



Kajian Hidrologi untuk Mitigasi Longsor di Kawasan Jalan Sisi Lumajang (Sta.58+830 sd 59+930)

R.S. Karuru^{a*}, C.Z. Lioni^a, T.M.P. Mantong^a, B.R. Ramadhan^a dan F.R. Payung^a

^aJurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil Universitas Tadulako, Palu, Indonesia, 94118

* Corresponding author's e-mail: rezkykaruru@gmail.com

Received: 25 May 2025; revised: 9 Aug 2025; accepted: 22 Aug 2025

Abstract: Watershed (DAS) of a tributary have caused landslides along the access road to the Besuk Koboan road and bridge construction project in Sumberwuluh Village, Candipuro District, Lumajang Regency. The watershed area examined in this study was located on the slope at STA 58+670, and is analyzed to assess surface runoff entering the main road due to the lack of natural reinforcement from vegetation as a result of land use conditions. Identification results indicate that the landslide was caused by erosion (scouring) at the base and foot of the slope; the riverbanks are composed of porous and easily eroded lava deposits from Mount Semeru, as well as water seepage from the cliff. The proposed landslide mitigation concept for the river slope includes: Slope reinforcement using piles, Design of a drainage system to manage surface water runoff, Protection of the slope foot from scouring using gabion structures (gabion lay dams) or riprap, Slope crest arrangement to reduce water infiltration, Box culvert cross-section design that takes into account the landslide condition on the slope. Furthermore, regarding the landslide condition affecting the National Road segment Malang–Lumajang at STA 58+830 to 58+930, which was impacted by inadequate existing drainage infrastructure, it is crucial to reconstruct the drainage system based on the analysis and study that has been conducted.

Keywords: *drainage, HEC-RAS, surface runoff, landslide, slope stability*

Abstrak: Perubahan DAS anak Sungai telah menyebabkan terjadinya longsor pada jalur jalan akses proyek pekerjaan jalan dan jembatan Besuk Koboan di Desa Sumberwuluh, Kecamatan Candipuro, Kabupaten Lumajang. Daerah aliran sungai yang dikaji dalam pekerjaan ini berada pada tebing di STA 58+670 yang digunakan untuk mengkaji aliran surface run off yang masuk ke Jalan utama karena tata guna lahan tidak ada perkuatan alami berupa vegetasi. Hasil identifikasi menunjukkan bahwa longsor disebabkan oleh erosi (penggerusan) di bagian dasar dan kaki tebing; lereng sungai tersusun dari endapan lava Gunung Semeru yang bersifat berpori dan mudah tererosi, serta adanya rembesan air dari tebing. Konsep penanganan longsor di tebing Sungai meliputi: Penguatan lereng menggunakan tiang pancang, perencanaan sistem drainase untuk penanganan debit air permukaan. Perlindungan kaki tebing dari gerusan air menggunakan bronjong (gabion lay dam) atau batu perkuatan (riprap). Penataan bagian atas tebing untuk mengurangi rembesan air. Desain penampang *box culvert* mempertimbangkan longsor yang terjadi pada tebing. Terkait dengan adanya kondisi longsor pada badan Jalan Nasional ruas Malang-Lumajang STA 58+830 – 58+930 yang terdampak akibat kurangnya penataan sistem drainase eksisting, maka sangat perlu untuk dibuat kembali sarana bangunan sistem drainase dari analisa dan kajian yang telah dilakukan.

Kata kunci: *drainase, HEC-RAS, Limpasan Permukaan, longsor, stabilitas lereng*

1. Pendahuluan

Tanah longsor kerap terjadi saat musim hujan, baik pada lereng alami maupun buatan. Lereng terbagi menjadi dua jenis, yaitu lereng alami dan lereng buatan. Lereng alami terbentuk secara alami melalui proses geologis, seperti lereng di daerah pegunungan. Penelitian yang dilakukan oleh [1] menunjukkan bahwa penyebab longsor dapat disebabkan oleh aktivitas antropogenik yang menambah beban pendorong. Pada daerah tropis dengan curah hujan tinggi, kejadian hujan ekstrem sering menyebabkan naiknya tegangan air pori [2] Infiltrasi air hujan yang tidak teralirkan oleh sistem drainase secara konsisten mengurangi tegangan efektif tanah. Pada akhirnya, longsor terjadi ketika tanah telah kehilangan tegangan efektif secara signifikan.

Tingginya frekuensi kejadian longsor akibat hujan menunjukkan pentingnya analisis infiltrasi air hujan terhadap kestabilan lereng. Pendekatan numerik memungkinkan penerapan berbagai kondisi batas, seperti tanah jenuh dan setengah jenuh, untuk memahami perilaku lereng secara lebih akurat. Selain itu, perubahan tata guna

lahan—seperti alih fungsi hutan menjadi permukiman atau lahan pertanian—dapat memperparah ketidakstabilan lereng dengan mengurangi kemampuan tanah dalam menyerap air dan meningkatkan laju aliran permukaan. Tanah residual mempunyai karakter yang berbeda dengan tanah sedimen umum karena variasi mineral dan ukuran butir. Dengan karakter yang demikian, umumnya tanah residual mempunyai kerentanan yang tinggi untuk terjadi longsor, terutama yang diinduksi oleh curah hujan [3].

Ahli kebumihmen menjelaskan kemungkinan penyebab longsor diduga karena aliran air hujan meluap dan menjenuhkan timbunan jalan, sehingga memicu terjadinya gerakan tanah [3]. Kondisi jalan pada areal proyek jalan dan jembatan besuk koboan mengalami longsor akibat gerusan aliran sungai dan longsor dari lereng bukit diduga karena intensitas curah hujan dan kondisi tanah yang menjadi jenuh. Limpasan air ini berasal dari sungai dan limpasan permukaan di lereng. Kondisi tanah yang terus menerus mengalami penjenhuan, pada akhirnya kehilangan kuat

geser efektif sehingga terjadi longsor pada lereng galian tersebut [2].

Salah satu *lesson learned* yang didapat dari kejadian longsor adalah *maintenance* saluran drainase yang tidak konsisten dan baik sebagai penyebab longsor yang sangat umum ditemui. [4] menemukan fakta bahwa 17% kejadian longsor skala kecil yang terjadi dari tahun 2005 sampai dengan 2016 disebabkan oleh rendahnya tingkat *maintenance* lereng, termasuk perawatan sistem drainase. Mekanisme longsor berskala besar umumnya dipengaruhi oleh kondisi geologi dasar, namun dapat diperburuk oleh pemeliharaan sistem drainase yang tidak memadai. Selain itu, gerusan aliran sungai di sekitar kaki lereng juga berkontribusi dalam melemahkan kestabilan tanah. Dua studi menunjukkan bahwa tidak hanya faktor teknis yang memengaruhi, tetapi juga aspek manajemen pemeliharaan dari pihak pengelola jalan memegang peranan penting dalam terjadinya rangkaian peristiwa longsor.

Dampak dari perubahan tata guna lahan yang semakin mempersempit daerah resapan air ini adalah akan memperbesar aliran atau limpasan permukaan langsung, sekaligus menurunnya air yang meresap ke dalam tanah. Permasalahan yang lain adalah terdapatnya saluran bottle neck yang menyempit sehingga menyebabkan melubernya air. Pengelolaan dan perawatan sistem drainase yang tidak mendapat prioritas banyak menimbulkan masalah dalam penanggulangan banjir. Sistem drainase yang ada sering tidak mampu menampung debit aliran yang terjadi. Sehingga air meluap dan menimbulkan banjir atau pun genangan. Salah satu alternatif penanggulangan banjir yang sering dilakukan adalah dengan perbaikan pada lokasi setempat [5].

Penelitian [6] menggunakan pendekatan aliran air dalam memodelkan aliran lahar. Penelitian ini menyarankan dilakukan analisis sampel aliran lahar guna memperoleh informasi lebih akurat mengenai kecepatan aliran, serta karakteristik fisik material yang terkandung di dalamnya, termasuk jenis dan bentuknya. Berdasarkan analisa [7], baik secara manual maupun menggunakan perangkat lunak pemodelan hidrologi, diketahui bahwa sistem drainase di Jalan Raya Bungbulang tidak mampu menampung debit aliran secara optimal, sehingga terjadi luapan dengan tinggi muka air berkisar antara 0,19 m hingga 0,35 m. Kondisi ini sejalan dengan observasi di lapangan yang menunjukkan adanya genangan di permukaan jalan setinggi $\pm 0,20$ m. Untuk mengantisipasi potensi kerusakan infrastruktur jalan akibat luapan tersebut, diperlukan redesain sistem drainase dengan pendekatan peningkatan kapasitas tampung, salah satunya melalui penyesuaian dimensi penampang saluran, khususnya pada aspek kedalaman.

Kasus Jembatan Besuk Koboan di Lumajang menunjukkan hubungan erat antara drainase, limpasan permukaan, dan longsor. Curah hujan tinggi dan aliran lahar dari erupsi Gunung Semeru menyebabkan limpasan permukaan meningkat drastis. Karena sistem drainase tidak mampu mengalirkan air secara efektif, air menggenang dan mempercepat kejenuhan tanah di lereng sekitar jembatan. Hal ini memicu longsor yang merusak akses jalan dan struktur jembatan. Peristiwa ini menegaskan pentingnya sistem drainase yang baik untuk mengendalikan limpasan

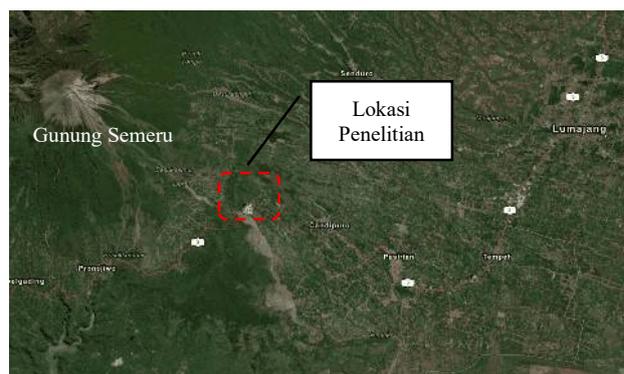
dan mencegah bencana tanah longsor, khususnya di kawasan rawan seperti lereng gunung dan daerah aliran sungai.

Penelitian ini menguraikan prosedur teknis inspeksi dan pemeliharaan sistem drainase lereng sebagai bagian dari implementasi Sistem Manajemen Lereng (*Slope Management System*). Sistem ini dikembangkan sebagai upaya mitigatif berbasis pencegahan untuk menekan frekuensi kejadian dan mencegah reaktivasi gerakan tanah. Kegiatan inspeksi drainase juga difungsikan sebagai dasar perencanaan tindakan mitigasi longsor yang adaptif terhadap berbagai kondisi hidrometeorologis, termasuk pramusim hujan, puncak musim hujan, periode cuaca ekstrem, serta musim kering.

2. Metode Penelitian

2.1. Data Penelitian

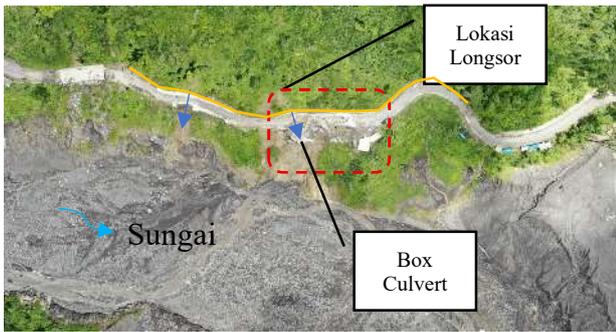
Penelitian ini dilaksanakan di Di Kabupaten Lumajang, Provinsi Jawa Timur, Jembatan Besuk Koboan memegang peranan vital sebagai penghubung utama antara Kecamatan Pronojiwo dan Kecamatan Candipuro. Secara administratif, jembatan ini berada di Desa Sumberwuluh, Kecamatan Candipuro, dan membentang di atas aliran Sungai Besuk Kobokan—salah satu daerah aliran sungai yang berhulu langsung dari lereng tenggara Gunung Semeru (**Gambar 1**).



Gambar 1. Lokasi penelitian

Curah hujan dengan intensitas yang cukup tinggi terjadi mulai Senin Malam tgl 17 Oktober 2022 sampai dengan Kamis 03 november 2022 telah mengguyur wilayah Desa Sumberwuluh Kec. Candipuro - Kabupaten Lumajang termasuk juga di area Jalan Pendekat jembatan besuk kobokan di sisi Lumajang. **Gambar 2** menunjukkan lokasi longsor yang terjadi pada jalan akses ke arah pekerjaan Jembatan Besuk Koboan.

Gerusan yang merupakan fenomena alam terjadi akibat erosi terhadap aliran air pada dasar dan tebing sungai. Selain itu gerusan juga dapat disebut sebagai proses dalamnya dasar sungai di bawah elevasi permukaan alami karena interaksi antara aliran air dengan material dasar sungai. Hal tersebut akan mengancam kestabilan bangunan dan fasilitas yang dibangun di sekitar lokasi tersebut. Sehingga harus dibangun bangunan pengendali untuk menyeimbangkan dan mengurangi terjadinya pelebaran sungai.



Gambar 2. Longsor jalan akses

2.2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data untuk analisis debit banjir dilakukan dengan mengumpulkan data meteorologis berupa curah hujan dengan menggunakan 5 stasiun hujan untuk menentukan stasiun hujan yang paling berpengaruh, data hidrologis meliputi aliran sungai, serta informasi geospasial terkait topografi dan penggunaan lahan di daerah aliran sungai (DAS) atau *cathment area* di area bukit pekerjaan Jalan dan Jembatan Besuk Koboan. Selain itu, data historis terkait kejadian banjir dan hidrograf puncak banjir juga diperlukan untuk memperkirakan debit puncak banjir menggunakan pendekatan model hidrologi yang sesuai. Semua data yang terkumpul akan dianalisis untuk menentukan kapasitas aliran sungai serta potensi risiko banjir pada berbagai periode ulang. Data tersebut digunakan sebagai input dalam pemodelan hidrologi dan hidraulika, salah satunya melalui aplikasi *HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System)*. *HEC-RAS* memungkinkan simulasi aliran satu dimensi (1D) atau dua dimensi (2D) untuk menganalisis profil muka air, kecepatan aliran, dan estimasi luapan berdasarkan debit banjir yang diperoleh dari analisis hidrologi. Dengan demikian, integrasi antara data lapangan dan model numerik dalam *HEC-RAS* menjadi dasar yang penting dalam penilaian risiko banjir serta perencanaan teknis infrastruktur pengendali banjir.[8]

2.3. Pengelolaan data

Proses data hujan adalah untuk mendapatkan seri hujan pada setiap water district (distrik air) sebagai masukan untuk dijadikan perkiraan debit aliran yang akan digunakan dalam simulasi. Jika *runoff* tidak dapat segera mengalir menuju saluran atau kurangnya kapasitas drainase maka dapat menimbulkan genangan atau terjadinya banjir [9]. Biasanya drainase jalan raya berupa saluran terbuka dengan memanfaatkan gaya gravitasi dan kontur jalan untuk mengarahkan aliran air menuju *outlet* [10].

Debit banjir rencana adalah debit maksimal yang ada di sungai yang telah ditentukan berdasarkan hasil perhitungan dan dapat mengalir tanpa membahayakan stabilitas bangunan air [11]. Perencanaan debit rencana untuk drainase perkotaan dan jalan raya dihadapi dengan persoalan tidak tersedianya data aliran. Umumnya untuk menentukan debit aliran akibat air hujan dapat dihitung dengan metode rasional, atau metode hidrogaf satuan.

Metode rasional dibuat dengan mempertimbangkan bahwa banjir berasal dari hujan yang mempunyai intensitas

curah hujan seragam dan merata diseluruh DAS. Metode Rasional dengan 3 parameter utamanya yaitu nilai koefisien limpasan, intensitas curah hujan, dan luas area tiap kecamatan [12]. Metode rasional ini pada umumnya banyak digunakan untuk menghitung debit banjir pada daerah aliran sungai yang tidak terlalu luas dengan batasan hingga luas kurang dari 300 ha [9].

$$Q = 0.278 C I A \tag{1}$$

Keterangan :

Q = Debit banjir rencana (m³/dt)

C = Koefisien run-off

I = Intensitas hujan (mm/jam)

A = Catchment area (km²)

Langkah awal dalam perencanaan bangunan air (saluran) adalah penentuan besarnya debit yang harus diperhitungkan. Besarnya debit (banjir) perencanaan ditentukan oleh intensitas hujan yang terjadi. Umumnya, makin besar t (waktu), intensitas hujan makin kecil. Jika tidak ada waktu untuk mengamati besarnya intensitas hujan atau tidak ada alat, maka intensitas dapat ditempuh dengan cara-cara empiris [12]. Pada penelitian ini, metode perhitungan intensitas hujan yang digunakan yaitu Metode Mononobe karena data yang tersedia adalah data curah hujan harian maksimum tiap tahun. Persamaan untuk mendapatkan intensitas ditunjukkan dibawah ini:

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

Keterangan:

It : intensitas hujan untuk lama hujan t jam (mm/jam)

t : durasi hujan (jam)

R24 : curah hujan maksimum selama 24 jam [9]

Untuk standar penggunaan debit banjir rencana menggunakan SNI 03-3424-1994 (Tabel 1) dengan koefisien pengaliran seperti Tabel 2.

Tabel 1. Periode ulang banjir rencana dan tinggi jagaan

No	Jenis Bangunan	Periode Ulang	Free Board (w)
1	Saluran Samping (langsung ke sungai)	10 Tahun	$\sqrt{0,5 H} \approx 0,3$
2	Saluran Samping (masuk gorong-gorong)	25 Tahun	0,3 – 0,5
3	Gorong-gorong main road	50 Tahun	$\sqrt{0,5 H}$
4	Sungai (Q < 200 m ³ /det)	100 Tahun	1,5 m
5	Sungai (Q > 200 m ³ /det)	100 Tahun	2,5 m
6	Bentang jembatan terkait lebar palung sungai	2 Tahun	—

Koefisien pengaliran (*run-off coefficient*) adalah perbandingan antara jumlah air hujan yang mengalir atau melimpas di atas permukaan tanah (*surface run-off*) dengan

jumlah air hujan yang jatuh dari atmosfer (hujan total yang terjadi). Hasil klasifikasi tutupan lahan yang diperoleh dikonversikan terhadap nilai C (koefisien *run off*) [13]. Besaran ini dipengaruhi oleh tata guna lahan, kemiringan lahan, jenis dan kondisi tanah. Pemilihan koefisien pengaliran harus memperhitungkan kemungkinan adanya perubahan tata guna lahan dikemudian hari. Koefisien pengaliran mempunyai nilai antara, dan sebaiknya nilai pengaliran untuk analisis digunakan nilai yang terbesar atau nilai yang maksimum.

Tabel 2. Nilai koefisien pengaliran (C)

Kondisi Permukaan Tanah	Koefisien Limpasan (Run-off)
Bahan	
Jalan beton dan jalan aspal	0.70-0.95
Jalan kerikil dan jalan tanah	0.40-0.70
Tata Guna Lahan	
Daerah perkotaan	0.70-0.95
Daerah pinggir kota	0.60-0.70
Pemukiman padat	0.40-0.60
Pemukiman tidak padat	0.40-0.60
Taman dan kebun	0.20-0.40
Perbukitan	0.70-0.80

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Menentukan Curah Hujan Maksimum Tahunan

Sebelum melakukan analisis terhadap curah hujan rata-rata harian, langkah awal yang harus dilakukan adalah mengidentifikasi lokasi stasiun hujan yang akan digunakan, karena posisi stasiun hujan secara signifikan memengaruhi representativitas data curah hujan di wilayah studi. Dalam kajian ini, metode *Poligon Thiessen* digunakan untuk menentukan kontribusi relatif masing-masing stasiun hujan terhadap lokasi kajian. Metode *Polygon Thiessen* merupakan salah satu metode yang sangat populer dikalangan praktisi hidrologi dalam perhitungan curah hujan rerata daerah yang bisa disebut *Thiessen Original* [14] Berdasarkan studi hidrologi oleh PT Adhi Karya, diperoleh bahwa terdapat lima stasiun hujan yang memiliki pengaruh signifikan, dengan Stasiun Curah Kobo'an sebagai stasiun utama yang paling relevan terhadap area pekerjaan. Data hujan yang tercatat di setiap stasiun penakar hujan adalah tinggi hujan disekitar stasiun tersebut atau disebut sebagai *Point Rainfall*. Karena stasiun penakar hujan tersebar di daerah aliran maka akan banyak data tinggi hujan yang diperoleh yang besarnya tidak sama. Di dalam analisa hidrologi diperlukan data hujan rata-rata di daerah aliran (*Catchment Area*) yang kadang-kadang dihubungkan dengan besarnya aliran yang terjadi.

Dasar pembuatan hujan rata-rata adalah berdasarkan luasan DAS pada setiap gridnya. Perhitungan hujan wilayah khususnya akan dilakukan bersamaan dengan pembentukan model HEC-HMS yang membagi DAS menjadi beberapa sub DAS yang lebih kecil sehingga setiap sub DAS tersebut

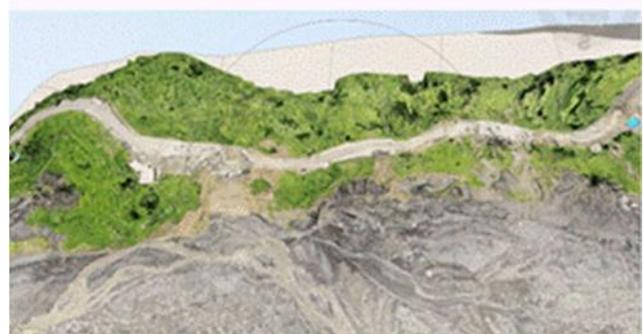
terwakili oleh grid yang sesuai. Untuk masing-masing wilayah sungai ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Data curah hujan rancangan

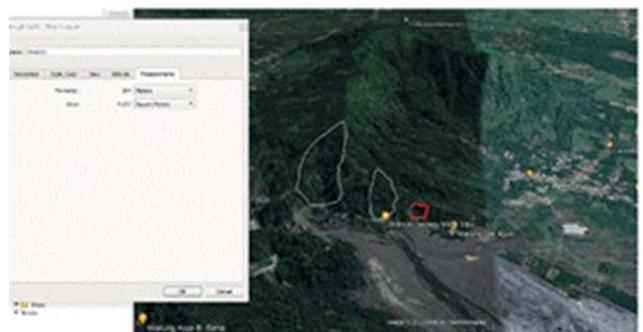
Kala Ulang (Tahun)	Curah Hujan Rancangan (mm)	Koef. Pengaliran (C)	Hujan Netto Rn (mm)
2	111.56	0.90	100.40
5	148.03	0.90	133.22
10	173.71	0.90	156.34
20	201.73	0.90	181.55
25	207.85	0.90	187.07
50	234.64	0.90	211.17
100	262.56	0.90	236.30

3.2. Kondisi Lahan DAS Besuk Koboan

DAS Besuk Koboan memiliki luas 0.016 Km² yang terdiri dari hutan, semak belukar, perbukitan, dan sungai yang terdampak erupsi Gunung Semeru. Laju limpasan permukaan dapat dikurangi oleh vegetasi atau teknik bercocok tanam dengan menambah jumlah air yang tertahan diatas tanah (*surface detension*). DAS 1 mencakup wilayah STA 58+675 sampai 58+800 sedangkan DAS 2 mencakup wilayah STA 58+820 sampai 58+900 dan DAS 3 mencakup wilayah STA 59+020. dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Peta kondisi wilayah longsor



Gambar 4. Peta *Catchment area* wilayah longsor

3.3. Debit Banjir Rencana

Dalam perencanaan hidrologi, penentuan debit banjir rencana merupakan langkah penting untuk mendesain infrastruktur pengendalian banjir, seperti saluran drainase,

jembatan, dan jalan Debit banjir rencana adalah debit maksimal yang ada di sungai yang telah ditentukan berdasarkan hasil perhitungan dan dapat mengalir tanpa membahayakan stabilitas bangunan air [15]. Salah satu metode yang banyak digunakan dalam estimasi debit banjir rencana adalah metode Rasional. Metode ini memanfaatkan data curah hujan rancangan, waktu konsentrasi, intensitas hujan, koefisien aliran permukaan, serta luas daerah tangkapan air (*catchment area*).

Pada penelitian ini, debit banjir rencana dihitung untuk tiga sub-wilayah dalam Daerah Aliran Sungai (DAS) Pedes, yaitu DAS 1, DAS 2, dan DAS 3. Perhitungan dilakukan berdasarkan data curah hujan maksimum harian tahunan

dari dua stasiun hujan, yaitu Stasiun Bumijawa dan Tonjong. Curah hujan rancangan dihitung menggunakan metode distribusi probabilitas untuk berbagai periode ulang (*return period*), mulai dari 2 tahun hingga 100 tahun.

Perhitungan dilakukan terhadap tiga sub-DAS, yaitu DAS 1, DAS 2, dan DAS 3, masing-masing dengan karakteristik hidrologi dan luas tangkapan air yang berbeda. Nilai curah hujan rancangan (R), kecepatan aliran (V), waktu konsentrasi (t), intensitas hujan (r), koefisien aliran (a), dan luas daerah (A) digunakan sebagai input utama dalam formula metode Rasional. Hasil perhitungan debit banjir rencana (Qn) dari masing-masing sub-DAS disajikan pada Tabel 4, Tabel 5, dan Tabel 6.

Tabel 4. Debit periode ulang pada DAS 1

n (Tahun)	R (mm)	V (km/jam)	t (jam)	I (mm/jam)	C	A (km ²)	Qn (m ³ /det)
2	111.560	3.137	0.137	145.487	0.90	0.061	2.22
5	148.033	3.137	0.137	193.051	0.90	0.061	2.94
10	173.712	3.137	0.137	226.539	0.90	0.061	3.46
20	201.731	3.137	0.137	263.079	0.90	0.061	4.01
25	207.856	3.137	0.137	271.066	0.90	0.061	4.14
50	234.643	3.137	0.137	306.000	0.90	0.061	4.67
100	262.562	3.137	0.137	342.409	0.90	0.061	5.23

Tabel 5. Debit periode ulang pada DAS 2

n (Tahun)	R (mm)	V (km/jam)	t (jam)	I (mm/jam)	C	A (km ²)	Qn (m ³ /det)
2	111.560	4.344	0.058	258.119	0.90	0.020	1.291
5	148.033	4.344	0.058	342.507	0.90	0.020	1.713
10	173.712	4.344	0.058	401.921	0.90	0.020	2.010
25	207.856	4.344	0.058	480.921	0.90	0.020	2.405
50	234.643	4.344	0.058	542.898	0.90	0.020	2.714
100	262.562	4.344	0.058	607.495	0.90	0.020	3.037

Tabel 6. Debit periode ulang pada DAS 3

n (Tahun)	R (mm)	V (km/jam)	t (jam)	I (mm/jam)	C	A (km ²)	Qn (m ³ /det)
2	111.560	7.527	0.013	699.535	0.90	0.004	0.700
5	148.033	7.527	0.013	928.238	0.90	0.004	0.928
10	173.712	7.527	0.013	1089.257	0.90	0.004	1.089
25	207.856	7.527	0.013	1303.357	0.90	0.004	1.303
50	234.643	7.527	0.013	1471.324	0.90	0.004	1.471
100	262.562	7.527	0.013	1646.389	0.90	0.004	1.646

Pada DAS 1, debit banjir tertinggi terjadi pada periode ulang 100 tahun dengan nilai 5,23 m³/det (Tabel 4). Hal serupa juga terjadi pada DAS 2 dan DAS 3, yang masing-masing memiliki debit maksimum sebesar 3,03 m³/det dan 1.64 m³/det untuk periode ulang 100 tahun (Tabel 5 dan Tabel 6). Peningkatan nilai debit seiring bertambahnya

periode ulang menunjukkan hubungan langsung antara intensitas curah hujan rancangan dan besarnya limpasan permukaan yang dihasilkan.

3.4. Analisa Hidrolika

Tinjauan hidraulik yang berkaitan dengan parameter geometri sungai (profil basah, keliling basah dan jari-jari hidraulik) digunakan perhitungan kapasitas hidraulik untuk melewati berbagai nilai debit banjir rencana yang diharapkan. Dengan penampang sungai yang tersedia dapat diketahui tinggi muka air yang terjadi di lokasi rencana jembatan.

Analisis kapasitas hidraulik dilaksanakan pada kondisi penampang sungai eksisting dan penampang rencana sehingga diperoleh suatu desain yang cocok untuk jembatan terhadap debit yang melewatinya. Analisis hidrolika digunakan untuk mengetahui kapasitas saluran dengan pertimbangan karakteristik hidrolika yang terjadi pada suatu saluran karakteristik tersebut meliputi kualifikasi aliran, kofisien kekasaran (*manning*)[16] .

Metode yang digunakan dalam perhitungan kapasitas tampung alur sungai dihitung pada kondisi bank full alur utama. Perhitungan kapasitas alur didekati dengan anggapan bahwa aliran seragam (*uniform flow*) dengan demikian dapat dihitung dengan rumus Manning sebagai berikut:

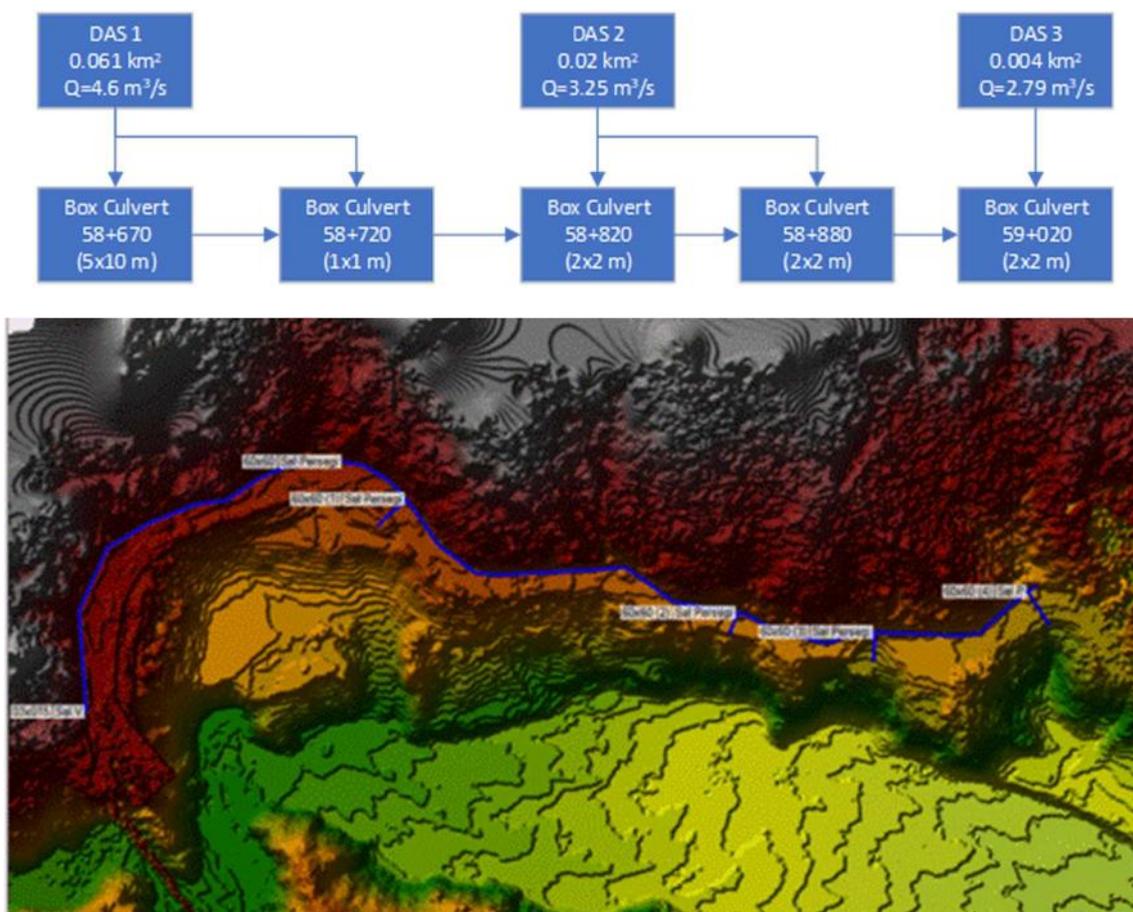
$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot i^{\frac{1}{2}} \tag{3}$$

$$Q = VA \tag{4}$$

Keterangan :

- Q : Kapasitas tampung sungai (m³/detik).
- V : Kecepatan aliran (m/detik).
- A : Luas penampang basah (m²).
- R : Jari-jari hidraulis (m).
- i : Kemiringan garis energi.
- n : Koefisien Manning.

Untuk mengetahui tinggi genangan dan vektor kecepatan aliran disuatu kawasan yaitu dengan memodelkan daerah genangan menggunakan software kombinasi antara *ArcGIS* dan Ekstensi *HEC-geoRAS*. Sumber data pengukuran menggunakan *Digital Terrain Model (DTM)* dengan teknologi *LIDAR* yang telah dilaksanakan oleh Tim Survey Topografi. DTM lokasi Tol Rengat Pekanbaru meliputi wilayah ruang jalan tol (ROW) dan Sungai Siak sepanjang 3,0 km hulu dan hilir As Jalan Tol dengan koridor total kanan dan kiri jalan tol rata-rata sekitar 100 meter.



Gambar 5. Skema aliran pada saluran dan box perlintasan

Dengan pemodelan menggunakan program bantu *HEC-geoRAS* melalui *RAS-Mapper terrain* yang terbentuk berdasarkan kontur secara alami akan menjadi pola aliran sungai dan cekungan air diwilayah sungai dan kawasan

sekitar rencana jalan tol. Untuk mendapatkan angka kecepatan aliran dan tinggi genangan dengan cara trial-error dan proses iterasi.

Setelah dilakukan perhitungan debit banjir rencana pada masing-masing sub-DAS menggunakan metode Rasional, langkah selanjutnya adalah merancang sistem saluran dan struktur pelintas air (*box culvert*) yang mampu menyalurkan debit tersebut secara efektif dan aman. Setiap sub-DAS memiliki luas tangkapan dan karakteristik hidrologi yang berbeda, sehingga desain dimensi saluran dan *box culvert* disesuaikan dengan debit rencana tertinggi pada periode ulang 25 tahun (Q25).

Desain sistem drainase dilakukan dengan mempertimbangkan tata letak topografi dan arah aliran limpasan permukaan di lokasi penelitian. Pada DAS 1, yang memiliki luas tangkapan terbesar sebesar 0,061 km² dan debit Q25 sebesar 4,6 m³/det, dirancang *box culvert* berukuran 5×10 m. Sementara itu, DAS 2 dan DAS 3 dengan debit masing-masing 3,25 m³/det dan 2,79 m³/det dirancang dengan kombinasi *box culvert* berukuran 1×1 m hingga 2×2 m, disesuaikan dengan titik perlintasan jalan dan kapasitas aliran lokal.

Skema lengkap sistem saluran dan posisi *box culvert* ditunjukkan pada Gambar 6 berikut ini, yang menggambarkan distribusi aliran pada setiap titik perlintasan serta konfigurasi dimensi *box culvert* yang digunakan untuk mengakomodasi debit banjir rencana dari masing-masing sub-DAS.

3.5 Analisa Kapasitas Tampung *Box culvert*

Box culvert STA 58+675 dimensi penampang dengan lebar 10 meter dan tinggi 5 meter memiliki dua fungsi yaitu sebagai tampungan debit banjir dan longsor material dari tebing. Pada Gambar 7 adalah penampang *box culvert*. Struktur ini dirancang untuk mengalirkan debit banjir rancangan sebesar Q50 = 4,67 m³/s. Desain geometrik *box culvert* memiliki lebar 10 meter dan tinggi 5 meter, sehingga mampu menampung aliran dengan kapasitas yang cukup besar (Gambar 6).



Gambar 6. Penampang *Box culvert* 58+675

Kemiringan dasar *box culvert* ditetapkan sebesar 0,5% atau 0,005, yang berfungsi untuk memberikan energi gravitasi yang cukup agar aliran dapat mengalir secara lancar. Selain itu, permukaan saluran menggunakan material beton dengan koefisien kekasaran Manning (n) sebesar 0,03, yang merupakan nilai standar untuk beton halus dan memberikan indikasi bahwa hambatan aliran dalam saluran relatif kecil.

Desain ini bertujuan untuk memastikan bahwa struktur *box culvert* mampu mengalirkan debit rencana secara efektif tanpa menimbulkan genangan atau luapan, serta tetap mempertahankan kestabilan hidraulik dan struktural

Data yang digunakan adalah

- Q50 = 4.67 m³/s
- Desain *Box culvert* = lebar 10 m dan tinggi 5 m
- Kemiringan *Box culvert* 0.5% atau 0.005
- Koefisien manning/kekasaran *box culvert* = 0.03 (beton)

Box culvert STA 58+820 Dimensi penampang dengan lebar 2 meter dan tinggi 2 meter memiliki dua fungsi yaitu sebagai tampungan debit banjir dan longsor material dari tebing. Gambar 8 memperlihatkan penampang *Box culvert* tertutup pada STA 58+820 yang dirancang untuk mengalirkan debit banjir rencana sebesar Q50 = 3,25 m³/s. Struktur ini memiliki dimensi lebar 2 meter dan tinggi 2 meter, sehingga sesuai untuk kondisi aliran dengan kapasitas sedang pada lokasi tersebut (Gambar 7).

Box culvert ini dirancang dengan kemiringan dasar sebesar 0,5% (0,005) guna mempertahankan kecepatan aliran yang memadai dan mencegah sedimentasi dalam saluran. Permukaan saluran menggunakan material beton dengan koefisien kekasaran Manning sebesar 0,03, yang mencerminkan tingkat kekasaran yang rendah dan mendukung kelancaran aliran.

Desain ini mempertimbangkan efisiensi hidraulik dan kestabilan struktural, serta disesuaikan dengan debit rencana yang harus ditampung pada titik lokasi tersebut. Ukuran yang lebih kecil dibandingkan *box culvert* pada STA lainnya menunjukkan penyesuaian terhadap debit dan kondisi topografi setempat.



Gambar 7. Penampang *Box culvert* 58+820 tertutup

Data yang digunakan adalah

- Q50 = 3.25 m³/s
- Desain *Box culvert* = lebar 2 m dan tinggi 2 m
- Kemiringan *Box culvert* 0.5% atau 0.005
- Koefisien manning/kekasaran *box culvert* = 0.03 (beton)

Box culvert pada STA 58+675 Parameter geometri saluran yang dibutuhkan oleh HEC-RAS adalah alur, tampang panjang dan lintang, kekasaran dasar (koefisien Manning), serta kehilangan energi di tempat perubahan tampang saluran. HEC-RAS juga membutuhkan geometri struktur hidraulik yang ada di sepanjang saluran, misal nya jembatan, pintu air, bendung, peluap, dan sejenisnya (Tabel 7)

Tabel 7. Rekap perlintasan *Box culvert* terhadap DAS daerah tebing dan jalan

No	BC	Q50 m ³ /s	I rencana	n	V m/s	B m	H m	h m	Keterangan	Status
1	58+675	4.6	0.005	0.03	1.28	10	5	0.36	Memenuhi	DAS 1 dan jalan
2	58+720	0.289	0.005	0.03	1.28	1	1	0.23	Memenuhi	DAS 1 dan jalan
3	58+820	3.25	0.005	0.03	1.28	2	2	1.27	Memenuhi	DAS 2 dan jalan
4	58+870	0.594	0.005	0.03	1.28	2	2	0.23	Memenuhi	DAS 2 dan jalan
5	59+020	2.798	0.005	0.03	1.28	2	2	1.09	Memenuhi	DAS 3

3.6 Analisa Side Drain dan Box Culvert Menggunakan Aplikasi HEC-RAS

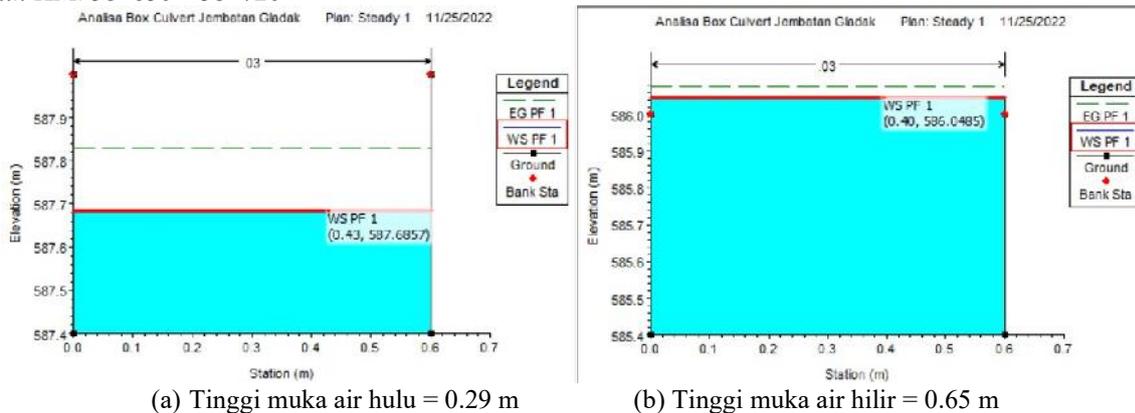
Untuk mengevaluasi kapasitas hidraulik dari saluran dan struktur *box culvert* yang berada pada STA 58+690 hingga STA 58+990, dilakukan analisis pemodelan satu dimensi (1D) menggunakan perangkat lunak HEC-RAS. Model ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan saluran dalam mengalirkan debit total hasil pengumpulan dari beberapa segmen hulu serta untuk menilai kinerja sistem drainase secara menyeluruh. Berikut data teknis pada STA 58+690-58+990 = 300 m dengan tipe saluran persegi.

Diketahui data:

- El Hulu – El Hilir = 588-570 = 18 m
- Panjang Saluran persegi (L) = 300 m
- Dimensi saluran persegi, B = 0.6 m, t = 0.6 m
- Kemiringan saluran = $\frac{\Delta H}{L} = \frac{18}{300} = 0.06$
- Qinflow total = 0.289 + 3.25 + 0.594 + 2.798 = 6.93 m³/s
- n (koef manning) = 0.03 (pas beton)

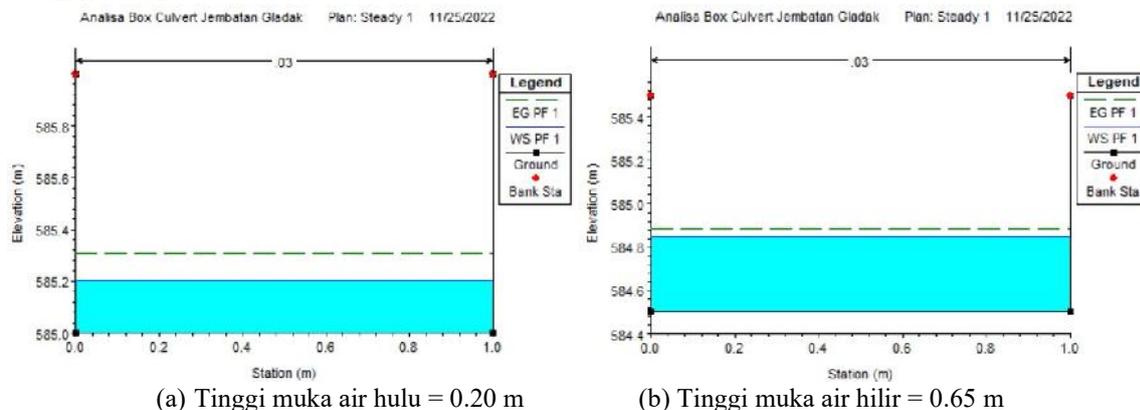
Saluran dan perlintasan KM. 58+650 – 58+720

Side Drain KM. 58+650 – 58+720



Gambar 8. Profil Melintang *side drain* ukuran 0.6 x 0.6 m

Box culvert KM. 58+720



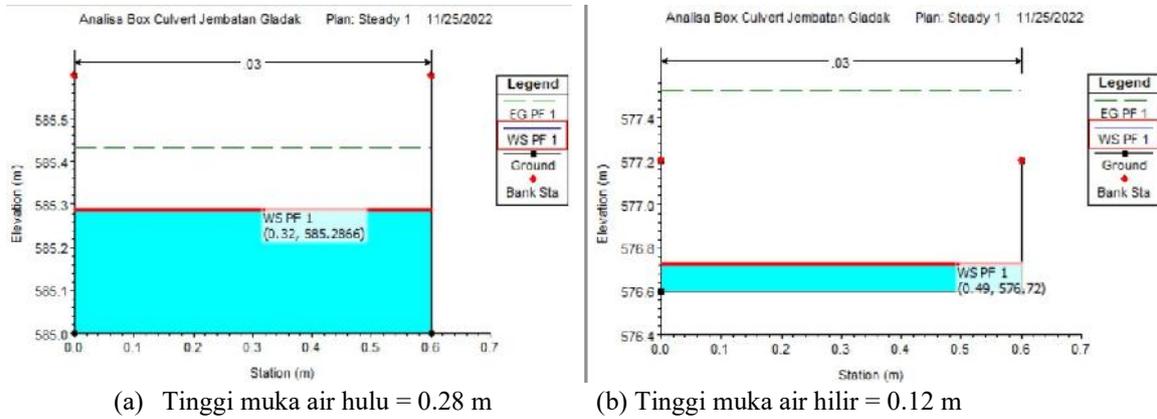
Gambar 9. Profil Melintang *box culvert* ukuran 1x1 m

Pada Gambar 8 dan Gambar 9 hasil analisis profil melintang menunjukkan bahwa pada side drain berukuran 0,6 x 0,6 m, tinggi muka air meningkat dari 0,29 m di hulu menjadi 0,65 m di hilir, mengindikasikan akumulasi aliran atau hambatan dalam saluran. Sementara itu, pada *box culvert* berukuran 1 x 1 m di KM 58+720, tinggi muka air naik dari 0,20 m di

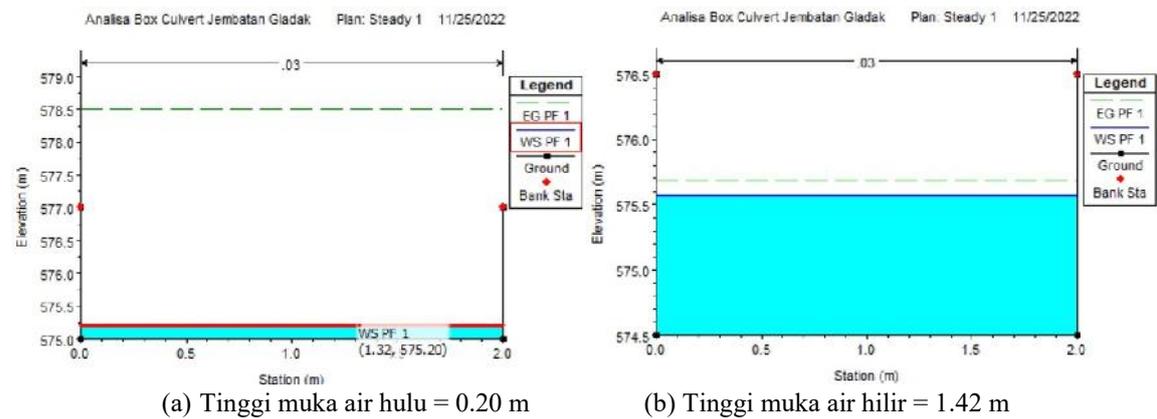
hulu menjadi 0,65 m di hilir, menunjukkan kondisi serupa. Perbedaan signifikan antara muka air hulu dan hilir menunjukkan perlunya evaluasi kapasitas saluran dan *culvert* untuk mencegah genangan serta mendukung kelancaran sistem drainase, terutama di wilayah rawan longsor.

Saluran dan perlintasan KM. 58+720 – 58+820

Side Drain KM. 58+720 – 58+820



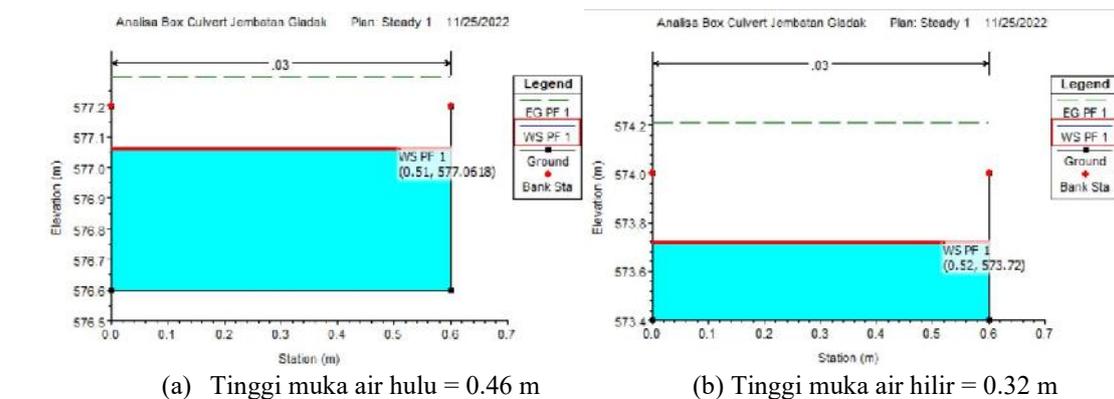
Gambar 10. Profil Melintang *side drain* ukuran 0.6x0.6



Gambar 11. Profil Melintang *box culvert* ukuran 2x2 m

Saluran dan perlintasan KM. 58+820 – 58+870

Side Drain KM. 58+820 – 58+870



Gambar 12. Profil Melintang *side drain* ukuran 0.6x0.6

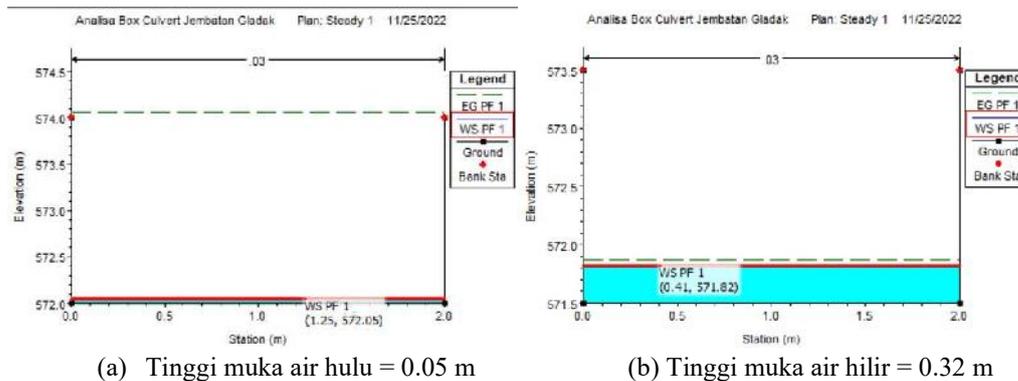
Berdasarkan hasil simulasi hidraulik pada Gambar 10 dan Gambar 11 segmen saluran dan struktur perlintasan di KM 58+720 hingga KM 58+820, diperoleh informasi

penting terkait kinerja sistem drainase eksisting. Dua komponen utama yang dianalisis adalah *side drain* berukuran 0,6 x 0,6 meter dan *box culvert* berukuran 2 x 2

meter. Pada saluran side drain, tinggi muka air di hulu tercatat sebesar 0,28 meter, sedangkan di hilir mengalami penurunan menjadi 0,12 meter, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 10. Penurunan ini menandakan bahwa aliran air dapat mengalir secara lancar dari hulu ke hilir tanpa terjadi hambatan berarti, serta kapasitas saluran dianggap memadai untuk mengakomodasi debit yang mengalir.

Sebaliknya, hasil analisis *box culvert* pada Gambar 11 menunjukkan adanya perbedaan signifikan antara tinggi

muka air hulu dan hilir. Tinggi muka air di hulu sebesar 0,20 meter, namun meningkat drastis di hilir hingga mencapai 1,42 meter. Kenaikan yang cukup tajam ini mengindikasikan kemungkinan terjadinya hambatan aliran, baik karena perubahan geometri saluran, sumbatan pada hilir, atau kapasitas yang tidak proporsional terhadap debit aliran

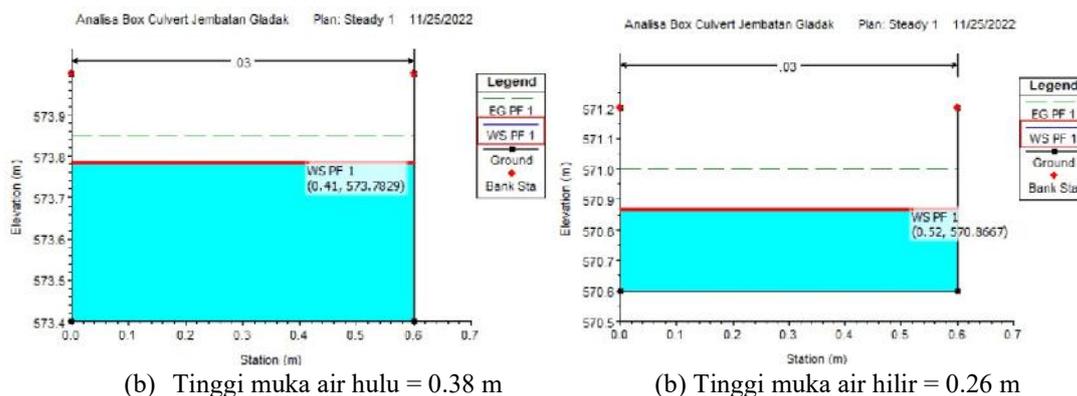


Gambar 13. Profil Melintang *box culvert* ukuran 2x2 m

Pada segmen KM 58+820 hingga KM 58+870, dilakukan analisis terhadap kondisi hidraulik saluran sisi (*side drain*) berukuran 0,6 x 0,6 meter dan *box culvert* berukuran 2 x 2 meter guna menilai kinerja sistem drainase terhadap debit aliran yang terjadi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada *side drain*, tinggi muka air di hulu mencapai 0,46 meter, sedangkan di hilir menurun menjadi 0,32 meter (Gambar 12). Hal ini menunjukkan bahwa aliran air masih dapat mengalir secara efektif, walaupun terdapat elevasi muka air yang cukup signifikan pada bagian hulu.

Saluran dan perlintasan KM. 58+870 – 59+020

Side Drain KM. 58+870 – 59+020



Gambar 14. Profil Melintang *side drain* ukuran 0.6x0.6

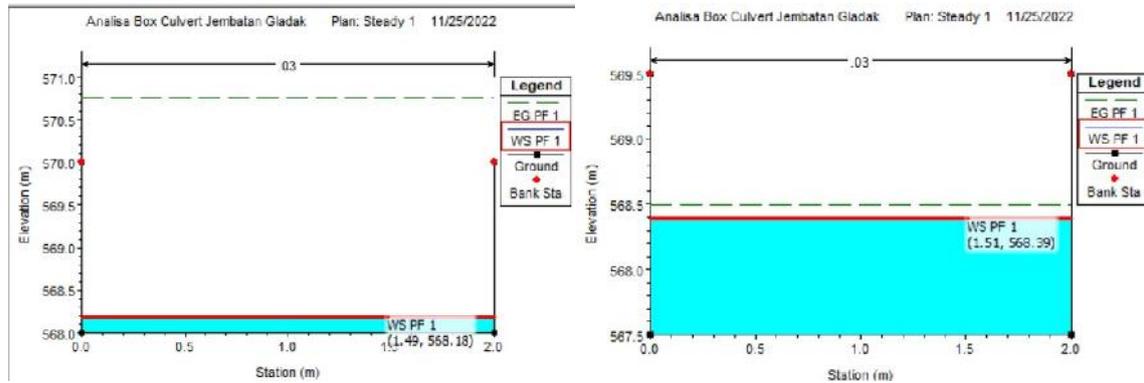
Pada segmen KM 58+870 hingga KM 59+020, dilakukan analisis terhadap saluran sisi (*side drain*) dengan dimensi 0,6 x 0,6 meter dan *box culvert* berukuran 2 x 2 meter guna menilai efektivitas sistem drainase dalam mengalirkan debit air hujan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada *side drain*, tinggi muka air di hulu sebesar 0,38 meter, sementara di hilir turun menjadi 0,26 meter (Gambar

14). Penurunan muka air tersebut menunjukkan adanya kapasitas aliran yang memadai, serta tidak terjadi sumbatan signifikan yang dapat menahan aliran air.

Sementara itu, pada *box culvert* berukuran 2 x 2 meter (Gambar 15), tinggi muka air di hulu tercatat sebesar 0,18 meter, namun meningkat cukup signifikan menjadi 0,89 meter di hilir. Kenaikan muka air di hilir mengindikasikan

adanya potensi penumpukan aliran atau hambatan aliran di sisi hilir saluran, yang perlu mendapatkan perhatian lebih lanjut agar tidak menimbulkan genangan atau kerusakan infrastruktur di masa mendatang.

Karena penampang muka air basa yang dihitung oleh program HEC-RAS 5.0.7 melebihi dari nilai elevasi permukaan air kritis bahwa saluran sudah mengalami peringatan banjir yang terjadi sehingga diperlukan upaya perbaikan saluran untuk mengendalikan banjir [17].



(a) Tinggi muka air hulu = 0.18 m

(b) Tinggi muka air hilir = 0.89 m

Gambar 15. Profil Melintang *box culvert* ukuran 2x2 m

Tabel 8. Rekap saluran samping dan *box culvert*

River	Reach	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Vel Chnl (m/s)	Froude Chnl
BC 59+020	BC 4	2.54	568	568.55	7.11	5.38
BC 59+020	BC 4	2.54	567.5	568.08	1.43	0.48
BC 58+870	BC 3	0.59	571	572.21	0.6	0.32
BC 58+870	BC 3	0.59	571	571.71	0.92	0.32
BC 58+820	BC 2	2.66	574.5	575.66	6.54	4.01
BC 58+820	BC 2	2.66	575	575.95	1.44	0.98
BC 1x1	BC 1	0.29	585	585.7	1.42	1
BC 1x1	BC 1	0.29	585	585.69	1.42	1
58+870-59+020	BC 4	0.1	570.5	570.84	0.59	0.34
58+870-59+020	BC 4	0.1	570	570.77	0.82	0.35
58+820-58+870	BC 3	0.1	573	573.74	1.23	0.34
58+820-58+850	BC 3	0.1	573	573.69	1.49	1.01
58+750-58+820	BC 2	0.59	574	574.75	3.57	3.91
58+750-58+820	BC 2	0.59	574.5	575.66	2.14	1.85
58+720-58+750	BC 2	0.1	576	576.74	4.25	6.21
58+720-58+750	BC 2	0.1	576	576.75	1.15	0.64
58+675-58+720	BC 1	0.29	585	585.69	1.69	0.94
58+675-58+720	BC 1	0.29	585	585.7	1.69	0.94
58+675-58+720	BC 1	0.29	585.4	586.05	1.69	1.63
58+675-58+720	BC 1	0.29	585.4	585.69	0.74	0.6

Berdasarkan Tabel 8 hasil analisis hidraulik pada saluran yang ditinjau, diketahui bahwa debit aliran (Q Total) berada dalam kisaran 0,10 hingga 2,66 meter kubik per detik. Hal ini menunjukkan bahwa saluran memiliki kapasitas aliran yang tergolong kecil hingga sedang. Kecepatan aliran bervariasi cukup signifikan, mulai dari 0,59 meter per detik hingga mencapai 7,11 meter per detik. Kecepatan tertinggi ini terjadi di segmen saluran BC

59+020, yang mengindikasikan adanya potensi aliran deras di bagian hulu.

Dari nilai angka *Froude*, sebagian besar segmen menunjukkan nilai lebih dari 1,0. Artinya, aliran pada saluran ini dominan bersifat superkritis, yaitu aliran dengan kecepatan tinggi dan kedalaman yang relatif dangkal. Hanya beberapa segmen yang menunjukkan aliran subkritis, dengan *Froude number* mendekati atau di bawah

1. Kondisi ini diperkuat dengan nilai slope energi (*Energy Grade Slope*) yang pada beberapa segmen cukup curam, bahkan mencapai lebih dari 2 m/m, sehingga mendorong terjadinya aliran cepat.

Luas penampang aliran (*Flow Area*) yang relatif kecil, berkisar antara 0,17 hingga 2,00 meter persegi, mengindikasikan bahwa saluran ini berada pada skala kecil hingga menengah. Dengan kondisi aliran yang dominan cepat dan sempit, maka terdapat potensi erosi saluran dan limpasan permukaan yang tinggi jika tidak dikendalikan dengan baik.

Secara keseluruhan, kondisi hidraulik saluran menunjukkan bahwa kecepatan aliran yang tinggi dan karakteristik superkritik mendominasi hampir di seluruh segmen. Oleh karena itu, perencanaan teknis perlu mempertimbangkan upaya pengendalian kecepatan, seperti penggunaan struktur peredam energi, agar stabilitas saluran tetap terjaga dan risiko kerusakan akibat erosi dapat diminimalkan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis terhadap kondisi eksisting sistem drainase dan data hidrologi pada lokasi longsoran di ruas Jalan Nasional Dampit–Lumajang STA 58+830 – 58+930, diperoleh beberapa poin penting sebagai dasar pengambilan keputusan teknis. Debit aliran yang terjadi terbagi ke dalam tiga Daerah Aliran Sungai (DAS) akibat topografi yang membentuk cekungan tebing menuju arah jalan yang berbeda. Meskipun debit masing-masing DAS masih berada dalam kapasitas penampungan, pengaruh aliran air terhadap potensi longsor tetap perlu menjadi perhatian utama.

Desain *box culvert* yang diterapkan mempertimbangkan risiko longsoran pada tebing sekitar. Akan tetapi, kapasitas hidrolis terhadap debit banjir perlu ditingkatkan agar mampu mengakomodasi potensi aliran yang lebih besar di masa mendatang. Oleh karena itu, setiap *box culvert* yang baru maupun eksisting memerlukan perencanaan tambahan berupa bak kontrol dan sistem pemeliharaan (*maintenance*) saluran untuk meningkatkan efektivitas dan kemudahan operasionalnya.

Data yang ditampilkan pada Tabel 8 Analisa menunjukkan bahwa dari lima lokasi *box culvert* yang dianalisis, terdapat variasi kondisi mulai dari struktur baru hingga struktur eksisting yang mengalami sumbatan. Hal ini mengindikasikan perlunya penataan ulang dan pembangunan sistem drainase yang lebih terintegrasi dan tahan terhadap risiko longsor. Dengan mempertimbangkan seluruh hasil kajian, direkomendasikan pembangunan kembali sarana sistem drainase pada lokasi terdampak, guna menjamin keamanan struktur jalan serta menjaga kelancaran aliran air permukaan. Tindakan ini penting dilakukan sebagai bagian dari mitigasi risiko dan penguatan infrastruktur jalan nasional terhadap ancaman bencana hidrometeorologi

Daftar Pustaka

[1] R. Q. Coutinho, M.M. Silva, A. N. dos Santos, and W. A. Lacerda, “Geotechnical Characterization and Failure Mechanism of Landslide in Granite Residual

Soil”, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, vol. 145, no. 8, p.1, 2019.

- [2] R. Hidayat, I.P.E.P. Wijaya, and M.D. Munir, “Mekanisme Longsor Akibat Infiltrasi Dari Genangan Air (Studi Kasus Longsor di Lahat, Sumatera Selatan)”, *Jurnal Teknik Hidraulik*, vol. 14, no. 1, p. 1, 2023.
- [3] G. Pamungkas, H.S. Huboyo, and J. Windarta, “Analisis Kondisi Drainase dalam Manajemen Risiko Pengelolaan Lereng Jalan”, *JPII*, vol. 2, no. 6, p. 371, 2024.
- [4] R.W. H. Lee, R.H.C. Law, and D.O.K. Lo, “Importance of surface drainage management to slope performance”, *HKIE Transactions Hong Kong Institution of Engineers*, vol. 25, no. 3, p. 182, 2018.
- [5] E. Prawati and A.K. Juansyah, “Analisis Kapasitas Saluran Drainase Terhadap Banjir Pada Ruas Jalan Rapol - Gang Lambau Kota Metro - Lampung”, *Tapak (Teknologi Aplikasi Konstruksi): Jurnal Program Studi Teknik Sipil*, vol. 11, no. 1, p. 58, 2021.
- [6] I. Ulinuha, Y. Prasetyo, and L. Sabri, “Analisis Spasial Aliran Lahar Menggunakan HEC-HMS dan HEC-RAS Pada Kali Gendol-Opak Kawasan Gunung Merapi”, *Jurnal Teknik*, vol. 4, no. 3, p. 1, 2020.
- [7] B. Yoga Pratama and A. Munandar, “Validasi Perhitungan Kapasitas Saluran Drainase Menggunakan Metode Rasional Modifikasi dengan Software HEC-RAS & SWMM (Studi Kasus: Drainase Jalan Raya Bungbulang, Kabupaten Garut)”, *Reka Racana: Jurnal Teknik Sipil*, vol. 15, no. 4, p. 65, 2023.
- [8] D.E.Z. Sholikha, S. Sutoyo, and M.I. Rau, “Pemodelan Sebaran Genangan Banjir Menggunakan HEC-RAS di Sub DAS Cisadane Hilir”, *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, vol. 7, no. 2, p. 147, 2022.
- [9] A. Sholihati, A. Setiawan, and E. Hartana, “Evaluation of Drainage Channel Capacity In Ancar Drainage System At Mataram”, *Jurnal Teknik Hidraulik*, vol. 11, no. 4, p. 1, 2021.
- [10] P. Ardiansyah, A. Azwarman, and K.R. Amalia, “Analisa Desain Saluran U-Ditch Pada Jl. Sp. Tuan – Mendalo Darat (Sp. Tiga) Tempino Bts. Provinsi Sumsel”, *Jurnal Talenta Sipil*, vol. 5, no. 1, p. 42, 2022.
- [11] A. Sarminingsih, “Pemilihan Metode Analisis Debit Banjir Rancangan Embung Coyo Kabupaten Grobogan”, *Jurnal Rekayasa*, vol. 15, no. 1, p. 1, 2018.
- [12] A. Pradipta, *Analisis Pengaruh Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Debit Limpasan Pada Daerah Aliran Sungai Bondoyudo Kab. Lumajang dengan Metode Rasional*, Jember: Universitas Jember, 2021.
- [13] R. Putera, A. Junaidi, dan A. Junaidi, *Analisis Koefisien Pengaliran Pada Hulu DAS Batang Kuranji dengan Menggunakan Citra Landsat 8 Oli*, Medan: USU, 2022.

- [14] Sunarsi, *Studi Pengembangan Metode Poligon Thiessen dengan Pembobotan Linier Terhadap Bidang Eksak Pada Perhitungan Curah Hujan Rerata Daerah*, Surabaya: ITATS, 2019.
- [15] Z. Arifin and A. Maulidiyah, “Analisa Debit Banjir Rencana DAS Rejoso Menggunakan Metode Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu”, *Jurnal Komposit*, vol. 9, no. 1, p. 17, 2025.
- [16] A. Nurul Khafifah, W. Mustari, and F. Gaffar, *Analisis Hidrolika Sungai Tallo Menggunakan Aplikasi HEC-RAS*, Bandung: UMPAR, 2023.
- [17] M. Jazuli Mustofa, D. Indriana Kusumastuti, and Y. Romdania, “Analisis Hidrologi dan Hidrolika pada Saluran Drainase Ramanuju Hilir Kotabumi (Menggunakan Program HEC-RAS)”, *Jurnal Aksi*, vol. 12, no. 3, p. 65, 2015.

This page is intentionally left blank