



# EVALUASI KAPASITAS SALURAN DRAINASE DALAM MENAMPUNG LIMPASAN HUJAN DAN LIMBAH CAIR DOMESTIK DI JALAN SUKARELA TIMUR – JALAN SURYA HAJI TEMBUNG, PERCUT SEI TUAN, INDONESIA

Galih Al Rasyid<sup>1)</sup>, Daniel Mario Sidabutar<sup>2)</sup> Wisnu Prayogo<sup>3)</sup>, Yuni Yolanda<sup>4)</sup>,  
Rizky Simanjuntak<sup>5)</sup>, Rumillah Harahap<sup>6)</sup>

<sup>1)</sup>Manajemen Konstruksi, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan, Medan, Indonesia  
Email: [galihalrasyid@unimed.ac.id](mailto:galihalrasyid@unimed.ac.id)

<sup>2)</sup>Manajemen Konstruksi, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan, Medan, Indonesia  
Email: [danielsidabutar@unimed.ac.id](mailto:danielsidabutar@unimed.ac.id)

<sup>3)</sup>Pendidikan Teknik Bangunan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan, Medan, Indonesia  
Email: [wisnuprayogo@unimed.ac.id](mailto:wisnuprayogo@unimed.ac.id)

<sup>4)</sup>Pendidikan Teknik Bangunan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan, Medan, Indonesia  
Email: [yuni.yolanda@uts.ac.id](mailto:yuni.yolanda@uts.ac.id)

<sup>5)</sup>Pendidikan Teknik Bangunan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan, Medan, Indonesia  
Email: [Rizky.20simanjuntak71@gmail.com](mailto:Rizky.20simanjuntak71@gmail.com)

<sup>6)</sup>Pendidikan Teknik Bangunan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan, Medan, Indonesia  
Email: [rumi\\_harahap@yahoo.com](mailto:rumi_harahap@yahoo.com)

## Abstract

First abstract sentence introduces the research background information and the problem statement. The second sentence explains the main research objectives and their scopes of study. The third sentence describes the materials, methods, and standard procedures used to conduct the study. The fourth sentence presents key findings and trends that can be observed from the data. The fifth sentence summarizes the discussion regarding those findings and some suggestions for future work.

**Keywords:** Drainage, Projection, channel capacity.

## Abstrak

Ditulis dalam Bahasa Indonesia yang masing-masing maksimal terdiri dari 150-200 kata, yang secara singkat memberikan gambaran permasalahan, tujuan, metode, hasil dan kesimpulan. Diketik satu spasi, kolom tunggal dan dilengkapi kata kunci (maksimal 5 kata kunci). Abstrak tidak berisikan nomor tabel dan gambar, rumus matematika, ataupun referensi. Untuk mempermudah pengerjaan, template ini dapat digunakan dalam penulisan naskah anda.

**Kata Kunci:** Drainase, Proyeksi, kapasitas saluran.



**PENDAHULUAN**

Permasalahan genangan air masih sering terjadi pada kawasan permukiman di wilayah perkotaan, terutama ketika hujan turun dengan intensitas tinggi. Kondisi ini berkaitan dengan kemampuan sistem drainase dalam menampung serta mengalirkan air secara optimal. Perkembangan kawasan permukiman, pertumbuhan jumlah penduduk, serta meningkatnya aktivitas domestik masyarakat menyebabkan volume air yang masuk ke dalam saluran drainase semakin besar. Saluran drainase pada kawasan permukiman tidak hanya menampung limpasan air hujan dari permukaan jalan dan halaman rumah, tetapi juga menerima aliran limbah cair domestik yang berasal dari aktivitas rumah tangga seperti air cucian, air dapur, serta air buangan lainnya. Kondisi tersebut menyebabkan debit aliran yang harus ditampung oleh saluran menjadi lebih besar dibandingkan dengan kondisi awal perencanaan saluran. Apabila kapasitas saluran tidak mampu menampung debit aliran tersebut, air dapat meluap dan menimbulkan genangan pada permukaan jalan maupun lingkungan permukiman di sekitarnya. Permasalahan serupa juga ditemukan pada ruas Jalan Sukarela Timur hingga Jalan Surya Haji yang berada di kawasan Tembung, Kecamatan Percut Sei Tuan, Kota Medan. Berdasarkan pengamatan di lapangan, genangan air sering muncul pada beberapa titik di sepanjang ruas jalan tersebut ketika hujan dengan intensitas cukup tinggi terjadi. Genangan tersebut dapat bertahan dalam waktu tertentu sehingga mengganggu aktivitas masyarakat di sekitar lokasi serta mempengaruhi kelancaran kendaraan yang melintas.

Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas mengenai evaluasi sistem drainase pada kawasan perkotaan dengan berbagai pendekatan analisis. Penelitian oleh Salsabila Aqsha & Diana Suita Harahap (2022), Silaban et al. (2023), serta Fitriyadi & Permana (2024) lebih menekankan pada analisis curah hujan dan perhitungan debit limpasan sebagai dasar dalam mengevaluasi kapasitas saluran drainase. Penelitian oleh Yuliyana Astuti & Fisika Prasetyo Putra (2022) serta Rachel Zandra Singal (2023) juga menunjukkan bahwa analisis hidrologi memiliki peranan penting dalam menentukan kemampuan saluran dalam menampung debit aliran. Penelitian lain yang dilakukan oleh Ageng Subekti, Muhammad Khairiadi, & Muhamad Riswan (2023) serta Erwin Banda & Mukhamad Ilham Arif (2025) menjelaskan bahwa perubahan penggunaan lahan dan perkembangan kawasan perkotaan dapat meningkatkan debit limpasan air yang masuk ke dalam sistem drainase. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian tersebut masih berfokus pada analisis curah hujan dan debit limpasan tanpa mempertimbangkan kondisi fisik saluran drainase di lapangan secara lebih rinci. Selain itu, kontribusi limbah cair domestik yang masuk ke dalam

sistem drainase juga jarang diperhitungkan secara langsung dalam analisis debit aliran, padahal pada kawasan permukiman saluran drainase sering dimanfaatkan sebagai tempat pembuangan limbah rumah tangga. Kondisi tersebut menunjukkan adanya kesenjangan penelitian dalam kajian evaluasi kapasitas sistem drainase yang mempertimbangkan berbagai faktor yang mempengaruhi kinerja saluran secara menyeluruh.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kapasitas saluran drainase pada ruas Jalan Sukarela Timur hingga Jalan Surya Haji di Kecamatan Percut Sei Tuan, Kota Medan. Keterbaharuan penelitian ini terletak pada pendekatan analisis yang tidak hanya mempertimbangkan limpasan air hujan sebagai sumber utama aliran, tetapi juga memasukkan kontribusi limbah cair domestik dari kawasan permukiman di sekitar lokasi penelitian. Selain itu, penelitian ini juga mempertimbangkan kondisi fisik saluran drainase di lapangan seperti sedimentasi, penumpukan sampah, serta kondisi pemeliharaan saluran yang dapat mempengaruhi kemampuan saluran dalam mengalirkan air. Pendekatan ini merujuk pada beberapa penelitian sebelumnya seperti yang dilakukan oleh Hugo S. V. Pasaribu (2023), Ifhan Maulidin (2023), serta Johan Immanuel Sianipar (2022), dengan fokus kajian yang lebih spesifik pada kawasan permukiman di wilayah Percut Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kemampuan saluran drainase eksisting dalam menampung debit limpasan air hujan dan limbah cair domestik. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai kondisi kapasitas saluran drainase yang ada saat ini serta menjadi bahan pertimbangan dalam perencanaan dan pengelolaan sistem drainase pada kawasan permukiman yang memiliki karakteristik serupa.

**Tabel 1.** Penelitian sebelumnya tentang evaluasi drainase perkotaan di Indonesia

No	Lokasi	Jenis Saluran	Panjang Saluran	Curah Hujan	Limbah Cair Domestik	Volume Sedi	Evapotranspirasi	Referensi
1	Jalan Bahagi a By Pass, Kelurahan Sudirejo I, Kecamatan	Sekunder	± 1 km	✓	x	x	x	Salsabila & Diana Suita Harahap (2022)



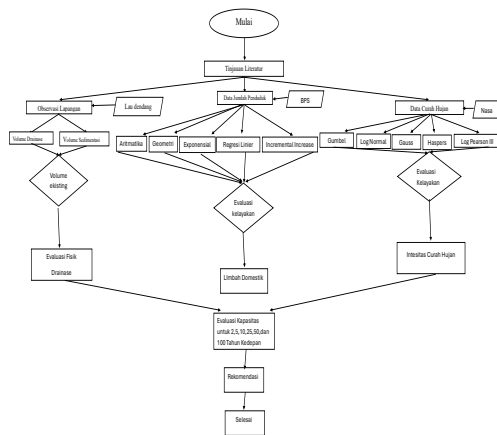
No	Lokasi	Jenis Saluran	Panjang Saluran	Cuaca	Limbah Cair Domestik	Volume Sedi-mentasi	Evapotranspirasi	Referensi
2	Medan Kota	Jalan Karet Raya, Perumnas Simalindgkar, Medan	2,54 km	✓	x	x	x	Silaban, R., dkk (2023)
3		Jalan Malangbong-Wado, Kecamatan Malangbong	± 1 km	✓	x	x	x	Fitriyadi & Permana (2024)
4		Kawasan Pademangan Timur, Kota Jakarta Utara	2,3 km	✓	x	x	x	Yuliyana Astuti & Fisika Prasetyo Putra (2022)
5		Jalan Langsat, Tanjung Selor, Kabupaten Bulungan	2 km	✓	x	x	x	Rachel Zandra Singal (2023)
6		Jalan Taud, Kota Medan, Sumatera Utara	1 km	✓	✓	✓	✓	Hugo S. V. Pasari (2023)
7		Kecamatan Tegal Barat, Tegal Jawa Tengah	6,66 km	✓	✓	✓	✓	Ifhan Maulidin (2023)
8		Jalan Raden Patah, Kota Semarang, Jawa Tengah	1,05 km	✓	x	x	x	Erwin Banda & Mukhamad Ilham Arif (2025)
9		Jalan Perjuangan, Kelurahan Tanjung Rejo, Kecamatan Medan Sunggail	1,2 km	✓	✓	✓	x	Johan Immanuel Sianipar (2022)
10		Jalan Sukarela Timur - Jalan Surya Haji Tembung, Percut Sei Tuan	3,15 km	✓	✓	✓	x	Galih Al Rasyid & Daniel Mario Sidabutar (2026)

**METODOLOGI PENELITIAN**

Metode deskriptif evaluatif diterapkan untuk menilai kinerja saluran drainase yang dipilih melalui beberapa



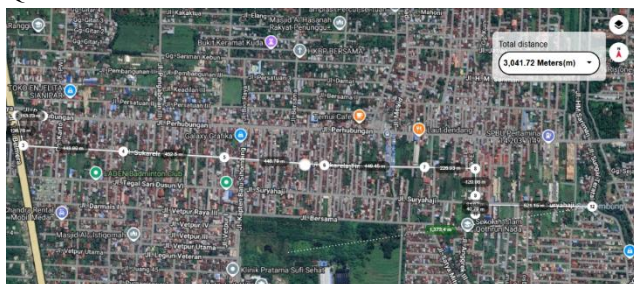
tahapan analisis. Tahapan tersebut meliputi pengumpulan data jumlah penduduk serta data curah hujan selama 10 tahun terakhir, pengukuran dimensi saluran drainase di lapangan, dan proyeksi jumlah penduduk untuk periode 10, 25, 50, hingga 100 tahun ke depan. Selanjutnya dilakukan analisis hidrologi dengan memperhitungkan debit air limbah domestik, limpasan air hujan berdasarkan kala ulang 10, 25, 50, dan 100 tahun, serta mempertimbangkan faktor evapotranspirasi dan infiltrasi. Hasil dari seluruh tahapan tersebut kemudian digunakan untuk mengevaluasi kapasitas dan kinerja saluran drainase. Tahapan prosedur evaluasi saluran drainase pada studi kasus ini diuraikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Prosedur Evaluasi Drainase

### Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di kawasan permukiman di sekitar Jl. Sukarela Timur dan Jl. Suryahaji, Kecamatan Medan Amplas, Kota Medan, Sumatera Utara. Lokasi ini merupakan area perumahan yang cukup padat penduduk dan dilalui oleh saluran drainase terbuka yang berfungsi mengalirkan air dari lingkungan sekitar. Berdasarkan pengukuran pada peta satelit, panjang saluran yang diamati sekitar 3.041,72 meter ( $\pm 3$  km). Kondisi saluran terbuat dari beton dan pada beberapa bagian terlihat terdapat sampah serta air yang berwarna gelap. Hal ini menunjukkan adanya aliran limbah rumah tangga yang masuk ke dalam saluran. Di sekitar lokasi juga terdapat beberapa fasilitas umum seperti LADEN Badminton Club dan Sekolah Islam Qothrun Nada.



Gambar 2. Lokasi Penelitian

### Teknik Analisis Proyeksi Jumlah Penduduk

Teknik analisis data penduduk dalam penelitian ini dilakukan untuk memperkirakan jumlah penduduk pada masa yang akan datang sebagai dasar dalam perencanaan kebutuhan sistem drainase dan perhitungan produksi limbah domestik. Proyeksi jumlah penduduk dihitung menggunakan beberapa metode pertumbuhan penduduk, yaitu metode aritmatika, metode geometrik, metode eksponensial, metode incremental increase, dan metode regresi linear. Setiap metode memiliki asumsi yang berbeda dalam menggambarkan pertumbuhan penduduk sehingga hasil proyeksi dapat dibandingkan untuk memperoleh nilai yang paling mendekati kondisi sebenarnya.

Rumus yang digunakan dalam metode proyeksi penduduk adalah

$$\text{Metode Aritmatika } P_n = P_0 + r \cdot n$$

$$\text{Metode Geometrik } P_n = P_0(1 + r)^n$$

$$\text{Metode Eksponensial } P_n = P_0 e^{rn}$$

$$\text{Metode Incremental Increase } P_n = P_0 + bn + \frac{1}{2}cn^2$$

$$\text{Metode Regresi Linear } Y = a + bt$$

Analisis Produksi Limbah Cair Domestik Setelah jumlah penduduk masa depan diperoleh, langkah berikutnya adalah menghitung debit limbah domestik.

Rumus yang digunakan adalah:

$$Q = \frac{P \times q}{86400} \quad 86400 = \text{jumlah detik dalam 1 hari}$$

### Teknik Analisis Proyeksi Curah Hujan

Teknik analisis proyeksi curah hujan pada penelitian ini dilakukan dengan menganalisis data curah hujan maksimum tahunan untuk memperoleh nilai curah hujan rencana yang digunakan dalam perencanaan sistem drainase. Analisis dilakukan dengan beberapa metode distribusi statistik, yaitu metode Gumbel, Log Pearson Tipe III, Log Normal, Normal, dan Haspers. Metode-metode tersebut digunakan untuk menghitung curah hujan rencana pada beberapa periode ulang, yaitu 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 25 tahun, dan 100 tahun. Periode ulang menunjukkan kemungkinan terjadinya suatu hujan dengan intensitas tertentu dalam jangka waktu tertentu. Hasil analisis ini kemudian digunakan untuk menentukan nilai curah hujan rencana yang akan dipakai dalam perhitungan hidrologi selanjutnya.

Setelah diperoleh nilai curah hujan rencana, dilakukan analisis limpasan permukaan (runoff) untuk mengetahui besarnya debit air hujan yang mengalir ke saluran drainase. Perhitungan runoff menggunakan metode rasional yang mempertimbangkan intensitas hujan, luas daerah tangkapan, dan koefisien limpasan yang menggambarkan kondisi permukaan lahan. Nilai koefisien limpasan ditentukan berdasarkan jenis penggunaan lahan pada daerah



penelitian. Dengan menggunakan parameter tersebut dapat dihitung debit limpasan maksimum yang masuk ke sistem drainase. Hasil perhitungan ini digunakan untuk mengetahui apakah kapasitas saluran drainase yang ada mampu menampung aliran air hujan yang terjadi

1. Metode Gumbel  $X_T = \bar{X} + K_T \cdot S$
2. Metode Log Pearson Tipe III  $\log X_T = \log \bar{X} + K_T \cdot S_{\log X}$
3. Metode Log Normal  $\log X_T = \log \bar{X} + K_T \cdot S_{\log X}$
4. Metode Normal  $X_T = \bar{X} + K_T \cdot S$
5. Metode Haspers  $R_T = R_{24} \left(\frac{T}{T_0}\right)^m$

Intensitas Hujan

$$I = \frac{R}{t}$$

Debit Limpasan (Metode Rasional)

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

### Teknik Analisis Proyeksi Timbulan Dan Volume Sedimen

Teknik analisis proyeksi timbulan dan volume sedimen pada saluran drainase dalam penelitian ini dilakukan untuk mengetahui besarnya endapan sedimen yang terdapat di dalam saluran serta pengaruhnya terhadap kapasitas saluran drainase. Analisis ini dilakukan dengan menghitung volume saluran drainase berdasarkan dimensi saluran yang diperoleh dari hasil pengukuran di lapangan, yaitu panjang, lebar, dan kedalaman saluran. Setelah volume saluran diketahui, langkah selanjutnya adalah menghitung volume sedimen yang mengendap pada dasar saluran dengan menggunakan data ketebalan sedimen yang terdapat pada setiap segmen saluran. Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui besarnya timbulan sedimen yang dapat mengurangi kapasitas saluran drainase. Selanjutnya dilakukan perhitungan volume efektif saluran drainase untuk mengetahui kapasitas saluran yang masih dapat menampung aliran air setelah adanya endapan sedimen.

Hasil analisis ini kemudian digunakan untuk mengevaluasi kondisi saluran drainase serta menentukan kebutuhan pemeliharaan atau pembersihan saluran agar kapasitas aliran tetap optimal.

Rumus metode yang digunakan dalam analisis tersebut adalah sebagai berikut.

$$\text{volume saluran } V = L \times B \times D$$

$$\text{volume sedimen } V_s = L \times B \times D_s$$

$$\text{volume efektif saluran } V_{efektif} = V_{total} - V_{sedimen}$$

### HASIL DAN PEMBAHASAN




#### Volume Drainase Eksisting

Kawasan Jalan Sukarela Timur – Surya Haji merupakan daerah yang rentan terhadap genangan, terutama





saat hujan lebat, karena kondisi lahan yang relatif datar serta sistem drainase yang belum optimal. Berdasarkan hasil pengukuran dimensi saluran drainase pada tujuh segmen dengan panjang masing-masing 450 m, diperoleh volume saluran menggunakan persamaan  $V = L \times B \times D$ , dimana volume pada Segmen I sebesar 330,75 m<sup>3</sup>, Segmen II 258,3 m<sup>3</sup>, Segmen III 140,4 m<sup>3</sup>, Segmen IV 303,75 m<sup>3</sup>, Segmen V 585 m<sup>3</sup>, Segmen VI 1.573,2 m<sup>3</sup>, dan Segmen VII 1.496,25 m<sup>3</sup>, sehingga total volume drainase mencapai 4.687,65 m<sup>3</sup>. Nilai ini menunjukkan bahwa kapasitas saluran meningkat dari hulu ke hilir, yang ditandai dengan dimensi saluran yang semakin besar untuk menampung akumulasi aliran.

Namun, kapasitas tersebut tidak sepenuhnya efektif akibat adanya sedimentasi di dalam saluran. Perhitungan volume sedimen menggunakan persamaan  $V_s = L \times B \times D_s$  menunjukkan bahwa total sedimen mencapai 1.089,90 m<sup>3</sup>, dengan distribusi terbesar berada pada segmen hilir, yaitu Segmen VI sebesar 410,4 m<sup>3</sup> dan Segmen VII sebesar 409,5 m<sup>3</sup>. Akibatnya, kapasitas efektif saluran berkurang menjadi 3.597,75 m<sup>3</sup> atau mengalami penurunan sekitar 23,25% dari kapasitas total. Kondisi ini menunjukkan bahwa sebagian ruang tampung saluran telah terisi oleh endapan, sehingga kinerja drainase menjadi tidak optimal. Oleh karena itu, diperlukan pemeliharaan rutin seperti pengerukan sedimen agar kapasitas saluran dapat kembali berfungsi secara maksimal.

**Tabel 2.** Dimensi Drainase di Titik Segmen I, II, III, IV, V, VI, dan VII

Lokasi		Lebar, I (M)	Kedalaman, D (M)	Ketinggian Sedimen, DS (M)	
Segmen Pengamatan I	Jl. Sukarela Bar., Tembung, 3.61986311 7917191 98.7208398 4315395	0,7	1,05	0,33	
Segmen Pengamatan II	Jl. Sukarela Bar. 43-45 3.61965097 69163843 98.7244789 3023491	0,7	0,82	0,12	
Segmen Pengamatan III	Jl. Sukarela Bar. 74 3.61938864 47583568 98.7280834 838748	0,6	0,52	0,12	



Segmen Pengamatan IV	Jl. Sukarela Tim. 15 3.61915073 88707667 98.7317091 5991068	0,9	0,75	0,02	
Segmen Pengamatan V	Jl. Sukarela Tim. 3.61901221 1363141 98.7354893 9824104	1,30	1	0,15	
Segmen Pengamatan VI	Jl. Suryahaji 114, 3.61760183 95182563 98.737145 66230774	1,90	1,84	0,48	
Segmen Pengamatan VII	Jl. Suryahaji 4, 3.61749744 17997747 98.740762 95644045	1,75	1,90	0,52	

ini menunjukkan bahwa jumlah penduduk cenderung menurun, tetapi tidak terlalu besar.

Secara keseluruhan, hasil proyeksi menunjukkan bahwa jumlah penduduk di daerah ini relatif stabil, namun sedikit menurun dalam jangka panjang. Hal ini terlihat dari hasil proyeksi 25 tahun yang berada di kisaran 16.229–16.234 jiwa, dan pada 100 tahun turun menjadi sekitar 13.984–14.185 jiwa. Karena hasil dari beberapa metode hampir sama, maka data ini dapat digunakan sebagai dasar yang cukup baik untuk perencanaan ke depan, terutama dalam menghitung kebutuhan dan beban pada sistem drainase.

**Tabel 3.** Proyeksi Jumlah Penduduk (Jiwa) pada 10, 25, dan 100 Tahun Mendatang.

Tahun	Aritmatika	Geometri	Ekspensial	Incremental Increase	Regresi linier
2	16.924	16.923	16.923	16.924	16.924
5	16.834	16.832	16.831	16.834	16.834
10	16.684	16.683	16.683	16.684	16.684
25	16.234	16.234	16.229	16.234	16.234
100	13.984	14.185	14.170	13.984	13.984

### Analisis Data Penduduk

Data jumlah penduduk dalam penelitian ini berasal dari BPS Lau Dendang, Kecamatan Percut Sei Tuan, dengan jumlah penduduk awal tahun 2016 sebanyak 16.984 jiwa. Dari data tahun 2016 sampai 2026 terlihat bahwa jumlah penduduk mengalami perubahan yang tidak tetap. Pada tahun 2019 jumlah penduduk sempat meningkat menjadi 18.486 jiwa, kemudian turun cukup besar pada tahun 2020 menjadi 15.048 jiwa, dan setelah itu perlahan meningkat kembali hingga mencapai 16.683 jiwa pada tahun 2026. Secara umum, jika dibandingkan antara tahun awal dan akhir, jumlah penduduk cenderung sedikit menurun.

Untuk mengetahui jumlah penduduk di masa mendatang, digunakan lima metode perhitungan, yaitu metode aritmatika, geometrik, eksponensial, incremental increase, dan regresi linier. Hasil dari kelima metode tersebut tidak jauh berbeda. Pada proyeksi 2 tahun diperoleh sekitar 16.923–16.924 jiwa, pada 5 tahun sekitar 16.831–16.834 jiwa, dan pada 10 tahun sekitar 16.683–16.684 jiwa. Pada metode aritmatika, diperoleh penurunan sebesar -30 jiwa per tahun, sedangkan pada metode geometrik dan eksponensial penurunannya sekitar -0,18% per tahun. Hal

### Debit Air Limbah Domestik

Berdasarkan data jumlah penduduk yang telah diolah, diketahui bahwa jumlah penduduk pada tahun dasar 2026 sebesar 16.683 jiwa. Hasil proyeksi menunjukkan bahwa pada periode 2 tahun jumlah penduduk menjadi 16.924 jiwa, kemudian sedikit menurun menjadi 16.834 jiwa pada 5 tahun, 16.684 jiwa pada 10 tahun, 16.234 jiwa pada 25 tahun, dan 13.984 jiwa pada 100 tahun. Berdasarkan jumlah penduduk tersebut, dilakukan perhitungan debit limbah domestik dengan asumsi sebesar 96 liter/orang/hari. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa debit limbah pada tahun dasar sebesar 1.601.568 liter/hari atau setara dengan 18,54 L/det. Pada proyeksi 2 tahun diperoleh sebesar 1.624.704 liter/hari (18,80 L/det), kemudian pada 5 tahun sebesar 1.616.064 liter/hari (18,70 L/det), pada 10 tahun sebesar 1.601.664 liter/hari (18,54 L/det), pada 25 tahun sebesar 1.558.464 liter/hari (18,04 L/det), dan pada 100 tahun sebesar 1.342.464 liter/hari (15,54 L/det). Debit puncak dihitung dengan faktor 1,5 sehingga pada tahun dasar diperoleh sebesar 27,81 L/det, sedangkan pada proyeksi 2 tahun sebesar 28,20 L/det dan menurun hingga 23,31 L/det pada proyeksi 100 tahun.



Selanjutnya, berdasarkan analisis curah hujan dengan metode Gumbel, diperoleh curah hujan rencana sebesar 115,4 mm pada periode ulang 2 tahun, 137,8 mm pada 5 tahun, 152,6 mm pada 10 tahun, 171,4 mm pada 25 tahun, dan 199,3 mm pada 100 tahun. Curah hujan tersebut kemudian dikonversi menjadi intensitas hujan menggunakan pendekatan  $I = R/24$ , sehingga diperoleh intensitas sebesar 4,81 mm/jam (2 tahun), 5,74 mm/jam (5 tahun), 6,36 mm/jam (10 tahun), 7,14 mm/jam (25 tahun), dan 8,30 mm/jam (100 tahun). Dengan menggunakan metode rasional  $Q = 0,278 \times C \times I \times A$ , dimana  $C = 0,7$  dan  $A = 0,5 \text{ km}^2$ , diperoleh debit limpasan hujan sebesar 0,468 m<sup>3</sup>/det pada periode 2 tahun, 0,558 m<sup>3</sup>/det pada 5 tahun, 0,619 m<sup>3</sup>/det pada 10 tahun, 0,694 m<sup>3</sup>/det pada 25 tahun, dan 0,807 m<sup>3</sup>/det pada 100 tahun.

Debit total dihitung dengan menjumlahkan debit limpasan hujan dan debit limbah domestik. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa pada periode 2 tahun diperoleh debit total sebesar  $0,468 + 0,0188 = 0,487 \text{ m}^3/\text{det}$ , pada periode 5 tahun sebesar  $0,558 + 0,0187 = 0,577 \text{ m}^3/\text{det}$ , pada periode 10 tahun sebesar  $0,619 + 0,0185 = 0,638 \text{ m}^3/\text{det}$ , pada periode 25 tahun sebesar  $0,694 + 0,0180 = 0,712 \text{ m}^3/\text{det}$ , dan pada periode 100 tahun sebesar  $0,807 + 0,0155 = 0,822 \text{ m}^3/\text{det}$ . Dari hasil tersebut terlihat bahwa selisih antara debit limpasan hujan dan debit total relatif kecil, yaitu hanya sekitar 0,015–0,019 m<sup>3</sup>/det, sehingga dapat disimpulkan bahwa kontribusi limbah domestik terhadap debit total tidak terlalu signifikan. Dengan demikian, besarnya debit total lebih banyak dipengaruhi oleh nilai curah hujan, terutama pada periode ulang yang lebih besar.

**Tabel 4.** Produksi Limbah Cair Domestik 2,5,10,25,dan 100 Tahun Mendatang

Periode (Tahun)	Tahun	Populasi (Orang)	QKebutuhanAir (L/orang/hari)	QAirLimbah (L/detik)	QPuncak (L/detik)	QTot (m <sup>3</sup> /detik)
0	20	16.6		1,854×10 <sup>1</sup>		9,65
	26	83				
	20	16.9	96	1,880×10 <sup>1</sup>		
	28	24			2,781	
	20	16.8		1,870×10 <sup>1</sup>	×10 <sup>1</sup>	
5	31	34		10 <sup>1</sup>		
	20	16.6		1,854×10 <sup>1</sup>	2,820	7,78
10	2	36		10 <sup>1</sup>	×10 <sup>1</sup>	
					2,805	
					×10 <sup>1</sup>	
					2,78	
					1×10 <sup>1</sup>	8,90

					9,65
25	20	16.2		1,804×10 <sup>1</sup>	1,05
					×10 <sup>-1</sup>
100	21	13.9		1,554×10 <sup>1</sup>	1,18
	26	84			×10 <sup>-1</sup>

**Intesitas Curah Hujan**

Berdasarkan pengolahan data curah hujan selama 10 tahun (2016–2025) dari NASA di daerah Lau Dendang, diperoleh curah hujan rencana yang meningkat seiring bertambahnya periode ulang. Dengan metode Gumbel, nilai curah hujan rencana yaitu 115,4 mm (T=2 tahun), 152,6 mm (T=10 tahun), 171,4 mm (T=25 tahun), dan 199,3 mm (T=100 tahun) . Terjadi kenaikan sebesar 83,9 mm dari periode ulang 2 tahun ke 100 tahun, yang menunjukkan peningkatan potensi hujan ekstrem.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa intensitas hujan cenderung meningkat pada periode ulang yang lebih besar. Pada periode ulang kecil (2 tahun), curah hujan sebesar 115,4 mm masih tergolong

sedang, sehingga intensitas hujan relatif lebih rendah. Namun pada periode ulang 10 tahun (152,6 mm) mulai terjadi peningkatan intensitas, dan semakin signifikan pada 25 tahun (171,4 mm) hingga

100 tahun (199,3 mm), dimana hujan yang terjadi dapat dikategorikan sebagai hujan dengan intensitas tinggi.

**Tabel 5.**Debit Banjir Rencana terhadap Daya Tampung Drainase

Periode (Tahun)	Tahun	Debit Banjir (m <sup>3</sup> /s)	Qdrainase (m <sup>3</sup> /s)	keterangan
0	2026	0,62		Memenuhi
2	2028	0,47		Memenuhi
5	2031	0,56	3,597	Memenuhi
10	2036	0,62		Memenuhi
25	2051	0,70		Memenuhi
100	2126	0,81		Menenuhi



**Tabel 6.** Hasil Analisis Curah Hujan Rencana Berdasarkan Metode Distribusi Probabilitas

No	Metode Analisis	2 Tahun	5 Tahun	10 Tahun	25 Tahun	100 Tahun
1	Gumbel	115,4	137,8	152,6	171,4	199,3
2	Log Pearson Tipe III	117,1	135,4	145,2	155,8	169,4
3	Log Normal	116,3	134,8	145,5	157,6	174,2
4	Log Normal (Gauss)	117,5	133,1	141,3	149,8	161,2
5	Haspers	119,8	142,5	158,2	176,1	201,5

Berdasarkan hasil perhitungan debit banjir rencana menggunakan metode rasional dengan luas daerah tangkapan 0,5 km<sup>2</sup> dan koefisien limpasan 0,7, diperoleh bahwa nilai debit mengalami peningkatan seiring bertambahnya periode ulang pada seluruh metode analisis.

Pada metode Gumbel, debit banjir meningkat dari 0,47 m<sup>3</sup>/det (T=2 tahun) menjadi 0,81 m<sup>3</sup>/det (T=100 tahun). Sementara itu, metode Log Pearson Tipe III menghasilkan debit pada kisaran 0,48–0,69 m<sup>3</sup>/det, dan metode Log Normal berkisar antara 0,47–0,71 m<sup>3</sup>/det. Perbedaan nilai antar metode relatif kecil, namun metode Gumbel cenderung memberikan nilai debit yang lebih besar.

Peningkatan debit ini menunjukkan bahwa semakin besar periode ulang, maka semakin tinggi potensi limpasan yang terjadi. Pada periode ulang ≥25 tahun, debit banjir telah mencapai kisaran 0,64–0,81 m<sup>3</sup>/det, sehingga perlu menjadi pertimbangan dalam evaluasi dan perencanaan kapasitas sistem drainase agar mampu mengalirkan debit secara optimal.

## KESIMPULAN

Perubahan iklim telah membawa tantangan serius terhadap ketahanan infrastruktur transportasi, terutama akibat meningkatnya frekuensi dan intensitas banjir di berbagai wilayah. Dampak ini menimbulkan gangguan signifikan pada fungsi dan kinerja sistem transportasi yang menjadi tulang punggung aktivitas sosial ekonomi masyarakat (IPCC, 2022). Oleh karena itu, dibutuhkan model manajemen risiko yang tidak hanya bersifat reaktif, tetapi juga adaptif dan berbasis prediksi untuk

mengantisipasi perubahan pola iklim di masa depan (Nasir et al., 2021).

Model manajemen risiko yang terintegrasi harus menggabungkan elemen identifikasi ancaman, analisis kerentanan, serta strategi mitigasi berbasis data spasial dan klimatologis. Pendekatan multidisipliner dengan dukungan teknologi seperti GIS, simulasi hidrologi, serta kecerdasan buatan (AI) dapat memperkuat proses pengambilan keputusan dan perencanaan infrastruktur yang tangguh terhadap bencana (Hinkel et al., 2021; Rahman & Chien, 2020). Selain itu, kebijakan publik dan perencanaan tata ruang harus sejalan dengan prinsip pembangunan berkelanjutan untuk memastikan sistem transportasi tetap berfungsi optimal di tengah tekanan iklim ekstrem (Aven, 2015).

Dengan demikian, pengembangan model manajemen risiko infrastruktur transportasi terhadap dampak perubahan iklim dan banjir menjadi kebutuhan strategis bagi pemerintah, akademisi, dan sektor swasta. Kolaborasi lintas sektor serta penerapan standar manajemen risiko internasional seperti ISO 31000:2018 akan memperkuat ketahanan infrastruktur terhadap bencana. Ke depan, penelitian lanjutan perlu difokuskan pada validasi model risiko berbasis lokal serta integrasi kebijakan mitigasi iklim ke dalam rencana pembangunan infrastruktur nasional (BNPB, 2023; World Bank, 2020).

## DAFTAR PUSTAKA

- A. Altun, "Understanding hypertext in the context of reading on the web: Language learners' experience," *Current Issues in Education*, vol. 6, no. 12, July 2003. [Online]. Available: <http://cie.ed.asu.edu/volume6/number12/>. [Accessed Dec. 2, 2004] (Example for an e-journal article extracted from the internet)
- B. Klaus and P. Horn, *Robot Vision*. Cambridge, MA: MIT Press, 1986 (Example citation for books)
- G. Veruggio, "The EURON roboethics roadmap," in *Proc. Humanoids '06: 6th IEEE-RAS Int. Conf. Humanoid Robots*, 2006, pp. 612–617, doi: 10.1109/ICHR.2006.321337 (Example for conference paper or proceedings with doi number)
- H. K. Edwards and V. Sridhar, "Analysis of software requirements engineering exercises in global virtual team setup," *Journal of Global Information Management*, vol. 13, no. 2, p. 21+, April-June 2005. [Online]. Available: [Academic OneFile, http://find.galegroup.com](http://find.galegroup.com). [Accessed May 31, 2005] (Example for an e-journal article extracted from a database)
- IEEE Criteria for Class IE Electric Systems, IEEE Standard 308, 1969 (Example for a standard)



- J. H. Davis and J. R. Cogdell, "Calibration program for the 16-foot antenna," *Elect. Eng. Res. Lab., Univ. Texas, Austin, Tech. Memo. NGL-006-69-3*, Nov. 15, 1987 (Example for technical report)
- J. O. Williams, "Narrow-band analyzer," PhD dissertation, Dept. Elect. Eng., Harvard Univ., Cambridge, MA, 1993 (Example for a thesis)
- J. P. Wilkinson, "Nonlinear resonant circuit devices," U.S. Patent 3 624 125, July 16, 1990 (Example for a patent)
- J. Riley, "Call for a new look at skilled migrants," *The Australian*, p. 35, May 31, 2005. [Online]. Available: Factiva, <http://global.factiva.com>. [Accessed May 31, 2005] (Example for newspaper article)
- J. U. Duncombe, "Infrared navigation - Part I: An assessment of feasibility," *IEEE Trans. Electron. Devices*, vol. ED-11, pp. 34-39, Jan. 1959 (Example for a journal article)
- L. Bass, P. Clements, and R. Kazman, *Software Architecture in Practice*, 2nd ed. Reading, MA: Addison Wesley, 2003. [E-book] Available: Safari e-book (Example for e-books)
- L. Liu and H. Miao, "A specification-based approach to testing polymorphic attributes," in *Formal Methods and Software Engineering: Proceedings of the 6th International Conference on Formal Engineering Methods, ICFEM 2004, Seattle, WA, USA, November 8-12, 2004*, J. Davies, W. Schulte, M. Barnett, Eds. Berlin: Springer, 2004. pp. 306-19 (Example for a conference paper)
- L. Stein, "Random patterns," in *Computers and You*, J. S. Brake, Ed. New York: Wiley, 1994, pp. 55-70 (Example for a chapter in a book)
- T. Brunswiler et al., "Formulation of percolating thermal underfills using hierarchical self-assembly of microparticles and nanoparticles by centrifugal forces and capillary bridging," *J. Microelectron. Electron. Packag.*, vol. 9, no. 4, pp. 149-159, 2012, doi: 10.4071/imaps.357 (Example for a journal article with doi number)
- T. J. van Weert and R. K. Munro, Eds., *Informatics and the Digital Society: Social, ethical and cognitive issues: IFIP TC3/WG3.1&3.2 Open Conference on Social, Ethical and Cognitive Issues of Informatics and ICT*, July 22-26, 2002, Dortmund, Germany. Boston: Kluwer Academic, 2003 (Example for conference proceedings)