BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan umum

Drainase (*drainage*) yang berasal dari kata kerja *'to drain'* yang berarti mengeringkan atau mengalirkan air, adalah terminologi yang digunakan untuk menyatakana sistim-sistim yang berkaitan dengan penanganan masalah kelebihan air, baik diatas maupun dibawah permukaan tanah. Semua hal yang menyangkut kelebihan air yang berada di kawasan kota sudah pasti dapat menimbulkan permasalahan drainase yang cukup komplek. Dengan semakin kompleknya permasalahan drainase di perkotaan, maka di dalam perencanaan dan pembangunan bangunan air untuk drainase perkotaan, keberhasilannya tergantung pada kemampuan masing-masing perencana [7].

Kinerja suatu saluran drainase dinilai kurang baik apabila masih terdapat banyak titik genangan saat terjadi hujan dengan intensitas tinggi. Hal ini menandakan sistem drainase tersebut belum mampu menjalankan fungsinya dalam mengalirkan limpasan air secara efektif [5]. Kinerja saluran drainase dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, baik yang bersifat teknis maupun non-teknis. Faktor-faktor teknis meliputi kapasitas saluran, desain sistem drainase, kualitas material yang digunakan, serta frekuensi dan kualitas pemeliharaan. Selain itu, faktor eksternal seperti perubahan pola curah hujan akibat perubahan iklim dan pertumbuhan jumlah penduduk yang semakin pesat juga berkontribusi terhadap peningkatan beban pada sistem drainase perkotaan [3].

Perubahan iklim global telah membawa dampak signifikan terhadap pola curah hujan, menyebabkan peningkatan intensitas hujan di berbagai wilayah. Kondisi ini menuntut pemahaman yang lebih mendalam mengenai karakteristik hujan dan dampaknya terhadap sistem drainase. Ada beberapa faktor yang dapat menyebabkan terjadinya curah hujan yang cukup tinggi di suatu wilayah, antara lain:

1. Kondisi Topografi

   Wilayah dengan topografi pegunungan sering kali mengalami hujan tinggi karena udara lembap yang naik ke atas pegunungan akan mengental dan menghasilkan hujan, suatu proses yang dikenal dengan nama hujan orografis.

2. Siklon Tropis

   Wilayah yang terletak di sekitar daerah khatulistiwa sering kali terpengaruh oleh siklon tropis, yang membawa hujan deras dan angin kencang dalam jumlah besar.

3. Perubahan Musim

   Perubahan musim, seperti peralihan antara musim hujan dan musim kemarau, dapat menyebabkan peningkatan curah hujan secara signifikan. Di daerah tropis, musim hujan sering kali membawa curah hujan tinggi dalam waktu singkat.

4. Sistem Cuaca Frontal

   Di beberapa daerah, pertemuan antara massa udara panas dan dingin dapat menyebabkan terjadinya hujan deras, fenomena ini disebut hujan fronta. Proses ini sering terjadi pada wilayah yang dipengaruhi oleh perbedaan suhu dan tekanan udara yang sangat besar [8].

2.2 Konsep Perhitungan

2.2.1 Analisis Hidrologi (Debit Limpasan Rencana)

A. Analisis Distribusi Frekuensi Hujan Rencana Dengan Beberapa Metode

Analisis distribusi frekuensi dalam hidrologi teoretis bertujuan untuk memprediksi probabilitas kejadian curah hujan di masa mendatang berdasarkan rekaman data historis masa lalu. Pengolahan awal ini dilakukan dengan mengumpulkan data curah hujan harian maksimum tahunan (*annual maximum series*) yang kemudian dianalisis menggunakan metode statistik untuk menentukan parameter dasar seperti nilai rata-rata, standar deviasi, koefisien variasi, koefisien kemiringan, dan koefisien kurtosis. Parameter statistik tersebut bertindak sebagai indikator utama untuk menguji karakteristik sebaran data terhadap persyaratan spesifik dari empat metode distribusi teoretis yang umum digunakan dalam perencanaan hidrologi yaitu :

1. Metode Normal

$$X_T = \bar{X} + K_T \; x \; S \tag{2.1}$$

Keterangan:

- X_T= Perkiraan nilai curah hujan rencana untuk periode ulang T tahun (mm)
- $\bar{X}$ = Nilai rata-rata dari data curah hujan (mm)

- K_T= Faktor frekuensi atau nilai variabel standar
- S = Nilai simpangan baku (*standard deviation*) dari data hujan

2. Metode Log Normal

$$log\ X_T = \overline{\log X} + K_T\ x\ S_{log\ X} \quad (2.2)$$

Keterangan:

- $log\ X_T$= Perkiraan nilai logaritma curah hujan rencana periode ulang T tahun
- $\overline{\log X}$ = Nilai rata-rata dari logaritma data curah hujan
- K_T= Faktor frekuensi atau nilai variabel standar
- $S_{log\ X}$ = Nilai simpangan baku dari logaritma data hujan

3. Metode Gumbel (Ekstrem Tipe I)

$$X_T = \bar{X} + \frac{(Y_T - Y_n)}{S_n} + S \quad (2.3)$$

Keterangan:

- X_T= Perkiraan nilai curah hujan rencana untuk periode ulang T tahun (mm)
- $\bar{X}$ = Nilai rata-rata dari data curah hujan (mm)
- Y_T= Nilai reduksi Gauss sebagai fungsi dari periode ulang T
- Y_n= Nilai rata-rata dari reduksi Gauss (*reduced mean*)
- S_n= Nilai simpangan baku dari reduksi Gauss (*reduced standard deviation*)
- S = Nilai simpangan baku dari data hujan

4. Metode Log Pearson Tipe III

$$log\ X_T = \overline{\log X} + K\ x\ S_{log\ X} \quad (2.4)$$

Keterangan:

- $log\ X_T$= Perkiraan nilai logaritma curah hujan rencana periode ulang T tahun
- $\overline{\log X}$ = Nilai rata-rata dari logaritma data curah hujan
- K = Faktor frekuensi yang nilainya tergantung pada koefisien kemencengan (*skewness*)
- $S_{log\ X}$ = Nilai simpangan baku dari logaritma data hujan

Analisis pemilihan metode distribusi frekuensi tidak dapat ditentukan hanya berdasarkan hasil perhitungan matematis proyeksi nilai curah hujan semata. Oleh karena itu, diperlukan suatu pengujian statistik yang disebut dengan uji kesesuaian distribusi (*goodness of fit test*). Pengujian ini secara teoretis bertujuan untuk mengetahui apakah persamaan distribusi frekuensi

yang dipilih (Normal, Log Normal, Gumbel, atau Log Pearson Tipe III) dapat mewakili dan sesuai dengan sifat sebaran data historis yang sebenarnya.

Secara umum, konsep pengujian kesesuaian parameter ini dilakukan dengan mengukur seberapa besar derajat penyimpangan atau tingkat kesalahan (*error*) antara garis distribusi teoritis dengan data pengamatan aktual. Semakin kecil nilai simpangan yang dihasilkan oleh suatu metode distribusi, maka semakin tinggi tingkat keandalan metode tersebut untuk digunakan dalam memproyeksikan nilai curah hujan rencana. Terdapat 2 (dua) metode pengujian kesesuaian parameter distribusi yang umum digunakan dalam analisis hidrologi, yaitu :

i. Uji Chi-Kuadrat (*Chi-Square Test*)

$$X^2 = \sum_{i=1}^{G} \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (2.5)$$

Keterangan:

- X^2= Nilai Chi-Kuadrat hitung
- O_i = Jumlah data pengamatan pada kelas ke-i (nilai empiris)
- E_i = Jumlah data teoritis pada kelas ke-i
- G = Jumlah kelas kelompok data

ii. Uji Smirnov-Kolmogorov

$$D_{maks} = \max\left|P_{teoritis} - P_{empiris}\right| \quad (2.6)$$

Keterangan:

- D_{maks}= Selisih penyimpangan maksimum antara peluang teoritis dan empiris
- $P_{teoritis}$ = Peluang distribusi teoritis dari metode yang diuji
- $P_{empiris}$ = Peluang distribusi empiris data pengamatan

B. Analisis Intensitas Hujan

Hubungan kelulusan dari kedua uji kesesuaian di atas menjadi dasar krusial, karena hanya nilai curah hujan rencana periode ulang (R_{24}) dari metode distribusi terbaik dan paling valid yang berhak digunakan sebagai input utama untuk menghitung intensitas curah hujan (I).

Untuk mencari nilai Intensitas Curah Hujan (I), biasanya digunakan Rumus Mononobe jika data hujan yang tersedia adalah data curah hujan harian maksimum (R_{24}):

$$I = \frac{R_{24}}{24} \; x \; \left(\frac{24}{tc}\right)^{2/3} \qquad (2.7)$$

Keterangan:

- I = Intensitas curah hujan selama waktu konsentrasi (mm/jam)
- R_{24} = Curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm)
- Angka 24 = merupakan konstanta tetap (jumlah jam dalam satu hari)
- tc = Waktu konsentrasi (jam)

Nilai intensitas curah hujan ini menggambarkan tingkat kelebatan air hujan yang jatuh membebani permukaan, di mana besarnya nilai intensitas akan berbanding terbalik dengan waktu konsentrasi (tc). Waktu konsentrasi tersebut mempresentasikan durasi yang diperlukan oleh air hujan untuk mengalir dari titik terjauh di dalam daerah tangkapan hingga mencapai titik outlet saluran drainase samping jalan yang sedang ditinjau.

C. Analisis Koefisien Limpasan

Ketika kekuatan pancaran air hujan telah terukur melalui nilai intensitas, parameter tersebut harus dikaitkan dengan faktor kondisi lingkungan penyerapan yaitu nilai koefisien pengaliran (C). Koefisien pengaliran merupakan angka konstan tak berdimensi yang bertindak sebagai faktor pengali hambatan untuk menunjukkan rasio antara volume air yang mengalir di atas permukaan tanah terhadap total volume air hujan yang jatuh. Secara teoretis, hubungan ini menjelaskan bahwa tidak semua intensitas air hujan yang jatuh akan berubah menjadi limpasan permukaan karena sebagian akan hilang melalui proses infiltrasi ke dalam tanah, evaporasi, serta intersepsi oleh vegetasi.

Penentuan parameter nilai Koefisien Pengaliran (C) dalam penelitian ini merujuk pada ketentuan Pedoman Desain Drainase Jalan (No. 15/P/BM/2021) yang dikeluarkan melalui Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga Nomor 23/SE/Db/2021.

Mengingat karakteristik tata guna lahan pada daerah tangkapan air di ruas Simp. Santur – SMEA Talawi bersifat heterogen, maka digunakan perhitungan Koefisien Pengaliran Gabungan berdasarkan proporsi luas penutup lahan [9]. Besaran nilai koefisian pengaliran yang dapat digunakan sebagai berikut :

Tabel 2.1 Nilai Koefisien Pengaliran (C) Berdasarkan Karakteristik Permukaan

Diskripsi lahan / karakter permukaan	Koefisien aliran, C
Perkerasan	
• aspal dan beton	0,70 – 0,95
• batu bata, paving	0,50 – 0,70
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
Taman tempat bermain	0,10 – 0,25
Taman, pekuburan	0,10 – 0,25
Hutan	
• datar, 0 – 0.5 %	0.10-0.40
• bergelombang, 5 – 10%	0.25-0.50
• berbukit, 10-30 %	0.30-0.60

Sumber: Pedoman Desain Drainase Jalan (No. 15/P/BM/2021)

Berdasarkan Tabel 2.1 nilai C di lapangan tidak selalu sama tergantung tata guna lahan, nilai C yang digunakan dalam perhitungan adalah nilai C rata-rata. Cara untuk menentukan nilai C rata-rata dilakukan dengan rumus berikut :

$$C = \frac{\sum_{1-n}^{n} A_{\text{i}}\, x\, C_{\text{i}}}{\sum_{1-n}^{n} A_{\text{i}}} \quad (2.8)$$

Keterangan :

C = koefisien pengaliran rata-rata,

Ci = koefisien pengaliran tiap-tiap tata guna tanah

Ai = luas tiap-tiap tata guna tanah (km2)

Integrasi antara besarnya intensitas hujan dan faktor hambatan resapan permukaan tanah tersebut kemudian harus diakumulasikan ke dalam luasan ruang lingkup wilayah yang menampungnya, yaitu luas daerah tangkapan air (*catchment area* atau *drainage basin*). Dalam perencanaan drainase jalan raya, daerah tangkapan air dipahami sebagai suatu wilayah daratan yang luasan dan batas-batas topografinya berfungsi untuk menampung, menyalurkan, dan mengalirkan air hujan yang jatuh di atasnya menuju ke satu titik outlet saluran samping jalan yang ditinjau.

Secara teoretis, besarnya luasan ini berbanding lurus dengan volume limpasan air; semakin luas daerah tangkapan airnya, maka semakin besar pula akumulasi volume air hujan yang akan berkumpul dan membebani kapasitas saluran drainase. Batas dari suatu daerah tangkapan air ditentukan berdasarkan titik-titik elevasi tertinggi (garis punggung bukit atau batas topografi) yang memisahkan aliran air ke dua arah yang berbeda. Perhitungan matematis terhadap total luasan wilayah di dalam batas topografi tersebut dilakukan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{A} = \sum_{i=1}^{n} a_i \quad (2.9)$$

Keterangan:

- A = Luas total daerah tangkapan air (km² atau m²)
- a_i = Luas parsial atau sub-bagian area tangkapan air ke-I (km² atau m²)
- n = Jumlah total sub-bagian area tangkapan air

D. Analisis Debit Banjir Rencana Dengan Beberapa Metode

Sebagai tahapan akhir, seluruh jalinan parameter yang telah dihitung sebelumnya secara linier disatukan untuk menghasilkan keluaran berupa kuantitas volume air per detik. Hubungan kausalitas ini menyatakan bahwa perkalian antara besarnya nilai koefisien pengaliran (C) yang mewakili

karakteristik lahan, intensitas curah hujan (I) yang mewakili faktor iklim, dan luas daerah tangkapan air (A) yang mewakili faktor sirkulasi ruang topografi, akan menghasilkan total nilai debit limpasan permukaan rencana (Qr). Untuk luas daerah tangkapan air yang relatif kecil (kurang dari 500 hektar) seperti pada drainase jalan raya, hubungan matematis ketiga parameter tersebut diselesaikan menggunakan pendekatan Metode Rasional melalui persamaan berikut :

$$Qr = 0{,}278 \times C \times I \times A \quad (2.10)$$

Keterangan:

- Qr = Debit limpasan permukaan rencana (m^3/det)
- Angka 0,278 = Merupakan angka konstanta tetap. Angka ini sifatnya mutlak dan tidak berubah.
- C = Koefisien pengaliran (tanpa satuan, nilainya tergantung jenis permukaan lahan)
- I = Intensitas curah hujan selama waktu konsentrasi (mm/jam)
- A = Luas daerah tangkapan air atau *catchment area* (km^2)

2.2.2 Analisis Hidrolika (Kapasitas Saluran Eksisting)

Analisis hidrolika dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan atau kapasitas nyata dari suatu penampang saluran drainase dalam mengalirkan air limpasan. Di dalam perencanaan drainase jalan raya, aliran air di dalam saluran samping umumnya dikategorikan sebagai aliran saluran terbuka (*open channel flow*), di mana air mengalir dengan permukaan bebas yang berhubungan langsung dengan udara luar. Untuk menentukan kapasitas tampung total suatu saluran, analisis teoretis dilakukan secara bertahap yang diawali dengan penentuan parameter kecepatan aliran terlebih dahulu. Dalam kondisi aliran seragam (*uniform flow*), nilai kecepatan rata-rata pergerakan air di dalam saluran tidak diukur secara langsung, melainkan diturunkan secara teoretis menggunakan pendekatan Persamaan Manning sebagai berikut :

$$V = \frac{1}{n} x\ R^{2/3} x\ S^{1/2} \quad (2.11)$$

Keterangan:

- V = Kecepatan aliran di dalam saluran (m/det)

- n = Koefisien kekasaran Manning (tergantung bahan saluran, misalnya beton, pasangan batu, atau tanah)
- R = Jari-jari hidrolis saluran (m), di mana $R = \frac{As}{P}$ (As = Luas penampang basah, P = Keliling basah)
- S = Kemiringan dasar saluran

Parameter pertama yang harus ditentukan adalah nilai koefisien kekasaran Manning (n), yang merupakan konstanta tak berdimensi yang nilainya ditentukan berdasarkan karakteristik fisik dan jenis bahan yang membentuk dinding serta dasar saluran drainase. Secara teoritis, besarnya nilai n ini didapatkan dengan merujuk pada Tabel Standar Koefisien Kekasaran Manning yang telah ditetapkan dalam literatur hidrolika.

Setelah koefisien kekasaran ditentukan, tahapan analisis dilanjutkan dengan menghitung nilai jari-jari hidrolis (R) merupakan parameter geometri penampang basah yang menyatakan rasio antara luas penampang basah (As) dengan keliling basah saluran (P). Nilai ini didapatkan murni dari hasil perhitungan matematis menggunakan rumus geometri baku (R = As / P). Keliling basah (P) itu sendiri merupakan panjang garis batas kontak langsung antara dinding serta dasar penampang saluran dengan air yang mengalir di dalamnya.

Bersamaan dengan parameter geometri tersebut, nilai kemiringan longitudinal dasar saluran (S) juga harus ditentukan sebagai parameter penurunan elevasi searah memanjang saluran yang berfungsi menggerakkan air secara gravitasi tanpa adanya tekanan. Secara teoretis, nilai desimal kemiringan ini diperoleh melalui perhitungan rasio beda tinggi elevasi antara titik hulu dan titik hilir penampang saluran terhadap panjang total jarak longitudinal saluran yang ditinjau (ΔH/L).

Setelah kecepatan aliran (V) dan luas penampang (As) diketahui, maka Kapasitas Saluran Eksisting (Qs) dapat dihitung dengan rumus kontinuitas:

$$Qs = As \times V \qquad (2.12)$$

Keterangan:

- Qs = Kapasitas debit saluran eksisting (m^3/detik)

- As = Luas penampang basah saluran (m^2)
- V = Kecepatan rata-rata aliran di dalam saluran (m/detik)

2.3 Metode yang dipakai

Untuk menilai kondisi kerusakan jalan pada perkerasan lentur di lokasi penelitian, metode yang digunakan adalah Metode SDI (*Surface Distress Index*). Metode ini merujuk pada standar Direktorat Jenderal Bina Marga yang menilai kondisi jalan berdasarkan pengamatan visual terhadap beberapa jenis kerusakan utama di lapangan [10].

i. Parameter Penilaian SDI

Penilaian dengan metode SDI didasarkan pada 4 (empat) parameter kerusakan utama sebagai berikut :

Tabel 2.2 Parameter Penilaian Surface Distress Index (SDI)

No.	Parameter Kerusakan	Definisi / Cara Pengamatan (Per Segmen 100 Meter)	Kategori / Ukuran
1	Persentase Luas Retak (*Cracking*)	Menilai seberapa luas area permukaan jalan yang mengalami keretakan dalam satu segmen pengamatan.	Dihitung dalam persen (%) terhadap luas total segmen.
2	Lebar Retak	Menilai ukuran celah atau lebar bukaan dari keretakan yang paling dominan pada segmen jalan.	* Retak Halus: $< 1 mm * Retak Sedang: 1 - 5 mm * Retak Lebar: > 5 mm
3	Jumlah Lubang (*Potholes*)	Menghitung jumlah total cacat permukaan berupa mangkuk/lubang yang ada di sepanjang segmen jalan.	Dihitung berdasarkan jumlah total lubang yang ditemukan.
4	Kedalaman Alur Bekas Roda (*Rutting*)	Mengukur kedalaman cekungan atau amblasnya permukaan aspal akibat jejak roda kendaraan.	Diukur dalam satuan sentimeter (cm) pada alur roda terdalam.

Sumber : Panduan Survai Kondisi Jalan (Nomor : Smd-03/Rcs, 2005)

Tabel 2.2 memuat 4 (empat) parameter utama yang digunakan dalam melakukan penilaian kondisi fungsional dan struktural perkerasan jalan per segmen 100 meter. Setiap parameter di atas memiliki bobot nilai (*score*) tersendiri yang nantinya akan dijumlahkan untuk mendapatkan nilai total SDI pada masing-masing segmen jalan.

2.4 Kajian Penelitian Terdahulu

Penelitian ini dilakukan dengan merujuk pada beberapa hasil penelitian terdahulu yang memiliki relevansi dengan permasalahan drainase dan kerusakan jalan. Ringkasan kajian terdahulu disajikan dalam tabel berikut ini :

Tabel 2.3 Ringakasan Kajian Terdahulu

No	Peneliti (Tahun)	Judul Penelitian	Metode	Hasil Utama
1	Melda Fajra (2017)	Analisis Kelayakan dan Optimalisasi Sistem Drainase Daerah Tangsi Tanah Lapang, Sawahlunto.	Survei lapangan, Analisis Hidrologi & Hidrolika.	Kapasitas drainase di Sawahlunto tidak memadai untuk menampung debit puncak, sehingga diperlukan redimensi saluran [11].
2	Rustan, dkk. (2020)	Kinerja Saluran Drainase Terhadap Genangan Air Pada Bahu Jalan D. I. Panjaitan Menuju Bundaran Pesawat Lepo-Lepo	Analisis Frekuensi (Log Pearson III, Gumbel) & Kapasitas Penampang	Genangan dipicu oleh curah hujan tinggi serta faktor non-teknis seperti sedimentasi dan sampah yang menyumbat saluran [5].
3	Tangibali, dkk. (2025)	Pengaruh Limpasan Air Drainase Terhadap Tingkat Kerusakan	Analisis Hidrologi (Metode Rasional) &	Ditemukan hubungan linier antara drainase yang buruk dengan tingginya nilai SDI

Berlanjut …….

Lanjutan Tabel 2.3 :

No	Peneliti (Tahun)	Judul Penelitian	Metode	Hasil Utama
		Permukaan Jalan Di Desa To'lemo Kecamatan Lamasi Timur Kabupaten Luwu	Survei Kondisi Jalan (SDI).	(>150), yang dikategorikan sebagai Rusak Berat [12].
4	Rahayu dan Lizar (2025)	Pengaruh Genangan Air Terhadap Kerusakan Jalan Aspal (AC-WC)	Pengujian Laboratorium (Metode Marshall).	Perendaman aspal AC-WC dalam waktu lama (30 hari) menurunkan nilai stabilitas dan meningkatkan porositas aspal secara signifikan [6].

Berdasarkan pemaparan penelitian terdahulu pada Tabel 2.3, terdapat korelasi yang sangat kuat antara buruknya sistem pembuangan air (*drainage system*) dengan percepatan laju kerusakan lapis perkerasan aspal. Penelitian laboratrium membuktikan secara struktural bahwa fenomena genangan dalam waktu lama menggradasi nilai stabilitas Marshall pada aspal AC-WC [6]. Hal tersebut sejalan dengan studi lapangan yang mengonfirmasi bahwa luapan air akibat saluran pembuang yang tidak memadai memicu lonjakan nilai *Surface Distress Index* (SDI) hingga kategori rusak berat (SDI > 150) [12].

Di sisi lain, permasalahan kapasitas tampung saluran yang melebihi debit puncak banjir rencana juga ditemukan pada karakteristik wilayah Kota Sawahlunto sehingga perlu dilakukannya analisis hidrologi dan hidrolika yang presisi sebagai dasar penataan ulang penampang (*redimensioning*) [11].