkan debit rencana pada saluran media, saluran samping dan saluran gorong-gorong berdasarkan analisis hidrologi.	5.Analisi hidraulika digunakan untuk perhitungan kapasitas saluran drainase dalam menampung debit limpasan dan perencanaan gorong-gorong

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Perencanaan Saat Ini dengan Perencanaan yang Sudah Dijalankan

Peneliti	**Firdaus dkk.**	**Zulavivah dkk.**	**Pratama dkk.**	**Nabila Nurmajida**	**Rahmawati dkk.**	**Tiara Prameswari**
Tahun	**2024**	**2021**	**2017**	**2019**	**2018**	**2025**
Hasil Perencanaan	1. Debit rencana terbesar pada saluran kiri adalah 0,441 m^3/detik dan untuk saluran kanan 0,0397 m^3/detik 2. Dimensi saluran yang terdiri dari tiga tipe yaitu saluran dengan bentuk seperenam lingkaran, saluran dengan bentuk persegi, dan saluran berbentuk trapesium serta *box culvert* dengan satu tipe.	1.Debit rencana maksimum dengan periode ulang 10 tahun sebesar 0,0973 m^3/detik. 2.Dimensi saluran 0,5 m x 0,85 m dengan bentuk penampang *U-Ditch* atau persegi.	1. Debit maksimum saluran dengan periode ulang 25 tahun untuk saluran timbunan 0,196 m^3/detik, untuk saluran galian 0,276 m^3/detik, dan untuk saluran median 0,172 m^3/detik. 2. Dimensi saluran kiri dan saluran kanan yaitu 400 x 600 x 1200, dimensi saluran median 400 x 600 x 1200, Serta dimensi gorong-gorong yaitu 200 x 200 x 1000.	1.Debit banjir pada sungai maksimum adalah 315,25 m^3/s, sedangkan debit limpasan saluran terbesar adalah 2,188 m^3/s. 2. Dimensi pada gorong-gorong yang terbesar adalah 6 m x 6 m. pada saluran pelindung lereng yaitu 0,2 m x 0,2 m, pipa deck drain berdiameter 0,232 m, dan bangunan terjunan dengan tinggi terjunan 0,5 m.	1.Debit maksimum pada periode ulang 10 tahun diperoleh debit maksimum sebesar 1,058 m^3/dt untuk saluran samping dan 0,049 m^3/dt untuk saluran median 2. Dimensi saluran samping yaitu 0,6 m x 1 m dan 1,8 m x 1 m, saluran median dengan diameter 40 cm, dan saluran pada outlet diameter 60 cm, serta gorong-gorong 2 m x 2 m.	1.Debit Rencana dengan periode ulang 10 tahun untuk saluran median dan saluran samping, serta debit rencana dengan periode ulang 25 tahun untuk gorong-gorong. 2.Dimensi saluran yang sesuai dengan kebutuhan debit rencana pada saluran samping, saluran median, dan gorong-gorong.

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Drainase

Drainase berasal dari bahasa inggris *drainage* yang memiliki arti mengalirkan, menguras, membuang, atau mengalihkan air. Drainase dapat juga diartikan sebagai upaya untuk mengontrol kualitas air tanah dalam kaitannya dengan salinitas (Suripin, 2004). Drainase jalan merupakan prasarana yang dapat bersifat alami ataupun buatan yang berfungsi untuk memutuskan dan menyalurkan air permukaan maupun bawah tanah, yang biasanya menggunakan bantuan gaya gravitasi (Pd. T-02-2006-B).

3.2 Sistem Drainase

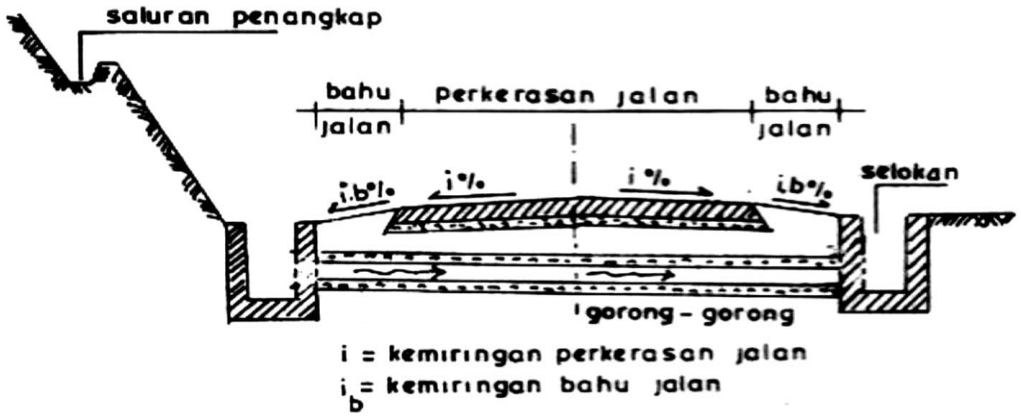
Sistem drainase adalah serangkaian bangunan air yang berfungsi untuk mengurangi atau membuang air yang berlebih dari suatu kawasan atau lahan, sehingga kawasan tersebut dapat difungsikan secara optimal (Suripin, 2004). Sistem drainase jalan harus memperhitungkan debit pengaliran dari saluran samping jalan yang memanfaatkan saluran samping jalan tersebut untuk menuju resapan buatan. Bangunan sistem drainase dapat terdiri atas saluran penerima, saluran pembawa air berlebih, saluran pengumpul dan badan air penerima. Perencanaan sistem drainase didasarkan pada keberadaan air yaitu drainase permukaan dan drainase bawah permukaan (Pd. T-02-2006-B).

3.2.1 Drainase Permukaan (*Surface Drainage*)

Drainase permukaan merupakan suatu jaringan saluran yang umumnya berbentuk saluran terbuka yang berkaitan dengan pengendalian air permukaan. Drainase permukaan jalan pada umumnya memiliki fungsi sebagai berikut.

1. Mengendalikan limpasan air hujan dari permukaan jalan ke pembuangan air
2. Menampung air tanah (dari *subdrain*) dan air permukaan yang mengalir menuju jalan.
3. Membawa air menyeberang alinement jalan secara terkendali.

Dua fungsi yang pertama dikendalikan oleh komponen drainase memanjang, sementara fungsi ketiga memerlukan bangunan drainase melintang, seperti *culvert*, gorong-gorong dan jembatan. Drainase permukaan jalan terdiri atas kemiringan melintang perkersan dan bahu jalan, drainase lereng, dan gorong-gorong. Tipikal drainase permukaan jalan dapat dilihat pada **Gambar 3.1** berikut.



Gambar 3.1 Tipikal Drainase Permukaan Jalan

(Sumber: Pd. T-02-2006-B)

3.2.2 Drainase Bawah Permukaan (*Sub Surface Drainage*)

Drainase bawah permukaan adalah sistem drainase yang berkaitan dengan pengendalian air dibawah permukaan tanah. Drainase bawah permukaan digunakan pada lahan dengan topografi datar ketika tinggi muka air tanah diperkirakan meningkat, sehingga akan menyebabkan kadar air tanah pondasi dan timbunan konstruksi jalan mengalami kenaikan mencapai batas tertentu. Kondisi ini dapat mengurangi stabilitas daya dukung tanah dan menyebabkan keruntuhan. Berdasarkan Pedoman Perencanaan Sistem Drainase Jalan (Pd. T-02-2006-B), Prinsip kerja sistem drainase bawah permukaan adalah sebagai berikut.

1. Menurunkan muka air tanah agar tidak sampai mengganggu stabilitas subgrade.
2. Mencegat air tanah dari daerah sekitar agar tidak merembes ke dalam urugan tanah.

3.3 Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi merupakan aspek yang perlu dipertimbangkan dalam perencanaan sebagian besar bangunan sipil. Kegagalan dalam perhitungan drainase jalan dapat mengakibatkan terjadinya kerusakan pada struktur jalan dan menimbulkan genangan. Upaya dalam mengendalikan genangan pada jalan, maka langkah awal dilakukan analisis hidrologi. Analisis hidrologi merupakan analisis yang berfungsi untuk memperoleh debit limpasan. Jika tidak tersedia data debit, maka dapat dilakukan perhitungan debit limpasan menggunakan data hujan harian.

3.3.1 Uji Konsistensi Data

Uji konsistensi data hujan merupakan pengujian untuk mengetahui keakuratan dan keandalan data curah hujan dalam mendeteksi ketidakpanggahan yang mungkin disebabkan oleh perubahan lingkungan atau alat ukur. Berdasarkan Buishand (1982) dalam Sri Harto (1993), Metode uji konsistensi yang dapat digunakan salah satunya adalah metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*). Metode RAPS merupakan metode statistik untuk menguji konsistensi data curah hujan dengan menganalisis penyimpangan data hujan terhadap nilai rata-rata hujan (*mean*). Uji konsistensi data hujan dengan metode RAPS dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$Sk^* = \sum_{i+1}^{k}(Yi - Yr) \quad (3.1)$$

$$Dy^2 = \sum_{i-1}^{k}\frac{(Yi-Yr)^2}{n} \quad (3.2)$$

$$Sk^{**} = \frac{Sk*}{Dy} \quad (3.3)$$

Dengan:

Sk* = Simpangan mutlak

Sk** = Simpangan konsistensi data

Dy = Simpangan rata-rata

Yi = Data curah hujan

Yr = Rerata curah hujan

n = Jumlah data hujan

k = 1, 2, 3, … n

Pengujian penyimpangan data hujan terhadap nilai rata-rata dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan nilai statisitik Qy dan Ry sebagai berikut.

$$Qy = \text{Maks}|Sk^{**}|,\ 0 \leq k \leq n \quad (3.4)$$

$$Ry = \text{Maks } Sk^{**} - \text{Min } Sk^{**},\ 0 \leq k \leq n \quad (3.5)$$

Dengan:

Qy = Nilai statistik Q untuk $0 \leq k \leq n$

Ry = Nilai statistik (range)

Berdasarkan nilai statistik diatas maka dapat dicari nilai Qy/√n dan Ry/√n. Hasil yang diperoleh dapat dibandingkan dengan nilai Qy/√n syarat dan Ry/√n syarat, jika hasil yang diperoleh lebih kecil maka data hujan masih dalam batasan konsisten. Nilai statistik Qy dan Ry berdasarkan Sri Harto (1993) dapat dilihat pada **Tabel 3.1** berikut.

Tabel 3.1 Persentase Nilai Qy/√n dan Ry/√n

Jumlah data	Qy/√n			Ry/√n		
	90%	95%	99%	90%	95%	99%
10	1,05	1,14	1,29	1,21	1,28	1,38
20	1,10	1,22	1,42	1,34	1,43	1,60
30	1,12	1,24	1,46	1,40	1,50	1,70
40	1,13	1,26	1,50	1,42	1,53	1,74
50	1,14	1,27	1,52	1,44	1,55	1,78
100	1,17	1,29	1,53	1,50	1,62	1,86
>100	1,22	1,36	1,55	1,62	1,75	2,00

3.3.2 Analisis Frekuensi

Analisis frekuensi diperlukan seri data hujan yang diperoleh dari pos penakar hujan, baik yang manual ataupun yang otomatis. Analisis frekuensi ini didasarkan pada parameter statistik data kejadian yang telah lalu untuk

memperoleh probabilitas besaran hujan dimasa yang akan datang (Suripin, 2004). Secara sistematis metode perhitungan analisis frekuensi adalah sebagai berikut.

1. Parameter Statistik

   Menurut Triatmodjo (2008) Dalam statistik dikenal beberapa parameter yang berkaitan dengan analisis data yang meliputi sebagai berikut.

   a. Nilai Rata-rata (*average*)

      Nilai yang digunakan untuk pengukuran suatu distribusi adalah nilai rata-rata. Nilai rata-rata mempunyai bentuk permasaan sebagai berikut.

$$\overline{X} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i \qquad (3.6)$$

      Dengan:

      $\overline{X}$ = Nilai rata-rata (mm)

      X_i = Variabel acak

      n = Jumlah data

   b. Deviasi Standar

      Penyebaran data dapat diukur dengan deviasi standar. Deviasi standar dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(X_i-\overline{X})^2} \qquad (3.7)$$

      Dengan:

      S = Deviasi standar

      X_i = Nilai curah hujan maksimum (mm)

      $\overline{X}$ = Nilai rata-rata (mm)

      n = Jumlah data

   c. Koefisien Variasi

      Koefisien variasi adalah nilai perbandingan antara deviasi standar dengan nilai rerata dari suatu distribusi. Koefisien variasi dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$C_v = \frac{S}{\overline{X}} \quad (3.8)$$

Dengan:

C_v = Koefisien variasi

S = Deviasi standar

$\overline{X}$ = Nilai rata-rata

d. Koefisien *Skewness*

Kemencengan (*skewness*) digunakan untuk mengetahui derajat ketidaksimetrisan atau asimetri dari suatu distribusi. Kemencengan dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$a = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^{n} (X_i - \overline{X})^3 \quad (3.9)$$

Koefisien asimetri memiliki bentuk persamaan sebagai berikut.

$$C_s = \frac{a}{S^3} \quad (3.10)$$

Dengan:

C_s = Koefisien *skewness*

a = Parameter *skewness*

$\overline{X}$ = Nilai rata-rata (mm)

X_i = Nilai curah hujan maksimum (mm)

S = Deviasi standar

n = Jumlah data

e. Koefisien Kurtosis

Koefisien kurtosis adalah derajat ketinggian puncak atau keruncingan suatu distribusi. Koefisien kurtosis memiliki bentuk persamaan berikut.

$$C_k = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)(n-3)S^4} \sum_{i=1}^{n} (X_i - \overline{X})^4 \quad (3.11)$$

Dengan:

C_k = Koefisien kurtosis

$\overline{X}$ = Nilai rata-rata (mm)

X_i = Nilai curah hujan maksimum (mm)

S = Deviasi standar

n = Jumlah data

2. Penentuan Jenis Distribusi Probabilitas

Dalam menentukan jenis distribusi probabilitas yang terpilih maka yang menjadi acuan adalah nilai koefisien *skewness* (Cs) dan koefisien kurtosis (Ck). Penentuan jenis distribusi yang sesuai dengan data dilakukan dengan mencocokkan parameter statistik tersebut dengan syarat masing-masing distribusi. Syarat penentuan jenis distribusi dapat dilihat pada **Tabel 3.2** berikut ini.

Tabel 3.2 Penentuan Jenis Distribusi Dengan Persyaratannya

No	Jenis	Persyaratan
1	Normal	$C_s \approx 0$ $C_k \approx 3$
2	Log Normal	$C_s = C_v^3 + 3C_v$ $C_k = C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3$
3	Gumbel	$C_s = 1{,}14$ $C_k = 5{,}4$
4	Log Pearson III	Selain dari nilai di atas

Sumber: Triatmodjo (2008)

3. Distribusi Probabilitas

Dalam analisis frekuensi untuk hidrologi terdapat beberapa bentuk fungsi distribusi yang sering digunakan, yang dapat dilihat sebagai berikut.

a. Distribusi Normal

Distribusi normal atau kurva normal yang juga dapat disebut distribusi *gauss*. Distribusi mempunyai dua parameter yaitu rerata ($\overline{X}$) dan deviasi standar (S). Persamaan untuk distribusi normal adalah sebagai berikut.

$$X_T = \overline{X} + K_T S \qquad (3.12)$$

Dengan:

X_T = Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang T-tahunan

$\overline{X}$ = Nilai rata-rata hitung variat

K_T = Faktor Frekuensi (dilihat pada Tabel 3.3)

S = Deviasi Standar nilai variat

Nilai K_T umumnya sudah tersedia dapat dilihat pada **Tabel 3.3** berikut.

Tabel 3.3 Nilai Variabel Reduksi *Gauss*

Periode Ulang	Peluang	K_T
1,001	0,999	-3,05
1,005	0,995	-2,58
1,010	0,990	-2,33
1,050	0,950	-1,64
1,110	0,900	-1,28
1,250	0,800	-0,84
1,330	0,750	-0,67
1,430	0,700	-0,52
1,670	0,600	-0,25
2,000	0,500	0
2,500	0,400	0,25
3,330	0,300	0,52
4,000	0,250	0,67
5,000	0,200	0,84
10,000	0,100	1,28
20,000	0,050	1,64
50,000	0,020	2,05
100,000	0,010	2,33
200,000	0,005	2,58
500,000	0,002	2,88
1000,000	0,001	3,09

Sumber: Suripin (2004)

b. Distribusi Log Normal

Distribusi log normal digunakan apabila nilai-nilai variabel acak Y = log X terdistribusi secara normal, maka X dikatakan mengikuti distribusi log Normal (Suripin, 2004). Berikut persamaan untuk perhitungan distribusi log normal.

$$Y_T = \overline{Y} + K_T S \quad (3.13)$$

Dengan:

Y_T = Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang T-tahunan

$\overline{Y}$ = Nilai rata-rata hitung variat

S = Deviasi standar nilai variat

K_T = Faktor frekuensi (dilihat pada Tabel 3.3)

c. Distribusi Gumbel

Distribusi gumbel banyak digunakan untuka analisis data maksimum, seperti untuk analisis frekuensi banjir. Analisis frekuensi dengan menggunakan metode gumbel dilakukan dengan persamaan berikut.

$$X_T = \overline{X} + K.S \quad (3.14)$$

Perhitungan Faktor probabilitas dengan menggunakan persamaan berikut.

$$K = \frac{Y_{Tr} - Y_n}{S_n} \quad (3.15)$$

Dengan:

X_T = Perkiraan nilai probabilitas dengan periode ulang T-tahunan

$\overline{X}$ = Nilai rata-rata hitung variat

S = Deviasi standar nilai variat

K = Faktor probabilitas

Y_n = *Reduced mean* yang tergantung jumlah sampel. (dilihat pada Tabel 3.4)

S_n = *Reduced standard deviation* yang tergantung pada jumlah sampel (dilihat pada Tabel 3.5)

Y_{Tr} = *Reduced variate* yang mempunyai nilai berbeda pada setiap Periode ulang (dilihat pada Tabel 3.6)

Nilai *reduced mean* (Y_n), *reduced standard deviation* (S_n), dan *reduced variate* (Y_{Tr}) dapat dilihat pada **Tabel 3.4**, **Tabel 3.5**, dan **Tabel 3.6** sebagai berikut.

Tabel 3.4 *Reduced Mean* (Y_n) Untuk Distribusi Gumbel

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,4952	0,4996	0,5035	0,5070	0,5100	0,5128	0,5157	0,5181	0,5202	0,5220
20	0,5236	0,5252	0,5268	0,5283	0,5296	0,5309	0,5320	0,5332	0,5343	0,5353
30	0,5362	0,5371	0,5380	0,5388	0,8396	0,5403	0,5410	0,5418	0,5424	0,5436
40	0,5436	0,5442	0,5448	0,5453	0,5458	0,5463	0,5468	0,5473	0,5477	0,5481
50	0,5485	0,5489	0,5493	0,5497	0,5501	0,5504	0,5508	0,5511	0,5515	0,5518
60	0,5521	0,5524	0,5527	0,5530	0,5533	0,5535	0,5538	0,5540	0,5543	0,5545
70	0,5548	0,5550	0,5552	0,5555	0,5557	0,5559	0,5561	0,5563	0,5565	0,5567
80	0,5569	0,5570	0,5572	0,5574	0,5576	0,5578	0,5580	0,5581	0,5583	0,5585
90	0,5586	0,5587	0,5589	0,5591	0,5592	0,5593	0,5595	0,5596	0,5598	0,5599
100	0,5600	0,5602	0,5603	0,5604	0,5606	0,5607	0,5608	0,5609	0,5610	0,5611

Sumber: Suripin (2004)

Tabel 3.5 *Reduced Standard Deviation* ($S_{n)}$ Untuk Distribusi Gumbel

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,9496	0,9676	0,9833	0,9971	1,0095	1,0206	1,0316	1,0411	1,0493	1,0565
20	1,0628	1,0696	1,0754	1,0811	1,0864	1,0915	1,0961	1,1004	1,1047	1,1080
30	1,1124	1,1159	1,1193	1,1226	1,1255	1,1285	1,1313	1,1339	1,1363	1,1388
40	1,1413	1,1436	1,1458	1,1480	1,1499	1,1519	1,1538	1,1557	1,1574	1,1590
50	1,1607	1,1623	1,1638	1,1658	1,1667	1,1681	1,1696	1,1708	1,1721	1,1734
60	1,1747	1,1759	1,1770	1,1782	1,1793	1,1803	1,1814	1,1824	1,1834	1,1844
70	1,1854	1,1863	1,1873	1,1881	1,1890	1,1898	1,1906	1,1915	1,1923	1,1930
80	1,1938	1,1945	1,1953	1,1959	1,1967	1,1973	1,1980	1,1987	1,1994	1,2001
90	1,2007	1,2013	1,2020	1,2026	1,2032	1,2038	1,2044	1,2049	1,2055	1,2060
100	1,2065	1,2069	1,2073	1,2077	1,2081	1,2084	1,2087	1,2090	1,2093	1,2096

Sumber: Suripin (2004)

Tabel 3.6 *Reduced Variate* (Y_{Tr}) Untuk Distribusi Gumbel

Periode Ulang	*Reduced Variate*
2	0,3668
5	1,5004
10	2,2510
20	2,9709
25	3,1993
50	3,9028
75	4,3117
100	4,6012

Lanjutan Tabel 3.6 *Reduced Variate* (Y_{Tr}) Untuk Distribusi Gumbel

Periode Ulang	*Reduced Variate*
200	5,2969
250	5,5206
500	6,2149
1000	6,9087

Sumber: Suripin (2004)

d. Distribusi Log Pearson III

Distribusi log pearson III digunakan apabila parameter statistik C_s dan C_k mempunyai nilai selain dari parameter statistik untuk distribusi yang lain. Bentuk distribusi log pearson III merupakan hasil transformasi dari distribusi pearson III dengan transformasi variat menjadi nilai log. Berikut langkah-langkah penggunaan distribusi log pearson tipe III.

1) Ubah data ke dalam bentuk logaritmis

$$X = \text{Log } X \tag{3.16}$$

2) Hitung harga rata-rata

$$\log \overline{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \log X_i}{n} \tag{3.17}$$

3) Hitung harga simpangan baku:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (\log X_i - \log \overline{X})^2}{n-1}} \tag{3.18}$$

4) Hitung *koefisien skewness*

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^{n} (\log X_i - \log \overline{X})^3}{(n-1)(n-2)S^3} \tag{3.19}$$

5) Hitung koefisien kurtosis

$$C_k = \frac{n^2 \sum_{i=1}^{n} (\log X_i - \log \overline{X})^4}{(n-1)(n-2)S^4} \tag{3.20}$$

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

$$\log X_T = \log \bar{X} + K.s \quad (3.21)$$

Dengan:

$\log X_T$ = Nilai logaritma dengan periode ulang T

$\log \bar{X}$ = Nilai logaritma rata-rata

K = Koefisien variabel standar untuk X yang besarnya tergantung koefisien *skewness*

S = Deviasi standar dari logaritma

Nilai K untuk distribusi Log Pearson III dapat dilihat pada **Tabel 3.7** berikut.

Tabel 3.7 Nilai K Untuk Distribusi Log Pearson III

Koefisien *Skewness* (Cs)	**Periode Ulang (Tahun)**						
	2	5	10	25	50	100	200
	Peluang (%)						
	0,50	0,20	0,10	0,04	0,02	0,01	0,005
3,0	-0,396	0,420	1,180	2,278	3,152	4,051	4,970
2,8	-0.384	0,460	1,210	2,275	3,114	3,973	4,847
2,6	-0,368	0,499	1,238	2,267	3,071	3,889	4,718
2,4	-0,351	0,537	1,262	2,256	3,023	3,800	4,584
2,2	-0,330	0,574	1,284	2,240	2,970	3,705	4,444
2,0	-0,307	0,609	1,302	2,219	2,912	3,605	4,298
1,8	-0,282	0,643	1,318	2,193	2,848	3,499	4,147
1,6	-0,254	0,675	1,329	2,163	2,780	3,388	3,990
1,4	-0,225	0,705	1,337	2,128	2,706	3,271	3,828
1,2	-0,195	0,732	1,340	2,087	2,626	3,149	3,661
1,0	-0,164	0,758	1,340	2,043	2,542	3,022	3,489
0,8	-0,132	0,780	1,336	1,993	2,453	2,891	3,312
0,6	-0,099	0,800	1,328	1,939	2,359	2,755	3,132
0,4	-0,066	0,816	1,317	1,880	2,261	2,615	2,949
0,2	-0,033	0,830	1,301	1,818	2,159	2,472	2,763
0,0	0	0,842	1,282	1,751	2,054	2,326	2,576
-0,2	0,033	0,850	1,258	1,680	1,945	2,178	2,388
-0,4	0,066	0,855	1,231	1,606	1,834	2,029	2,201
-0,6	0,099	0,857	1,200	1,528	1,720	1,880	2,016
-0,8	0,132	0,856	1,166	1,448	1,606	1,733	1,837
-1,0	0,164	0,852	1,128	1,366	1,492	1,588	1,664
-1,2	0,195	0,844	1,086	1,282	1,379	1,449	1,501

Lanjutan Tabel 3.7 Nilai K Untuk Distribusi Log Pearson III

Koefisien *Skewness* (Cs)	**Periode Ulang (Tahun)**						
	2	5	10	25	50	100	200
	Peluang (%)						
	0,50	0,20	0,10	0,04	0,02	0,01	0,005
-1,4	0,225	0,832	1,041	1,198	1,270	1,318	1,351
-1,6	0,254	0,817	0,994	1,116	1,166	1,197	1,216
-1,8	0,282	0,799	0,945	1,035	1,069	1,087	1,097
-2,0	0,307	0,777	0,895	0,959	0,980	0,990	0,995
-2,2	0,330	0,752	0,844	0,888	0,900	0,905	0,907
-2,4	0,351	0,725	0,795	0,823	0,830	0,832	0,833
-2,6	0,368	0,696	0,747	0,764	0,768	0,769	0,769
-2,8	0,384	0,666	0,702	0,712	0,714	0,714	0,714
-3,0	0,396	0,636	0,666	0,666	0,666	0,667	0,667

Sumber: Triatmodjo (2008)

3.3.3 Uji Kecocokan Distribusi

Sri Harto (1991) dalam Triatmodjo (2008) menyebutkan terdapat dua prngujian untuk menguji apakah jenis distribusi yang dipilih sesuai dengan data yang ada, pengujian itu adalah uji Chi-Kuadrat dan Smirnov Kolmogorov. Uji kecocokan ini digunakan untuk menguji kesesuaian distribusi frekuensi sampel data terhadap fungsi distribusi peluang yang diperkirakan dapat menggambarkan distribusi frekuensi tersebut.

1. Uji Chi-Kuadrat

   Dalam pengujian Chi-Kuadrat digunakan nilai X^2 yang dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$X^2 = \sum_{t=1}^{N} \frac{(Of-Ef)^2}{Ef} \qquad (3.22)$$

   Dengan:

   X^2 = Nilai Chi-Kuadrat terhitung

   Ef = Frekuensi yang diharapkan sesuai dengan pembagian kelas

   Of = Frekuensi yang terbaca pada kelas yang sama

   N = Jumlah sub kelompok dalam satu kelompok

Nilai X^2 yang didapatkan harus kurang dari nilai X_{cr}^2 (Chi-Kuadrat kritik), yang biasa diambil 5% dalam suatu derajat nyata tertentu. Derajat kebebasan diperoleh dengan persamaan berikut.

$$K = 1 + 3{,}22\ \mathrm{Log}_n \tag{3.23}$$

$$DK = K - (\alpha + 1) \tag{3.24}$$

Dengan:

DK = Derajat kebebasan

K = Jumlah kelas

α = Banyaknya keterikatan atau parameter dalam uji Chi-Kuadrat adalah 2

Untuk nilai X_{cr}^2 diperoleh melalui **Tabel 3.8** pada halaman selanjutnya.

Tabel 3.8 Nilai Chi Kuadrat Kritik

DK	Distribusi X^2											
	0,99	**0,95**	**0,90**	**0,80**	**0,70**	**0,50**	**0,30**	**0,20**	**0,10**	**0,05**	**0,01**	**0,001**
1	0,000	0,004	0,016	0,064	0,148	0,455	1,074	1,642	2,706	3,841	6,635	10,827
2	0,020	0,103	0,211	0,0446	0,713	1,386	2,408	3,219	4,605	5,991	9,210	13,815
3	0,115	0,352	0,584	1,005	1,424	2,366	3,665	4,642	6,251	7,815	11,345	16,268
4	0,297	0,711	1,064	1,649	2,195	3,357	4,878	5,989	7,779	9,488	13,277	18,465
5	0,554	1,145	1,610	2,343	3,000	4,351	6,064	7,289	9,236	11,070	15,086	20,517
6	0,872	1,635	2,204	1,070	3,828	5,348	7,231	8,558	10,645	12,592	16,812	22,457
7	1,239	2,167	2,833	3,822	4,671	6,346	8,383	9,803	12,017	14,067	18,475	24,322
8	1,646	2,733	3,890	4,594	5,527	7,344	9,524	11,030	13,362	15,507	20,090	26,425
9	2,088	3,325	4,168	5,380	6,393	8,343	10,656	12,242	14,684	16,919	21,666	27,877
10	2,558	3,940	6,179	6,179	7,267	9,342	11,781	13,442	15,987	18,307	23,209	29,588
11	3,053	4,575	5,578	6,989	8,148	10,341	12,899	14,631	17,275	19,675	24,725	31,264
12	3,571	5,226	6,304	7,807	9,034	11,340	14,011	15,812	18,549	21,026	26,217	32,909
13	4,107	5,892	7,042	8,634	9,926	12,340	15,119	16,985	19,812	22,362	27,688	34,528
14	4,660	6,571	7,790	9,467	10,821	13,339	16,222	18,151	21,064	23,685	29,141	36,123
15	5,229	7,261	8,547	10,307	11,721	14,339	17,322	19,311	22,307	24,996	30,578	37,697
16	5,812	7,962	9,312	11,152	12,624	15,338	18,418	20,465	23,542	26,296	32,000	39,252
17	6,408	8,672	10,085	12,002	13,531	16,338	19,511	21,615	24,769	27,587	33,409	40,790
18	7,015	9,390	10,865	12,857	14,440	17,338	20,601	22,760	25,989	28,869	34,805	42,312
19	7,633	10,117	11,651	13,716	15,352	18,338	21,689	23,900	27,204	30,144	36,191	43,820
20	8,260	10,851	12,443	14,578	16,266	19,377	22,775	25,038	28,412	31,410	37,566	45,315
21	8,897	11,501	13,240	15,445	17,182	20,377	23,858	26,171	29,615	32,671	38,932	46,797
22	9,542	12,338	14,041	16,314	18,101	21,337	24,939	27,301	30,813	33,924	40,289	48,268
23	10,196	13,091	14,848	17,187	19,021	22,337	26,018	28,429	32,007	35,172	41,638	49,728
24	10,856	13,848	15,659	18,062	19,943	23,337	27,096	29,553	33,196	36,415	42,980	51,179
25	11,524	14,611	16,473	18,940	20,867	24,337	28,172	30,675	34,382	37,652	44,314	52,620
26	12,198	15,379	17,292	19,820	21,792	25,336	29,246	31,795	35,563	38,886	45,642	54,052
27	12,879	16,151	18,114	20,703	22,719	26,336	30,319	32,912	36,741	40,113	46,963	55,476
28	13,565	16,928	18,939	21,588	23,647	27,336	31,391	34,027	37,916	41,337	48,278	56,893
29	14,256	17,708	19,768	22,475	24,577	28,336	32,461	35,139	39,087	42,557	49,588	58,302
30	14,953	18,493	20,599	23,364	25,508	29,336	33,530	36,250	40,256	43,773	50,892	59,703

Sumber: Triatmodjo (2008)

2. Uji Smirnov-Kolmogorov

Uji kecocokan Smirnov-Kolmogorov juga dikenal sebagai uji kecocokan nonparametrik karena dalam pengujiannya tidak memerlukan fungsi distribusi tertentu. Sebaliknya, uji ini menggunakan kurva distribusi dan penggambaran data pada kertas probabilitas. Dari gambar tersebut, dapat diidentifikasikan jarak penyimpangan setiap titik data terhadap kurva distribusi. Jarak penyimpangan terbesar ini disebut nilai Δ_{maks}, dan jika kemungkinan memperoleh nilai yang kurang dari nilai Δ_{kritis}, maka jenis distribusi yang dipilih dapat diterima. Tabel nilai Δ_{kritis} dapat di lihat pada **Tabel 3.9** di bawah ini.

Tabel 3. 9 Nilai Δ_{kritis} Uji Smirnov-Kolmogorov

n	α			
	0,20	0,10	0,05	0,01
5	0,45	0,51	0,56	0,67
10	0,32	0,37	0,41	0,49
15	0,27	0,30	0,34	0,40
20	0,23	0,26	0,29	0,36
25	0,21	0,24	0,27	0,32
30	0,19	0,22	0,24	0,29
35	0,18	0,20	0,23	0,27
40	0,17	0,19	0,21	0,25
45	0,18	0,18	0,20	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23
n > 50	$\frac{1,07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,07}{\sqrt{n}}$

Sumber: Triatmodjo (2008)

3.3.4 Periode Ulang

Periode ulang adalah waktu yang berulang di mana kejadian hujan dengan suatu besaran tertentu akan serupa atau dapat dilampaui sekali dalam jangka waktu tertentu. Penetapan periode ulang hujan ini digunakan untuk menentukan besarnya kapasitas saluran atau bangunan drainase. Berdasarkan SNI 03-3424-1994, periode ulang untuk perencanaan sistem drainase jalan adalah 5 tahun disesuaikan dengan peruntukannya.

Adapun acuan periode ulang untuk perencanaan gorong-gorong berdasarkan fungsi jalan yang dapat dilihat pada **Tabel 3.10** berikut.

Tabel 3.10 Periode Ulang untuk Gorong-Gorong Berdasarkan Fungsi Jalan

No.	Kelas dan/atau Fungsi Jalan	Periode Ulang
1.	Jalan Tol	25 Tahun
2.	Jalan Arteri	10 Tahun
3.	Jalan Kolektor	7 Tahun
4.	Jalan Lokal	5 Tahun

Sumber: Surat Edaran Direktur Jendral Bina Marga Nomor 23/SE/Db/2021 tentang Pedoman Desain Drainase Jalan

3.3.5 Koefisien Aliran Permukaan *(RunOff)*

Koefisien aliran permukaan adalah perbandingan antara puncak aliran dengan intensitas hujan. Faktor ini merupakan variabel yang paling menentukan hasil perhitungan debit banjir. Faktor utama yang mempengaruhi koefisien *runOff* adalah laju infiltrasi tanah, kemiringan lahan, tanaman penutup tanah, dan intensitas hujan (Suripin, 2004). Koefisien *runoff* dapat ditentukan berdasarkan kondisi permukaan pada *catchement area.* Menurut SNI 03-3424-1994, koefisien *runoff* dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$C = \frac{C_1 . A_1 + C_2 . A_2 + C_3 . A_3 + \dots}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots} \quad (3.25)$$

Dengan:

A_1, A_2, A_3 = Luas daerah pengaliran sesuai kondisi permukaan (ha atau km^2)

C_1, C_2, C = Koefisien pengaliran yang sesuai dengan tipe kondisi permukaan

Penentuan nilai koefisien pengaliran dapat dilihat pada **Tabel 3.11** berikut.

Tabel 3.11 Koefisien Limpasan untuk Metode Rasional

Deskripsi Lahan/Karakter Permukaan		Koefisien aliran,C
Business		
	Perkotaan	0,70 – 0,95
	Pinggiran	0,50 – 0,70
Perumahan		
	Rumah tunggal	0,30 – 0,50
	Multiunit, terpisah	0,40 – 0,60
	Multiunit, tergabung	0,60 – 0,75
	Perkampungan	0,25 – 0,40
	Apartemen	0,50 – 0,70
Industri		
	Ringan	0,50 – 0,80
	Berat	0,60 – 0,90
Perkerasan		
	Aspal dan beton	0,70 – 0,95
	Batu bata, paving	0,50 – 0,70
Atap		0,75 – 0,95
Halaman, tanah berpasir		
	Datar 2%	0,05 – 0,10
	Rata-rata, 2-7%	0,10 – 0,15
	Curam, 7%	0,15 – 0,20
Halaman, tanah berat		
	Datar 2%	0,13 – 0,17
	Rata-rata, 2-7%	0,18 – 0,22
	Curam, 7%	0,25 – 0,35
Halaman kereta api		0,10 – 0,35
Tempat bermain		0,20 – 0,35
Taman, perkuburan		0,10 – 0,25
Hutan		
	Datar, 0-5%	0,10 – 0,40
	Bergelombang, 5-10%	0,25 – 0,50
	Berbukit, 10-30%	0,30 – 0,60

Sumber: Suripin (2004)

3.3.6 Waktu Konsentrasi

Waktu konsentrasi adalah waktu yang diperlukan oleh air hujan yang jatuh untuk mengalir dari titik terjauh sampai ke tempat keluaran daerah aliran sungai atau titik kontrol (Suripin, 2004). Salah satu metode untuk memperkirakan waktu

konsentrasi dengan menggunakan persamaan yang dikembangkan oleh Kirpich (1940) dalam Suripin (2004) adalah sebagai berikut.

$$t_c = \left(\frac{0{,}87 \times L^2}{1000 \times S}\right)^{0{,}385} \quad (3.26)$$

Dengan:

t_c = Waktu konsentrasi (jam)

L = Panjang lintasan aliran di saluran (km)

S = Kemiringan rata-rata saluran

Waktu konsentrasi dapat juga dihitung dengan membedakannya menjadi dua komponen, yaitu waktu yang diperlukan air untuk mengalir di permukaan lahan sampai saluran terdekat t_0 dan waktu perjalanan dari pertama masuk saluran sampai titik keluaran t_d sehingga persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$t_c = t_0 + t_d \quad (3.27)$$

$$t_0 = \left(\frac{2}{3} \times 3{,}28 \times L \times \frac{nd}{\sqrt{S_0}}\right)^{0{,}167} \quad (3.28)$$

$$t_d = \frac{L_s}{60 \times V} \quad (3.29)$$

Dengan:

nd = Koefisien hambatan

S_0 = Kemiringan lahan

L_0 = Panjang lintasan aliran di atas permukaan lahan (m)

L_s = Panjang lintasan aliran di dalam saluran (m)

V = Kecepatan aliran di dalam saluran (m/detik)

Koefisien hambatan berdasarkan kondisi permukaan dapat dilihat pada **Tabel 3.12** berikut

Tabel 3.12 Koefisien Hambatan Berdasarkan Kondisi Permukaan

No.	Kondisi Lapis Permukaan	nd
1	Lapis semen dan aspal beton	0,013
2	Permukaan licin dan kedap air	0,020
3	Permukaan licin dan kokoh	0,100
4	Tanah dengan rumput tipis dan gundul dengan permukaan sedikit kasar	0,200
5	Padang rumput dan rerumputan	0,400
6	Hutan gundul	0,600
7	Hutan rimbun dan hutan gundul dengan rumput jarang sampai rapat	0,800

Sumber: Pd. T-02-2006-B

3.3.7 Intensitas Hujan

Intensitas hujan merujuk pada ketinggian atau kedalaman air hujan yang jatuh dalam satuan waktu. Secara umum, hujan yang berlangsung dalam waktu singkat cenderung memiliki intensitas yang lebih tinggi, dan intensitas ini juga meningkat seiring dengan bertambahnya periode ulang. Hubungan antara intensitas, durasi, dan frekuensi hujan biasanya digambarkan dalam kurva Intensitas-Durasi-Frekuensi (IDF). Diperlukan data hujan dalam jangka pendek, misal 5 menit, 10 menit, 60 menit. Data hujan jenis dapat diperoleh dari pos penakar hujan otomatis dan manual. Jika data hujan jangka pendek tidak tersedia dan hanya terdapat data hujan harian maka intensitas hujan dapat dihitung dengan persamaan *Mononobe* sebagai berikut.

$$I = \frac{R_{24}}{24} \times \left(\frac{24}{t}\right)^{\frac{2}{3}} \tag{3.30}$$

Dengan:

I = Intensitas curah hujan untuk lama hujan *t* (mm/jam)

t = Lamanya curah hujan (jam)

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

3.3.8 Debit Rencana

Menurut Triatmodjo (2008) Debit aliran merupakan jumlah air yang mengalir melalui tampang lintang sungai tiap satuan waktu, yang biasanya dinyatakan dalam meter kubik per detik (m^3/s). Metode umum yang biasa digunaka untuk memperkirakan laju aliran permukaan puncak adalah metode rasional. Metode rasional dikembangkan berdasarkan asumsi bahwa hujan yang terjadi mempunyai intensitas seragam dan merata di seluruh daerah aliran sungai paling sedikit sama dengan waktu konsentrasi (t_c). Perhitungan debit rencana menggunakan metode rasional dengan persamaan berikut.

$$Q = 0{,}278 \times C \times I \times A \tag{3.31}$$

Keterangan:

Q = Debit rencana atau limpasan (m^3/s)

C = Koefisien aliran permukaan (dilihat pada Tabel 3.9)

I = Intensitas hujan (mm/jam)

A = Luas daerah tangkapan air (km^2)

3.4 Analisis Hidraulika

Analisis hidraulika adalah analisis yang digunakan untuk mengetahui kapasitas debit air yang dapat mengalir dalam suatu saluran. Terdapat faktor yang mempengaruhi besar debit air mengalir yang akan dibuang melalui saluran adalah bentuk dan dimensi saluran tersebut. Dalam hal ini analisis hidraulika dilakukan untuk menentukan dimensi dan bentuk dari saluran drainase tepi, saluran median dan saluran pembuang median, serta gorong-gorong. Berdasarkan Triatmodjo (1993) analisis hidraulika untuk mengetahui kapasitas saluran drainase dihitung menggunakan persamaan Manning sebagai berikut.

$$Q = A \times V \tag{3.32}$$

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \tag{3.33}$$

$$S = \frac{\Delta h}{L} \quad (3.34)$$

Dengan:

V = Kecepatan aliran (m/s)

R = Jari-jari hidraulik (m)

S = Kemiringan dasar saluran

Δh = Beda tinggi hulu ke hilir

L = Panjang Saluran (m)

A = Luas penampang basah (m^2)

Q = Debit aliran (m^3/s)

n = Koefisien kekasaran *Manning*

Besarnya nilai koefisien kekasaran *Manning* tergantung jenis dinding saluran yang digunakan yang dapat dilihat pada **Tabel 3.13** berikut

Tabel 3.13 Harga Koefisien Kekasaran Manning

No.	Tipe Saluran dan Jenis Bahan	Harga n		
		Minimum	Normal	Maksimum
1.	Beton			
	• Gorong-gorong lurus dan bebas dari kotoran	0,010	0,011	0,013
	• Gorong-gorong dengan lengkungan dan sedikit kotoran/gangguan	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
2.	Tanah, lurus dan seragam			
	• Bersih batu	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
3.	Saluran 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	0,08
	• Dataran banjir berumput pendek-tinggi	0,025	0,030	0,035
	• Saluran di belukar	0,035	0,050	0,07

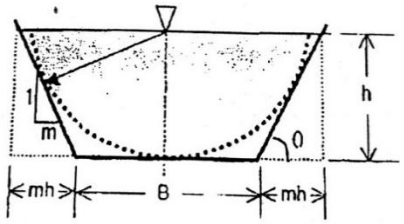
Sumber: Ven Te Chow (1992)

3.4.1 Perhitungan Geometri Penampang Saluran

Perhitungan geometri penampang saluran dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut.

1. Penampang Saluran Trapesium

   Bentuk dari penampang saluran berbentuk trapesium dapat dilihat pada **Gambar 3.2** berikut ini.



Gambar 3.2 Penampang Saluran Trapesium

(Sumber: Suripin, 2004)

Persamaan yang digunakan dalam perhitungan penampang saluran berbentuk trapesium secara berurutan dapat dilihat sebagai berikut.

a. Luas penampang basah

   Perhitungan luas penampang basah pada saluran berbentuk trapesium dapat dilihat pada persamaan berikut ini

$$A = (\mathrm{b} + \mathrm{mh})\,\mathrm{h} \qquad (3.35)$$

   Dengan:

   A = Luas penampang basah (m^2)

   b = Lebar penampang (m)

   m = Kemiringan dinding saluran

   h = Kedalaman saluran yang terendam air (m)

b. Tinggi Jagaan

   Tinggi jagaan pada saluran berbentuk trapesium dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$\mathrm{w} = \sqrt{0{,}5\ \mathrm{h}} \qquad (3.36)$$

Dengan:

w = Tinggi jagaan (m)

h = Kedalaman aliran (m)

c. Keliling basah

Persamaan keliling basah pada saluran berbentuk trapesium dapat dilihat sebagai berikut.

$$P = b + 2h\sqrt{m^2+1} \quad (3.37)$$

Dengan:

P = Keliling basah (m)

b = Lebar penampang (m)

m = Kemiringan dinding saluran

h = Kedalaman aliran (m)

d. Jari-Jari Hidraulik

Jari-jari hidraulik pada saluran berbentuk trapesium dapat menggunakan persamaan berikut.

$$R = \frac{(b+mh)\,h}{b+2h\sqrt{m^2+1}} \quad (3.38)$$

Dengan:

R = Jari-jari hidraulik (m)

b = Lebar penampang (m)

m = Kemiringan dinding saluran

h = kedalaman aliran (m)

e. Lebar atas saluran

Lebar atas pada saluran berbentuk trapesium dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$T = b + 2mh \quad (3.39)$$

Dengan:

T = Lebar atas saluran (m)

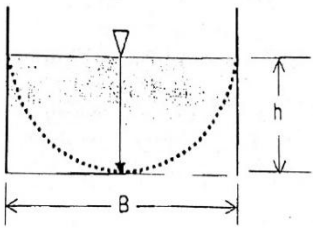
b = Lebar penampang (m)

m = kemiringan dinding saluran

h = Kedalaman aliran (m)

2. Penampang Saluran Segi Empat

Bentuk dari penampang saluran berbentuk segi empat dapat dilihat pada **Gambar 3.3** berikut ini.



Gambar 3.3 Penampang Saluran Segi Empat

(Sumber: Suripin, 2004)

Persamaan yang digunakan dalam perhitungan penampang saluran berbentuk segi empat secara berurutan dapat dilihat sebagai berikut.

a. Luas penampang basah

Perhitungan luas penampang basah pada saluran berbentuk segi empat dapat dilihat pada persamaan berikut ini.

$$A = b \times h \qquad (3.40)$$

Dengan:

A = Luas penampang basah (m^2)

b = Lebar penampang (m)

h = Kedalaman aliran (m)

b. Tinggi Jagaan

Tinggi jagaan pada saluran berbentuk segi empat dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$w = \sqrt{0{,}5\ h} \quad (3.41)$$

Dengan:

w = Tinggi jagaan (m)

h = Kedalaman aliran (m)

c. Keliling basah

Persamaan keliling basah pada saluran berbentuk segi empat dapat dilihat sebagai berikut.

$$P = b + 2h \quad (3.42)$$

Dengan:

P = Keliling basah (m)

B = Lebar penampang (m)

h = Kedalaman aliran (m)

d. Jari-Jari Hidraulik

Jari-jari hidraulik pada saluran berbentuk segi empat dapat menggunakan persamaan berikut.

$$R = \frac{b \times h}{b + 2h} \quad (3.43)$$

Dengan:

R = Jari-jari hidraulik (m)

b = Lebar penampang (m)

h = Kedalaman aliran (m)

3. Penampang Saluran Pipa Lingkaran

Bentuk dari penampang saluran pipa lingkaran dapat dilihat pada **Gambar 3.4** berikut ini.

Gambar 3.4 Penampang Saluran Pipa Lingkaran

(Sumber: SNI 03-3424-1994)

Persamaan yang digunakan dalam perhitungan penampang saluran pipa lingkaran secara berurutan dapat dilihat sebagai berikut.

a. Luas penampang basah

Perhitungan luas penampang basah pada saluran pipa lingkaran dilihat pada persamaan berikut ini.

$$A = \frac{\pi D^2}{4}\left(1-\frac{\theta}{180}\right)+(h-0{,}5D)^2 \cdot \tan\theta \qquad (3.44)$$

Dengan:

A = Luas penampang basah (m^2)

D = Diameter saluran bentuk lingkaran (m)

θ = Besar sudut dalam radial

h = Kedalaman saluran yang terendam air (m)

b. Tinggi Jagaan

Tinggi jagaan pada saluran pipa berbentuk lingkaran dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$w = 0{,}2 \times D \qquad (3.45)$$

Sehingga:

$$h = 0{,}8 \times D \qquad (3.46)$$

Dengan:

w = Tinggi jagaan (m)

D = Diameter saluran bentuk lingkaran (m)

h = Kedalaman saluran yang terendam air (m)

c. Keliling basah

Persamaan keliling basah pada saluran pipa lingkaran dapat dilihat sebagai berikut.

$$P = \pi D \left(1 - \frac{\theta}{180}\right) \quad (3.47)$$

Dengan:

P = Keliling basah (m^2)

D = Diameter saluran pipa lingkaran (m)

θ = Besar sudut dalam radial

d. Jari-Jari Hidraulik

Jari-jari hidraulik pada saluran pipa lingkaran dapat menggunakan persamaan berikut.

$$R = \frac{\frac{\pi D^2}{4}\left(1 - \frac{\theta}{180}\right) + (h - 0{,}5D)^2 \cdot \tan\theta}{\pi D \left(1 - \frac{\theta}{180}\right)} \quad (3.48)$$

Dengan:

R = Jari jari hidraulik (m)

D = Diameter saluran pipa lingkaran (m)

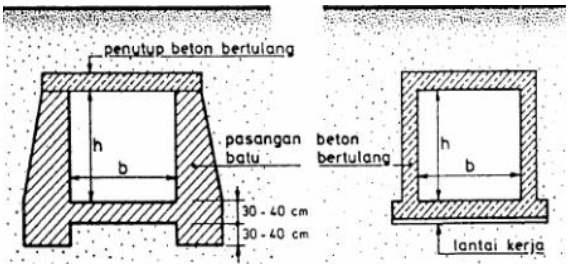
θ = Besar sudut dalam radial

h = Kedalaman saluran yang terendam air (m)

3.4.2 Perencanaan Gorong-gorong (*Culvert*)

Gorong-gorong merupakan bangunan yang dipakai untuk membawa aliran air melewati bawah jalan air lainnya (biasanya saluran), bawah jalan atau jalan kereta api. Gorong-gorong memiliki fungsi sebagai saluran terbuka dengan aliran bebas. Gorong-gorong memiliki potongan melintang yang lebih kecil daripada luas basah saluran hulu maupun hilir. Sebagian potongan melintang mungkin berada di atas muka air (KP 04, 2008). Bentuk penampang melintang gorong-gorong terdapat beberapa jenis yaitu bulat, segi empat, oval, tapal kuda, dan

segitiga. Gorong-gorong segi empat dibuat dari beton bertulang atau dari pasangan batu dengan pelat beton sebagai penutup. Gorong-gorong dalam bentuk ini sangat ideal digunakan khususnya pada tempat-tempat terpencil. Contoh salah satu gambar gorong-gorong dapat dilihat pada **Gambar 3.6** berikut.



Gambar 3.5 Gorong-gorong Segi Empat

(Sumber: KP 04, 2008)

3.4.3 Hec-Ras

Dalam mengerjakan analisis hidraulika, dapat menggunakan program bantu Hec-Ras (*Hydrologic Engineering Center-River Analysis System*). Hec-Ras merupakan program aplikasi yang dibuat oleh *US Army Corps of Engineering* (USACE). Hec-Ras merupakan aplikasi yang digunakan untuk analisis hidraulika pada sungai atau saluran. Analisis hidraulika yang dilakukan oleh Hec-Ras menggunakan analisis aliran *steady* dan analisis aliran *unsteady* yang akan memberikan desain berdasarkan analisis tersebut. Data yang digunakan dalam melakukan analisis hidraulika dengan program bantu Hec-Ras adalah sebagai berikut.

1. Data geometri saluran drainase yang berupa penampang melintang dan panjang saluran.
2. Koefisien kekasaran Manning
3. Debit aliran (debit disetiap titik penampang saluran)
4. Kemiringan saluran

Setelah dilakukan analisis hidraulika dengan program bantu Hec-Ras, didapatkan hasil analisis sebagai berikut.

1. Profil muka air (*water surface profile*)
2. Kedalaman aliran pada saluran (*flow depth*)

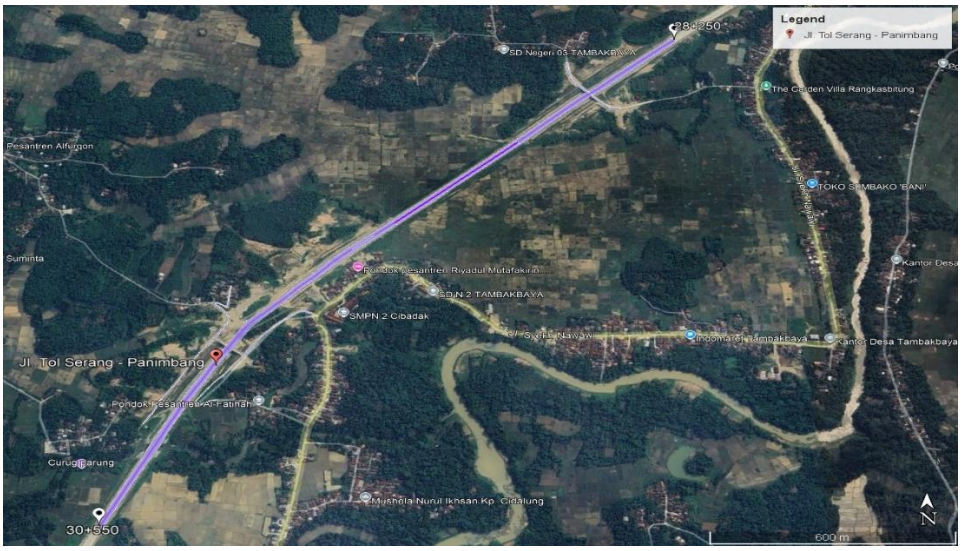
BAB IV
METODE PERENCANAAN

4.1 Tinjauan Umum

Pada bab ini akan dijelaskan metode perencanaan. Metode perencanaan adalah cara yang digunakan untuk merencanakan strategi dalam mencapai tujuan tertentu. Perencanaan ini dilakukan untuk merancang ulang sistem drainase guna memastikan bahwa sistem drainase yang ada mampu mengalirkan dan menampung debit aliran agar tidak terjadi genangan dari limpasan air hujan.

4.2 Lokasi Perencanaan

Lokasi perencanaan ulang sistem drainase berada pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Serang-Panimbang seksi 2. Jalan Tol Serang-Panimbang Seksi 2 ini berada di Kabupaten Lebak, Provinsi Banten. Pada perencanaan ulang sistem drainase ini lokasi yang ditinjau hanya pada Jalan Tol Serang-Panimbang Seksi 2 di Sta. 28+250 sampai Sta. 30+550. Lokasi perencanaan dapat dilihat pada **Gambar 4.1** sebagai berikut.



Gambar 4.1 Lokasi Perencanaan

(Sumber: *Google Earth*)

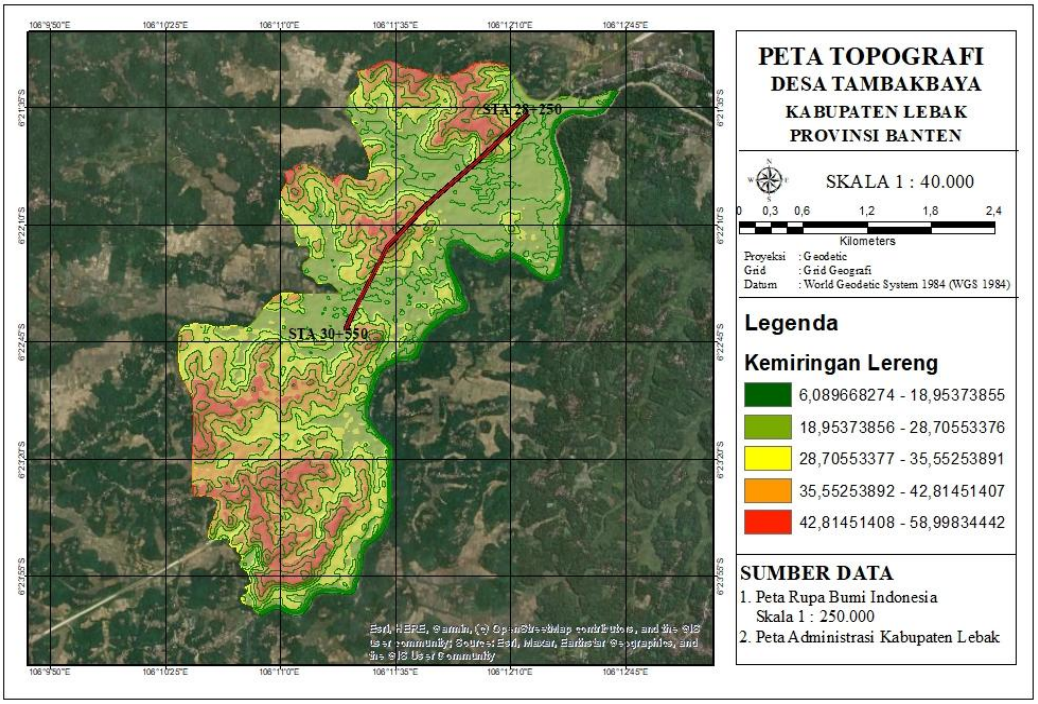
4.3 Tahapan Perencanaan

4.3.1 Tahap Pengumpulan Data

Data untuk perencanaan ulang sistem drainase jalan tol ini menggunakan data sekunder yang didapatkan dari badan serta instansi terkait. Berikut diperoleh data yang telah dikumpulkan serta digunakan pada saat perencanaan nanti.

1. Data Topografi

   Data topografi merupakan data yang menunjukkan bentuk permukaan tanah termasuk tinggi rendahnya permukaan dan kontur. Dalam perencanaan ulang sistem drainase, data ini membantu menentukan kemiringan tanah, tata guna lahan, dan daerah tangkapan air. Pada perencanaan ini, data topografi diperoleh dari website Geoportal Nasional (Badan Informasi Geospasial) yang kemudian diolah dengan aplikasi ArcGIS.



Gambar 4.2 Peta Topografi pada Lokasi Perencanaan

(Sumber: ArcGIS 10.8.2)

2. Data Hujan

   Data hujan pada perencanaan ulang sistem drainase diperoleh dari CHRS (*Center for Hydrometeorology and Remote Sensing*) data portal oleh

University of California, Irvine (UCI) dengan menggunakan data curah hujan maksimum harian dari tahun 2014 sampai 2023.

3. Data Geometri Saluran

   Data geometri saluran yang digunakan dalam perencanaan sistem drainase diperoleh dari PT. Wijaya Karya. Data geometri saluran ini mencakup informasi mengenai *plan profile* jalan dan tipikasl saluran draianse jalan dari Jalan Tol Serang-Panimbang Seksi 2

4.3.2 Analisis Data

Analisis data dilakukan terhadap data yang telah terkumpul dengan tujuan untuk merencanakan sistem drainase secara lebih jelas. Tahapan analisis data dalam perencanaan ini adalah sebagai berikut.

1. Analisis Frekuensi

   Data curah hujan yang telah diperoleh dapat dilakukan analisis frekuensi. Analisis frekuensi didasarkan pada parameter statistik untuk menentukan jenis distribusi probabilitas. Metode yang digunakan dalam menentukan jenis distribusi probabilitas adalah sebagai berikut

   a. Distribusi Normal
   b. Distribusi Log Normal
   c. Distribusi Gumbel
   d. Distribusi Log Pearson III

2. Uji Kecocokan Distribusi

   Pengujian jenis distribusi menggunakan uji Chi-Kuadrat dan uji Smirnov-Kolmogorov untuk menentukan apakah jenis distribusi yang dipilih dapat menggambarkan data hujan yang dianalisis.

3. Koefisien Aliran Permukaan

   Dalam menghitung nilai koefisien aliran permukaan (*runoff*) maka daerah tangkapan air diklasifikasikan berdasarkan jenis permukaan lahan atau tata guna lahan. Perhitungan koefisien aliran dilakukan dengan menjumlahkan semua hasil perkalian koefisien (C) dengan setiap luas daerah tata guna lahan kemudian dibagi dengan luas daerah tangkapan air total.

4. Debit Rencana

   Perhitungan debit rencana menggunakan metode rasional dengan periode ulang tertentu dilakukan dengan mengalikan ketiga komponen yaitu, koefisien aliran (C), luas daerah tangkapan, dan Intensitas hujan. Luas daerah tangkapan dan koefisien aliran diperoleh dari tahapan perhitungan sebelumnya sedangkan untuk memperoleh Intensitas hujan perlu diketahui curah hujan maksimum selama 24 jam (R_{24}) dan waktu konsentrasi (t_c) yaitu waktu yang diperlukan air dari titik terjauh sampai titik keluaran saluran. Selanjutnya dapat dihitung intensitas hujan dengan periode ulang 10 tahun untuk saluran samping dan saluran median serta 25 tahun untuk gorong-gorong.

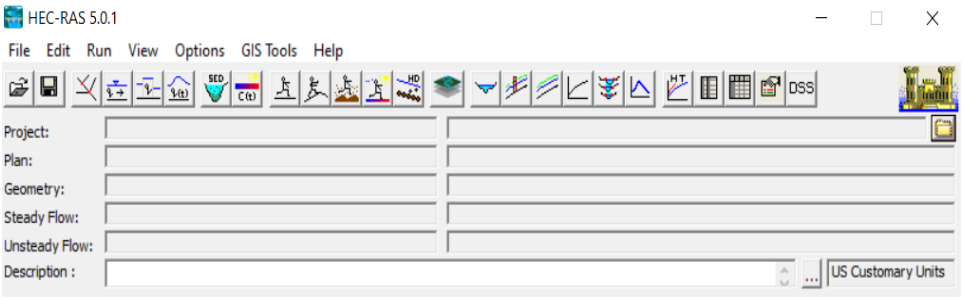
5. Analisis Kapasitas Sistem Drainase

   Pada tahapan ini dilakukan analisis kapasitas saluran dan gorong-gorong eksisting ($Q_{eksisting}$) dalam menampung debit rencana ($Q_{rencana}$). Dalam analisis ini, saluran dan gorong-gorong eksisting dapat berfungsi dengan baik apabila nilai kapasitas saluran dan gorong-gorong eksisting lebih besar dibandingkan dengan debit rencana ($Q_{eksisting} > Q_{rencana}$), sebaliknya apabila nilai kapasitas saluran dan gorong-gorong eksisting lebih kecil dibandingkan dengan debit rencana ($Q_{eksisting} < Q_{rencana}$), maka saluran dan gorong-gorong eksisting tersebut tidak aman atau mengalami limpasan. Saluran dan gorong-gorong eksisting yang tidak aman tersebut perlu dilakukan perencanaan ulang pada dimensi dari saluran dan gorong-gorong.

6. Pemodelan *Software* Hec-Ras

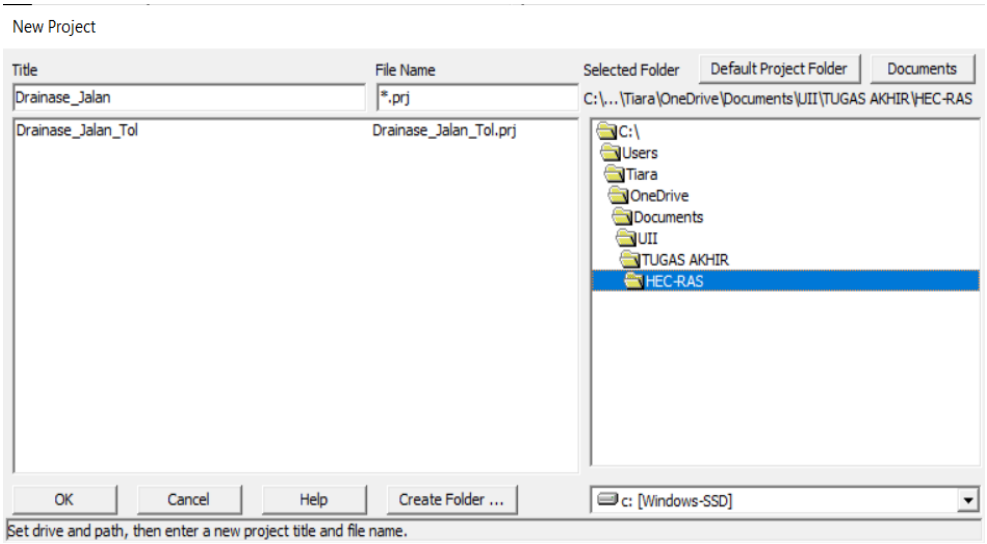
   Hec-Ras pada perencanaan ini digunakan sebagai program bantu dalam melakukan analisis hidraulika untuk mengetahui kapasitas saluran drainase dan gorong-gorong yang telah di *redesign* mampu mengalirkan debit rencana. Hasil dari simulasi Hec-Ras ini nantinya akan memberikan gambaran dari penampang saluran dalam menampung debit limpasan. Tahapan dalam pemodelan Hec-Ras yang dilakukan dalam perencanaan ini adalah sebagai berikut.

a. Buka program Hec-Ras pada desktop, setelah itu akan muncul menu utama dari Hec-Ras.



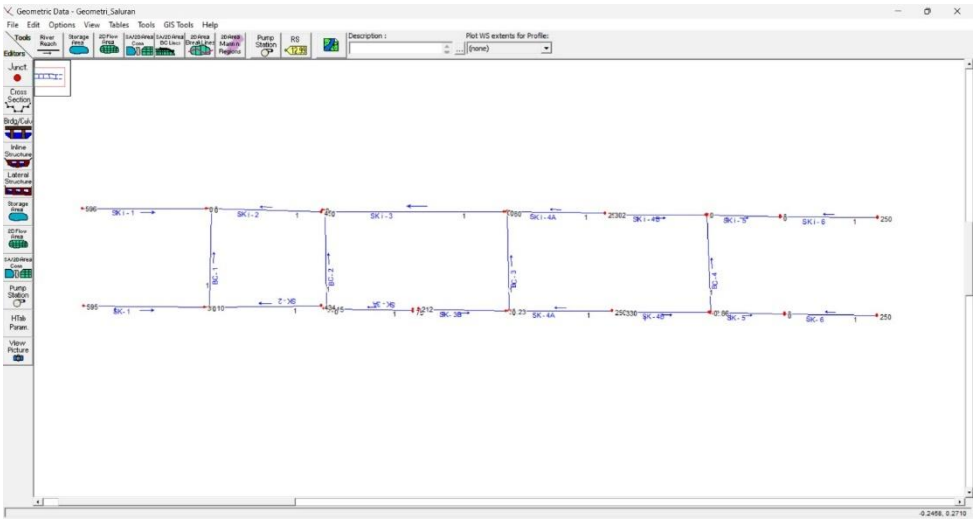
Gambar 4.3 Menu Utama Hec-Ras

b. Pada menu utama klik file –> pilih *new project* –> berikan judul *project* –> klik OK. Hal ini akan membuat file project pada Hec-Ras.



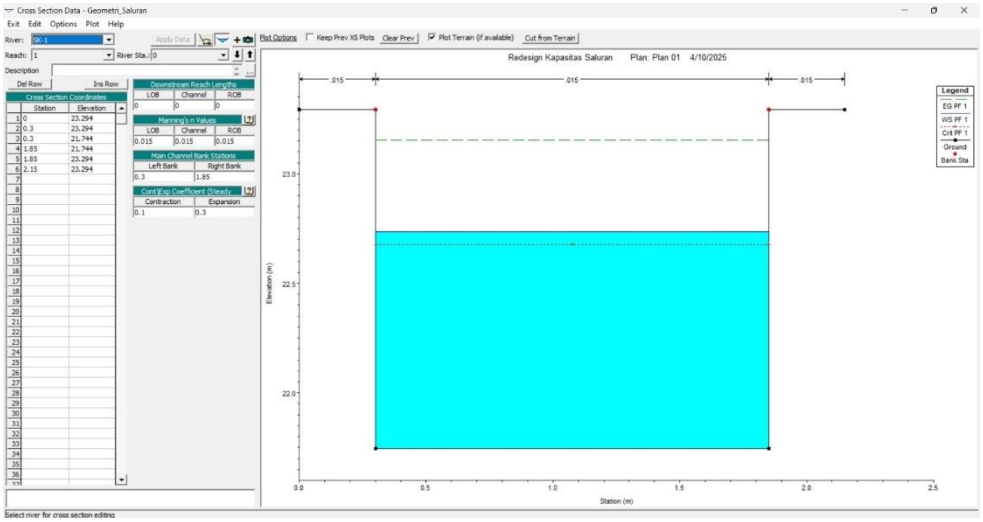
Gambar 4.4 Pemberian Nama *File Project*

c. Langkah selanjutnya klik menu edit –> pilih geometrik data –> klik pada *river reach* lalu gambarkan skema saluran dari arah hulu ke hilir.



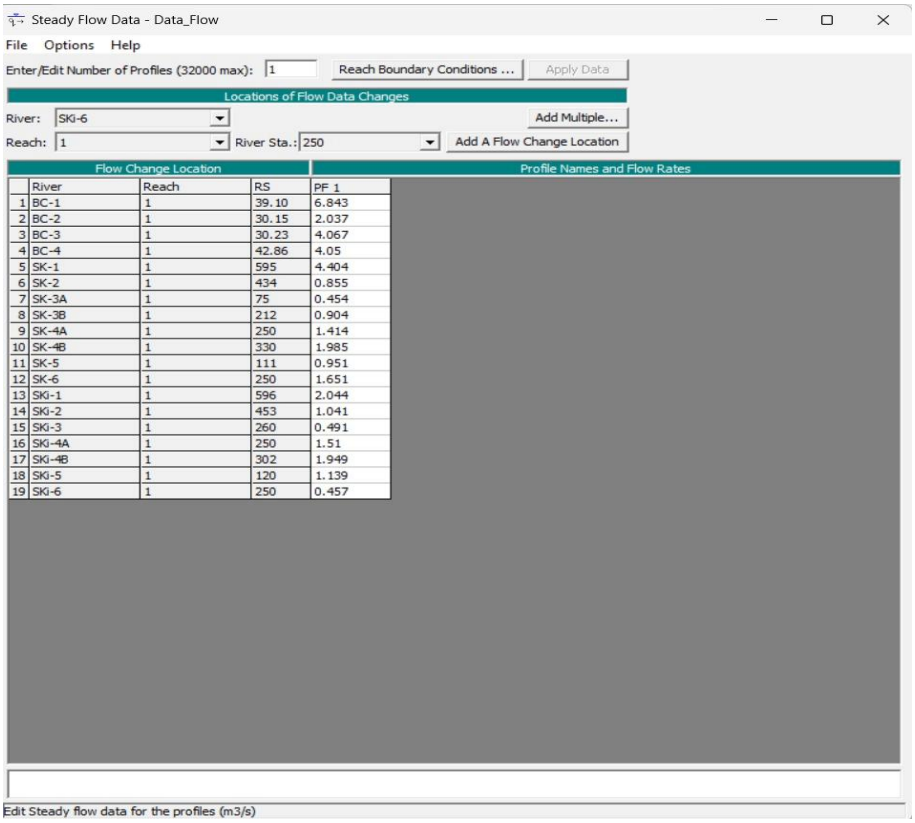
Gambar 4.5 Perancangan Data Geometrik

d. Setelah selesai membuat skema saluran, langkah selanjutnya masukkan data penampang saluran dari hulu ke hilir pada *cross section* data.



Gambar 4.6 Input Data *Cross Section*

e. Jika semua data penampang saluran sudah dimasukkan pada *cross section* data, kembali ke menu utama −> klik menu edit −> pilih *steady flow* data−> masukkan data debit dan kemiringan saluran.



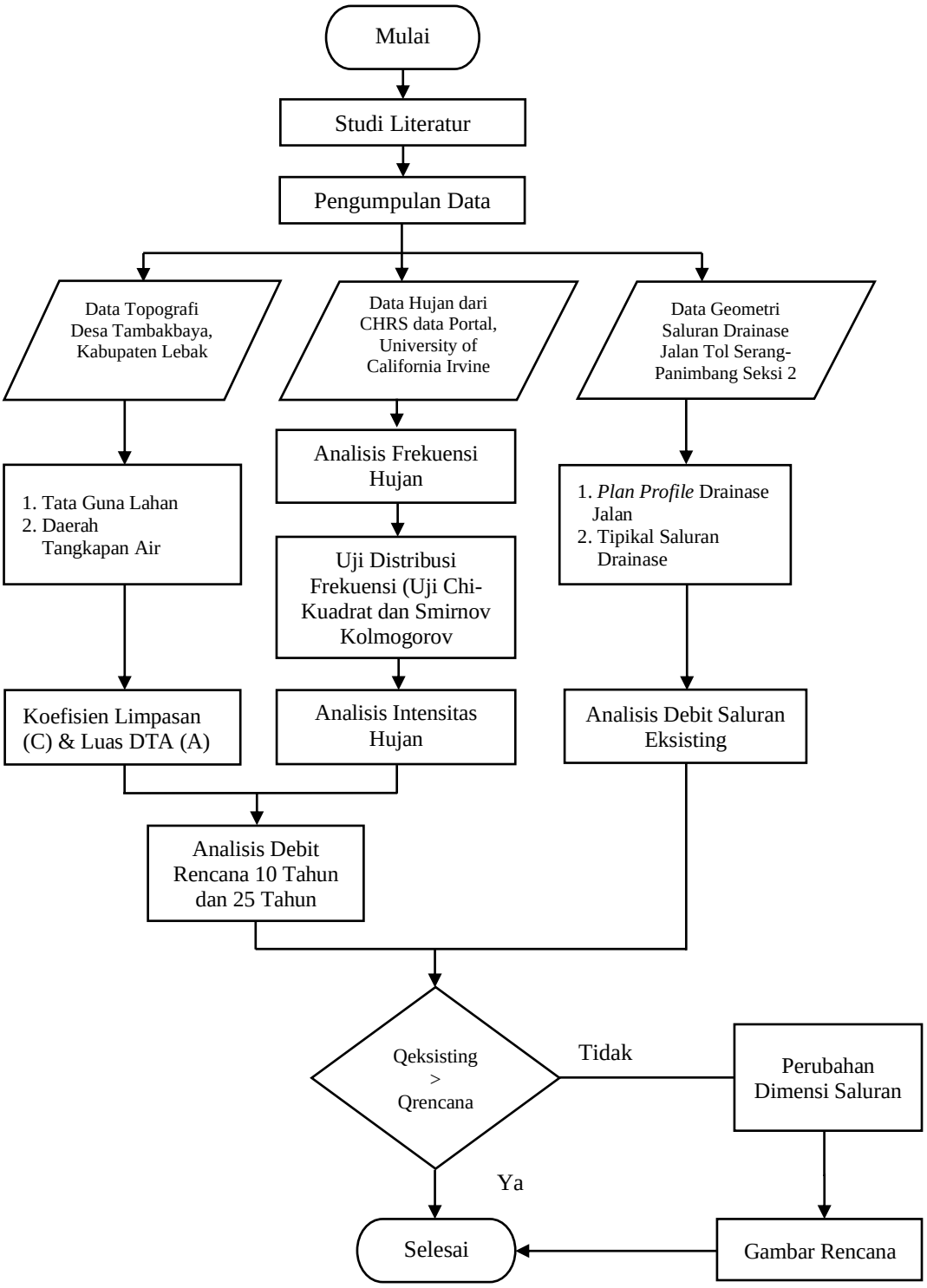
	River	Reach	RS	PF 1
1	BC-1	1	39.10	6.843
2	BC-2	1	30.15	2.037
3	BC-3	1	30.23	4.067
4	BC-4	1	42.86	4.05
5	SK-1	1	595	4.404
6	SK-2	1	434	0.855
7	SK-3A	1	75	0.454
8	SK-3B	1	212	0.904
9	SK-4A	1	250	1.414
10	SK-4B	1	330	1.985
11	SK-5	1	111	0.951
12	SK-6	1	250	1.651
13	SKi-1	1	596	2.044
14	SKi-2	1	453	1.041
15	SKi-3	1	260	0.491
16	SKi-4A	1	250	1.51
17	SKi-4B	1	302	1.949
18	SKi-5	1	120	1.139
19	SKi-6	1	250	0.457

Gambar 4.7 Input Data *Steady Flow*

f. Setelah data sudah sesuai dan dimasukkan semua, langkah selanjutnya dilakukan *running* data. Pada Langkah ini didapatkan hasil simulasi dari HEC-RAS.

4.4 Bagan Alir Perencanaan

Tahapan yang akan dilakukan dalam perencanaan ini digambarkan dalam bagan alir seperti pada **Gambar 4.8** pada halaman selanjutnya



Gambar 4.8 Bagan Alir Perencanaan

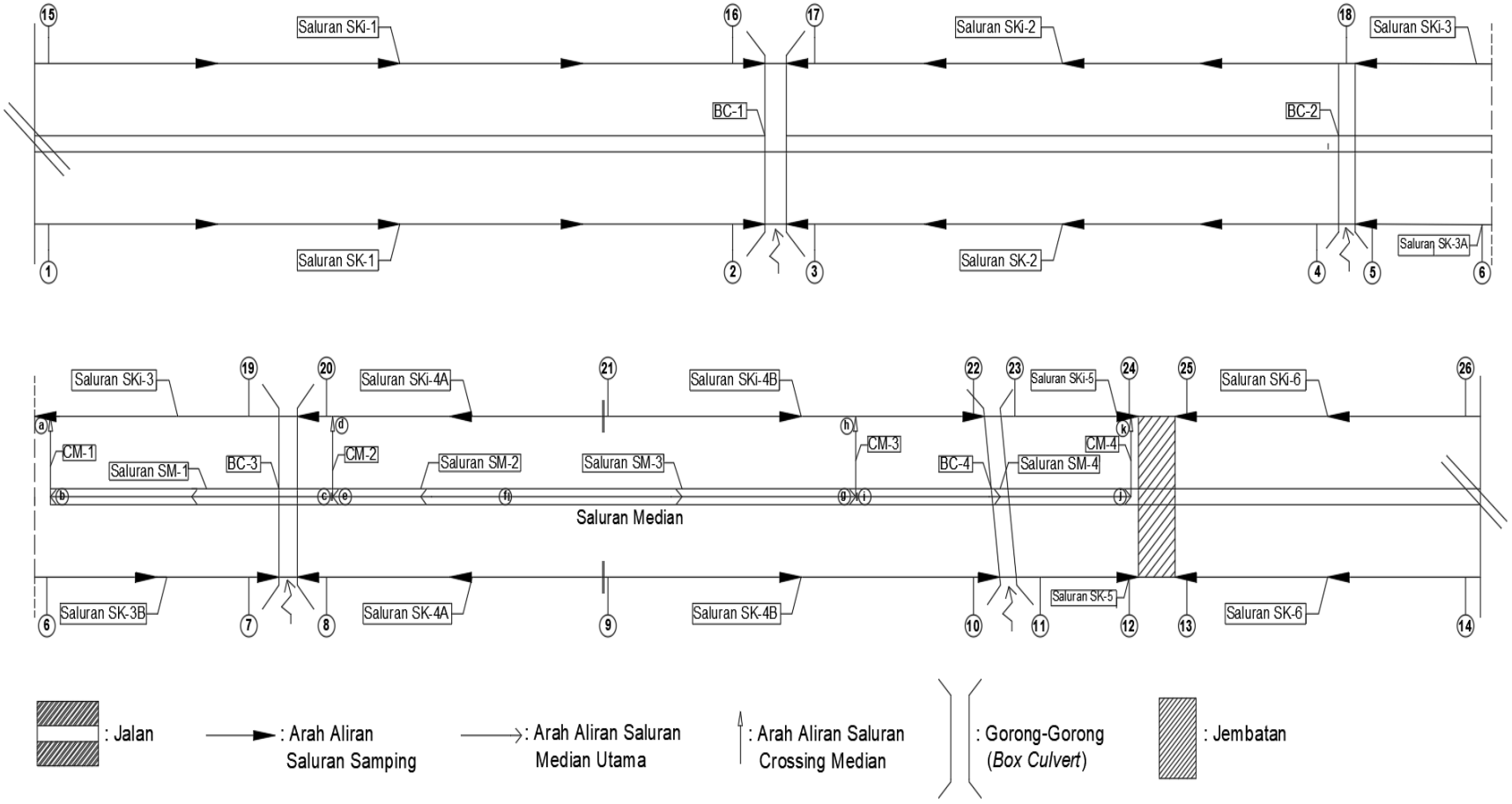
BAB V
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Data

Dalam melakukan analisis dibutuhkan data yang menjadi dasar dalam perencanaan. Data yang digunakan pada perencanaan ini adalah data sekunder yang diperoleh dari badan dan instansi terkait. Data yang digunakan yaitu data curah hujan, data topografi, dan data geometri saluran. Data-data tersebut akan menjadi dasar dalam melakukan analisis hidrologi dan analisis hidraulika untuk menghasilkan desain drainase yang maksimal.

5.1.1 Skema Sistem Drainase

Skema sistem drainase menggambarkan mengenai sistem drainase secara keseluruhan yang menunjukkan posisi saluran drainase, arah aliran air, dan komponen lain dalam sistem drainase seperti jalan, saluran drainase samping, saluran median utama, saluran *crossing* median dan gorong-gorong. Pada perencanaan ini, skema sistem drainase disesuaikan dengan *plan profile* drainase yang diperoleh dari PT. Wijaya Karya. Skema layanan sistem drainase pada lokasi tinjauan dapat dilihat pada **Gambar 5.1** pada halaman selanjutnya dan untuk Gambar yang lebih jelasnya dapat dilihat pada Lampiran 9.



Gambar 5.1 Skema Layanan Sistem Drainase Jalan Tol Serang−Panimbang STA 28+250 Hingga STA 30+550

Daftar penamaan saluran drainase dapat dilihat pada **Tabel 5.1** dan **Tabel 5.2** berikut.

Tabel 5.1 Daftar Penamaan Saluran Drainase Samping

Kelompok	Stasiun		Saluran	Arah Aliran	Titik	
	Hulu	Hilir			Dari	Ke
Saluran Samping Kanan	28+250	28+848	SK-1	1 → 2	1	2
	29+300	28+848	SK-2	3 ← 4	4	3
	29+375	29+300	SK-3A	5 ← 6	6	5
	29+375	29+575	SK-3B	6 → 7	6	7
	29+825	29+575	SK-4A	8 ← 9	9	8
	29+825	30+150	SK-4B	9 → 10	9	10
	30+150	30+250	SK-5	11 → 12	11	12
	30+550	30+325	SK-6	13 ← 14	14	13
Saluran Samping Kiri	28+250	28+848	SKi-1	15 → 16	15	16
	29+300	28+848	SKi-2	17 ← 18	18	17
	29+575	29+300	SKi-3	18 ← 19	19	18
	29+825	29+575	SKi-4A	20 ← 21	21	20
	29+825	30+125	SKi-4B	21 → 22	21	22
	30+125	30+250	SKi-5	23 → 24	23	24
	30+550	30+325	SKi-6	25 ← 26	26	25

Tabel 5.2 Daftar Penamaan Saluran Median

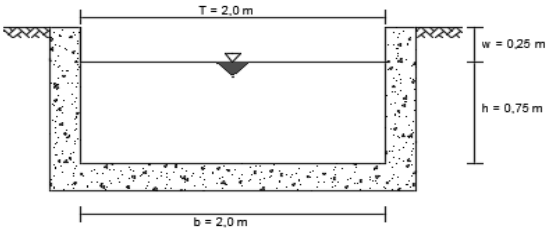
Kelompok	Stasiun		Saluran	Arah Aliran	Titik	
	Hulu	Hilir			Dari	Ke
Saluran Median Utama	29+604	29+388	SM-1	b ← c	c	b
	29+748	29+604	SM-2	e ← f	f	e
	29+748	30+032	SM-3	f → g	f	g
	30+032	30+244	SM-4	i → j	i	j
Saluran *Crossing* Median	29+388		CM-1	a ← b	b	a
	29+604		CM-2	d ← e	e	d
	30+032		CM-3	h ← i	i	h
	30+244		CM-4	k ← j	j	k

5.1.2 Dimensi Saluran Drainase

Dimensi saluran merupakan ukuran dari penampang saluran yang meliputi lebar dasar, tinggi saluran, dan kemiringan saluran (jika saluran berbentuk trapesium). Dimensi saluran ini diperoleh dari PT Wijaya Karya pada Jalan Tol Serang-Panimbang Seksi 2 STA 28+250 hingga STA 30+550. Dimensi saluran ini dibagi berdasarkan jenis dan fungsi salurannya, yaitu saluran samping, saluran median, dan gorong-gorong. Gambar Penampang dan dimensi saluran untuk setiap jenis saluran berdasarkan **Gambar 5.1** sebagai berikut.

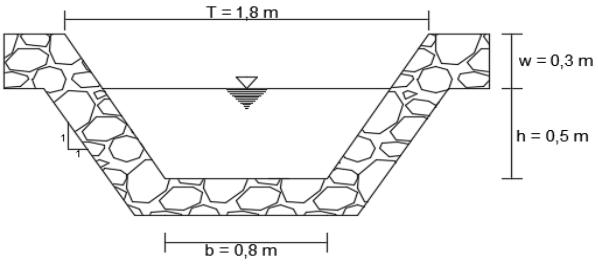
1. Saluran Samping

   Saluran samping eksisiting pada lokasi yang ditinjau terbagi menjadi beberapa tipe penampang. Tipe yang digunakan yaitu saluran dengan penampang trapesium dari hasil galian tanah, saluran dengan penampang trapesium menggunakan pasangan batu, dan saluran dengan penampang persegi dengan menggunakan beton. Contoh gambar dari setiap bentuk penampang saluran dapat dilihat pada **Gambar 5.2**, **Gambar 5.3**, dan **Gambar 5.4** sebagai berikut.



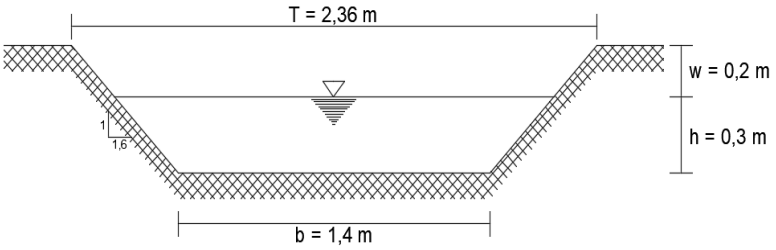
Gambar 5.2 Saluran Samping Eksisting Persegi

(Sumber: PT. Wijaya Karya (Persero) Tbk)



Gambar 5.3 Saluran Samping Eksisting Trapesium dengan Pasangan Batu

(Sumber: PT. Wijaya Karya (Persero) Tbk)



Gambar 5.4 Saluran Samping Eksisting Trapesium dengan Galian Tanah

(Sumber: PT. Wijaya Karya (Persero) Tbk)

Keterangan dimensi saluran samping eksisting dapat dilihat pada **Tabel 5.3** berikut.

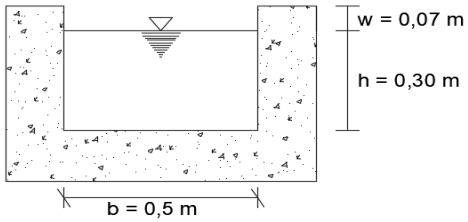
Tabel 5.3 Data Dimensi Saluran Samping Eksisting

Kelompok	Saluran	Bentuk	Material	Ls (m)	b (m)	m	h (m)	w (m)	T (m)
Saluran Samping Kanan	SK-1	Segi Empat	Beton	595	2,00	0	0,75	0,25	2,00
	SK-2	Trapesium	Galian Tanah	434	1,40	1,60	0,30	0,20	2,36
	SK-3A	Trapesium	Pasangan Batu	75	0,80	1,00	0,50	0,30	1,80
	SK-3B	Trapesium	Pasangan Batu	212	0,80	1,00	0,50	0,30	1,80
	SK-4A	Trapesium	Pasangan Batu	250	0,80	1,00	0,50	0,30	1,80
	SK-4B	Trapesium	Pasangan Batu	330	0,80	1,00	0,50	0,30	1,80
	SK-5	Trapesium	Galian Tanah	111	1,40	1,60	0,30	0,20	2,36
	SK-6	Trapesium	Galian Tanah	250	1,40	1,60	0,30	0,20	2,36
Saluran Samping Kiri	SKi-1	Trapesium	Pasangan Batu	596	0,80	1,00	0,50	0,30	1,80
	SKi-2	Trapesium	Galian Tanah	453	1,40	1,60	0,30	0,20	2,36
	SKi-3	Trapesium	Galian Tanah	260	1,40	1,60	0,30	0,20	2,36
	SKi-4A	Trapesium	Pasangan Batu	250	0,80	1,00	0,50	0,30	1,80
	SKi-4B	Trapesium	Pasangan Batu	302	0,80	1,00	0,50	0,30	1,80
	SKi-5	Trapesium	Galian Tanah	120	1,40	1,60	0,30	0,20	2,36
	SKi-6	Trapesium	Galian Tanah	250	1,40	1,60	0,30	0,20	2,36

2. Saluran Median

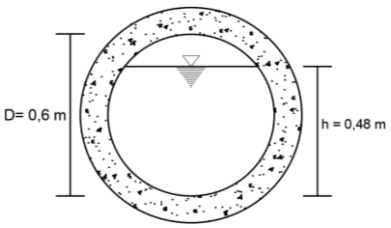
Saluran median pada perencanaan ini terbagi menjadi dua, yaitu saluran median utama dan saluran *crossing* median. Pada saluran median utama berdasarkan data gambar dari intansi terkait menggunakan penampang berbentuk persegi yang memiliki satu ukuran dimensi untuk lebar dasar saluran 0,5 m dan tinggi saluran 0,37 m. Sedangkan, pada saluran *crossing*

median menggunakan penampang berbentuk lingkaran dengan diameter 0,6 meter. Gambar penampang saluran median dapat dilihat pada **Gambar 5.5** dan **Gambar 5.6** sebagai berikut.



Gambar 5.5 Saluran Median Utama Eksisting

(Sumber: PT. Wijaya Karya (Persero) Tbk)

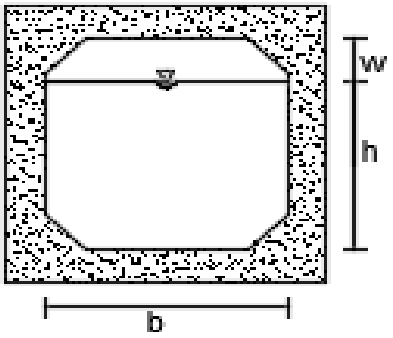


Gambar 5.6 Saluran *Crossing* Median Eksisting

(Sumber: PT. Wijaya Karya (Persero) Tbk)

3. Gorong-gorong

Gorong-gorong pada penelitian ini menggunakan *box culvert* dengan bentuk penampang persegi. Gambar ilustrasi penampang gorong-gorong dapat dilihat pada **Gambar 5.7** berikut.



Gambar 5.7 Ilustrasi Penampang Gorong-gorong

(Sumber: PT. Wijaya Karya (Persero) Tbk)

Keterangan dimensi setiap gorong-gorong dapat dilihat pada **Tabel 5.4** berikut

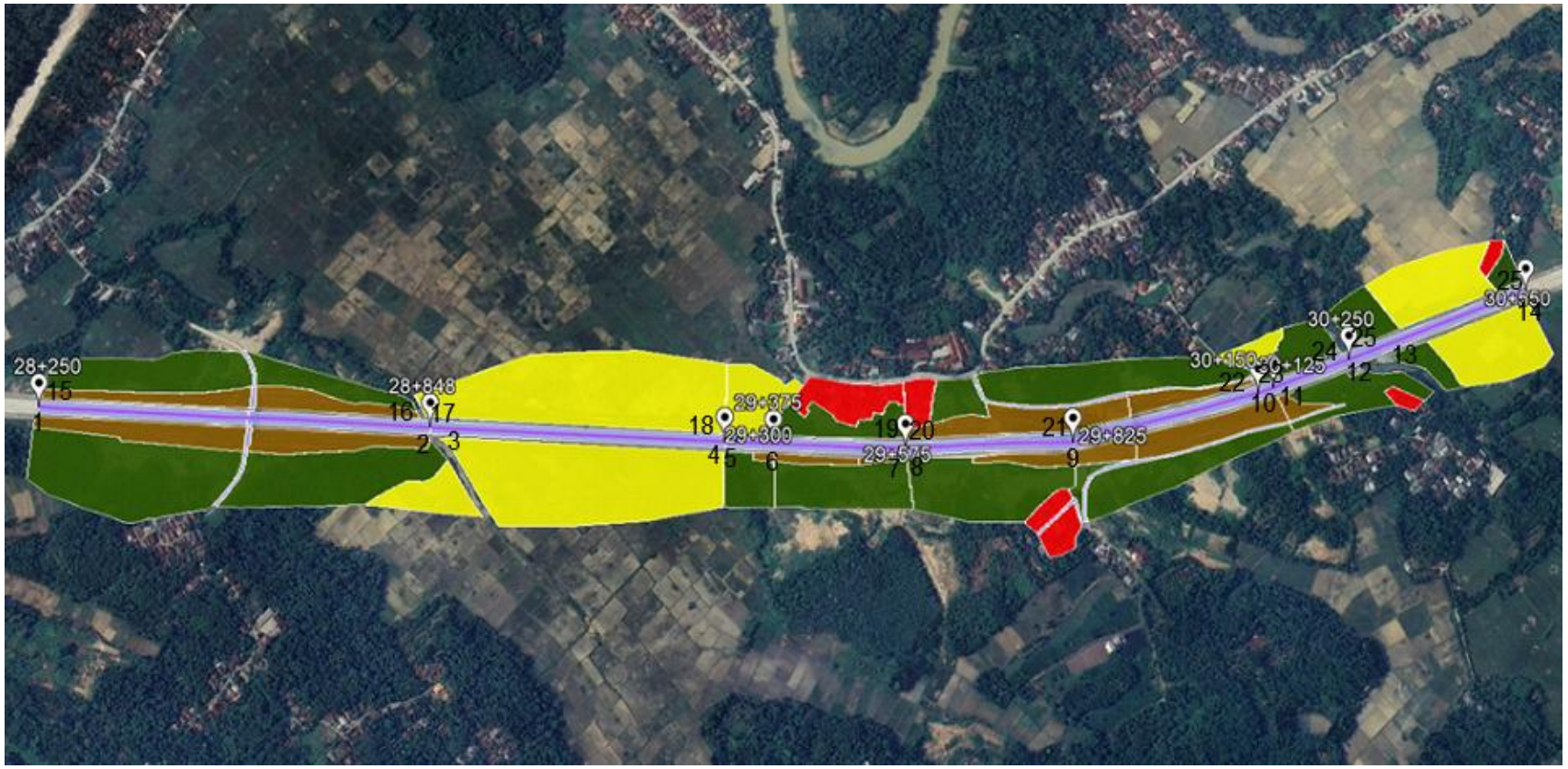
Tabel 5. 4 Data Dimensi Gorong-Gorong

Saluran	Stasiun	b (m)	h (m)	w (m)
BC-1	28+848	4,00	2,40	0,60
BC-2	29+300	1,50	1,20	0,30
BC-3	29+575	2,00	1,60	0,40
BC-4	30+150	1,50	1,20	0,30

5.1.3 Tata Guna Lahan

Pada daerah tangkapan air untuk sistem drainase, terdapat tata guna lahan yang berbeda-beda. Oleh karena itu, pemetaan tata guna lahan di lokasi tinjauan diperlukan Pemetaan tata guna lahan dilakukan dengan menggunakan aplikasi google earth dengan membedakan warna lahan dilokasi tinjauan dan dari pemetaan lahan juga dapat diperoleh luas daerah tangkapan air berdasarkan tata guna lahan. Dalam perencanaan ini, terdapat enam jenis tata guna lahan yang berbeda yaitu, jalan beton dengan warna ungu, lereng galian dan timbunan dengan warna coklat, perkebunan dengan warna hijau, sawah dengan warna kuning dan pemukiman padat atau tidak padat dengan warna merah.

Pemetaan tata guna lahan ini digunakan untuk menentukan nilai koefisien aliran, yang nilainya berbeda-beda tergantung jenis tata guna lahan. Tata guna lahan di lokasi tinjauan dapat dilihat pada **Gambar 5.8** berikut.



Gambar 5.8 Kondisi Tata Guna Lahan Pada Jalan Tol Serang-Panimbang STA 28+250 – STA 30+550

(Sumber: Google Earth Pro 7.3.3)

Rekapitulasi tata guna lahan pada lokasi penelitian dapat dilihat pada **Tabel 5.5**

Tabel 5.5 Rekapitulasi Tata Guna Lahan

Kelompok	Saluran	Tata Guna Lahan		Luas Lahan (km^2)
		Jenis	Luas (km^2)	
Saluran Samping Kanan	SK-1 (dilihat pada Gambar 5.1)	Jalan Beton	0,007962	0,0857072
		Perkebunan	0,052900	
		Sawah	0,006500	
		Lereng Galian/Timbunan	0,018346	
		Pemukiman	0	
	SK-2 (dilihat pada Gambar 5.1)	Jalan Beton	0,0050778	0,0499301
		Perkebunan	0	
		Sawah	0,042500	
		Lereng Galian/Timbunan	0,002352	
		Pemukiman	0	
	SK-3A (dilihat pada Gambar 5.1)	Jalan Beton	0,000878	0,0071228
		Perkebunan	0,005700	
		Sawah	0	
		Lereng Galian/Timbunan	0,000545	
		Pemukiman	0	
	SK-3B (dilihat pada Gambar 5.1)	Jalan Beton	0,002480	0,0191736
		Perkebunan	0,013500	
		Sawah	0	
		Lereng Galian/Timbunan	0,003193	
		Pemukiman	0	
	SK-4A (dilihat pada Gambar 5.1)	Jalan Beton	0,003359	0,0287590
		Perkebunan	0,018400	
		Sawah	0	
		Lereng Galian/Timbunan	0,002200	
		Pemukiman	0,004800	
	SK-4B (dilihat pada Gambar 5.1)	Jalan Beton	0,005361	0,0318401
		Perkebunan	0,014300	
		Sawah	0	
		Lereng Galian/Timbunan	0,012179	
		Pemukiman	0	
	SK-5 (dilihat pada Gambar 5.1)	Jalan Beton	0,001599	0,0137617
		Perkebunan	0,009200	
		Sawah	0	
		Lereng Galian/Timbunan	0,001863	
		Pemukiman	0,001100	

Lanjutan Tabel 5.5 Rekapitulasi Tata Guna Lahan

Kelompok	Saluran	Tata Guna Lahan		Luas Lahan (km^2)
		Jenis	Luas (km^2)	
Saluran Samping Kanan	SK-6 (dilihat pada Gambar 5.1)	Jalan Beton	0,002925	0,021543
		Perkebunan	0,003000	
		Sawah	0,014800	
		Lereng Galian/Timbunan	0,000818	
		Pemukiman	0	
Saluran Samping Kiri	SKi-1 (dilihat pada Gambar 5.1)	Jalan Beton	0,007973	0,0455221
		Perkebunan	0,023900	
		Sawah	0	
		Lereng Galian/Timbunan	0,013649	
		Pemukiman	0	
	SKi-2 (dilihat pada Gambar 5.1)	Jalan Beton	0,0053001	0,0525042
		Perkebunan	0	
		Sawah	0,044400	
		Lereng Galian/Timbunan	0,002804	
		Pemukiman	0	
	SKi-3 (dilihat pada Gambar 5.1)	Jalan Beton	0,004921	0,0292742
		Perkebunan	0,007300	
		Sawah	0,008500	
		Lereng Galian/Timbunan	0,001053	
		Pemukiman	0,007500	
	SKi-4A (dilihat pada Gambar 5.1)	Jalan Beton	0,004894	0,0276113
		Perkebunan	0,011300	
		Sawah	0	
		Lereng Galian/Timbunan	0,008418	
		Pemukiman	0,003000	
	SKi-4B (dilihat pada Gambar 5.1)	Jalan Beton	0,007127	0,0346147
		Perkebunan	0,020000	
		Sawah	0	
		Lereng Galian/Timbunan	0,007488	
		Pemukiman	0	
	SKi-5 (dilihat pada Gambar 5.1)	Jalan Beton	0,003248	0,0129408
		Perkebunan	0,005900	
		Sawah	0,003400	
		Lereng Galian/Timbunan	0,000392	
		Pemukiman	0	

Lanjutan Tabel 5.5 Rekapitulasi Tata Guna Lahan

Kelompok	Saluran	Tata Guna Lahan		Luas Lahan (km^2)
		Jenis	Luas (km^2)	
Saluran Samping Kiri	SKi-6 (dilihat pada Gambar 5.1)	Jalan Beton	0,002925	0,0268775
		Perkebunan	0,007100	
		Sawah	0,014900	
		Lereng Galian/Timbunan	0,0000753	
		Pemukiman	0,001200	

5.1.4 Data Curah Hujan

Dalam analisis debit rencana diperlukan data hujan harian minimal 10 tahun dari stasiun hujan terdekat, akan tetapi stasiun hujan yang tersedia yaitu Stasiun Meteorologi Maritim Serang berjarak ± 29 km dari lokasi perencanaan. Maka perlu adanya alternatif lain untuk menganalisis debit rencana menggunakan data hujan satelit TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) atau PERSIANN-CCS (*Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks-Cloud Classification System*). Dikarenakan data hujan TRMM dari *website* NASA tidak memenuhi sampai tahun yang dibutuhkan, jadi digunakan data hujan PERSIANN-CCS dari CHRS (*Center for Hydrometeorology and Remote Sensing*) data portal oleh University of California, Irvine (UCI). Data hujan PERSIANN-CCS tersebut diestimasi dari penginderaan jarak jauh (*remotely sensed*) dengan menggunakan *Artificial Neural Network* (ANN) yang memiliki resolusi $0{,}04^o$ x $0{,}04^o$ yang didasari pada citra inframerah geostasioner.

Pada perancanaan ini data hujan yang digunakan merupakan data hujan harian selama 10 tahun dari tahun 2014 hingga tahun 2023. Data hujan yang diperoleh selama 10 tahun kemudian dipilih nilai curah hujan yang maksimum. Data curah hujan harian maksimum yang digunakan dalam perencanaan dapat dilihat pada **Tabel 5.6** berikut.

Tabel 5.6 Data Curah Hujan Harian Maksimum 2014 – 2023

No	Tahun	Curah Hujan Harian Maksimum (mm)	Tanggal
1	2014	68	24 November
2	2015	62	5 Desember
3	2016	100	13 Mei
4	2017	83	12 Desember
5	2018	125	11 Desember
6	2019	136	21 Desember
7	2020	103	16 Oktober
8	2021	151	02 April
9	2022	171	16 November
10	2023	94	19 April

(Sumber: CHRS data portal, University of California Irvine (UCI))

5.2 Analisis Uji Konsistensi Data Hujan

Dalam pengujian konsistensi data hujan digunakan metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*). Pengujian konsistensi menggunakan data hujan satelit dari dari CHRS data portal oleh University of California, Irvine (UCI). Pengujian konsistensi data hujan ditunjukkan dengan pengujian kumulatif terhadap rata-rata dibagi dengan akar kumulatif penyimpangan kuadrat terhadap nilai rata-ratanya. Perhitungan uji konsistensi data hujan dapat dilihat pada **Tabel 5.7** berikut.

Tabel 5.7 Uji Konsistensi Data Hujan Dengan Metode RAPS

No	**Tahun**	**Hujan Harian (mm)**	**Sk***	**Dy^2**	**Sk****	**|Sk**|**
1	2014	68	-41,3	170,569	-1,218	1,218
2	2015	62	-47,3	223,729	-1,395	1,395
3	2016	100	-9,3	8,649	-0,274	0,274
4	2017	83	-26,3	69,169	-0,776	0,776
5	2018	125	15,7	24,649	0,463	0,463
6	2019	136	26,7	71,289	0,787	0,787
7	2020	103	-6,3	3,969	-0,186	0,186
8	2021	151	41,7	173,889	1,230	1,230

Lanjutan Tabel 5.7 Uji Konsistensi Data Hujan Dengan Metode RAPS

No	Tahun	Hujan Harian (mm)	Sk*	Dy^2	Sk**	|Sk**|
9	2022	171	61,7	380,689	1,819	1,819
10	2023	94	-15,3	23,409	-0,451	0,451
Jumlah		1093		1150,01		

Selanjutnya, untuk tahapan perhitungan dengan menggunakan data hujan tahun 2014 sebagai berikut.

Jumlah data (n) = 10

Rerata data hujan = 109,3

Sk* $= Yi - Yr$

$= 68 - 109{,}3$

$= -41{,}3$

Dy^2 $= \frac{(Yi-Yr)^2}{n}$

$= \frac{(68-109{,}3)^2}{10}$

$= 170{,}569$

Dy $= (\sum Dy^2)^{0{,}5}$

$= (1150{,}01)^{0{,}5}$

$= 33{,}912$

Sk** $= \frac{Sk*}{Dy}$

$= \frac{-41{,}3}{33{,}912}$

$= -1{,}218$

|Sk**| $= 1{,}218$

Berdasarkan nilai |Sk**| pada tiap tahun dipilih |Sk**| maksimum untuk menghitung Qy sedangkan berdasarkan nilai Sk** untuk tiap tahun dipilih nilai Sk**maksimum dan Sk**minimum untuk menghitung Ry. Perhitungan nilai statistik Qy dan Ry adalah sebagai berikut.

$Qy = \text{Maks } |Sk^{**}|$

$= 1{,}819$

$Ry = \text{Maks } Sk^{**} - \text{Min } Sk^{**}$

$= 1{,}819 - (-1{,}395)$

$= 3{,}214$

$Q/\sqrt{n} = \frac{1{,}819}{\sqrt{10}}$

$= 0{,}575$

$R/\sqrt{n} = \frac{3{,}214}{\sqrt{10}}$

$= 1{,}016$

Dari perhitungan sebelumnya diperoleh nilai statistik $Q/\sqrt{n}$ dan $R/\sqrt{n}$ yang nantinya akan dibandingkan dengan nilai kritis berdasarkan pada Tabel 3.1. Apabila nilai $Q/\sqrt{n}$ dan $R/\sqrt{n}$ lebih kecil dibandingkan $(Q/\sqrt{n})_{kritis}$ dan $(R/\sqrt{n})_{kritis}$ untuk beberapa tingkat kepercayaan (α) makan data hujan tersebut konsisten. Hasil uji konsistensi data hujan untuk beberapa tingkat kepercayaan sebagai berikut.

Tabel 5.8 Hasil Uji Konsistensi Data Hujan Dengan Berbagai Tingkat Kepercayaan

α	$Q/\sqrt{n}_{hitung}$	$Q/\sqrt{n}_{kritis}$	Keterangan	$R/\sqrt{n}_{hitung}$	$R/\sqrt{n}_{kritis}$	Keterangan
99%	0,575	1,05	Konsisten	1,016	1,38	Konsisten
95%		1,14	Konsisten		1,28	Konsisten
90%		1,29	Konsisten		1,21	Konsisten

Berdasarkan nilai $Q/\sqrt{n}_{hitung}$ dan $R/\sqrt{n}_{hitung}$ yang telah dihitung sebelumnya, kemudian dibandingkan dengan nilai $Q/\sqrt{n}_{kritis}$ dan $R/\sqrt{n}_{kritis}$ pada beberapa tingkat kepercayaan yang dapat dilihat pada Tabel 5.8 dapat disimpulkan bahwa data hujan yag digunakan dinyatakan konsisten.

5.3 Analisis Frekuensi Hujan

Analisis frekuensi digunakan untuk memperkirakan nilai kejadian maksimum berdasarkan frekuensi kejadiannya dengan menggunakan distribusi probabilitas. Besarnya kejadian maksimum berbanding terbalik dengan probabilitas yang terjadi. Kejadian tersebut diperkirakan apakah akan melampaui atau setara dengan besarnya kejadian pada waktu tertentu. Penggunaan analasis frekuensi dalam perencanaan ulang sistem draianse Jalan Tol Serang-Panimbang adalah untuk menentukan besarnya debit limpasan.

5.3.1 Analisis Parameter Statistik

Dalam menentukan distribusi probabilitas dibutuhkan parameter statistik yang meliputi nilai rata-rata, deviasi standar, koefisien variasi, koefisien *skewness* dan koefisien kurtosis. Perhitungan parameter statistik disajikan dalam **Tabel 5.9** sebagai berikut.

Tabel 5.9 Perhitungan Parameter Statistik

No	Tahun	X_i	$(X_i - \overline{X})$	$(X_i - \overline{X})^2$	$(X_i - \overline{X})^3$	$(X_i - \overline{X})^4$
1	2014	68	-41,300	1705,690	-70444,997	2909378,376
2	2015	62	-47,300	2237,290	-105823,817	5005466,544
3	2016	100	-9,300	86,490	-804,357	7480,520
4	2017	83	-26,300	691,690	-18191,447	478435,056
5	2018	125	15,700	246,490	3869,893	60757,320
6	2019	136	26,700	712,890	19034,163	508212,152
7	2020	103	-6,300	39,690	-250,047	1575,296
8	2021	151	41,700	1738,890	72511,713	3023738,432
9	2022	171	61,700	3806,890	234885,113	14492411,472
10	2023	94	-15,300	234,090	-3581,577	54798,128
Total		1093	0,000	11500,100	131204,640	26542253,297

1. Perhitungan nilai rata-rata

$$\overline{X} = \frac{1}{n}\sum_i^n X_i$$

$$\overline{X} = \frac{1093}{10}$$

$$\overline{X} = 109{,}300 \text{ mm}$$

2. Perhitungan deviasi standar

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

$$S = \sqrt{\frac{1}{10-1} \times 11500{,}100}$$

$$S = 35{,}746$$

3. Perhitungan koefisien variasi

$$C_v = \frac{S}{\overline{X}}$$

$$C_v = \frac{35{,}746}{109{,}300}$$

$$C_v = 0{,}327$$

4. Perhitungan koefisien *skewness*

Perhitungan kemencengan (*skewness*) sebagai berikut.

$$a = \frac{n}{(n-1)\,(n-2)} \sum_{i=1}^{n} (X_i - \overline{X})^3$$

$$a = \frac{10}{(10-1)\,(10-2)} \times 131204{,}640$$

$$a = 18222{,}867$$

Perhitungan koefisien asimetri sebagai berikut.

$$C_s = \frac{a}{S^3}$$

$$C_s = \frac{18222{,}867}{(35{,}746)^3}$$

$$C_s = 0{,}399$$

5. Perhitungan koefisien kurtosis

$$C_k = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)(n-3)S^4} \sum_{i=1}^{n} (X_i - \overline{X})^4$$

$$C_k = \frac{10^2}{(10-1)(10-2)(10-3) \times (35{,}746)^4} \times 26542253{,}297$$

$$C_k = 3{,}225$$

Perhitungan parameter statistik dengan skala logaritma disajikan dalam **Tabel 5.10** sebagai berikut.

Tabel 5.10 Perhitungan Parameter Statistik Skala Logaritma

No	Tahun	$\mathbf{Log\,X_i}$	$\mathbf{(LogX_i - Log\overline{X})}$	$\mathbf{(LogX_i - Log\overline{X})^2}$	$\mathbf{(LogX_i - Log\overline{X})^3}$	$\mathbf{(LogX_i - Log\overline{X})^4}$
1	2014	1,833	-0,185	0,034	-0,006	0,0011645
2	2015	1,792	-0,225	0,051	-0,011	0,0025558
3	2016	2,000	-0,017	0,000	0,000	0,0000001
4	2017	1,919	-0,098	0,010	-0,001	0,0000928
5	2018	2,097	0,080	0,006	0,001	0,0000403
6	2019	2,134	0,116	0,014	0,002	0,0001830
7	2020	2,013	-0,004	0,000	0,000	0,0000000
8	2021	2,179	0,162	0,026	0,004	0,0006843
9	2022	2,233	0,216	0,047	0,010	0,0021671
10	2023	1,973	-0,044	0,002	0,000	0,0000038
Total		20,172	0,000	0,189	-0,002	0,007

1. Perhitungan nilai rata-rata

$$\mathrm{Log}\,\overline{\mathrm{X}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \log \mathrm{X_i}}{n}$$

$$\mathrm{Log}\,\overline{\mathrm{X}} = \frac{20{,}172}{10}$$

$$\mathrm{Log}\,\overline{\mathrm{X}} = 2{,}017 \text{ mm}$$

2. Perhitungan deviasi standar

$$\mathrm{S} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (\log \mathrm{X_i} - \log \overline{\mathrm{X}})^2}{n-1}}$$

$$\mathrm{S} = \sqrt{\frac{0{,}189}{10-1}}$$

$$\mathrm{S} = 0{,}145$$

3. Perhitungan koefisien variasi

$$\mathrm{C_v} = \frac{\mathrm{S}}{\log \overline{\mathrm{X}}}$$

$$\mathrm{C_v} = \frac{0{,}145}{2{,}017}$$

$$\mathrm{C_v} = 0{,}072$$

4. Perhitungan koefisien *skewness*

$$\mathrm{C_s} = \frac{n \sum_{i=1}^{n} (log\, X_i - log\, \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)s^3}$$

$$\mathrm{C_s} = \frac{10 \times (-0{,}002)}{(10-1) \times (10-2) \times (0{,}145)^3}$$

$$\mathrm{C_s} = -0{,}107$$

5. Perhitungan koefisien kurtosis

$$C_k = \frac{n^2 \sum_{i=1}^{n} (\log X_i - \log \bar{X})^4}{(n-1)(n-2)s^4}$$

$$C_k = \frac{(10)^2 \times 0{,}007}{(10-1) \times (10-2) \times (0{,}145)^4}$$

$$C_k = 3{,}095$$

5.3.2 Penentuan Jenis Distribusi

Dalam menentukan jenis distribusi dilakukan perbandingan parameter statistik yang telah dihitung dengan nilai persyaratan yang sudah ada. Distribusi yang digunakan terdapat empat jenis yaitu distribusi Normal, distribusi Gumbel, distribusi Log Normal, dan distribusi Log Pearson III. Berikut hasil perbandingan parameter statistik untuk penentuan jenis distribusi yang disajikan pada **Tabel 5.11** pada halaman selanjutnya

Tabel 5.11 Hasil Penentuan Jenis Distribusi dan Persyaratannya

No	Jenis Distribusi	Persyaratan	Hasil	Keterangan
1	Normal	$C_s \approx 0$	0,399	Tidak Memenuhi
		$C_k \approx 3$	3,225	
2	Log Normal	$C_s = 0{,}216$	-0,107	Tidak Memenuhi
		$C_k = 3{,}083$	3,095	
3	Gumbel	$C_s = 1{,}14$	0,399	Tidak Memenuhi
		$C_k = 5{,}4$	3,225	
4	Log Pearson III	Selain dari nilai diatas	-0,107	Memenuhi
			3,095	

Berdasarkan Tabel 5.11 di atas jenis distribusi Log Pearson III sesuai dengan hasil parameter statistik yang disyaratkan, maka jenis distribusi tersebut digunakan untuk distribusi probabilitas pada analisis selanjutnya.

5.3.3 Distribusi Log Pearson III

Berdasarkan hasil penentuan jenis distribusi, maka dipilih distribusi Log Pearson III. Distribusi ini digunakan jika nilai parameter statistik koefisien *skewness* (C_s) dan koefisien kurtosis (C_k) tidak memenuhi persyaratan parameter

statistik jenis distribusi lainnya. Langkah-langkah distribusi Log Pearson III dijabarkan sebagai berikut.

1. Melakukan perhitungan parameter statistik yaitu nilai rata-rata, deviasi standar, dan koefisien *skewness* dalam skala logaritma. Hasil perhitungan logaritma untuk mencari parameter statistik dapat dilihat pada Tabel 5.10. Berdasarkan perhitungan parameter statistik skala logaritma didapatkan hasil sebagai berikut.
   a. Nilai rata-rata ($\text{Log } \overline{X}$) didapatkan sebesar 2,017
   b. Nilai deviasi standar (S) didapatkan sebesar 0,145
   c. Nilai koefisien *skewness* (C_s) didapatkan sebesar -0,107
2. Melakukan perhitungan nilai faktor frekuensi (K_T) yang diperoleh dari Tabel 3.6 dengan cara interpolasi menggunakan nilai koefisien *skewness* (C_s) dan nilai periode ulang. Nilai C_s diketahui sebesar -0,107. Dengan interpolasi didapatkan nilai K_T untuk periode ulang 5, 10, dan 25 tahun secara berurutan yaitu K_5 = 0,846, K_{10} = 1,270, dan K_{25} = 1,716
4. Menghitung nilai hujan rencana (X_T) dengan menggunakan Persamaan 3.21. Contoh perhitungan periode ulang 5 tahun adalah sebagai berikut.

   $\text{Log } X_5 = \text{Log } \overline{X} + K_5.S$

   $\text{Log } X_5 = 2{,}017 + 0{,}846 \times 0{,}145$

   $\text{Log } X_5 = 2{,}140$

   $X_5 = 10^{2{,}140}$

   $X_5 = 138{,}002 \text{ mm}$

   Untuk mendapatkan nilai X_T dengan periode ulang 10 dan 25 tahun dengan cara yang sama. Maka nilai X_T untuk periode ulang 5, 10, dan 25 tahun secara berurutan yaitu X_5 = 138,002 mm, X_{10} = 158,985 mm, dan X_{25} = 184,508 mm. Rekapitulasi perhitungan distribusi Log Pearson III dapat dilihat pada **Tabel 5.12** berikut.

Tabel 5.12 Analisis Frekuensi Distribusi Log Pearson III

Periode Ulang	$\text{Log } \overline{X}$	S	K_T	$\text{Log } X_T$	X_T (mm)
5	2,017	0,145	0,846	2,140	138,002
10	2,017	0,145	1,270	2,201	158,985
25	2,017	0,145	1,716	2,266	184,508

5.4 Pengujian Jenis Distribusi

Pengujian jenis distribusi dilakukan untuk mengetahui kesesuaian jenis distribusi Log Pearson III dengan data curah hujan yang dimiliki, pengujian dilakukan menggunakan uji Chi-Kuadrat dan uji Smirnov-Kolmogorov.

5.4.1 Uji Chi-Kuadrat

Uji Chi-Kuadrat digunakan untuk menentukan persamaan distribusi Log Pearson III dapat mewakili distribusi statistik sampel data yang dianalisis (Suripin, 2004). Berikut merupakan analisis pengujian Chi-Kuadrat.

1. Mengurutkan data curah hujan maksimum setiap tahunnya dari data terbesar hingga terkecil (boleh sebaliknya). Data curah hujan maksimum yang sudah diurutkan dapat dilihat pada **Tabel 5.13** berikut.

Tabel 5.13 Urutan Data Curah Hujan Terbesar ke Terkecil

Urutan	Tahun	X_i (mm)
1	2022	171
2	2021	151
3	2019	136
4	2018	125
5	2020	103
6	2016	100
7	2023	94
8	2017	83
9	2014	68
10	2015	62

2. Pengelompokkan data (jumlah kelas)

   Diketahui banyaknya data (n) sejumlah 10, maka pengelompokkan data atau jumlah kelas distribusi dicari menggunakan persamaan berikut.

   $K = 1 + 3{,}22\ \mathrm{Log}_n$

   $K = 1 + 3{,}22\ \mathrm{Log}_{10}$

   $K = 4{,}22 \approx 4$ kelas

3. Mencari derajat kebebasan

   Diketahui nilai dari banyaknya keterikatan atau parameter (α) dalam uji Chi-Kuadrat yaitu 2 (Triatmodjo, 2008). Derajat kebebasan dihitung menggunakan Persamaan 3.22 berikut.

   $DK = K - (\alpha + 1)$

   $= 4 - (2 + 1)$

   $= 1$

4. Mencari nilai Chi-Kuadrat kritik

   Nilai Chi-Kuadrat diambil dari Tabel 3.8 dengan parameter nilai derajat kebebasan dan derajat nyata, ditentukan nilai derajat nyata sebesar 5% atau 0,05 (Triatmodjo, 2008). Sehingga, berdasarkan Tabel 3.8 nilai Chi-Kuadrat (X_{cr}^2) adalah sebesar 3,841.

5. Mencari kelas distribusi

   Kelas distribusi ditentukan untuk menetapkan batas kelas sesuai dengan sebaran probabilitas, yang dihitung dengan cara sebagai berikut.

   $\text{Kelas distribusi} = \frac{1}{K} \times 100\%$

   $\text{Kelas distribusi} = \frac{1}{4} \times 100\%$

   $\text{Kelas distribusi} = 25\%$

6. Mencari interval distribusi

   Kelas distribusi diperoleh sebesar 25%, sehingga interval distribusi memiliki kelipatan 25% yaitu 25%, 50%, dan 75%. Dengan mengetahui interval distribusi ini, periode ulang dapat ditentukan dengan cara sebagai berikut.

   $P_{(x)} = \frac{1}{T}$ (5.1)

a. Probabilitas 25%

$T = \frac{1}{25\%}$

$T = 4$ Tahun

b. Probabilitas 50%

$T = \frac{1}{50\%}$

$T = 2$ Tahun

c. Probabilitas 75%

$T = \frac{1}{75\%}$

$T = 1{,}3$ Tahun

7. Mencari interval kelas

Perhitungan interval kelas dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.21, sehingga memerlukan nilai faktor frekuensi yang diperoleh dari Tabel 3.7 serta semua besaran yang dibutuhkan menggunakan hasil pengujian distribusi Log Pearson III. Berikut merupakan contoh perhitungan dalam mencari interval kelas digunakan contoh distribusi dengan probabilitas 25% dan periode ulang 4 tahun.

a. Dengan menggunakan Persamaan 3.21 diperlukan nilai-nilai yang diperoleh dari parameter statistik distribusi Log Pearson III.
   1) Nilai rata-rata ($\text{Log } \overline{X}$) didapatkan sebesar 2,017
   2) Nilai deviasi standar (S) didapatkan sebesar 0,145
   3) Nilai koefisien *skewness* (C_s) didapatkan sebesar -0,107

b. Nilai faktor frekuensi (K_T) yang diperoleh dari Tabel 3.7 dengan cara interpolasi menggunakan nilai koefisien *skewness* (C_s) sebesar -0,107 dan nilai faktor frekuensi 4 tahun yaitu sebesar 0,570.

c. Dilakukan perhitungan $\text{Log}X_T$ dengan Persamaan 3.21 sebagai berikut.

$\text{Log } X_4 = \text{Log } \overline{X} + K_4.S$

$\text{Log } X_4 = 2{,}017 + 0{,}570 \times 0{,}145$

$\text{Log } X_4 = 2{,}100$

$X_4 = 10^{2{,}100}$

$X_4 = 125{,}842$ mm

Rekapitulasi perhitungan interval kelas dapat dilihat pada **Tabel 5.14** berikut.

Tabel 5.14 Interval Kelas Pengujian Chi-Kuadrat Log Pearson III

No	$P_{(x)}$	T (Tahun)	K_T	Log X_T	X_T (mm)
1	25%	4	0,570	2,100	125,842
2	50%	2	0,017	2,020	104,641
3	75%	1,3	-0,779	1,904	80,220

8. Mencari nilai Chi-Kuadrat terhitung

   Chi-Kuadrat terhitung (X^2) dicari menggunakan Persamaan 3.22 yang disajikan dalam **Tabel 5.15** berikut.

Tabel 5.15 Chi-Kuadrat Terhitung Distribusi Log Pearson III

No	Interval	Ef	Of	Of – Ef	$\frac{(Of - Ef)^2}{Ef}$
1	< 80,220	2,5	2	-0,5	0,1
2	80,220 – 104,641	2,5	4	-0,5	0,9
3	104,641 – 125,841	2,5	1	1,5	0,9
4	> 125,842	2,5	3	-0,5	0,1
Total		10	10	X^2	2,00

   Berdasarkan Tabel 5.15 didapatkan nilai Chi-Kuadrat terhitung (X^2) untuk distribusi Log Pearson III sebesar 2,00.

9. Hasil Pengujian Chi-Kuadrat Distribusi Log Pearson III

   Berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya, nilai Chi-Kuadrat kritik (X^2_{cr}) adalah 3,841 dan nilai Chi-Kuadrat terhitung (X^2) adalah 2,00. Menurut Triatmodjo (2008), nilai Chi-Kuadrat terhitung harus lebih kecil dari nilai Chi-Kuadrat kritik ($X^2 < X^2_{cr}$). Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa distribusi Log Pearson III memenuhi syarat pengujian Chi-Kuadrat.

5.4.2 Uji Smirnov-Kolmogorov

Uji Smirnov-Kolmogorov adalah uji distribusi yang digunakan untuk menguji kesesuaian antara data empiris dengan jenis distribusi yang digunakan yaitu Log Pearson III. Berikut adalah analisis pengujian Smirnov-Kolmogorov.

1. Mengurutkan data curah hujan maksimum setiap tahunnya dari data terbesar hingga terkecil (atau sebaliknya), kemudian dihitung nilai logaritmanya ($\text{Log } X_i$). Berdasarkan analisis distribusi Log Pearson III sesuai dengan **Tabel 5.10** diperoleh hasil sebagai berikut.
   a. Nilai rata-rata ($\text{Log } \overline{X}$) didapatkan sebesar 2,017
   b. Nilai deviasi standar (S) didapatkan sebesar 0,145
   c. Nilai koefisien *skewness* (C_s) didapatkan sebesar -0,107
2. Mencari nilai peluang empiris

   Peluang empiris (P_e) dihitung menggunakan persamaan dibawah ini.

$$P_e = \frac{m}{n+1} \times 100\% \qquad (5.2)$$

   Dengan

   P_e = Peluang empiris

   m = Posisi urutan data (nomor)

   n = Jumlah data

   Berikut ini adalah contoh perhitungan untuk menentukan nilai peluang empiris dengan menggunakan Persamaan 5.2.

$$P_e = \frac{1}{10+1} \times 100\%$$

$$P_e = 0{,}091$$

   Dengan perhitungan yang sama, nilai peluang empiris dapat diperoleh dan disajikan dalam **Tabel 5.16** berikut.

Tabel 5.16 Nilai Peluang Empiris

m	Tahun	X_i	Log x_i	P_e
1	2022	171	2,233	0,091
2	2021	151	2,179	0,182
3	2019	136	2,134	0,273
4	2018	125	2,097	0,364
5	2020	103	2,013	0,455
6	2016	100	2,000	0,545
7	2023	94	1,973	0,636
8	2017	83	1,919	0,727
9	2014	68	1,833	0,818
10	2015	62	1,792	0,909

3. Menentukan nilai faktor frekuensi (K_T) menggunakan Persamaan 3.21, dengan memasukkan besaran yang sudah diketahui agar diperoleh nilai faktor frekuensi (K_T) sebagai koefisien yang dicari. Berikut ini adalah contoh perhitungan menggunakan data urutan pertama.

   $\text{Log } X_T = \text{Log } \overline{X} + K_T.S$

   $2{,}233 = 2{,}017 + K_T \times 0{,}145$

   $K_T = 1{,}488$

4. Mencari nilai peluang teoritis

   Nilai peluang teoritis ini ditentukan berdasarkan nilai koefisien *skewness* (C_s) dan nilai faktor frekuensi (K_T) melalui interpolasi dengan nilai C_s sebesar -0,107. Hasil perhitungan nilai peluang teoritis disajikan pada **Tabel 5.17** berikut.

Tabel 5.17 Nilai Peluang Teoritis

m	K_T	P_t (%)	P_t
1	1,488	7,064	0,071
2	1,116	13,641	0,136
3	0,802	21,584	0,216
4	0,550	30,728	0,307
5	-0,030	51,665	0,517

Lanjutan Tabel 5.17 Nilai Peluang Teoritis

m	K_T	P_t (%)	P_t
6	-0,119	54,779	0,548
7	-0,304	61,298	0,613
8	-0,677	74,410	0,744
9	-1,274	89,609	0,896
10	-1,551	93,398	0,934

5. Mencari besarnya penyimpangan (Δ_P)

   Mencari besarnya penyimpangan dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

   $\Delta_P = [P_e - P_t]$ (5.3)

   Contoh perhitungan besarnya penyimpangan dengan data urutan pertama sebagai berikut.

   $\Delta_P = [0{,}091 - 0{,}071]$

   $\Delta_P = 0{,}020$

   Rekapitulasi perhitungan analisis uji Smirnov-Kolmogorov dapat dilihat pada **Tabel 5.18** berikut.

Tabel 5.18 Rekapitulasi Analisis Smirnov Kolmogorov

m	Tahun	X_i	Log X_i	P_e	K_T	P_t	Δ_P
1	2022	171	2,233	0,091	1,488	0,071	0,020
2	2021	151	2,179	0,182	1,116	0,136	0,045
3	2019	136	2,134	0,273	0,802	0,216	0,057
4	2018	125	2,097	0,364	0,550	0,307	0,056
5	2020	103	2,013	0,455	-0,030	0,517	0,062
6	2016	100	2,000	0,545	-0,119	0,548	0,002
7	2023	94	1,973	0,636	-0,304	0,613	0,023
8	2017	83	1,919	0,727	-0,677	0,744	0,017
9	2014	68	1,833	0,818	-1,274	0,896	0,078
10	2015	62	1,792	0,909	-1,551	0,934	0,025
						Δ_{maks}	0,078

Dari hasil setiap penyimpangan (Δ_P), dipilih nilai terbesar sebagai penyimpangan maksimum (Δ_{maks}), yang diperoleh sebesar 0,078.

10. Mencari nilai penyimpangan kritis (Δ_{kritis})

    Nilai penyimpangan kritis (Δ_{kritis}) dicari menggunakan Tabel 3.9, dengan mempertimbangkan jumlah data (n) dan nilai derajat nyata (α). Diketahui jumlah data (n) adalah 10 dan nilai derajat nyata (α) ditetapkan sebesar 5% atau 0,05 (Triatmodjo, 2008). Berdasarkan Tabel 3.9 diperoleh nilai penyimpangan kritis (Δ_{kritis}) sebesar 0,41.

11. Hasil pengujian Smirnov Kolmogorov distribusi Log Pearson III

    Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, diperoleh nilai penyimpangan maksimum (Δ_{maks}) sebesar 0,078 dan nilai penyimpangan kritis (Δ_{kritis}) sebesar 0,41. Menurut Triatmodjo (2008), nilai penyimpangan maksimum harus lebih kecil dari nilai penyimpangan kritis ($\Delta_{maks} < \Delta_{kritis}$). Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa distribusi Log Pearson III memenuhi persyaratan dalam pengujian Smirnov-Kolmogorov.

5.5 Analisis Debit Rencana

Pada analisis debit rencana menggunakan metode rasional diperlukan data koefisien pengaliran, intensitas hujan dan luas daerah tangkapan air. Nilai luas daerah tangkapan air (A) masing-masing saluran diukur melalui aplikasi Google Earth yang hasil pengukurannya dapat dilihat pada Tabel 5.5 dan nilai koefisien pengaliran (C) didasarkan pada tata guna lahan pada daerah tangkapan air. Nilai intensitas hujan (I) dengan kala ulang tertentu dalam perhitungannnya diperlukan curah hujan harian (R_{24}) dan waktu konsentrasi (t_c). Pada perhitungan waktu konsentrasi dibutuhkan panjang aliran permukaan lahan (L_0), panjang saluran (L_s), kemiringan saluran (S) dan kecepatan aliran (V).

5.5.1 Koefisien Pengaliran

Koefisien pengaliran ditentukan berdasarkan tata guna lahan pada *catchment area*. Untuk menentukan koefisien aliran permukaan, diperlukan klasifikasi tata guna lahan pada *cathment area* di lokasi tinjauan. Pada Gambar 5.8 terlihat bahwa lokasi tinjauan memiliki tata guna lahan yang berbeda-beda, sehingga koefisien

aliran permukaan yang digunakan adalah koefisien komposit atau koefisien gabungan dari beberapa tata guna lahan. Perhitungan koefisien aliran menggunakan Persamaan 3.25. Perhitungan untuk nilai koefisien aliran komposit pada saluran SKi-2 sebagai berikut.

$$C_{\text{(SKi-2)komposit}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} C_i A_i}{\sum_{i=1}^{n} A_i}$$

$$= \frac{(0{,}8 \times 0{,}011) + (0{,}2 \times 0{,}007) + (0{,}45 \times 0{,}053) + (0{,}3 \times 0{,}004) + (0{,}35 \times 0{,}008)}{0{,}088901}$$

$$= 0{,}4552$$

Rekapitulasi nilai koefisien aliran komposit untuk saluran drainase samping lainnya, yang dihitung dengan menggunakan persamaan yang sama, dapat dilihat pada **Tabel 5.19**.

Tabel 5.19 Rekapitulasi Koefisien Aliran Saluran Samping

Saluran	Tata Guna Lahan		C	C × A	Luas Lahan kumulatif (km^2)	C komposit
	Jenis	Luas (km^2)				
SK-1	Jalan Beton	0,007962	0,80	0,00637	0,085707	0,296
	Perkebunan	0,052900	0,20	0,01058		
	Sawah	0,006500	0,45	0,00293		
	Lereng Galian/Timbunan	0,018364	0,30	0,00550		
	Pemukiman	0	0,35	0,00000		
SK-2	Jalan Beton	0,005078	0,80	0,00406	0,049930	0,479
	Perkebunan	0	0,20	0,00000		
	Sawah	0,042500	0,45	0,01913		
	Lereng Galian/Timbunan	0,002352	0,30	0,00071		
	Pemukiman	0	0,35	0,00000		
SK-3A	Jalan Beton	0,000878	0,80	0,00070	0,007123	0,282
	Perkebunan	0,005700	0,20	0,00011		
	Sawah	0	0,45	0,00000		
	Lereng Galian/Timbunan	0,000545	0,30	0,00016		
	Pemukiman	0	0,35	0,00000		
SK-3B	Jalan Beton	0,002480	0,80	0,00198	0,019174	0,294
	Perkebunan	0,013500	0,20	0,00270		
	Sawah	0	0,45	0,00000		
	Lereng Galian/Timbunan	0,003193	0,30	0,00096		
	Pemukiman	0	0,35	0,00000		

Lanjutan Tabel 5.19 Rekapitulasi Koefisien Aliran Saluran Samping

Saluran	Tata Guna Lahan		C	C × A	Luas Lahan kumulatif (km^2)	C komposit
	Jenis	Luas (km^2)				
SK-4A	Jalan Beton	0,003359	0,80	0,00269	0,028759	0,303
	Perkebunan	0,018400	0,20	0,00368		
	Sawah	0	0,45	0,00000		
	Lereng Galian/Timbunan	0,002200	0,30	0,00066		
	Pemukiman	0,004800	0,35	0,00168		
SK-4B	Jalan Beton	0,005361	0,80	0,00429	0,031840	0,339
	Perkebunan	0,014300	0,20	0,00286		
	Sawah	0	0,45	0,00000		
	Lereng Galian/Timbunan	0,012179	0,30	0,00365		
	Pemukiman	0	0,35	0,00000		
SK-5	Jalan Beton	0,001599	0,80	0,00128	0,013762	0,295
	Perkebunan	0,009200	0,20	0,00184		
	Sawah	0	0,45	0,00000		
	Lereng Galian/Timbunan	0,001863	0,30	0,00056		
	Pemukiman	0,001100	0,35	0,00039		
SK-6	Jalan Beton	0,002925	0,80	0,00234	0,021543	0,457
	Perkebunan	0,003000	0,20	0,00060		
	Sawah	0,014800	0,45	0,00666		
	Lereng Galian/Timbunan	0,000818	0,30	0,00025		
	Pemukiman	0	0,35	0,00000		
SKi-1	Jalan Beton	0,007973	0,80	0,00638	0,045522	0,335
	Perkebunan	0,023900	0,20	0,00478		
	Sawah	0	0,45	0,00000		
	Lereng Galian/Timbunan	0,013649	0,30	0,00409		
	Pemukiman	0	0,35	0,00000		
SKi-2	Jalan Beton	0,005300	0,80	0,00424	0,052504	0,455
	Perkebunan	0	0,20	0,00000		
	Sawah	0,04400	0,45	0,01998		
	Lereng Galian/Timbunan	0,002804	0,30	0,00084		
	Pemukiman	0	0,35	0,00000		
SKi-3	Jalan Beton	0,004921	0,80	0,00394	0,029274	0,415
	Perkebunan	0,007300	0,20	0,00146		
	Sawah	0,008500	0,45	0,00383		
	Lereng Galian/Timbunan	0,001053	0,30	0,00032		
	Pemukiman	0,007500	0,35	0,00263		

Lanjutan Tabel 5.19 Rekapitulasi Koefisien Aliran Saluran Samping

Saluran	Tata Guna Lahan		C	C × A	Luas Lahan kumulatif (km^2)	C komposit
	Jenis	Luas (km^2)				
SKi-4A	Jalan Beton	0,004894	0,80	0,00392	0,027611	0,353
	Perkebunan	0,011300	0,20	0,00226		
	Sawah	0	0,45	0,00000		
	Lereng Galian/Timbunan	0,008418	0,30	0,00253		
	Pemukiman	0,003000	0,35	0,00105		
SKi-4B	Jalan Beton	0,007127	0,80	0,00570	0,034615	0,345
	Perkebunan	0,020000	0,20	0,00400		
	Sawah	0	0,45	0,00000		
	Lereng Galian/Timbunan	0,007488	0,30	0,00225		
	Pemukiman	0	0,35	0,00000		
SKi-5	Jalan Beton	0,003248	0,80	0,00260	0,012941	0,419
	Perkebunan	0,005900	0,20	0,00118		
	Sawah	0,003400	0,45	0,00153		
	Lereng Galian/Timbunan	0,000392	0,30	0,00012		
	Pemukiman	0	0,35	0,00000		
SKi-6	Jalan Beton	0,002925	0,80	0,00234	0,026878	0,413
	Perkebunan	0,007100	0,20	0,00142		
	Sawah	0,014900	0,45	0,00671		
	Lereng Galian/Timbunan	0,000753	0,30	0,00023		
	Pemukiman	0,001200	0,35	0,00042		

5.5.2 Kemiringan Saluran dan Kecepatan Aliran

Berdasarkan data *plan profile* drainase, diperoleh data elevasi, kemiringan, dan panjang saluran. Data tersebut akan berpengaruh pada perhitungan waktu konsentrasi (t_c), khususnya pada waktu pengaliran saluran (t_d). Perhitungan kemiringan saluran dan kecepatan aliran dilakukan pada saluran SKi-2 yang penampang salurannya dapat dilihat pada Gambar 5.4 dengan Persamaan 3.33 dan Persamaan 3.34 sebagai berikut.

1. Saluran SKi-2
   a. Kemiringan saluran

      Kemiringan saluran merupakan faktor yang mempengaruhi kecepatan aliran dan kapasitas saluran dalam mengalirkan debit. Kemiringan saluran

dihitung berdasarkan perbandingan antara elevasi awal dan akhir dengan panjang saluran. Perhitungan kemiringan saluran SKi-2 sebagai berikut.

$\Delta h = (h_{hulu} - h_{hilir})$

$= (23{,}444 - 21{,}039)$

$= 2{,}405$ m

$L_s = 453$ m

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

$= \frac{2{,}405}{453}$

$= 0{,}0053$

Perhitungan kemiringan sauran lainnya dihitung dengan persamaan yang sama. Rekapitulasi kemiringan saluran pada saluran samping dapat dilihat pada **Tabel 5.20** sebagai berikut.

Tabel 5.20 Kemiringan Saluran pada Saluran Samping

Kelompok	Saluran	Elevasi		L_s	S
		Hulu	Hilir		
Saluran Samping Kanan	SK-1	25,070	21,744	595	0,0056
	SK-2	22,876	21,245	434	0,0038
	SK-3A	24,708	23,656	75	0,0140
	SK-3B	24,708	24,329	212	0,0018
	SK-4A	26,411	25,619	250	0,0032
	SK-4B	26,411	22,849	330	0,0108
	SK-5	22,849	19,018	111	0,0345
	SK-6	23,261	20,547	250	0,0109
Saluran Samping Kiri	SKi-1	25,170	21,364	596	0,0064
	SKi-2	23,444	21,039	453	0,0053
	SKi-3	24,023	23,444	260	0,0022
	SKi-4A	26,261	25,661	250	0,0024
	SKi-4B	26,261	23,967	302	0,0076
	SKi-5	23,967	21,754	120	0,0184
	SKi-6	23,244	22,676	250	0,0023

Dalam perhitungan kemiringan saluran ini dilakukan juga perhitungan pada saluran median dan gorong-gorong. Perhitungan kemiringan saluran dihitung dengan persamaan yang sama dengan saluran samping. Rekapitulasi perhitungan kemiringan saluran pada saluran median dan gorong-gorong dapat dilihat pada **Tabel 5.21** dan **Tabel 5.22** sebagai berikut.

Tabel 5.21 Kemiringan Saluran pada Saluran Median

Kelompok	Saluran	Elevasi		L_s (m)	S
		Hulu	Hilir		
Saluran Median Utama	SM-1	27,084	26,197	216	0,0041
	SM-2	27,650	27,084	144	0,0039
	SM-3	27,650	26,602	284	0,0037
	SM-4	26,602	25,702	212	0,0042
Saluran *Crossing* Median	CM-1	26,197	25,608	14,50	0,0406
	CM-2	27,084	26,808	14,50	0,0190
	CM-3	26,602	26,189	14,50	0,0285
	CM-4	25,702	25,107	14,50	0,0410

Tabel 5.22 Kemiringan Saluran pada Gorong-Gorong

Saluran	Elevasi		L_s (m)	S
	Hulu	Hilir		
BC-1	21,826	21,757	39,10	0,002
BC-2	23,505	23,444	30,15	0,002
BC-3	24,293	24,233	30,23	0,002
BC-4	24,326	23,967	42,86	0,008

b. Kecepatan aliran

Perhitungan kecepatan aliran saluran SKi-2 sebagai berikut.

b = 1,4 m

h = 0,3 m

m = 1,6

n = 0,028

$$A = (b + mh)\ h$$
$$= (1{,}4 + 1{,}6\ .\ 0{,}3)\ 0{,}3$$
$$= 0{,}564\ m^2$$
$$P = b + 2h\sqrt{m^2+1}$$
$$= 2 + 2\ .\ 0{,}3\sqrt{1{,}6^2+1}$$
$$= 3{,}774\ m$$
$$R = \frac{A}{P}$$
$$= \frac{0{,}564}{3{,}774}$$
$$= 0{,}149\ m$$
$$V = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}$$
$$= \frac{1}{0{,}028} \times 0{,}149^{\frac{2}{3}} \times 0{,}0053^{\frac{1}{2}}$$
$$= 0{,}733\ m/s$$

Perhitungan kecepatan aliran lainnya dihitung dengan persamaan yang sama. Rekapitulasi Kemiringan Saluran dan Kecepatan aliran pada saluran samping dapat dilihat pada **Tabel 5.23** sebagai berikut.

Tabel 5.23 Kecepatan Aliran pada Saluran Samping

Kelompok	**Saluran**	**S**	**n**	**A (m^2)**	**P (m)**	**R (m)**	**V (m/s)**
Saluran Samping Kanan	SK-1	0,0056	0,015	1,500	3,500	0,429	2,833
	SK-2	0,0038	0,028	0,564	3,774	0,149	0,617
	SK-3A	0,0140	0,025	0,650	2,546	0,255	1,907
	SK-3B	0,0018	0,025	0,650	2,546	0,255	0,681
	SK-4A	0,0032	0,025	0,650	2,546	0,255	0,906
	SK-4B	0,0108	0,025	0,650	2,546	0,255	1,673
	SK-5	0,0345	0,028	0,564	3,774	0,149	1,869
	SK-6	0,0109	0,028	0,564	3,774	0,149	1,048
Saluran Samping Kiri	SKi-1	0,0064	0,025	0,650	2,546	0,255	1,287
	SKi-2	0,0053	0,028	0,564	3,774	0,149	0,733
	SKi-3	0,0022	0,028	0,564	3,774	0,149	0,475

Lanjutan Tabel 5.23 Kecepatan Aliran pada Saluran Samping

Kelompok	Saluran	S	n	A (m^2)	P (m)	R (m)	V (m/s)
Saluran Samping Kiri	SKi-4A	0,0024	0,025	0,650	2,546	0,255	0,789
	SKi-4B	0,0076	0,025	0,650	2,546	0,255	1,403
	SKi-5	0,0184	0,028	0,564	3,774	0,149	1,366
	SKi-6	0,0023	0,028	0,564	3,774	0,149	0,479

Dalam perhitungan kecepatan aliran ini dilakukan juga perhitungan pada saluran median dan gorong-gorong. Perhitungan kecepatan aliran dihitung dengan persamaan yang sama dengan saluran samping. Rekapitulasi perhitungan kecepatan aliran pada saluran median dan gorong-gorong dapat dilihat pada **Tabel 5.24** dan **Tabel 5.25** sebagai berikut.

Tabel 5.24 Kecepatan Aliran pada Saluran Median

Kelompok	Saluran	S	n	A (m^2)	P (m)	R (m)	V (m/s)
Saluran Median Utama	SM-1	0,0041	0,015	0,148	1,092	0,136	1,127
	SM-2	0,0039	0,015	0,148	1,092	0,136	1,103
	SM-3	0,0037	0,015	0,148	1,092	0,136	1,069
	SM-4	0,0042	0,015	0,148	1,092	0,136	1,146
Saluran *Crossing* Median	CM-1	0,0406	0,013	0,248	1,223	0,203	5,348
	CM-2	0,0190	0,013	0,248	1,223	0,203	3,661
	CM-3	0,0285	0,013	0,248	1,223	0,203	4,478
	CM-4	0,0410	0,013	0,248	1,223	0,203	5,375

Tabel 5.25 Kecepatan Aliran pada Gorong-Gorong

Saluran	S	n	A (m^2)	P (m)	R (m)	V (m/s)
BC-1	0,002	0,013	9,600	8,800	1,091	3,424
BC-2	0,002	0,013	1,800	4,500	0,462	2,066
BC-3	0,002	0,013	3,200	5,200	0,615	2,479
BC-4	0,008	0,013	1,800	4,500	0,462	4,205

5.5.3 Analisis Waktu Konsentrasi

Terdapat dua komponen untuk menentukan waktu konsentrasi, yaitu waktu yang dibutuhkan air untuk mengalir di lahan dari titik terjauh hingga saluran saluran terdekat (t_0) dan waktu yang dibutuhkan air untuk mengalir dari titik awal saluran hingga titik keluaran saluran (t_d). Perhitungan waktu konsentrasi menggunakan Persamaan 3.27, Persamaan 3.28, dan Persamaan 3.29. Berikut merupakan perhitungan waktu konsentrasi pada saluran SKi-3 dan saluran SKi-2.

1. Saluran SKi-3
   a. Waktu pengaliran permukaan lahan
      1) Waktu pengaliran permukaan jalan

L_0 = 11,7 m

n_d = 0,013

S_0 = 0,0243

$$t_{0(jalan)} = \left(\frac{2}{3} \times 3{,}28 \times L_0 \times \frac{n_d}{\sqrt{S}}\right)^{0{,}167}$$

$$= \left(\frac{2}{3} \times 3{,}28 \times 11{,}7 \times \frac{0{,}013}{\sqrt{0{,}0243}}\right)^{0{,}167}$$

$$= 1{,}135 \text{ menit}$$

      2) Waktu pengaliran bahu jalan

L_0 = 7,32 m

n_d = 0,100

S_0 = 0,4706

$$t_{0(bahu)} = \left(\frac{2}{3} \times 3{,}28 \times L_0 \times \frac{n_d}{\sqrt{S}}\right)^{0{,}167}$$

$$= \left(\frac{2}{3} \times 3{,}28 \times 7{,}32 \times \frac{0{,}100}{\sqrt{0{,}4706}}\right)^{0{,}167}$$

$$= 1{,}152 \text{ menit}$$

      3) Waktu Pengaliran Permukaan Lahan

L_0 = 103,39 m

n_d = 0,200

S_0 = 0,0211

$$t_{0(\text{Lahan})} = \left(\frac{2}{3} \times 3{,}28 \times L_0 \times \frac{n_d}{\sqrt{S}}\right)^{0{,}167}$$

$$= \left(\frac{2}{3} \times 3{,}28 \times 103{,}39 \times \frac{0{,}200}{\sqrt{0{,}0211}}\right)^{0{,}167}$$

$$= 2{,}609 \text{ menit}$$

Dari perhitungan t_0 berdasarkan permukaan jalan, bahu jalan dan permukaan lahan, t_0 yang digunakan adalah penjumlahan dari ketiga t_0 permukaan lahan tersebut.

$$t_0 = t_{0(\text{jalan})} + t_{0(\text{bahu})} + t_{0(\text{lahan})}$$

$$= 1{,}135 + 1{,}152 + 2{,}609$$

$$= 4{,}896 \text{ menit}$$

b. Waktu Pengaliran Saluran

$$L_s = 260 \text{ m}$$

$$V = 0{,}475 \text{ m/s}$$

$$t_d = \frac{L_s}{60 \times V}$$

$$= \frac{260}{60 \times 0{,}475}$$

$$= 9{,}129 \text{ menit}$$

Dari perhitungan waktu pengaliran permukaan lahan dan waktu pengaliran saluran diperoleh waktu konsentrasi sebagai berikut.

$$t_{c(\text{SKi-3})} = t_0 + t_d$$

$$= 4{,}896 + 9{,}129$$

$$= 14{,}025 \text{ menit} \approx 0{,}234 \text{ jam}$$

2. Saluran SKi-2

a. Waktu pengaliran permukaan lahan

1) Waktu pengaliran permukaan jalan

$$L_0 = 11{,}7 \text{ m}$$

$$n_d = 0{,}013$$

$$S_0 = 0{,}0243$$

$$t_{0(jalan)} = \left(\frac{2}{3} \times 3{,}28 \times L_0 \times \frac{n_d}{\sqrt{S}}\right)^{0{,}167}$$

$$= \left(\frac{2}{3} \times 3{,}28 \times 11{,}7 \times \frac{0{,}013}{\sqrt{0{,}0243}}\right)^{0{,}167}$$

$$= 1{,}135 \text{ menit}$$

2) Waktu pengaliran bahu jalan

$L_0 = 6{,}99$ m

$n_d = 0{,}100$

$S_0 = 0{,}4631$

$$t_{0(bahu)} = \left(\frac{2}{3} \times 3{,}28 \times L_0 \times \frac{n_d}{\sqrt{S}}\right)^{0{,}167}$$

$$= \left(\frac{2}{3} \times 3{,}28 \times 6{,}99 \times \frac{0{,}100}{\sqrt{0{,}4631}}\right)^{0{,}167}$$

$$= 1{,}145 \text{ menit}$$

3) Waktu Pengaliran Permukaan Lahan

$L_0 = 115{,}38$ m

$n_d = 0{,}200$

$S_0 = 0{,}0192$

$$t_{0(Lahan)} = \left(\frac{2}{3} \times 3{,}28 \times L_0 \times \frac{n_d}{\sqrt{S}}\right)^{0{,}167}$$

$$= \left(\frac{2}{3} \times 3{,}28 \times 115{,}38 \times \frac{0{,}200}{\sqrt{0{,}0192}}\right)^{0{,}167}$$

$$= 2{,}677 \text{ menit}$$

Dari perhitungan t_0 berdasarkan permukaan jalan, bahu jalan dan permukaan lahan, t_0 yang digunakan adalah penjumlahan dari ketiga t_0 permukaan lahan tersebut.

$$t_0 = t_{0(jalan)} + t_{0(bahu)} + t_{0(lahan)}$$

$$= 1{,}135 + 1{,}145 + 2{,}677$$

$$= 4{,}957 \text{ menit}$$

b. Waktu Pengaliran Saluran

$L_s = 453$ m

$V = 0{,}733$ m/s

$$t_d = \frac{L_s}{60 \times V}$$
$$= \frac{453}{60 \times 0{,}733}$$
$$= 10{,}302 \text{ menit}$$

Pada saluran SKi-2 terbebani oleh aliran dari saluran SKi-3, maka waktu konsentrasi pada saluran SKi-2 dihitung dengan membandingkan dua skema dari nilai t_c .

$t_{c(SKi-2)\,1} = t_{0(SKi-2)} + t_{d(SKi-2)}$
$= 4{,}957 + 10{,}302$
$= 15{,}259 \text{ menit} \approx 0{,}254 \text{ jam}$

$t_{c(SKi-2)\,2} = t_{c(SKi-3)} + t_{d(SKi-2)}$
$= 14{,}025 + 10{,}302$
$= 24{,}327 \text{ menit} \approx 0{,}405 \text{ jam}$

Dari perhitungan kedua skema diatas maka nilai t_c yang digunakan adalah nilai t_c terbesar. Nilai t_c pada saluran SKi-2 sebagai berikut.

$t_{c(SKi-2)\,1}$ = 24,327 menit ≈ 0,405 jam

Perhitungan waktu konsentrasi pada saluran samping lainnya dilakukan dengan perhitungan yang sama. Rekapitulasi dari perhitungan waktu konsentrasi untuk setiap saluran samping disajikan pada **Tabel 5.26** pada halaman selanjutnya

Tabel 5.26 Rekapitulasi Waktu Konsentrasi Saluran Samping

Kelompok	Saluran	Jenis	t_0 (menit)	$t_{0\ total}$ (menit)	t_d (menit)	t_c (menit)	t_c (jam)
Saluran Samping Kanan	SK-1	Jalan	1,135	4,850	3,500	8,350	0,139
		Bahu Jalan	1,077				
		Lahan	2,638				
	SK-2	Jalan	1,135	5,066	11,731	16,797	0,280
		Bahu Jalan	1,125				
		Lahan	2,806				
	SK-3A	Jalan	1,135	4,949	0,656	5,605	0,093
		Bahu Jalan	1,064				
		Lahan	2,750				
	SK-3B	Jalan	0,881	4,225	5,191	9,416	0,157
		Bahu Jalan	1,077				
		Lahan	2,268				

Lanjutan Tabel 5.26 Rekapitulasi Waktu Konsentrasi Saluran Samping

Kelompok	Saluran	Jenis	t_0 (menit)	$t_{0\ total}$ (menit)	t_d (menit)	t_c (menit)	t_c (jam)
Saluran Samping Kanan	SK-4A	Jalan	0,881	4,630	4,598	9,228	0,154
		Bahu Jalan	1,077				
		Lahan	2,672				
	SK-4B	Jalan	0,881	4,378	3,288	7,666	0,128
		Bahu Jalan	1,047				
		Lahan	2,450				
	SK-5	Jalan	0,881	4,338	0,990	5,328	0,089
		Bahu Jalan	1,170				
		Lahan	2,287				
	SK-6	Jalan	1,135	4,818	3,976	8,794	0,147
		Bahu Jalan	1,074				
		Lahan	2,608				
Saluran Samping Kiri	SKi-1	Jalan	1,135	4,588	7,721	12,309	0,205
		Bahu Jalan	1,077				
		Lahan	2,376				
	SKi-2	Jalan	1,135	4,957	10,302	24,327	0,405
		Bahu Jalan	1,145				
		Lahan	2,677				
	SKi-3	Jalan	1,135	4,896	9,129	14,025	0,234
		Bahu Jalan	1,152				
		Lahan	2,609				
	SKi-4A	Jalan	1,135	4,626	5,283	9,908	0,165
		Bahu Jalan	1,077				
		Lahan	2,414				
	SKi-4B	Jalan	1,135	4,545	3,587	9,164	0,153
		Bahu Jalan	1,077				
		Lahan	2,333				
	SKi-5	Jalan	1,135	4,816	1,464	6,280	0,105
		Bahu Jalan	1,140				
		Lahan	2,540				
	SKi-6	Jalan	1,135	4,949	8,691	13,640	0,227
		Bahu Jalan	1,081				
		Lahan	2,734				

Dalam perhitungan waktu konsentrasi ini dilakukan juga perhitungan waktu konsentrasi pada saluran median dan gorong-gorong. Perhitungan waktu konsentrasi pada saluran median dan gorong-gorong dihitung menggunakan persamaan yang sama dengan saluran samping. Rekapitulasi perhitungan waktu konsentrasi saluran median dan gorong-gorong dapat dilihat pada **Tabel 5.27** dan **Tabel 5.28** sebagai berikut.

Tabel 5.27 Rekapitulasi Waktu Konsentrasi Saluran Median

Saluran	t_0 (menit)	t_d (menit)	t_c (menit)	t_c (jam)
SM-1	1,093	3,239	4,332	0,072
SM-2	1,093	2,242	3,335	0,056
SM-3	1,093	4,484	5,576	0,093
SM-4	1,093	3,128	4,221	0,070

Tabel 5.28 Rekapitulasi Waktu Konsentrasi Gorong-Gorong

Saluran	t_0 (menit)	t_d (menit)	t_c (menit)	t_c pakai (menit)	t_c (jam)
BC-1	4,106	0,190	4,297	24,517	0,409
			8,540		
			24,517		
			12,499		
			16,987		
BC-2	2,864	0,243	5,848	5,848	0,097
			3,107		
BC-3	2,147	0,203	2,350	10,112	0,169
			9,619		
			10,112		
			9,431		
BC-4	1,908	0,170	2,078	9,333	0,156
			9,333		
			7,836		

5.5.4 Analisis Intensitas Hujan

Intensitas hujan adalah jumlah air hujan yang turun disuatu kawasan dalam waktu tertentu. Perhitungan intensitas hujan menggunakan Persamaan 3.25, yaitu persamaan Mononobe. Perhitungan intensitas hujan pada saluran samping dan saluran median menggunakan periode ulang 10 tahun, sedangkan untuk gorong-gorong menggunakan periode ulang 25 tahun. Perhitungan intensitas hujan pada saluran SKi-2 dan gorong-gorong BC-1 adalah sebagai berikut.

1. Saluran SKi-2 dengan periode ulang 10 tahun

R_{24} = 158,985 mm

t_c = 0,405 jam

$$I_{(SKi-2)} = \frac{R_{24}}{24} \times \left(\frac{24}{t}\right)^{\frac{2}{3}}$$

$$= \frac{158,985}{24} \times \left(\frac{24}{0,405}\right)^{\frac{2}{3}}$$

$$= 100,615 \text{ mm/jam}$$

2. Gorong-gorong BC-1 dengan periode ulang 25 tahun

R_{24} = 184,508 mm

t_c = 0,409 jam

$$I_{(BC-1)} = \frac{R_{24}}{24} \times \left(\frac{24}{t}\right)^{\frac{2}{3}}$$

$$= \frac{184,508}{24} \times \left(\frac{24}{0,409}\right)^{\frac{2}{3}}$$

$$= 116,163 \text{ mm/jam}$$

Perhitungan intensitas hujan pada saluran samping, sauran median dan gorong-gorong lainnya dihitung menggunakan persamaan yang sama. Rekapitulasi perhitungan intensitas hujan dapat dilihat pada **Tabel 5.29**, **Tabel 5.30** dan **Tabel 5.31** pada halaman selanjutnya.

Tabel 5.29 Rekapitulasi Intensitas Hujan Saluran Samping

Kelompok	Saluran	R_{24} (mm)	t_c (jam)	I (mm/jam)
Saluran Samping Kanan	SK-1	158,985	0,139	205,244
	SK-2	158,985	0,280	128,795
	SK-3A	158,985	0,093	267,729
	SK-3B	158,985	0,157	189,446
	SK-4A	158,985	0,154	192,010
	SK-4B	158,985	0,128	217,273
	SK-5	158,985	0,089	276,917
	SK-6	158,985	0,147	198,279
Saluran Samping Kiri	SKi-1	158,985	0,205	158,455
	SKi-2	158,985	0,405	100,615
	SKi-3	158,985	0,234	145,251

Lanjutan Tabel 5.29 Rekapitulasi Intensitas Hujan Saluran Samping

Kelompok	Saluran	R_{24} (mm)	t_c (jam)	I (mm/jam)
Saluran Samping Kiri	SKi-4A	158,985	0,165	183,112
	SKi-4B	158,985	0,153	192,905
	SKi-5	158,985	0,105	248,167
	SKi-6	158,985	0,227	147,971

Tabel 5.30 Rekapitulasi Intensitas Hujan Saluran Median

Saluran	R_{24} (mm)	t_c (jam)	I (mm/jam)
SM-1	158,985	0,072	317,896
SM-2	158,985	0,056	378,432
SM-3	158,985	0,093	268,627
SM-4	158,985	0,070	323,447

Tabel 5.31 Rekapitulasi Intensitas Hujan Gorong-Gorong

Saluran	R_{24} (mm)	t_c (jam)	I (mm/jam)
BC-1	184,508	0,409	116,163
BC-2	184,508	0,097	302,035
BC-3	184,508	0,169	209,652
BC-4	184,508	0,156	221,148

5.5.5 Perhitungan Debit Rencana

Debit rencana dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.26 yang merupakan metode rasional. Perhitungan debit rencana pada saluran SKi-2 dan Saluran SKi-3 adalah sebagai berikut.

1. Saluran SKi-3

$C_{(SKi-3)} = 0{,}415$

$I_{(SKi-3)} = 145{,}251 \text{ mm/jam}$

$A_{(SKi-3)} = 0{,}029274 \text{ km}^2$

$Q_{SKi-3} = 0{,}278 \times C \times I \times A$

$= 0{,}278 \times 0{,}415 \times 145{,}251 \times 0{,}029274$

$= 0{,}491 \text{ m}^3/\text{s}$

2. Saluran SKi-2

$C_{(SKi\text{-}2)} = 0{,}455$

$I_{(SKi\text{-}2)} = 100{,}615 \text{ mm/jam}$

$A_{total(SKi\text{-}2)} = A_{(SKi\text{-}2)} + A_{(SKi\text{-}3)}$

$= 0{,}052504 + 0{,}029274$

$= 0{,}081778 \text{ km}^2$

$Q_{SKi-2} = 0{,}278 \times C \times I \times A$

$= 0{,}278 \times 0{,}455 \times 100{,}615 \times 0{,}081778$

$= 1{,}041 \text{ m}^3/\text{s}$

Perhitungan debit rencana untuk saluran drainase samping lainnya dihitung menggunakan persamaan yang sama. Rekapitulasi debit limpasan dapat dilihat pada **Tabel 5.32** berikut.

Tabel 5.32 Rekapitulasi Debit Rencana Saluran Samping

Kelompok	Saluran	C	I (mm/jam)	A (km^2)	$Q_{rencana}$ (m^3/detik)
Saluran Samping Kanan	SK-1	0,296	205,244	0,085707	1,448
	SK-2	0,479	128,795	0,049930	0,855
	SK-3A	0,282	267,729	0,007123	0,149
	SK-3B	0,294	189,446	0,019174	0,297
	SK-4A	0,303	192,010	0,028759	0,465
	SK-4B	0,339	217,273	0,031840	0,652
	SK-5	0,295	276,917	0,013762	0,313
	SK-6	0,457	198,279	0,021543	0,543
Saluran Samping Kiri	SKi-1	0,335	158,455	0,045522	0,672
	SKi-2	0,455	100,615	0,081778	1,041
	SKi-3	0,415	145,251	0,029274	0,491
	SKi-4A	0,353	183,112	0,027611	0,496
	SKi-4B	0,345	192,905	0,034615	0,641
	SKi-5	0,419	248,167	0,012941	0,374
	SKi-6	0,413	147,971	0,026878	0,457

Adapun dalam perhitungan debit rencana ini, dilakukan juga perhitungan debit rencana pada saluran median dan gorong-gorong. Perhitungan debit rencana dihitung dengan menggunakan persamaan yang sama dengan perhitungan debit

rencana saluran samping. Rekapitulasi debit rencana saluran median dan gorong-gorong dapat dilihat pada **Tabel 5.33** dan **Tabel 5.34** sebagai berikut.

Tabel 5.33 Rekapitulasi Debit Rencana Saluran Median

Saluran	C	I (mm/jam)	A (km^2)	$Q_{rencana}$ (m^3/detik)
SM-1	0,80	317,896	0,001879	0,133
SM-2	0,80	378,432	0,001253	0,105
SM-3	0,80	268,627	0,002471	0,148
SM-4	0,80	323,447	0,001844	0,133

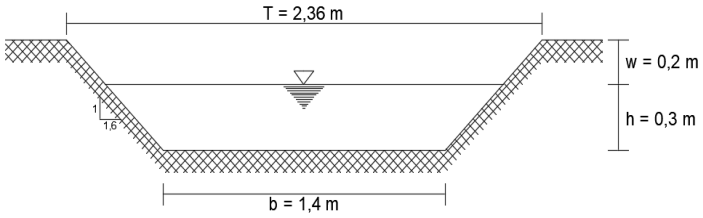
Tabel 5.34 Rekapitulasi Debit Limpasan Gorong-Gorong

Saluran	C	I (mm/jam)	A (km^2)	$Q_{rencana}$ (m^3/detik)
BC-1	0,271	116,163	0,270060	2,363
BC-2	0,169	302,035	0,049623	0,704
BC-3	0,319	209,652	0,075544	1,405
BC-4	0,342	221,148	0,066455	1,399

5.6 Kapasitas Sistem Drainase Eksisting

Analisis kapasitas sistem drainase eksisting merupakan analisis yang dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem drainse eksisting dalam menampung debit limpasan. Faktor yang mempengaruhi kapasitas sistem drainase eksisting adalah luas penampang saluran dan kecepatan aliran. Hasil perhitungan kapasitas ini kemudian dibandingkan dengan debit rencana untuk menentukan sistem drainase tersebut dapat menampung debit rencana tanpa melimpas. Contoh perhitungan kapasitas sistem drainase eksisting pada sistem drainase jalan tol ini dilakukan pada saluran samping SKi-2 yang letak salurannya dapat dilihat pada **Gambar 5.1**.

1. Saluran SKi-2



Gambar 5.9 Penampang Saluran SKi-2 Eksisting

(Sumber: PT. Wijaya Karya (Persero) Tbk)

Perhitungan kapasitas saluran SKi-2 dengan Persamaan 3.30 sebagai berikut

b = 1,4 m

h = 0,3 m

m = 1,6

A $= 0{,}564\ \mathrm{m}^2$

V $= 0{,}733\ \mathrm{m/s}$

$Q_{eksisting} = A \times V$

$= 0{,}564 \times 0{,}733$

$= 0{,}413\ \mathrm{m}^3/\mathrm{s}$

Perhitungan kapasitas saluran drainase samping lainnya dihitung menggunakan persamaan yang sama. Rekapitulasi kapasitas saluran samping dapat dilihat pada **Tabel 5.35** pada halaman selanjutnya.

Tabel 5.35 Rekapitulasi Kapasitas Saluran Samping Eksisting

Kelompok	**Saluran**	**A (m^2)**	**V (m/s)**	**$Q_{eksisting}$ (m^3/s)**
Saluran Samping Kanan	SK-1	1,500	2,833	4,250
	SK-2	0,564	0,617	0,348
	SK-3A	0,650	1,907	1,239
	SK-3B	0,650	0,681	0,442
	SK-4A	0,650	0,906	0,589
	SK-4B	0,650	1,673	1,087
	SK-5	0,564	1,869	1,054
	SK-6	0,564	1,048	0,591

Lanjutan Tabel 5.35 Rekapitulasi Kapasitas Saluran Samping Eksisting

Kelompok	Saluran	A (m^2)	V (m/s)	$Q_{eksisting}$ (m^3/s)
Saluran Samping Kiri	SKi-1	0,650	1,287	0,836
	SKi-2	0,564	0,733	0,413
	SKi-3	0,564	0,475	0,268
	SKi-4A	0,650	0,789	0,513
	SKi-4B	0,650	1,403	0,912
	SKi-5	0,564	1,366	0,770
	SKi-6	0,564	0,479	0,270

Adapun dalam perhitungan kapasitas saluran ini, dilakukan juga perhitungan kapasitas saluran pada saluran median dan gorong-gorong. Perhitungan kapasitas saluran dihitung dengan menggunakan persamaan yang sama dengan perhitungan kapasitas saluran samping. Rekapitulasi kapasitas saluran median dan gorong-gorong dapat dilihat pada **Tabel 5.36** dan **Tabel 5.37** sebagai berikut.

Tabel 5.36 Rekapitulasi Kapasitas Saluran Median Eksisting

Kelompok	Saluran	A (m^2)	V (m/s)	$Q_{eksisting}$ (m^3/s)
Saluran Median Utama	SM-1	0,148	1,127	0,167
	SM-2	0,148	1,103	0,163
	SM-3	0,148	1,069	0,158
	SM-4	0,148	1,146	0,170
Saluran Crossing Median	CM-1	0,248	5,348	1,325
	CM-2	0,248	3,661	0,907
	CM-3	0,248	4,478	1,109
	CM-4	0,248	5,375	1,331

Tabel 5.37 Rekapitulasi Kapasitas Gorong-Gorong

Saluran	A (m^2)	V (m/s)	$Q_{eksisting}$ (m^3/s)
BC-1	9,600	3,424	32,874
BC-2	1,800	2,066	3,720
BC-3	3,200	2,479	7,934
BC-4	1,800	4,205	7,568

5.7 Evaluasi Kapasitas Sistem Drainase Eksisting

Evaluasi kapasitas sistem drainase merupakan proses yang digunakan untuk mengevaluasi kapasitas saluran drainase eksisting dalam mengalirkan debit limpasan tanpa menimbulkan genangan. Evaluasi ini dilakukan dengan membandingkan debit kapasitas saluran drainase eksisting dengan debit rencana. Saluran drainase dinyatakan dapat mengaliri debit rencana apabila debit kapasitas saluran eksisting lebih besar daripada debit rencana. Evaluasi kapasitas sistem drainase eksisting dapat dilihat pada **Tabel 5.38**, **Tabel 5.39**, dan **Tabel 5.40** sebagai berikut.

Tabel 5.38 Evaluasi Kapasitas Saluran Samping Eksisting

Kelompok	Saluran	$Q_{eksisting}$ (m^3/detik)	$Q_{rencana}$ (m^3/detik)	Keterangan
Saluran Samping Kanan	SK-1	4,250	1,448	Aman
	SK-2	0,348	0,855	Melimpas
	SK-3A	1,239	0,149	Aman
	SK-3B	0,442	0,297	Aman
	SK-4A	0,589	0,465	Aman
	SK-4B	1,087	0,652	Aman
	SK-5	1,054	0,313	Aman
	SK-6	0,591	0,543	Aman
Saluran Samping Kiri	SKi-1	0,863	0,672	Aman
	SKi-2	0,413	1,041	Melimpas
	SKi-3	0,268	0,491	Melimpas
	SKi-4A	0,513	0,496	Aman
	SKi-4B	0,912	0,641	Aman
	SKi-5	0,770	0,374	Aman
	SKi-6	0,270	0,457	Melimpas

Tabel 5.39 Evaluasi Kapasitas Saluran Median Eksisting

Kelompok	Saluran	$Q_{eksisting}$ (m^3/detik)	$Q_{rencana}$ (m^3/detik)	Keterangan
Saluran Median Utama	SM-1	0,167	0,133	Aman
	SM-2	0,163	0,105	Aman
	SM-3	0,158	0,148	Aman
	SM-4	0,170	0,133	Aman

Lanjutan Tabel 5.39 Evaluasi Kapasitas Saluran Median Eksisting

Kelompok	Saluran	$Q_{eksisting}$ (m^3/detik)	$Q_{rencana}$ (m^3/detik)	Keterangan
Saluran *Crossing* Median	CM-1	1,325	0,133	Aman
	CM-2	0,907	0,105	Aman
	CM-3	1,109	0,148	Aman
	CM-4	1,331	0,133	Aman

Tabel 5.40 Evaluasi Kapasitas Gorong-Gorong Eksisting

Saluran	$Q_{eksisting}$ (m^3/detik)	$Q_{rencana}$ (m^3/detik)	Keterangan
BC-1	32,874	2,363	Aman
BC-2	3,720	0,704	Aman
BC-3	7,934	1,405	Aman
BC-4	7,568	1,399	Aman

Dari evaluasi kapasitas sistem drainase berdasarkan perbandingan antara $Q_{eksisting}$ dan $Q_{rencana}$ dengan periode ulang 10 tahun untuk saluran samping dan saluran median serta periode ulang 25 tahun untuk gorong-gorong, dapat dilihat bahwa limpasan hanya terjadi pada saluran samping. sebaliknya pada saluran median utama, saluran *crossing* median dan gorong-gorong tidak terjadi limpasan. Pada saluran samping kanan terdapat satu saluran yang melimpas, sedangkan pada saluran samping kiri terdapat tiga saluran yang melimpas. Jadi dari hasil evaluasi kapasitas sistem drainase perlu dilakukan perencanaan ulang pada saluran samping yang tidak memenuhi kapasitas debit rencana. Untuk saluran median utama, saluran *crossing* median dan gorong-gorong tidak dilakukan redesain karena sudah memenuhi kapasitas debit rencana. Dalam memvalidasi apakah saluran yang mengalami limpasan itu benar terjadi limpasan dilakukan simulasi aliran dengan menggunakan *software* Hec-Ras yang dapat dilihat pada Lampiran 7.

5.8 Perencanaan Ulang Sistem Drainase

Pada evaluasi kapasitas saluran drainase diketahui bahwa terjadi limpasan di beberapa saluran samping yang menunjukkan bahwa saluran tersebut tidak mampu menampung debit rencana. Hal ini mengindikasikan bahwa kapasitas saluran perlu ditingkatkan agar mampu menampung dan mengalirkan debit rencana. Oleh karena itu, diperlukan *redesign* pada saluran dengan melakukan perubahan pada dimensi saluran.

Perubahan dimensi saluran dilakukan dengan melakukan perubahan pada kedalaman aliran saluran (h), sementara pada lebar dasar saluran tidak dilakukan perubahan karena tidak memungkinkan dan dibatasi oleh ruang ROW (*Right of Way*). Perhitungan desain ulang dimensi saluran ini dilakukan menggunakan metode *trial and error*. Contoh tahapan perhitungan *redesign* saluran samping dilakukan pada saluran SKi-2 sebagai berikut.

1. Perhitungan dimensi saluran

   Perubahan dimensi saluran dilakukan pada saluran SKi-2 dengan saluran galian tanah, sehingga nilai koefisien manning adalah 0,028.

   b = 1,4 m

   m = 1,6

   V = 0,75 m/s (Kecepatan yang diizinkan)

   $Q_{rencana} = A \times V$

   $1{,}041 = A \times 0{,}75$

   $A = \frac{1{,}041}{0{,}75}$

   $A = 1{,}420\ m^2$

   $A = (b + mh)\ h$

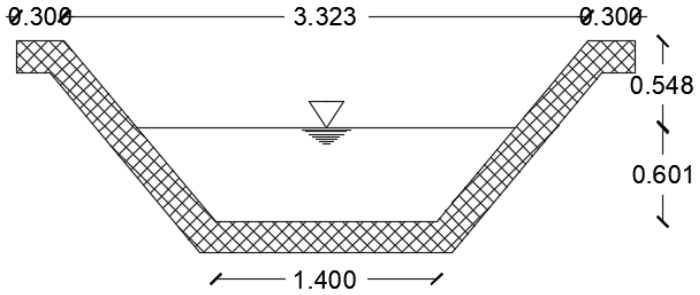
   $1{,}420 = (1{,}4 + 1{,}6\ .\ h)\ h$

   $1{,}420 = 1{,}4h + 1{,}6h^2$

   Dengan menggunakan rumus persamaan kuadrat dan diambil nilai positif, maka diperoleh kedalaman aliran h = 0,601 m

$$w = \sqrt{0{,}5 \times h}$$
$$= \sqrt{0{,}5 \times 0{,}601}$$
$$= 0{,}548 \text{ m}$$
$$H = h + w$$
$$= 0{,}601 + 0{,}548$$
$$= 1{,}149 \text{ m} \sim 1{,}20 \text{ m}$$
$$T = b + 2mh$$
$$= 1{,}4 + 2 \,.\, 1{,}6 \,.\, 0{,}601$$
$$= 3{,}323 \text{ m}$$

Gambar penampang saluran SKi-2 yang telah didesain ulang sebagai berikut.



Gambar 5.10 Dimensi Saluran SKi-2 *Redesign*

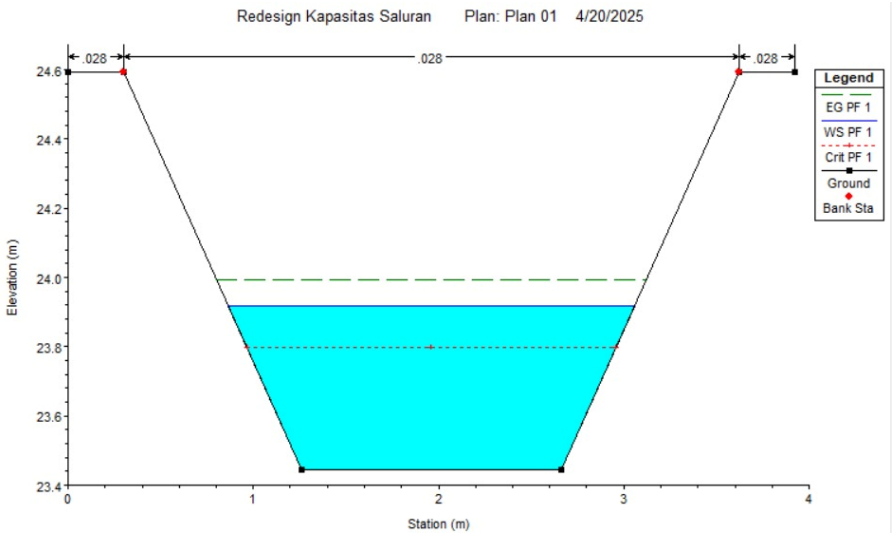
Perhitungan desain ulang pada saluran drainase yang lain dilakukan dengan cara yang sama dengan bentuk trapesium. Untuk perhitungan kapasitas saluran pada sub-bab ini dilakukan dengan perhitungan yang sama dengan sub-bab 5.6. Hasil perhitungan desain ulang saluran yang lain dapat dilihat pada **Tabel 5.41** sebagai berikut.

Tabel 5.41 Hasil Perhitungan Desain Ulang Dimensi Saluran

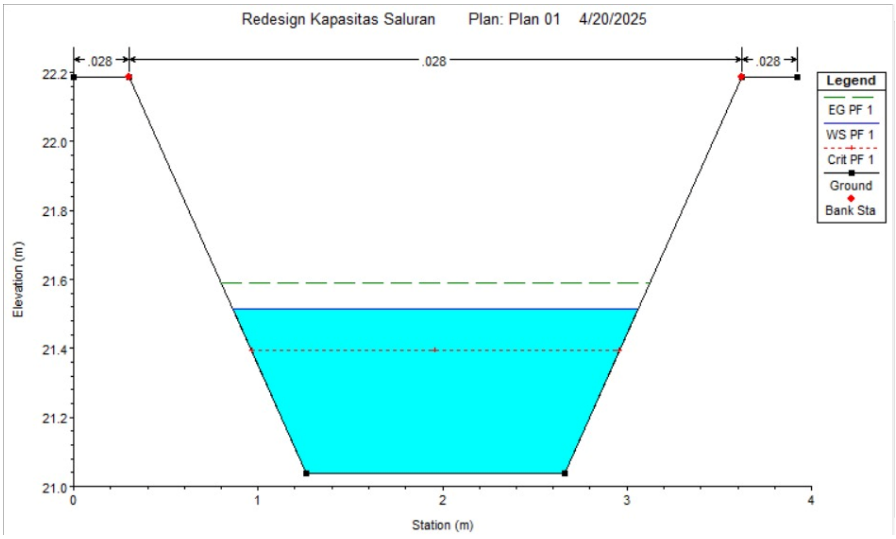
Saluran	b (m)	m	h (m)	w (m)	T (m)	$Q_{eksisting}$ (m^3/detik)	Q_{baru} (m^3/detik)
SK-2	1,40	1,6	0,591	0,544	3,291	0,348	1,313
SKi-2	1,40	1,6	0,601	0,548	3,323	0,413	1,615
SKi-3	1,40	1,6	0,478	0,489	2,930	0,268	0,660
SKi-6	1,40	1,6	0,450	0,474	2,840	0,270	0,592

5.9 Analisis Simulasi Aliran Menggunakan Hec-Ras

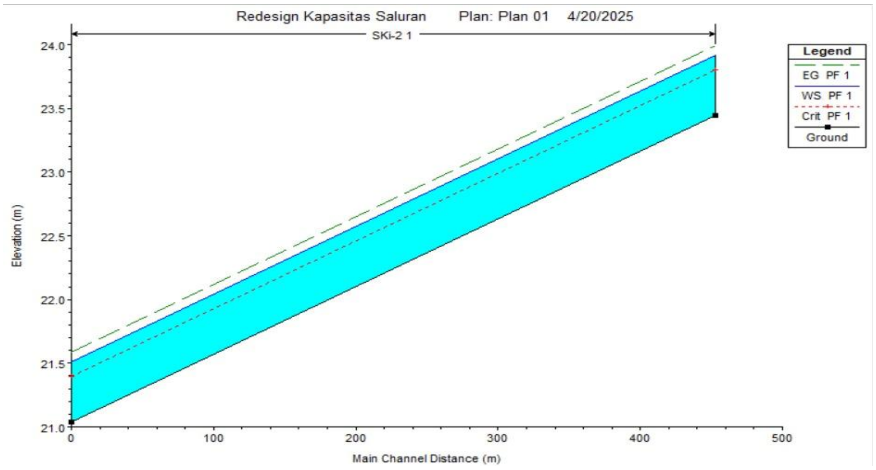
Berdasarkan *redesign* dimensi saluran yang telah dilakukan maka dilakukan analisis simulasi aliran menggunakan *Software* Hec-Ras untuk memvalidasi bahwa saluran yang telah di *redesign* tersebut mampu menampung dan mengalirkan debit rencana. Analisis Hec-Ras dicoba pada saluran SKi-2 yang dapat dilihat pada **Gambar 5.11**, **Gambar 5.12** dan **Gambar 5.13** sebagai berikut.



Gambar 5.11 *Cross Section* Saluran SKi-2 Bagian Hulu



Gambar 5.12 *Cross Section* Saluran SKi-2 Bagian Hilir



Gambar 5.13 *Long Section* Saluran SKi-2

Hasil dari simulasi program HEC-RAS pada saluran SKi-2 yang telah dilakukan perencanaan ulang dapat dinyatakan bahwa saluran tersebut mampu menampung debit rencana sebesar 1,041 m^3/detik karena jika dilihat pada Gambar 5.13 tidak terjadi limpasan disepanjang saluran. Sehingga dimensi saluran SKi-2 dapat digunakan. Hasil analisis Hec-Ras pada saluran yang telah di *redesign* lainnya dapat dilihat pada Lampiran 8.

5.10 Pembahasan

Perencanaan ulang dilakukan untuk meningkatkan kapasitas saluran drainase agar dapat menampung debit rencana. Kapasitas saluran drainase dapat diketahui dengan membandingkan debit rencana ($Q_{rencana}$) dan debit saluran drainase eksisting ($Q_{eksisting}$). Jika $Q_{eksisting}$ yang didapat lebih kecil dari $Q_{rencana}$, maka saluran drainase tersebut tidak cukup menampung limpasan yang terjadi sehingga perlu dilakukan evaluasi yang dapat dilihat pada Tabel 5.38, Tabel 5.39, dan Tabel 5.40.

Berdasarkan hasil evaluasi, limpasan terjadi pada saluran samping, sedangkan pada saluran median dan gorong-gorong tetap berfungsi dengan baik. Pada saluran samping kanan terdapat satu saluran yang melimpas, sementara pada saluran samping kiri terdapat tiga saluran yang melimpas. Oleh karena itu, perlu dilakukan perencanaan ulang dengan mengubah dimensi saluran. Perubahan dimensi saluran dilakukan dengan mengubah kedalaman aliran saluran (h) dan

tidak melakukan perubahan pada lebar dasar saluran karena keterbatasan lahan. Hasil perubahan dimensi dan perbandingan dimensi saluran samping yang telah di *redesign* dengan saluran samping eksisting dapat dilihat pada dan **Tabel 5.42** sebagai berikut.

Tabel 5.42 Perbandingan Dimensi Saluran Sebelum dan Setelah *Redesign*

Saluran	Sebelum *Redesign*						Setelah *Redesign*					
	b (m)	m	h (m)	w (m)	H (m)	T (m)	b (m)	m	h (m)	w (m)	H (m)	T (m)
SK-2	1,40	1,6	0,30	0,20	0,50	2,36	1,40	1,6	0,591	0,544	1,20	3,291
SKi-2	1,40	1,6	0,30	0,20	0,50	2,36	1,40	1,6	0,601	0,548	1,20	3,323
SKi-3	1,40	1,6	0,30	0,20	0,50	2,36	1,40	1,6	0,478	0,489	1,00	2,930
SKi-6	1,40	1,6	0,30	0,20	0,50	2,36	1,40	1,6	0,450	0,474	1,00	2,840

Setelah dilakukan perencanaan ulang pada dimensi saluran, dilakukan perhitungan debit saluran *redesign*. Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui apakah dimensi yang telah di *redesign* mampu memenuhi kapasitas debit rencana. Selain itu, evaluasi lebih lanjut menggunakan Hec-Ras untuk mensimulasikan aliran dalam saluran. Analisis kinerja saluran yang telah di *redesign* dapat dilihat pada **Tabel 5.43** sebagai berikut.

Tabel 5.43 Analisis Kinerja Saluran Samping *Redesign*

Saluran	$Q_{saluran}$ (m^3/detik)	$Q_{rencana}$ (m^3/detik)	Keterangan
SK-2	1,313	0,855	Aman
SKi-2	1,615	1,041	Aman
SKi-3	0,660	0,491	Aman
SKi-6	0,592	0,457	Aman

Berdasarkan Tabel 5.43, setelah dilakukan desain ulang pada dimensi saluran samping, dapat dilihat kapasitas saluran yang telah di *redesign* ($Q_{saluran}$) lebih besar dari debit rencana ($Q_{rencana}$). Selain itu, berdasarkan hasil analisis kapasitas menggunakan Hec-Ras yang disajikan pada Lampiran 8, dapat dilihat bahwa pada setiap saluran yang telah di *redesign* tidak mengalami limpasan.

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan dari perencanaan ulang sistem drainase pada Jalan Tol Serang-Panimbang Seksi 2 STA 28+250 sampai STA 30+550 dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Debit limpasan terbesar pada saluran samping dengan periode ulang 10 tahun adalah untuk saluran samping kanan sebesar 1,448 m^3/detik sedangkan untuk saluran samping kiri sebesar 1,041 m^3/detik. Pada saluran median dengan periode ulang 10 tahun diperoleh debit limpasan terbesar 0,148 m^3/detik. Sementara untuk debit limpasan gorong-gorong dengan periode ulang 25 tahun sebesar 2,363 m^3/detik.
2. Debit saluran samping kurang dari debit rencana, maka saluran samping eksisting perlu dilakukan *redesign*. Untuk saluran median utama eksisting, saluran *crossing* median eksisting dan gorong-gorong eksisting tidak dilakukan *redesign* karena sudah memenuhi kapasitas debit rencana.
3. Dimensi saluran yang digunakan pada sistem draianse Jalan Tol Serang-Panimbang dari STA 28+250 hingga STA 30+550 agar dapat mengalirkan debit rencana dengan baik adalah sebagai berikut.
   a. Saluran samping dibedakan menjadi tiga jenis saluran sebagai berikut.
      1) Saluran berbentuk penampang persegi menggunakan beton yang merupakan saluran eksisting dengan lebar 2,0 m dan tinggi 1 m berjumlah satu saluran.
      2) Saluran berbentuk penampang trapesium menggunakan pasangan batu merupakan saluran eksisting dengan lebar dasar 0,8 m, kemiringan dinding saluran 1,0 dan tinggi 0,8 m berjumlah tujuh saluran.
      3) Saluran galian tanah terdiri dari beberapa dimensi yaitu saluran dengan lebar dasar 1,4 m, kemiringan dinding saluran 1,60 dan tinggi 0,50 m berjumlah tiga yang merupakan saluran eksisting, saluran dengan lebar

dasar 1,40 m, kemiringan dinding saluran 1,60 dan tinggi 1,20 m berjumlah dua dan saluran dengan lebar dasar 1,40 m, kemiringan dinding saluran 1,60 dan tinggi 1,00 m berjumlah dua.

b. Saluran Median merupakan saluran eksisting yang terbagi menjadi dua yaitu, saluran median utama berbentuk penampang persegi menggunakan beton dengan lebar 0,5 m dan tinggi 0,37 m, serta saluran *crossing* median menggunakan pipa beton dengan diameter 0,6 m.
c. Gorong-gorong berbentuk persegi merupakan *box culvert* yang terdiri dari empat gorong-gorong eksisting yaitu gorong-gorong dengan lebar 4 m dan tinggi 3 m berjumlah satu pada Sta. 28+848, gorong-gorong dengan lebar 1,5 m dan tinggi 1,5 m berjumlah dua pada Sta. 29+300 dan Sta 29+575, serta gorong-gorong dengan lebar 2 m dan tinggi 2 m berjumlah satu

6.2 Saran

Dari hasil perencanaan yang telah dilakukan terdapat beberapa saran sebagai penyempurna dan perbaikan untuk perencanaan selanjutnya.

1. Dapat dilanjutkan dengan menambahkan analisis kapasitas sungai dalam menampung debit aliran air dari saluran drainase apabila memiliki data yang lengkap
2. Dapat dilanjutkan untuk perencanaan lebih lanjut dengan memperhatikan parameter seperti analisis stabilitas struktur dan sedimentasi pada saluran dan gorong-gorong.

DAFTAR PUSTAKA

BantenEkspres.co.id. 2024. (https://www.bantenekspres.co.id/2024/02/12/dinilai-abaikan-lingkungan-tol-serang-panimbang-diprotes/3/,diakses 7 Desember 2024)

Chow, Ven Te. 1985. *Hidrolika Saluran Terbuka* (*Open Channel Hydraulics*). Jakarta: Erlangga

Departemen Pekerjaan Umum. 2005. Inspeksi dan Pemeliharaan Drainase Jalan. Pd. T-14-2005-B

Departemen Pekerjaan Umum. 2006. Perencanaan Sistem Drainase Jalan. Pd. T-02-2006-B

Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Sumber Daya Air. 2008. Standar Perencanaan Irigasi. Kementerian Pekerjaan Umum, 1–256.

Direktorat Jenderal Bina Marga. 2021. Pedoman Desain Drainase Jalan. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

Firdaus, S. S., Hanggara, I., & Muharis, C. (2024). Perencanaan Ulang Sistem Drainase Proyek Pembangunan Jalan Tol Pasuruan-Purbalingga Seksi 4A STA 36+ 600 – STA 39+ 800. *Jurnal Online Skripsi Manajemen Rekayasa Konstruksi (JOS-MRK)*, *5*(2), 18-25.

Nabila, N. (2019). *Perencanaan Drainase Jalan Tol Pandaan-Malang STA. 15+ 000-STA. 30+ 000* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).

Pratama, Y. A., Hidayatullah, U., Edhisono, S., & Kurniani, D. (2017). Analisis Sistem Drainase Jalan Tol Balikpapan-Samarinda KM 22+025 - 52+100. *JURNAL KARYA TEKNIK SIPIL*, *VI*(4), 357-366.

Rahmawati, Maulani, H., Atmojo, P. S., & Salamun. (2018). Perencanaan Sistem Drainase Jalan Tol Balikpapan-Samarinda Seksi 4. *JURNAL KARYA TEKNIK SIPIL*, *VII*(1), 50 –61. Retrieved from http://ejournal-s1.undip.ac.id/

Suripin. (2004). *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan.* Yogyakarta: Andi Offset.

Triatmodjo, B. (1993). *Hidraulika II.* Yogyakarta: Beta Offset.

Triatmodjo, B. (2008). *Hidrologi Terapan.* Yogyakarta: Beta Offset.

Zulavivah, A., Noerhayati, E., & Rokhmawati, A. (2021, Februari). Studi Perencanaan Saluran Drainase Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Kediri-Kertosono Di Wilayah Sta. 0+150 - 6+150. *JURNAL REKAYASA SIPIL*, *IX*(3), 169-177.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Curah Hujan Harian 2014 – 2023 (mm)

Sumber Data : CHRS Data Portal

Tahun : 2014

2014	Bulan											
Tanggal	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	Sept	Okt	Nov	Des
1	15	12	1	12	13	0	0	0	0	0	1	0
2	1	9	4	31	1	0	0	0	0	0	5	3
3	1	29	5	44	16	0	0	0	0	0	0	0
4	5	2	0	45	0	0	0	6	0	0	0	7
5	11	4	12	37	0	22	5	0	0	13	0	21
6	3	5	9	17	23	15	0	0	0	0	3	6
7	8	1	16	9	8	0	1	0	0	3	2	1
8	5	20	11	0	24	0	0	0	0	1	3	4
9	12	26	24	0	7	0	0	4	0	0	12	1
10	37	0	26	15	7	3	0	0	0	0	22	0
11	26	5	5	10	1	6	1	7	0	0	57	0
12	47	3	2	1	8	16	0	0	0	0	22	4
13	5	0	9	20	14	5	4	0	0	0	30	7
14	36	0	0	9	4	30	0	3	0	1	19	1
15	6	0	1	0	33	5	2	1	0	16	3	8
16	4	3	0	5	13	18	5	0	0	0	1	0
17	6	17	36	12	5	1	0	0	0	17	13	32
18	12	22	9	8	21	13	3	0	0	1	60	11
19	4	3	39	6	13	0	3	0	0	13	62	63
20	27	17	30	0	9	2	0	0	2	2	0	63
21	1	5	7	15	11	28	1	0	3	0	19	11
22	2	2	4	14	5	0	0	7	0	0	64	36
23	2	12	4	2	2	3	0	2	0	6	6	46
24	3	15	1	2	1	32	0	5	0	0	68	16
25	0	16	3	1	36	12	10	0	0	14	46	18
26	0	1	1	6	36	9	19	0	0	56	10	45
27	35	2	10	35	28	1	3	0	0	1	29	16
28	10	0	1	0	0	2	0	0	0	2	31	11
29	0		0	22	0	3	0	13	0	2	28	3
30	0		14	8	0	0	0	0	0	3	22	1
31	0		18		0		1	0		27		0

Sumber Data : CHRS Data Portal

Tahun : 2015

2015	Bulan											
Tanggal	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	Sept	Okt	Nov	Des
1	2	6	1	7	2	20	0	0	0	0	4	8
2	0	0	0	28	7	14	0	0	0	0	0	31
3	10	15	0	1	10	0	0	0	0	0	0	41
4	0	5	0	26	13	13	0	0	0	0	1	29
5	0	12	11	19	0	0	0	0	0	0	21	62
6	0	13	4	1	1	1	0	0	0	0	5	29
7	0	9	0	2	0	1	0	0	0	12	28	20
8	1	18	9	6	1	32	0	0	0	0	52	14
9	0	2	26	0	4	46	0	0	0	1	1	16
10	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	2	29
11	0	13	32	1	0	24	1	0	0	0	25	10
12	6	5	33	31	0	0	0	0	0	0	6	23
13	7	1	3	10	25	0	0	0	0	1	16	30
14	0	0	11	19	24	0	0	0	0	0	9	20
15	0	1	7	43	4	0	0	0	0	0	8	15
16	2	0	1	5	1	0	0	0	0	0	0	24
17	0	2	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	7	0	3	0	0	0	0	0	0	7	4
19	1	19	52	25	0	0	0	0	0	1	27	24
20	5	3	7	4	0	0	0	0	0	3	18	28
21	20	0	11	7	0	0	1	0	0	0	45	0
22	19	0	30	3	0	0	4	0	0	0	25	0
23	17	15	1	2	0	0	0	0	1	0	32	0
24	13	0	16	15	0	0	0	0	0	0	58	1
25	25	1	2	11	0	0	0	0	0	0	2	0
26	1	20	0	21	0	0	1	0	0	0	3	1
27	1	42	6	1	2	0	0	0	0	6	1	21
28	18	1	2	1	1	4	0	0	0	2	14	8
29	7		1	1	0	0	0	0	0	0	36	13
30	15		20	1	0	0	2	0	0	2	2	11
31	42		17		0		12	0		2		0

Sumber Data : CHRS Data Portal

Tahun : 2016

2016	Bulan											
Tanggal	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	Sept	Okt	Nov	Des
1	10	29	0	20	5	8	2	0	2	5	26	8
2	5	26	1	1	11	0	0	0	20	15	4	22
3	6	0	0	22	8	0	10	0	0	10	15	16
4	2	0	12	23	0	0	14	0	0	22	14	53
5	1	1	14	47	1	1	7	0	1	5	7	4
6	0	30	1	14	1	9	0	0	3	13	0	29
7	0	15	5	8	1	16	14	7	1	41	27	10
8	0	11	76	13	15	0	0	31	0	22	26	23
9	0	2	8	23	0	1	0	12	1	24	35	4
10	2	11	9	9	0	15	15	1	2	33	21	1
11	13	1	40	14	23	6	12	0	32	11	21	10
12	12	27	36	2	8	4	0	0	0	4	26	13
13	3	1	35	10	100	12	5	15	0	20	23	2
14	54	33	14	53	10	18	9	7	9	12	12	26
15	9	6	35	5	11	10	0	0	16	4	14	7
16	0	18	25	6	1	0	6	6	3	0	28	5
17	25	6	43	31	5	50	16	6	1	5	0	45
18	9	0	24	57	3	6	8	3	11	0	72	1
19	13	3	6	32	1	6	16	2	29	1	11	10
20	1	24	1	23	0	0	5	0	0	3	46	0
21	3	13	29	0	0	1	67	3	19	28	11	0
22	4	2	29	16	0	6	12	1	6	41	41	0
23	12	4	1	35	0	2	11	16	6	45	0	0
24	34	14	7	10	35	2	20	0	14	43	12	1
25	1	12	37	42	0	0	0	0	22	29	5	14
26	0	1	1	1	20	4	2	0	6	2	20	0
27	10	6	27	15	5	10	0	17	15	54	75	1
28	10	2	9	36	14	8	19	1	9	48	29	0
29	28	19	1	27	4	21	0	4	7	19	6	1
30	11		0	13	1	18	0	11	14	36	2	3
31	31		1		2		0	0		65		0

Sumber Data : CHRS Data Portal

Tahun : 2017

2017	Bulan											
Tanggal	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	Sept	Okt	Nov	Des
1	1	5	9	27	8	1	1	0	0	39	0	1
2	2	11	37	29	37	4	0	0	0	24	0	4
3	66	12	51	26	49	16	7	0	0	27	0	0
4	33	1	48	38	51	1	0	0	0	9	0	1
5	37	7	20	0	57	5	0	0	8	17	12	49
6	0	11	9	9	8	0	1	0	1	13	5	3
7	0	2	30	1	33	0	4	0	0	4	3	1
8	1	6	0	0	5	0	0	13	0	0	0	17
9	32	5	6	0	17	0	2	0	0	32	23	0
10	26	1	4	21	43	0	0	0	0	4	27	20
11	4	2	3	20	12	0	27	1	0	0	40	35
12	16	5	10	33	0	0	0	2	4	5	13	83
13	1	8	2	2	0	12	0	1	0	5	46	1
14	13	1	15	0	0	0	1	0	0	27	51	16
15	50	10	0	7	0	13	2	0	0	9	2	1
16	45	22	0	3	0	1	2	0	0	1	58	23
17	12	4	17	4	0	1	0	0	0	1	0	2
18	0	0	0	6	0	0	6	0	0	28	43	6
19	1	21	18	32	0	0	0	0	0	16	16	1
20	15	72	8	59	0	0	2	1	0	0	4	3
21	14	20	59	10	0	1	7	0	0	0	43	8
22	0	24	16	52	0	3	0	0	0	0	19	0
23	18	33	1	1	0	5	0	0	0	31	0	0
24	9	15	6	52	1	5	0	0	5	1	2	0
25	16	44	4	58	1	10	0	0	11	1	0	0
26	0	3	42	22	0	30	0	0	53	1	17	35
27	7	37	5	0	2	6	5	0	13	1	41	0
28	9	19	19	4	16	4	0	0	7	33	6	1
29	16		10	0	9	1	34	2	2	9	4	1
30	2		0	0	12	9	1	0	0	0	11	25
31	60		1		34		7	2		7		24

Sumber Data : CHRS Data Portal

Tahun : 2018

2018	Bulan											
Tanggal	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	Sept	Okt	Nov	Des
1	0	17	72	8	0	0	0	1	5	0	5	9
2	22	10	40	16	0	0	0	0	8	0	7	3
3	39	1	40	64	36	0	0	0	0	2	20	15
4	26	6	43	11	2	0	0	0	0	10	36	31
5	3	0	6	6	0	0	0	0	0	0	19	40
6	20	2	38	37	0	0	0	0	2	0	14	22
7	10	1	81	19	0	0	0	0	0	7	7	16
8	0	0	27	42	37	9	0	0	0	0	82	32
9	6	0	9	0	0	0	0	0	0	1	39	41
10	2	0	13	20	0	0	0	0	0	0	46	23
11	4	0	19	0	0	0	1	0	0	0	102	125
12	12	1	1	73	0	25	0	0	0	1	11	90
13	17	1	0	28	0	1	0	0	0	1	44	40
14	3	0	5	41	0	0	0	0	0	1	0	13
15	11	32	0	54	22	1	0	0	0	8	6	0
16	0	0	20	1	31	0	0	0	0	0	0	0
17	4	7	40	13	0	0	0	0	0	0	25	4
18	31	13	13	7	13	0	0	0	0	11	0	6
19	31	23	10	4	1	0	0	0	1	6	20	14
20	2	6	17	11	1	5	0	0	3	13	27	0
21	19	19	1	20	2	0	0	0	7	0	5	1
22	9	13	5	16	8	7	0	0	0	10	2	0
23	3	2	2	13	49	48	0	0	7	0	16	0
24	5	21	2	25	18	49	0	0	0	2	5	0
25	21	49	9	39	1	12	0	0	0	0	32	4
26	3	9	10	0	86	19	0	0	0	14	57	1
27	15	69	20	0	10	0	0	0	0	9	0	3
28	30	15	11	2	15	1	0	0	0	3	8	0
29	14		7	1	0	0	0	0	0	1	19	0
30	1		0	0	0	0	0	0	0	4	2	0
31	13		0		0		0	1		0		9

Sumber Data : CHRS Data Portal

Tahun : 2019

2019	Bulan											
Tanggal	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	Sept	Okt	Nov	Des
1	5	69	5	1	0	0	0	0	0	0	12	3
2	7	0	7	24	0	15	0	0	0	7	8	1
3	0	6	15	11	0	6	0	0	0	6	3	0
4	0	0	46	0	9	0	2	0	0	0	2	23
5	3	9	8	6	0	0	0	0	0	0	10	23
6	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	55
7	0	0	3	3	2	7	17	0	0	0	0	10
8	8	1	4	10	19	2	0	0	0	1	0	49
9	11	5	40	1	30	0	2	0	0	1	0	89
10	0	29	5	0	2	0	0	0	0	0	2	3
11	7	4	2	1	15	0	0	0	0	1	4	1
12	6	44	2	0	37	3	0	0	0	1	2	21
13	25	1	14	25	14	0	0	0	0	0	52	1
14	9	0	1	37	0	23	0	0	0	6	8	6
15	1	11	21	46	61	0	0	0	0	0	1	10
16	1	12	1	29	5	0	0	0	0	0	0	4
17	2	0	10	2	0	0	0	0	0	0	0	14
18	21	4	14	37	0	0	0	0	0	0	1	40
19	27	50	1	36	0	0	0	0	0	0	0	15
20	1	56	0	1	2	0	0	0	0	0	20	15
21	34	26	7	7	34	0	0	0	0	0	13	136
22	30	9	11	23	0	0	0	3	0	0	32	57
23	119	20	1	54	0	0	0	0	0	0	29	18
24	73	5	1	25	0	0	0	0	0	0	0	5
25	1	9	5	20	1	0	0	0	0	17	5	25
26	3	0	30	28	22	0	0	4	0	10	8	39
27	26	1	12	25	1	0	0	0	0	0	17	25
28	17	39	25	3	16	0	0	0	0	1	0	16
29	29		13	25	31	0	0	3	0	0	8	3
30	7		8	49	7	0	0	0	32	0	3	0
31	4		18		4		0	0		0		49

Sumber Data : CHRS Data Portal

Tahun : 2020

2020	Bulan											
Tanggal	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	Sept	Okt	Nov	Des
1	31	8	31	9	43	37	2	0	0	30	2	1
2	6	21	0	2	15	16	2	0	0	66	3	52
3	6	23	0	21	1	2	0	0	13	6	0	8
4	3	1	34	53	14	0	20	0	0	5	24	8
5	24	46	1	19	5	0	0	0	4	0	19	0
6	3	25	0	8	53	0	13	0	3	0	14	18
7	11	49	0	0	15	0	1	1	0	0	50	3
8	12	0	5	12	33	1	13	0	0	5	0	0
9	36	3	1	28	1	1	0	0	0	1	0	0
10	27	0	4	15	26	0	4	9	62	37	2	14
11	0	0	46	2	6	36	0	8	6	10	8	11
12	0	4	37	16	34	0	0	47	0	43	20	8
13	1	2	1	12	5	0	1	4	1	0	0	15
14	10	2	21	0	0	6	47	0	0	1	42	10
15	1	44	30	7	0	22	4	1	5	3	9	5
16	6	1	14	1	0	21	0	0	0	103	61	24
17	1	17	2	13	2	0	0	3	0	0	22	2
18	2	10	1	6	63	13	0	3	0	8	22	1
19	0	30	4	1	0	34	16	1	1	18	59	3
20	6	11	38	1	29	1	4	0	12	28	33	1
21	5	1	69	18	0	36	0	0	27	7	18	4
22	12	5	5	0	39	30	18	0	6	6	22	1
23	1	0	22	14	0	9	0	0	28	0	10	13
24	14	15	7	15	16	8	0	0	0	14	1	2
25	29	0	22	9	7	0	0	0	1	28	37	0
26	4	21	3	33	1	0	0	0	11	36	13	1
27	0	4	0	25	19	1	0	0	1	7	23	45
28	13	12	15	2	12	0	0	0	0	23	15	23
29	21	33	47	1	0	0	0	0	0	17	14	2
30	2		21	5	21	0	2	0	0	66	0	1
31	55		9		1		0	0		6		1

Sumber Data : CHRS Data Portal

Tahun : 2021

2021	Bulan											
Tanggal	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	Sept	Okt	Nov	Des
1	6	29	61	2	16	13	8	42	0	2	41	0
2	3	84	21	151	10	26	0	0	1	5	14	0
3	49	14	4	2	11	0	0	0	0	0	4	0
4	0	14	20	8	20	32	0	0	0	15	63	9
5	14	33	45	1	25	0	3	0	10	0	3	2
6	90	129	14	0	0	1	0	0	26	2	0	31
7	0	59	19	2	0	0	0	4	5	2	85	16
8	2	66	1	0	36	0	0	0	5	0	0	40
9	2	6	12	15	4	2	0	35	0	0	1	7
10	13	2	50	0	0	0	7	3	0	1	17	91
11	1	5	1	11	0	0	129	0	1	0	5	15
12	6	3	1	8	12	16	0	0	2	0	26	5
13	2	10	5	13	0	19	5	2	34	1	20	0
14	0	24	2	16	15	7	2	9	2	7	21	1
15	6	32	1	12	2	17	0	0	12	14	22	16
16	32	29	2	0	1	15	0	0	8	1	0	25
17	8	1	0	33	0	17	0	0	0	35	41	35
18	7	34	12	18	0	24	0	0	0	21	10	44
19	20	29	1	70	0	4	0	0	45	36	0	6
20	2	12	10	3	1	11	0	1	3	25	6	49
21	31	0	32	0	16	5	2	1	13	0	4	20
22	11	9	1	0	1	1	2	0	0	27	1	2
23	11	20	0	0	20	18	5	0	0	31	4	66
24	56	5	1	0	28	22	0	4	45	14	0	13
25	12	20	6	0	0	0	0	0	2	32	21	49
26	19	12	11	11	0	47	0	0	6	6	40	1
27	4	0	61	9	8	15	0	0	22	53	22	1
28	13	16	40	23	10	21	0	0	0	60	15	110
29	18		12	9	7	3	0	2	0	0	0	10
30	25		39	23	0	7	0	2	3	40	4	10
31	7		41		3		9	32		32		8

Sumber Data : CHRS Data Portal

Tahun : 2022

2022	Bulan											
Tanggal	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	Sept	Okt	Nov	Des
1	0	31	1	0	56	15	0	0	31	2	28	23
2	28	0	1	5	40	19	0	0	30	1	46	14
3	0	16	1	1	6	33	3	6	2	4	71	34
4	3	33	3	0	3	13	0	4	0	80	53	82
5	0	0	9	34	2	33	2	2	25	42	59	129
6	15	9	4	1	1	113	3	0	8	81	33	98
7	10	3	11	6	1	19	0	5	26	51	5	7
8	9	14	29	11	0	37	0	0	29	31	25	19
9	4	30	51	10	14	15	0	2	10	31	6	16
10	22	2	40	2	25	18	0	3	3	1	2	14
11	29	9	12	9	6	17	0	3	0	45	45	8
12	84	21	1	0	5	33	3	9	2	0	99	35
13	0	21	21	0	0	35	11	8	1	25	54	16
14	9	6	60	0	0	33	1	15	0	43	108	1
15	6	27	9	8	46	10	57	25	0	58	1	4
16	17	52	6	0	23	21	14	1	30	0	171	58
17	17	35	28	34	1	9	1	5	7	37	23	13
18	5	72	6	39	21	7	0	0	14	27	44	13
19	3	12	4	7	31	17	0	0	22	6	12	10
20	3	23	48	16	33	74	0	0	1	55	5	16
21	12	22	0	24	0	26	0	22	15	17	0	2
22	16	20	0	57	10	34	3	9	45	22	14	34
23	0	1	5	22	0	2	1	0	5	1	38	1
24	0	11	1	0	3	44	0	0	0	3	0	13
25	1	9	1	23	4	23	0	0	0	90	2	22
26	5	4	2	4	1	34	0	1	50	3	27	45
27	3	5	35	99	38	2	1	7	12	4		3
28	20	10	1	0	14	0	0	11	0	0	22	16
29	4		5	0	0	0	1	0	15	1	16	4
30	20		0	4	1	0	0	0	1	0	8	23
31	0		42		43		0	0		2		6

Sumber Data : CHRS Data Portal

Tahun : 2023

2023	Bulan											
Tanggal	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	Sept	Okt	Nov	Des
1	26	5	62	0	3	0	0	0	0	0	26	11
2	16	14	29	24	0	0	6	9	0	0	15	33
3	12	0	2	9	59	4	2	0	0	0	18	24
4	25	24	1	0	73	0	0	0	1	0	24	18
5	2	0	1	0	10	0	0	0	0	0	65	1
6	0	1	0	0	0	4	0	4	0	0	22	65
7	3	29	1	0	91	10	17	0	0	0	0	10
8	2	1	27	8	3	2	13	4	0	5	0	15
9	4	4	0	0	20	0	1	0	0	0	10	52
10	14	1	0	0	12	4	67	0	0	0	10	0
11	2	48	15	0	0	0	0	0	0	0	16	1
12	7	20	14	0	0	0	0	0	0	0	23	0
13	15	1	3	0	23	4	1	0	0	0	0	0
14	1	0	38	1	1	20	5	0	0	0	0	0
15	0	7	0	3	0	15	0	0	0	1	20	1
16	5	4	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0
17	7	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	43	0	0	62	2	11	0	0	0	0	4	0
19	12	5	39	94	11	15	0	0	0	0	0	0
20	0	1	41	12	0	8	3	0	0	27	2	0
21	7	4	10	1	3	14	0	0	0	8	26	8
22	1	22	0	54	0	3	0	0	0	0	0	0
23	9	53	1	18	0	0	0	0	0	3	10	0
24	6	51	13	94	2	0	8	0	0	0	34	3
25	10	20	47	15	0	0	6	0	0	14	35	15
26	1	45	19	9	0	0	0	0	0	26	1	4
27	21	5	26	11	6	0	0	0	0	0	40	12
28	10	9	3	1	1	0	0	0	0	0	48	18
29	15		67	14	0	0	0	0	0	0	55	15
30	23		13	1	36	0	0	0	0	0	15	12
31	6		3		0		0	0		0		37

Lampiran 2 Perhitungan Waktu Konsentrasi pada Saluran Samping Kanan

Saluran	Stasiun		Jenis	L_0	nd	S_0	t_0	t_0 total	L_s	V	t_d	t_c	t_c
	Awal	Akhir		m			menit	menit	m	m/s	menit	menit	jam
SK-1	28+250	28+848	Jalan Beton	11,7	0,013	0,0243	1,135	4,850	595	2,833	3,500	8,350	0,139
			Bahu Jalan	3,27	0,100	0,2110	1,077						
			Lahan	146,07	0,400	0,1471	2,638						
SK-2	29+300	28+848	Jalan Beton	11,7	0,013	0,0243	1,135	5,066	434	0,617	11,731	16,797	0,280
			Bahu Jalan	6,14	0,100	0,4410	1,125						
			Lahan	123,25	0,200	0,0125	2,806						
SK-3A	29+375	29+300	Jalan Beton	11,7	0,013	0,0243	1,135	4,949	75	1,907	0,656	5,605	0,093
			Bahu Jalan	3,78	0,100	0,3262	1,064						
			Lahan	79,75	0,400	0,0266	2,750						
SK-3B	29+375	29+575	Jalan Beton	3,00	0,013	0,0333	0,881	4,225	212	0,681	5,191	9,416	0,157
			Bahu Jalan	3,27	0,100	0,2110	1,077						
			Lahan	77,23	0,400	0,2516	2,268						
SK-4A	29+825	29+575	Jalan Beton	3,00	0,013	0,0333	0,881	4,630	250	0,906	4,598	9,228	0,154
			Bahu Jalan	3,27	0,100	0,2110	1,077						
			Lahan	146,74	0,400	0,1272	2,672						
SK-4B	29+825	30+150	Jalan Beton	3,00	0,013	0,0333	0,881	4,378	330	1,673	3,288	7,666	0,128
			Bahu Jalan	3,27	0,100	0,2936	1,047						
			Lahan	102,74	0,400	0,1766	2,450						
SK-5	30+150	30+250	Jalan Beton	3,00	0,013	0,0333	0,881	4,338	111	1,869	0,990	5,328	0,089
			Bahu Jalan	8,18	0,100	0,4870	1,170						
			Lahan	65,38	0,400	0,1629	2,287						
SK-6	30+550	30+250	Jalan Beton	11,7	0,013	0,0243	1,135	4,818	250	1,048	3,976	8,794	0,147
			Bahu Jalan	4,18	0,100	0,3543	1,074						
			Lahan	97,64	0,200	0,0188	2,608						

Lampiran 3 Perhitungan Waktu Konsentrasi Saluran Samping Kiri

Saluran	Stasiun		Jenis	L_0	nd	S_0	t_0	t_0 total	L_s	V	t_d	t_c	t_c pakai	t_c
	Awal	Akhir		m			menit	menit	m	m/s	menit	menit	menit	jam
SKi-1	28+250	28+848	Jalan Beton	11,7	0,013	0,0243	1,135	4,588	596	1,287	7,721	12,309	12,309	0,205
			Bahu Jalan	3,27	0,100	0,2110	1,077							
			Lahan	79,18	0,400	0,1511	2,376							
SKi-2	29+300	28+848	Jalan Beton	11,7	0,013	0,0243	1,135	4,957	453	0,733	10,302	15,259	24,327	0,405
			Bahu Jalan	6,99	0,100	0,4631	1,145					24,327		
			Lahan	115,38	0,200	0,0192	2,677					16,149		
SKi-3	29+575	29+300	Jalan Beton	11,7	0,013	0,0243	1,135	4,896	260	0,475	9,129	14,025	14,025	0,234
			Bahu Jalan	7,32	0,100	0,4706	1,152							
			Lahan	103,39	0,200	0,0211	2,609					13,461		
SKi-4A	29+825	29+575	Jalan Beton	11,7	0,013	0,0243	1,135	4,626	250	0,789	5,283	9,908	9,908	0,165
			Bahu Jalan	3,27	0,100	0,2110	1,077							
			Lahan	100,13	0,400	0,2002	2,414					8,618		
SK-4B	29+825	30+125	Jalan Beton	11,7	0,013	0,0243	1,135	4,545	302	1,403	3,587	8,132	9,164	0,153
			Bahu Jalan	3,27	0,100	0,2110	1,077					9,164		
			Lahan	86,89	0,400	0,2265	2,333							
SKi-5	30+125	30+250	Jalan Beton	11,7	0,013	0,0243	1,135	4,816	120	1,366	1,464	6,280	6,280	0,105
			Bahu Jalan	6,81	0,100	0,4593	1,140							
			Lahan	65,33	0,400	0,0462	2,540					5,685		
SK-6	30+550	30+300	Jalan Beton	11,7	0,013	0,0244	1,135	4,949	250	0,479	8,691	13,640	13,640	0,227
			Bahu Jalan	4,43	0,100	0,3702	1,081							
			Lahan	89,76	0,200	0,0091	2,734							

Lampiran 4 Perhitungan Waktu Konsentrasi Saluran Median

Saluran	L_0	nd	Elevasi		S_0	t_0	L_s	V	t_d	t_d total	t_c	t_c
	m		Hulu	Hilir		menit	m	m/s	menit	menit	menit	jam
SM-1	8,70	0,013	27,983	27,799	0,021	1,093	216	1,1272	3,194	3,239	4,332	0,072
							14,50	5,3479	0,045			
SM-2	8,70	0,013	29,108	28,924	0,021	1,093	144	1,1028	2,176	2,242	3,335	0,056
							14,50	3,6608	0,066			
SM-3	8,70	0,013	29,108	28,924	0,021	1,093	284	1,0685	4,430	4,484	5,576	0,093
							14,50	4,4781	0,054			
SM-4	8,70	0,013	27,424	27,24	0,021	1,093	212	1,1461	3,083	3,128	4,221	0,070
							14,50	5,3750	0,045			

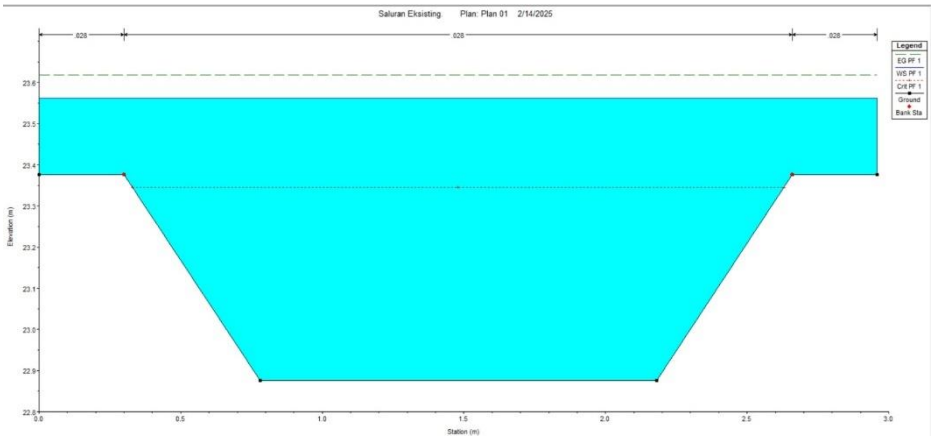
Lampiran 5 Perhitungan Waktu Konsentrasi Gorong-Gorong

Saluran	Stasiun	L_0		Elevasi		S_0	t_0	L_s	V	t_d	t_d	t_c	t_c pakai
		m	km	Hulu	Hilir		jam	m	m/s	menit	jam	jam	jam
BC-1	28+848	151	0,151	25,000	21,826	0,0210	0,068	39,10	3,424	0,190	0,0032	0,072	0,409
												0,142	
												0,283	
												0,208	
												0,409	
BC-2	29+300	102	0,102	26,000	23,505	0,0245	0,048	30,15	2,066	0,243	0,0041	0,052	0,097
												0,097	
BC-3	29+575	90,7	0,091	28,000	24,293	0,0409	0,036	30,23	2,479	0,203	0,0034	0,039	0,169
												0,160	
												0,157	
												0,169	
BC-4	30+150	108,74	0,1087	33,000	24,326	0,0798	0,032	42,86	4,205	0,170	0,0028	0,035	0,156
												0,131	
												0,156	

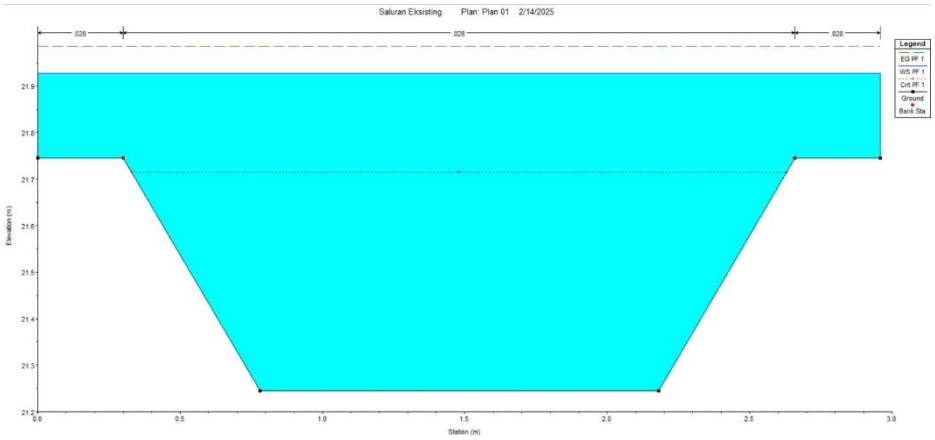
Lampiran 6 Perhitungan Kapasitas Saluran Samping *Redesign*

Saluran	Ls	Elevasi		S_0	b	m	h	H	A	P	R	n	V	$Q_{saluran}$
	m	Awal	Akhir		m		m	m	m^2	m	m		m/s	m^3/s
SK-2	434	22,876	21,245	0,0038	1,40	1,60	0,591	1,20	1,386	4,872	0,285	0,028	0,947	1,313
SKi-2	453	23,444	21,039	0,0053	1,40	1,60	0,601	1,20	1,419	4,909	0,289	0,028	1,138	1,615
SKi-3	260	24,023	23,444	0,0022	1,40	1,60	0,478	1,00	1,035	4,445	0,233	0,028	0,638	0,660
SKi-6	250	23,244	22,676	0,0023	1,40	1,60	0,450	1,00	0,954	4,340	0,220	0,028	0,620	0,592

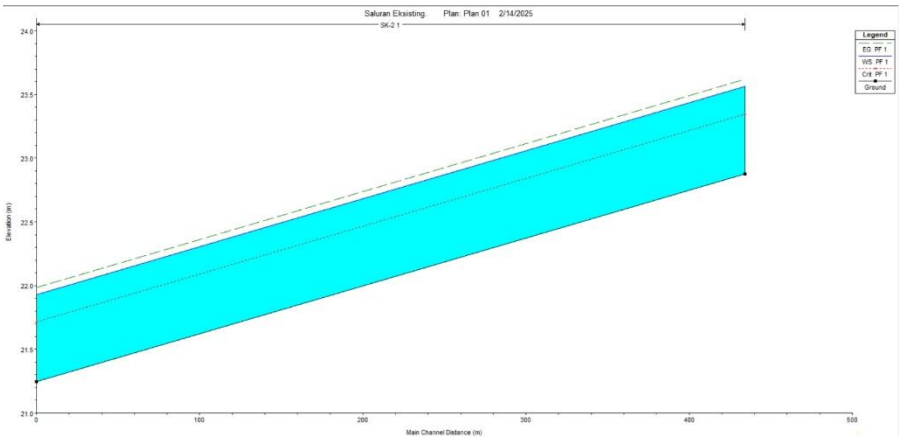
Lampiran 7 Simulasi Aliran pada Saluran Eksisting Menggunakan Hec-Ras



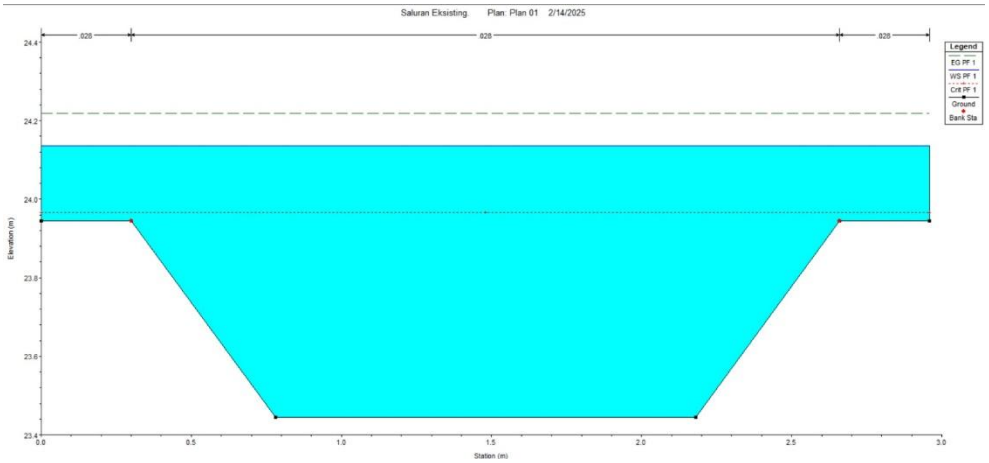
Gambar L-7.1 *Cross Section* Saluran Eksisting SK-2 Bagian Hulu



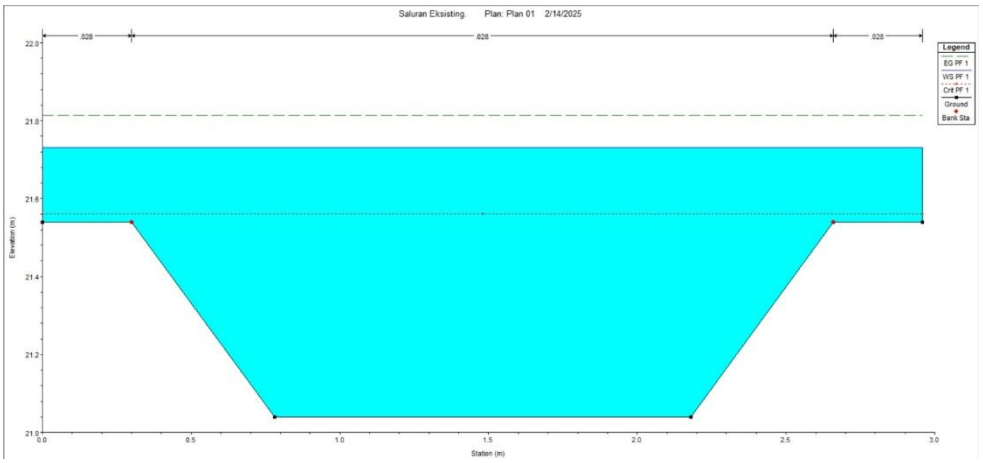
Gambar L-7.2 *Cross Section* Saluran Eksisting SK-2 Bagian Hilir



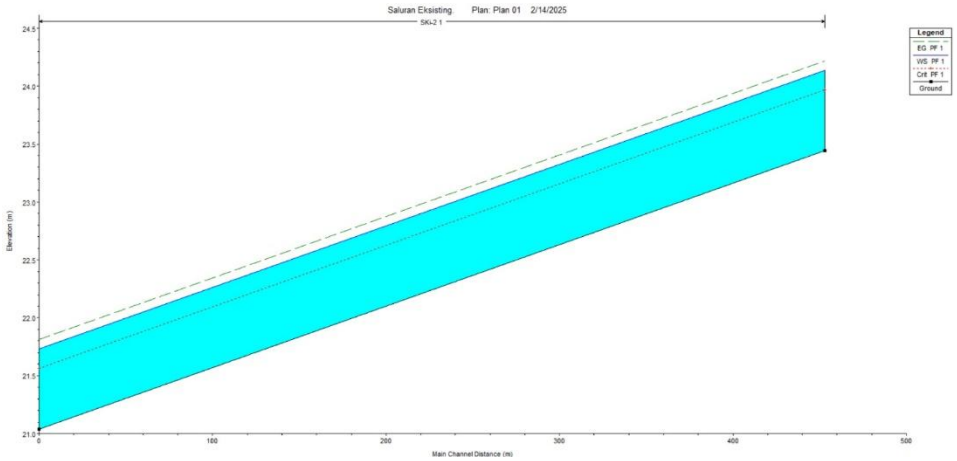
Gambar L-7.3 *Long Section* Saluran Eksisting SK-2



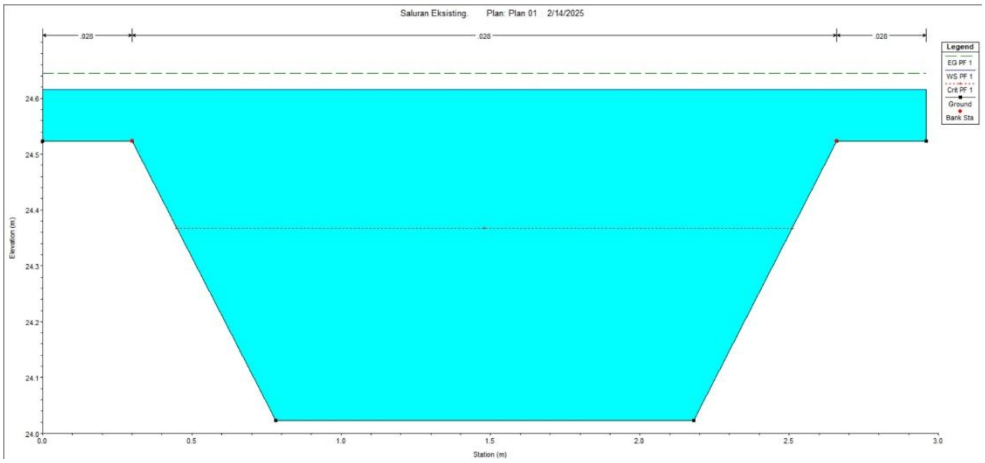
Gambar L-7.4 *Cross Section* Saluran Eksisting SKi-2 Bagian Hulu



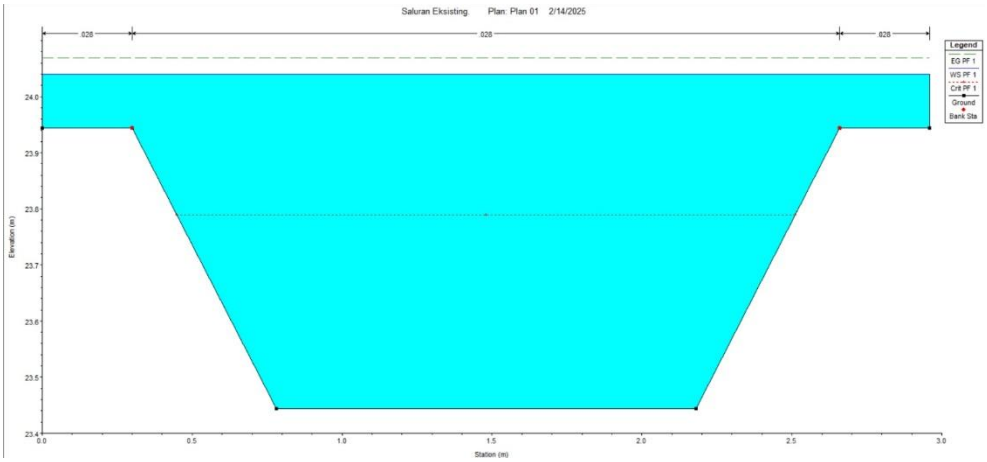
Gambar L-7.5 *Cross Section* Saluran Eksisting SKi-2 Bagian Hilir



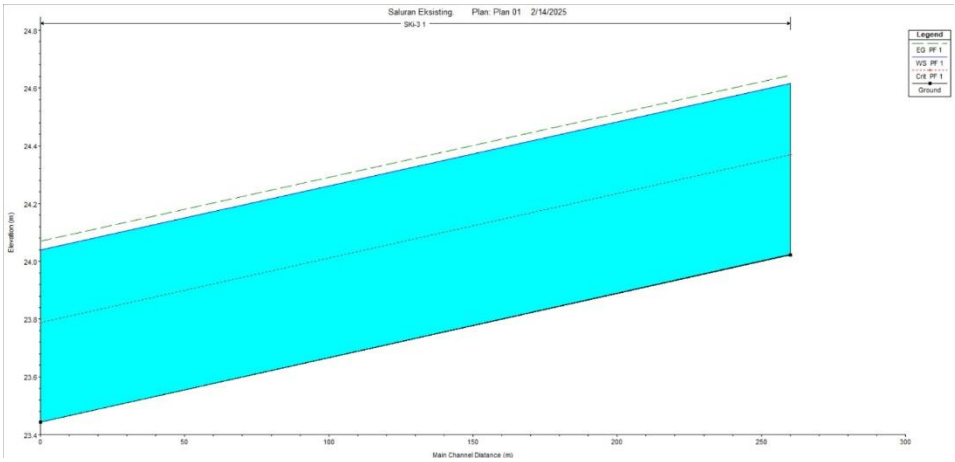
Gambar L-7.6 *Long Section* Saluran Eksisting SKi-2



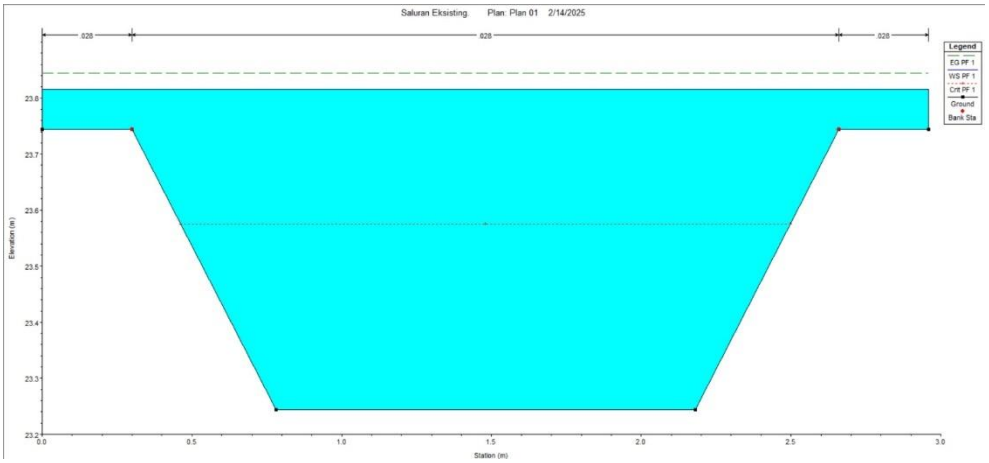
Gambar L-7.7 *Cross Section* Saluran Eksisting SKi-3 Bagian Hulu



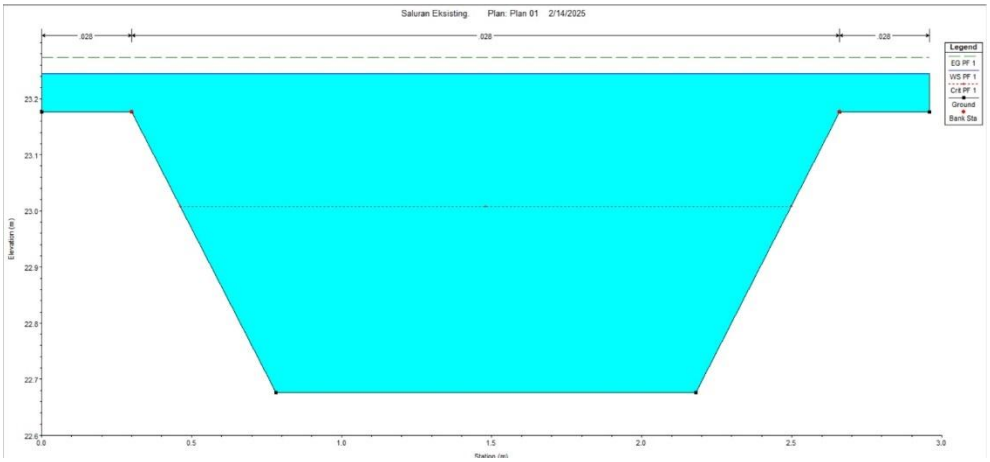
Gambar L-7.8 *Cross Section* Saluran Eksisting SKi-3 Bagian Hilir



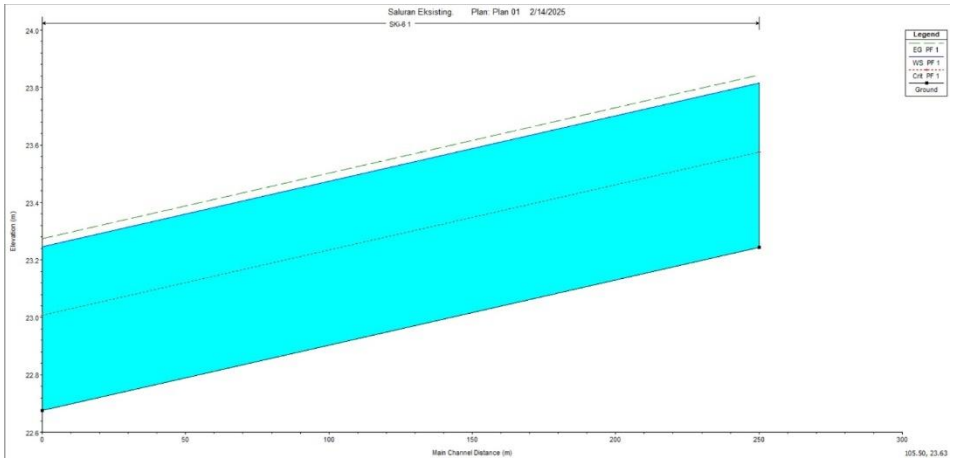
Gambar L-7.9 *Long Section* Saluran Eksisting SKi-3



Gambar L-7.10 *Cross Section* Saluran Eksisting SKi-6 Bagian Hulu

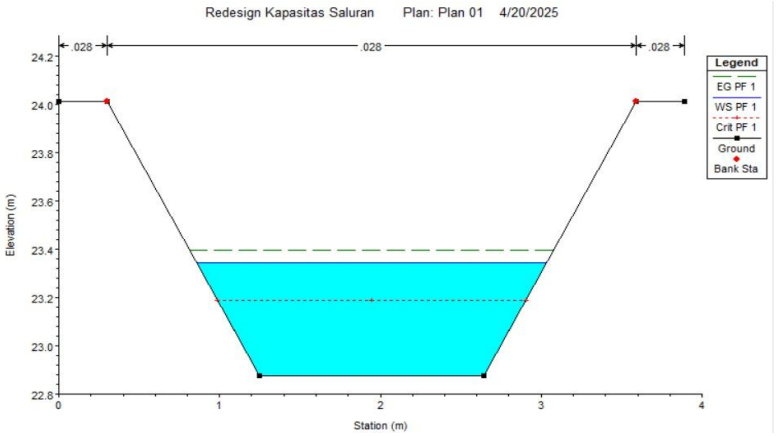


Gambar L-7.11 *Cross Section* Saluran Eksisting SKi-6 Bagian Hilir

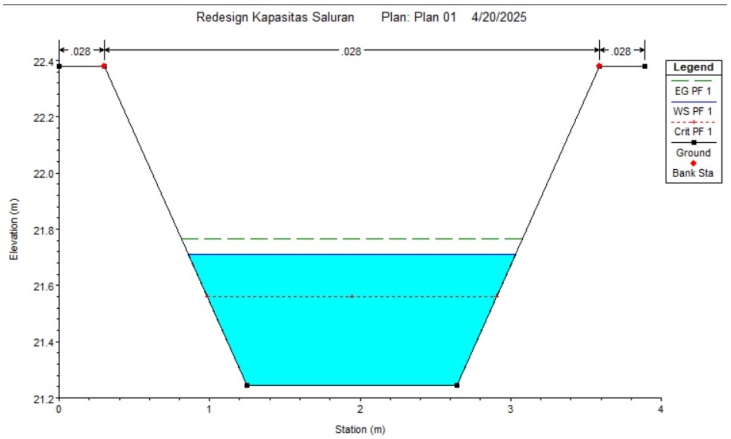


Gambar L-7.12 *Long Section* Saluran Eksisting SKi-6

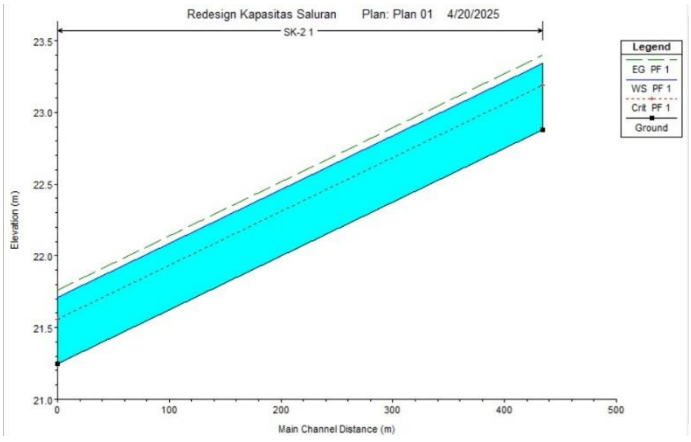
Lampiran 8 Hasil Analisis Menggunakan Hec-Ras pada Saluran *Redesign*



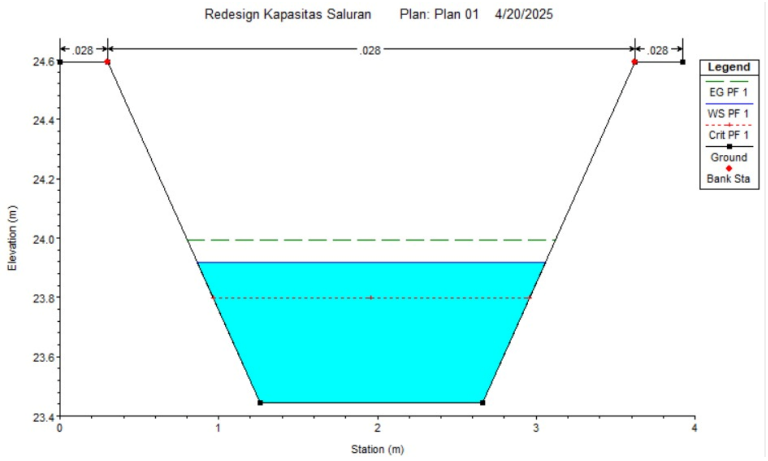
Gambar L-8.1 *Cross Section* Saluran SK-2 Bagian Hulu



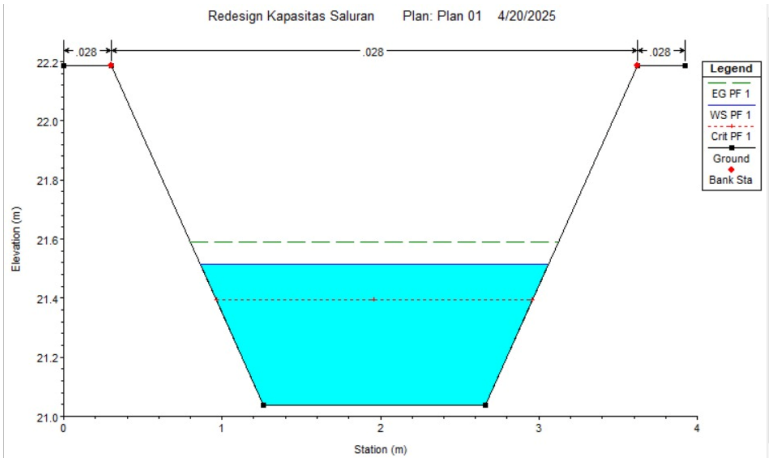
Gambar L-8.2 *Cross Section* Saluran SK-2 Bagian Hilir



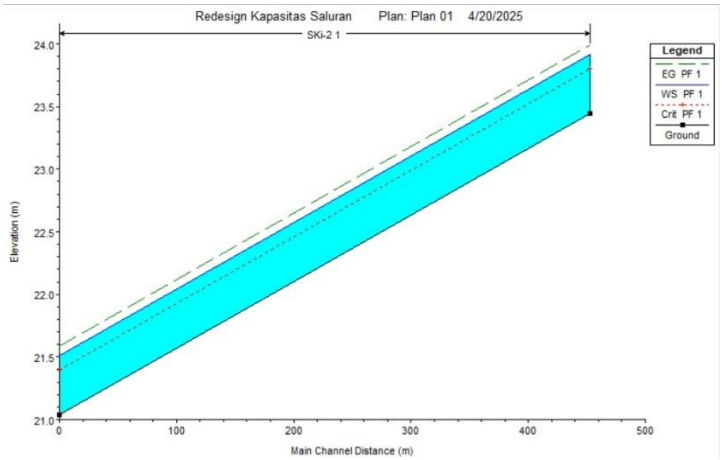
Gambar L-8.3 *Long Section* Saluran SK-2



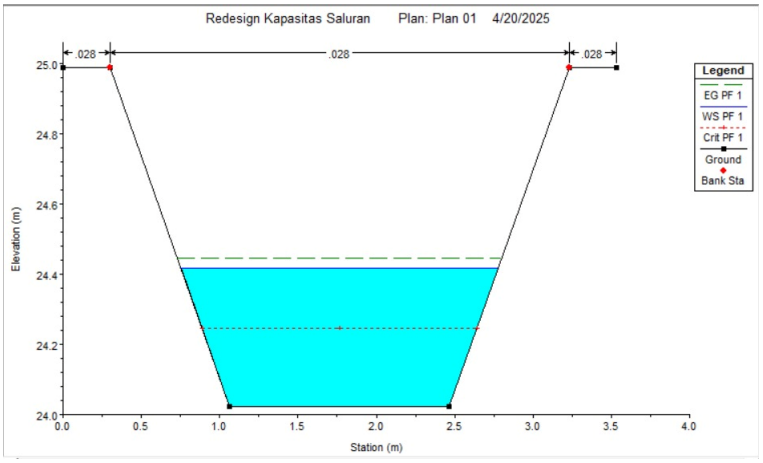
Gambar L-8.4 *Cross Section* Saluran SKi-2 Bagian Hulu



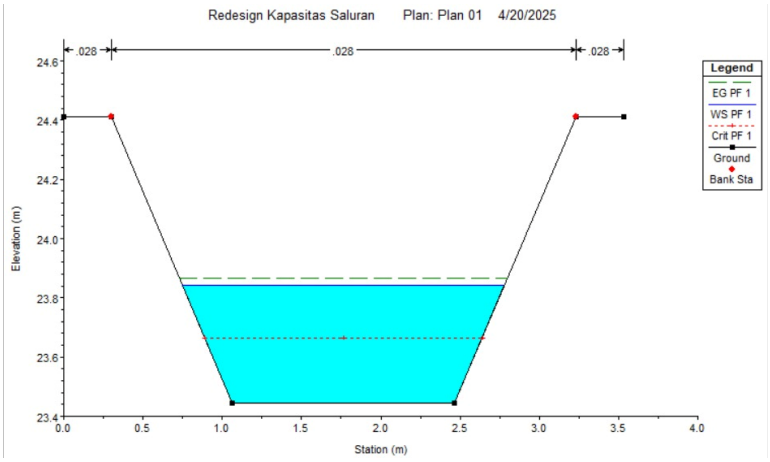
Gambar L-8.5 *Cross Section* Saluran SKi-2 Bagian Hilir



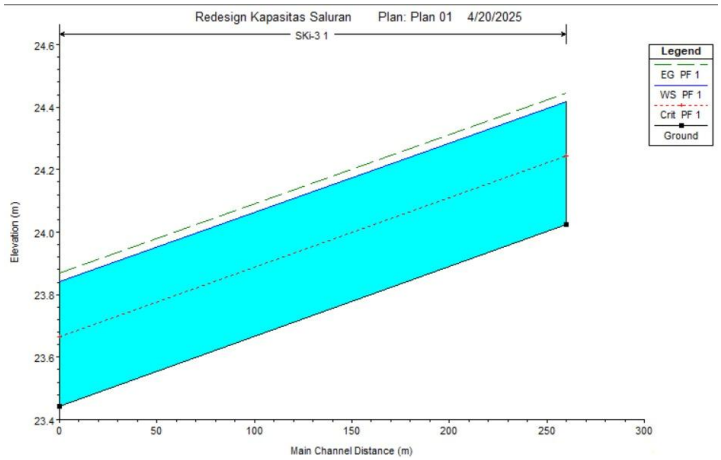
Gambar L-8.6 *Long Section* Saluran SKi-2



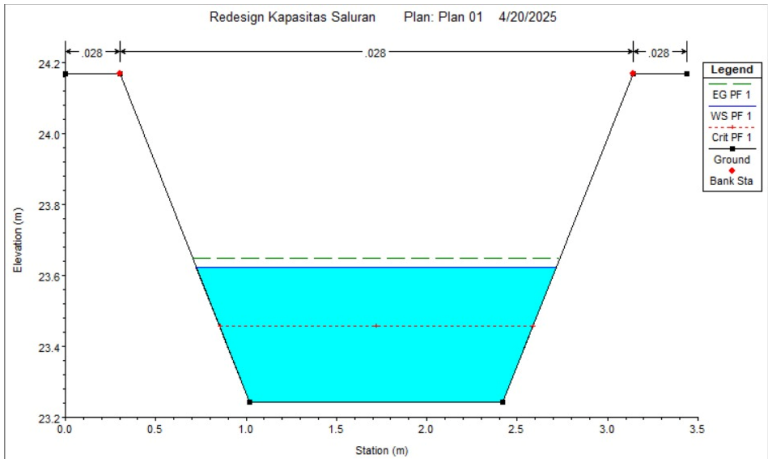
Gambar L-8.7 *Cross Section* Saluran SKi-3 Bagian Hulu



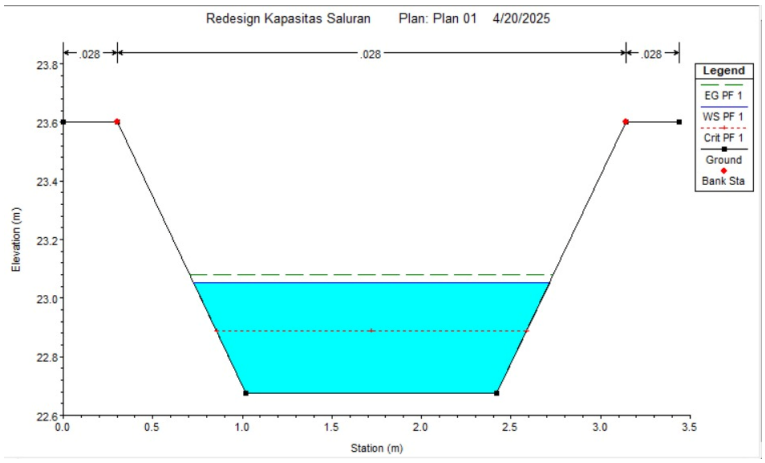
Gambar L-8.8 *Cross Section* Saluran SKi-3 Bagian Hilir



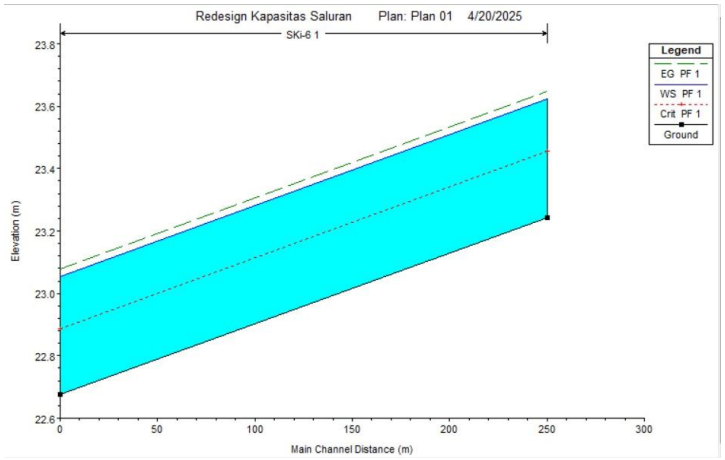
Gambar L-8.9 *Long Section* Saluran SKi-3



Gambar L-8.10 *Cross Section* Saluran SKi-6 Bagian Hulu



Gambar L-8.11 *Cross Section* Saluran SKi-6 Bagian Hilir



Gambar L-8.12 *Long Section* Saluran SKi-6