

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Landasan Teori

Adapun teori-teori yang digunakan sebagai dasar dalam pembahasan dan analisis Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Bandar Udara

Menurut ketentuan dalam Annex 14 Aerodrome oleh ICAO (International Civil Aviation Organization) bandar udara adalah suatu kawasan yang terletak di daratan maupun perairan dengan batas wilayah tertentu yang mencakup bangunan, peralatan, instalasi, serta fasilitas pendukung lainnya yang diperuntukan secara keseluruhan atau sebagian untuk mendukung keberangkatan, kedatangan dan pergerakan pesawat udara. Berdasarkan UU No. 1 Tahun 2009 tentang penerbangan, bandar udara merupakan tempat berlangsungnya proses lepas landas dan pendaratan pesawat, tempat naik dan turunnya penumpang, terjadinya kegiatan bongkar muat barang, serta sebagai penghubung antarmoda transportasi. Definisi tersebut menekankan pentingnya fasilitas dan infrastruktur yang memadai untuk memastikan keselamatan dan kelancaran operasional penerbangan di bandar udara. Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 36 Tahun 2021 tentang Standarisasi Fasilitas Bandar Udara menyatakan bahwa bandar udara dilengkapi dengan fasilitas pokok yang meliputi fasilitas sisi udara (*airside*), fasilitas sisi darat (*landside*), fasilitas keamanan dan keselamatan penerbangan serta fasilitas penunjang. Fasilitas sisi udara adalah area pada bandar udara yang digunakan secara langsung untuk mendukung pergerakan dan operasional pesawat udara yang memiliki akses terbatas dengan tingkat pengamanan yang tinggi. Fasilitas ini meliputi landas pacu (*Runway*), landas hubung (*Taxiway*), dan landas parkir (*Apron*) (Saraswati & Dalimunthe, 2024). Sedangkan fasilitas sisi darat merupakan wilayah bandar udara yang dirancang tidak berhubungan secara langsung dengan kegiatan

operasional penerbangan agar mampu mengakomodasikan pergerakan penumpang, kendaraan darat, maupun kargo secara cepat dan efisien. Adapun fasilitas sisi darat terdiri dari terminal bandara, parkir kendaraan (Ramadhan & Haryati, 2023). Kemudian fasilitas keamanan dan keselamatan penerbangan adalah fasilitas yang berfungsi untuk mencegah potensi bahaya selama kegiatan operasional berlangsung, diantaranya: fasilitas PKP-PK (Pertolongan Kecelakaan Penerbangan Pemadam Kebakaran), *airfield lighting system*, dan sistem catu daya. Keefektifan fasilitas di kawasan bandar udara sangat dipengaruhi oleh kinerja infrastruktur penunjang, salah satunya sistem drainase yang berperan penting dalam mencegah terjadinya genangan air pada permukaan perkerasan yang mengganggu kelancaran penerbangan (Chandra dkk., 2024).



Gambar II. 1 Bandara Internasional Jenderal Ahmad Yani Semarang
(Sumber: Bandara Jenderal Ahmad Yani Semarang, 2026)

2. Landas Hubung (*Taxiway*)

Taxiway merupakan suatu lintasan yang telah disiapkan untuk pergerakan pesawat di permukaan darat yang berfungsi sebagai penghubung antara *runway*, *apron*, area terminal, serta wilayah fasilitas pemeliharaan pesawat maupun sebaliknya pada sisi udara tanpa menghambat atau mengganggu pergerakan pesawat lain yang berada pada jalur utama penerbangan (Mafaza & Haryati, 2022). Pada Bandara Ahmad Yani Semarang memiliki lebar 23 m yang dirancang tegak lurus terhadap *runway*, sehingga pesawat harus menurunkan kecepatan

sebelum meninggalkan *runway*. Hal tersebut dapat mempersingkat waktu penggunaa landas pacu (*runway occupancy time*), sehingga meningkatkan efisiensi operasional. Mengacu pada *ICAO Annex 14*, perencanaan *taxiway* harus memenuhi beberapa persyaratan teknis yang ditetapkan. Dimensi lebar *taxiway* harus mempertimbangkan rencana (*design aircraft*) yang beroperasi tersebut. Selain itu, *shoulder taxiway* dirancang dengan kekuatan struktur yang memadai untuk menopang pesawat jika terjadi *excursion*, serta permukaan perkerasannya mampu menahan terhadap tekanan roda pesawat secara berulang. Standar ini bertujuan untuk menjamin keselamatan dan kelancaran operasional penerbangan.

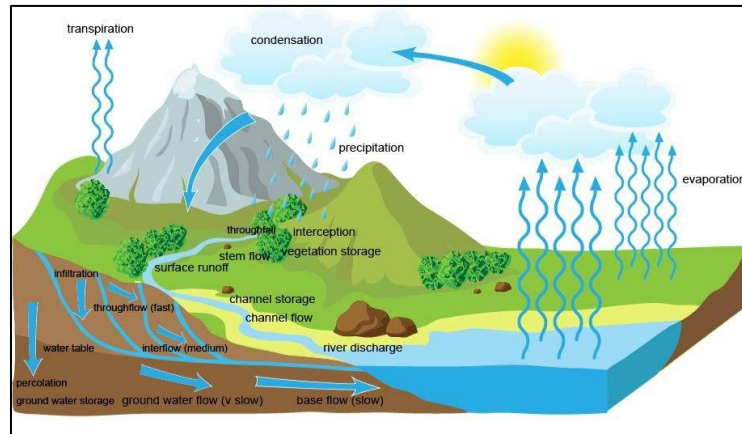
3. Perencanaan Ulang (*Redesign*)

Redesign adalah proses perancangan kembali suatu sistem akibat peningkatan beban maupun perubahan kondisi lingkungan agar dapat berfungsi secara efektif sesuai dengan kondisi dan kebutuhan terkini (Aryusdi & Andayono, 2025). Dalam konteks sistem drainase, perencanaan ulang umumnya diperlukan ketika kapasitas hidraulik saluran eksisting tidak lagi sebanding dengan debit limpasan rencana, baik akibat peningkatan intensitas dan frekuensi hujan ekstrem, perubahan tata guna lahan, maupun degradasi kondisi fisik saluran seperti sedimentasi, penyempitan penampang, dan peningkatan kekasaran aliran. Proses *redesign* dilakukan melalui integrasi analisis hidrologi dan hidraulika, dimulai dari penentuan hujan rencana berdasarkan analisis statistik hidrologi, perhitungan debit limpasan rencana dengan mempertimbangkan karakteristik daerah tangkapan, hingga evaluasi kapasitas saluran eksisting terhadap debit tersebut. Selanjutnya, dilakukan penyesuaian dimensi dan konfigurasi saluran, termasuk bangunan pelengkap seperti *box culvert*, dengan memperhatikan tinggi muka air, kecepatan aliran, dan tinggi jagaan (*freeboard*) untuk mencegah terjadinya luapan. Selain aspek teknis, perencanaan ulang sistem drainase juga mempertimbangkan keterbatasan ruang, keberlanjutan operasional, kemudahan

pemeliharaan, serta aspek keselamatan operasional, khususnya pada kawasan kritis seperti area pergerakan pesawat di bandar udara.

4. Hidrologi

Hidrologi berasal dari istilah “*Hydrologia*” yang dapat didefinisikan sebagai ilmu yang mempelajari tentang kualitas dan kuantitas air. Hidrologi juga merupakan cabang ilmu geografi yang mempelajari pergerakan, penyebaran, dan karakteristik air dengan berbagai wujud, baik padat, cair maupun gas di permukaan bumi termasuk di udara, tanah, sungai dan badan air lainnya (Wandari dkk., 2025). Hidrologi juga merupakan ilmu yang tidak hanya mencakup pemahaman mengenai siklus hidrologi, tetapi juga mengkaji karakteristik curah hujan beserta periode ulangnya sebagai dasar dalam pengelolaan sumber daya air, perencanaan infrastruktur, dan pengendalian risiko banjir (Dwy Judianto Leihitu dkk., 2024). Berdasarkan kajian teori di atas, dapat disimpulkan bahwa hidrologi merupakan ilmu yang menjembatani proses alamiah air dengan kondisi lingkungan dan kegiatan manusia, serta mengkaji perubahan sistem hidrologi yang dipengaruhi oleh pembangunan infrastruktur dan penggunaan lahan. Proses hidrologi meliputi pergerakan, sirkulasi, distribusi, serta pemanfaatan air dalam proses pengembangan dan pengelolaan sumber daya air. Penguapan air dari permukaan laut akibat energi panas matahari disebut evaporasi, kemudian uap air tersebut terbawa melalui pergerakan udara atau aliran fluida yang disebut adveksi dan mengalami proses kondensasi membentuk butiran air yang jatuh ke permukaan bumi dalam bentuk hujan yang dikenal sebagai presipitasi. Oleh karena itu, hidrologi menjadi dasar dalam perencanaan sistem drainase untuk menentukan besarnya debit limpasan air hujan yang harus ditampung oleh saluran drainase guna mencegah terjadinya genangan.



Gambar II. 2 Siklus Hidrologi

(Sumber: <https://www.geografi.org/2022/04/proses-proses-dalam-siklus-hidrologi.html>)

5. Analisis hidrologi

Analisis hidrologi merupakan tahapan penting dalam proses menilai debit rencana yang berpengaruh terhadap kestabilan dan debit maksimum bangunan drainase yang akan dibangun sebagai sistem pengendalian dan pengelolaan air. Analisis hidrologi sebagai langkah awal dalam perencanaan sistem drainase untuk mengatur limpasan aliran permukaan serta menentukan besarnya debit rencana berdasarkan curah hujan pada periode ulang tertentu sebagai upaya mencegah terjadinya luapan dan erosi (Riduan, 2022). Terdapat beberapa tahapan dalam analisis hidrologi, diantaranya:

a. Analisis Frekuensi Curah Hujan

Analisis frekuensi hujan bertujuan untuk menentukan hubungan antara frekuensi terjadinya dengan besarnya suatu kejadian ekstrem di masa mendatang berdasarkan distribusi probabilitasnya pada periode ulang tertentu menggunakan data curah hujan historis.

1) Uji Parameter Data

Parameter statistik data yang menjadi persyaratan dalam analisis distribusi probabilitas meliputi rata-rata, standar deviasi, koefisien variasi, koefisien kemiringan, dan koefisien kurtosis. Parameter tersebut menunjukkan karakteristik data

sebagai dasar pemilihan metode distribusi yang sesuai (Ardiansyah dkk., 2022). Penentuan jenis distribusi probabilitas Ditampilkan pada Tabel II. 2.

Tabel II. 1 Persyaratan parameter statistik suatu distribusi

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

(Sumber: Muliadi & Adriat, 2022)

Penentuan jenis distribusi probabilitas yang sesuai dengan karakteristik data dilakukan melalui parameter statistik melalui persamaan berikut (Kamiana, 2011):

a. Rata-rata hitung (*mean*)

Nilai rata-rata biasanya dinyatakan melaui simbol $\bar{X}$ atau $\bar{R}$. Jika diketahui sejumlah n data hasil pengukuran variabel yang tidak dikelompokkan dengan nilai $R_1, R_2, \dots, R_n$, maka rata-rata dapat dihitung melalui persamaan berikut.

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n} \quad (2.1)$$

b. Standar Deviasi

Standar deviasi merupakan parameter statistik yang menunjukkan tingkat penyimpangan data terhadap nilai *mean*, sehingga semakin besar penyimpangan data yang terjadi maka nilai standar deviasi semakin tinggi, dan sebaliknya (Ruhiat, 2022)

$$Sd = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2}}{(n-1)} \quad (2.2)$$

c. Koefisien Variasi

Koefisien variasi adalah nilai perbandingan antara standar deviasi dan nilai rata-rata dari suatu distribusi data.

$$Cv = \frac{Sd}{R} \quad (2.3)$$

d. Koefisien Kemencengan

Koefisien kemencengan (*skewness*) merupakan parameter statistik yang menunjukkan tingkat ketidaksimetrisan distribusi data terhadap nilai rata-ratanya. Derajat kemencengan dinyatakan dengan koefisien kemencengan yang dilambangkan dengan *Cs*, melalui persamaan berikut

$$Cs = \frac{n \times \sum_{i=1}^n (Ri - R)^3}{(n-1)(n-2)(Sd^3)} \quad (2.4)$$

e. Koefisien Kurtosis

Kurtosis digunakan untuk mengukur tingkat ketajaman kurva distribusi data terhadap distribusi normal. Nilai koefisien kurtosis dihitung melalui persamaan berikut.

$$Ck = \frac{n^2 \times \sum_{i=1}^n (Ri - R)^4}{(n-1)(n-2)(n-3)(Sd^4)} \quad (2.5)$$

Keterangan:

$\bar{R}$ = Rata-rata curah hujan maksimum (mm)

$\sum Ri$ = Jumlah curah hujan maksimum (mm)

n = Jumlah data yang dianalisis

Sd = Standar deviasi

Ck = Koefisien kurtosis

Cv = Koefisien variasi

Cs = Koefisien skewness

2) Uji Konsistensi Data

Uji konsistensi data merupakan proses pengujian data untuk memastikan tingkat keakuratan dan kestabilan data lapangan yang tidak terpengaruh oleh kesalahan yang terjadi selama proses pengukuran maupun pencatatan. Menurut

Fadlurrohman dkk. (2023), konsistensi data curah hujan dapat dipengaruhi oleh perbedaan jenis alat ukur, prosedur pengukuran maupun perubahan kondisi lingkungan serta lokasi stasiun hujan. Selain itu, tingkat kerapatan stasiun hujan dan lamanya waktu pengamatan mempengaruhi nilai rerata dalam suatu DAS (Capri Saidi dkk., 2021). Salah satu metode yang dapat digunakan dalam uji konsistensi adalah metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*). Menurut Susilowati & Kusumastuti (2024) metode RAPS adalah metode statistik yang digunakan untuk menguji konsistensi dan kestabilan data curah hujan dari satu stasiun dengan menganalisis penyimpangan data terhadap nilai reratanya menggunakan persamaan berikut:

$$S_{k^*} = \sum_{i=1}^k (R_i - R_t) \quad (2.6)$$

$$S_{k^{**}} = \frac{S_{k^*}}{D_y} \quad (2.7)$$

$$D_{y^2} = \frac{S_{k^{*2}}}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(R_i - R_t)^2}{n} \quad (2.8)$$

$$D_y = \sum_{i=1}^n D_{y^2} \quad (2.9)$$

Keterangan :

R_i = curah hujan ke- i

R_t = Curah hujan maksimum rata-rata (mm)

n = Banyaknya data

D_y = Deviasi standar

S_{k^*} = Nilai penyimpangan terhadap rata-rata

$S_{k^{**}}$ = RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*)

Uji keandalan data menggunakan pendekatan statistik:

$$Q = |S_{k^{**}}| \text{ maks}, 0 \leq k \leq n$$

$$R = S_{k^{**}} \text{ maks} - S_{k^{**}} \text{ min}, 0 \leq k \leq n$$

Berdasarkan nilai statistik di atas, diperoleh nilai $Q/\sqrt{n}$ dan $R/\sqrt{n}$ yang terlampir pada A. Suatu data dinyatakan konsisten apabila nilai Q_{hitung} dan R_{hitung} lebih kecil

dibandingkan nilai kritis pada tingkat *confidence level* yang digunakan dengan rentang 90% hingga 99%.

b. Analisis Distribusi Frekuensi

Analisis distribusi frekuensi bertujuan untuk menentukan metode distribusi yang paling tepat dan sesuai dengan karakteristik data curah hujan. Pengujian dilakukan dengan membandingkan empat metode distribusi, yaitu Distribusi Gumbel, Normal, Log Normal, dan Log Pearson Type III. Penentuan jenis distribusi berdasarkan hasil perbandingan nilai koefisien distribusi dari setiap metode terhadap karakteristik statistik data curah hujan yang dianalisis (Kurniyawan & Hendrasari, 2021).

1) Distribusi Normal

Analisis frekuensi hidrologi, seperti curah hujan, debit rerata tahunan, dan sebagainya yang memiliki penyebaran data relatif simetris sering menggunakan distribusi ini. Menurut Kamiana (2011) perhitungan curah hujan berdasarkan distribusi normal dinyatakan melalui persamaan berikut:

$$R_{Tr} = \bar{R} + K_{Tr} \times S_d \quad (2.10)$$

Keterangan:

$\bar{R}$ = Rata-rata curah hujan (mm)

K_{Tr} = Faktor reduksi frekuensi untuk periode ulang

R_{Tr} = Nilai hujan rencana dalam periode ulang tertentu (mm)

S_d = *Standard deviation*

2) Distribusi Gumbel

Distribusi gumbel atau distribusi ekstrem adalah salah satu pendekatan distribusi probabilitas yang biasanya digunakan untuk memperkirakan besarnya kejadian ekstrem seperti debit banjir atau curah hujan maksimum berdasarkan data historis. Distribusi ini relevan untuk menganalisis intensitas kejadian hujan ekstrem yang menyebabkan kerusakan infrastruktur atau banjir (Anghel, 2024). Melalui persamaan sebagai berikut:

$$Y_{tr} = -Ln x (-Ln x (\frac{Tr-1}{Tr})) \quad (2.11)$$

$$K_{Tr} = \frac{Y_{Tr} - Y_n}{S_n} \quad (2.12)$$

Keterangan:

Y_n = Nilai *reduced mean* tergantung dari jumlah data sampel

Y_t = *Reduced variate* tergantung pada jumlah sampel data

S_n = *Reduced standard deviation*

3) Distribusi Log Normal

Distribusi log normal adalah distribusi probabilitas hasil perubahan dari distribusi normal, di mana variable X menjadi Log X. Distribusi ini digunakan untuk menganalisis data hidrologi, seperti debit aliran sungai dan curah hujan maksimum yang cenderung memiliki kemencengan kearah kanan. Transformasi logaritmik dilakukan agar distribusi data dapat dianalisis secara statistik. Perhitungan menurut Kamiana (2011) distribusi ini memiliki persamaan sebagai berikut:

$$R_{TR} = 10^{(\text{Log } \bar{R} + K_{Tr} \times S \text{ Log } R)} \quad (2.13)$$

Keterangan:

$\text{Log } \bar{R}$ = Nilai logaritmik curah hujan rata-rata

$S \text{ Log } R$ = *Standard deviation*

K_{Tr} = Faktor reduksi frekuensi untuk periode ulang

4) Distribusi Log Pearson Type III

Log pearson type III digunakan dalam analisis frekuensi variable hidrologi dengan parameter statistik meliputi rata-rata logaritma, simpangan baku, serta koefisien skewness. Metode ini mempertimbangkan nilai skewness $C_s \neq 0$ sehingga mampu mempresentasikan distribusi data yang tidak simetris dalam penentuan curah hujan rencana pada periode ulang tertentu yang dinyatakan melalui persamaan berikut (Kamiana, 2011):

$$R_{TR} = 10^{(\text{Log } \bar{R} + K_{Tr} \times S \text{ Log } R)} \quad (2.14)$$

Keterangan:

$\text{Log } \bar{R}$ = Nilai logaritmik curah hujan rata-rata

$S \text{ Log } R$ = *Standard deviation*

K_{Tr} =Faktor reduksi frekuensi untuk periode ulang

c. Uji Kesesuaian Distribusi Curah Hujan

Uji kesesuaian distribusi merupakan tahapan analisis statistik yang dilakukan untuk mengetahui kesesuaian antara data hasil pengamatan dengan distribusi probabilitas, mampu yang diharapkan mampu memepresentasikan data secara teoritis. Terdapat dua metode dalam pengujian, yaitu uji *Chi Square* dan Uji Smirnov Kolmogorov (Hirson Khoiri dkk., 2022).

1) Uji *Chi Square*

Chi square bermaksud untuk menilai apakah distribusi probabilitas yang dipilih mampu mewakili data pengamatan yang dianalisis. Penentuan hasil uji didasarkan pada nilai X^2 , maka dari itu disebut Uji *Chi Square*. Parameter X^2 dapat dihitung melalui persamaan:

$$X^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (2.15)$$

$$K = 1 + (3,22 \times \text{Log } n) \quad (2.16)$$

$$Dk = K - (P + 1) \quad (2.17)$$

Keterangan:

X^2 = Parameter *Chi Square* terhitung

O_i = Jumlah data hasil pengamatan

E_i = Jumlah data yang diharapkan

n = Banyaknya data sampel

K = Jumlah kelas distribusi

Dk = Derajat kebebasan

P = Banyaknya parameter dalam uji *Chi square* adalah 2

Suatu distribusi dinyatakan sesuai apabila nilai $X^2_{\text{hitung}} < X^2_{\text{kritis}}$. Besarnya suatu nilai X^2 kritis ditentukan berdasarkan taraf signifikansi (α) dengan derajat kebebasan, umumnya

bernilai 5%. Semakin kecil nilai X^2 , maka semakin tinggi tingkat kesesuaian suatu data. Table Chi Kuadrat dapat dilihat pada Lampiran A.

2) Uji Smirnov Kolmogorov

Pengujian ini termasuk dalam uji non parametrik karena tidak mensyaratkan data mengikuti distribusi tertentu. Tingkat kesesuaian distribusi ditentukan melalui selisih maksimum yang terjadi.

$$D_{\text{maks}} = |P - P'| \quad (2.18)$$

$$P = \frac{m}{n+1} \times 100\% \quad (2.19)$$

$$F(t) = \frac{(Ri - Rt)}{S_d} \quad (2.20)$$

Keterangan :

P = Nilai Probabilitas empiris

P' = Peluang teoritis

D_{maks} = Selisih maksimum data probabilitas

n = Jumlah data

m = Nomor urut data yang telah diurutkan

$\bar{R}$ = Rata-rata curah hujan maksimum

Ri = Data curah hujan ke-i

S_d = Standard Deviation

Nilai D_{Kritis} diperoleh dari tabel Smirnov Kolmogorof dengan tingkat signifikansi senilai 5%. Jarak selisish terbesar disebut nilai D_{maks} . Apabila diperoleh nilai $D_{\text{maks}} \leq D_{\text{Kritis}}$ maka distribusi probabilitas yang digunakan dapat diterima, sebaliknya jika $D_{\text{maks}} \geq D_{\text{Kritis}}$ maka distribusi tersebut tidak dapat menerima data yang diteliti. Tabel nilai D_{Kritis} dapat dilihat pada lampiran B.

d. Periode Ulang

Periode ulang curah hujan merupakan parameter statistik yang menunjukkan selang waktu rata-rata terjadinya kembali atau

terlampauinya suatu kejadian hujan dengan besarnya intensitas hujan dalam periode waktu tertentu, umumnya dinyatakan dalam satuan tahun (Yuniarti & Rito Goejantoro, 2020). Melalui analisis data curah hujan historis Dengan menganalisis data curah hujan historis dari berbagai tahun pengamatan menggunakan teknik analisis frekuensi, dapat diperkirakan nilai curah hujan tertentu secara statistik memiliki peluang rata-rata untuk terjadi kembali satu kali dalam periode ulang T tahun. Besaran curah hujan yang berkaitan dengan periode ulang T tahun dapat dijadikan dasar dalam perancangan dan evaluasi sistem hidrologi dan drainase. Konsep ini umum digunakan dalam kajian hidrologi sebagai parameter untuk menentukan probabilitas terjadinya hujan ekstrem dengan *return period* tertentu (Pérez dkk., 2021). Periode ulang ditentukan berdasarkan kebutuhan sistem drainase pada suatu wilayah tangkapan air, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel II. 2.

Tabel II. 2 Periode Ulang

Jenis Kota	Catchment Area (Ha)			
	10	10-100	100-500	>500
Metropolitan	1-2	2-5	5-10	10-25
Kota Besar	1-2	2-5	2-5	5-15
Kota Sedang	1-2	2-5	2-5	10
Kota Kecil	1-2	2-5	1-2	2-5
Kota Sangat Kecil	1	1	1	-

(Sumber: Saidah dkk., 2021)

e. Intensitas Curah Hujan

Kedalaman atau ketinggian air hujan yang jatuh persatuan waktu disebut sebagai intensitas hujan. Besarnya intensitas hujan bervariasi sesuai dengan frekuensi kejadiannya dan lamanya hujan yang diperoleh melalui analisis data curah hujan (Hanova dkk., 2025). Sifat umum hujan adalah semakin singkat durasi hujan dan semakin besar periode ulangnya maka intensitasnya cenderung tinggi. Hubungan antara intensitas, durasi, dan frekuensi hujan

umumnya disajikan dalam bentuk kurva Intensitas Durasi Frekuensi (IDF) untuk menggambarkan karakteristik hujan (Creaco, 2024). Perhitungan intensitas curah hujan membutuhkan data curah hujan dalam jangka pendek, seperti 5 menit, 10 menit, dan 60 menit. Apabila data jangka pendek tidak tersedia dan hanya tersedia data hujan harian atau hujan maksimum 24 jam, maka digunakan metode Mononobe (Astarini dkk., 2022).

$$I = \left(\frac{R_{24}}{24}\right) \times \left(\frac{24}{T}\right)^{\frac{2}{3}} \quad (2.21)$$

Keterangan:

I = Intensitas curah hujan (mm/jam)

T = Durasi curah hujan (jam)

R₂₄ = hujan rencana atau curah hujan harian maksimum (24 jam)

f. Distribusi Hujan Jam-Jam

Merupakan suatu proses penyebaran hujan dengan rentang waktu tertentu sesuai dengan lamanya peninjauan, yaitu dilakukan dalam satuan waktu tahunan, bulanan, harian, hingga jam-jaman atau menit. Pencatatan dilakukan menggunakan rentang waktu yang relatif singkat supaya memperoleh sebaran hujan yang lebih akurat.

$$R_t = (t \times I) - \{(t - 1) \times (I_{t-1})\} \quad (2.22)$$

Keterangan:

R_t = Distribusi hujan jam-jam (mm)

I_{t-1} = Intensitas curah hujan jam sebelumnya

I = Intensitas curah hujan (mm/jam)

T = Periode atau waktu ke-

g. Debit Rencana

Debit rencana adalah debit maksimum pada suatu penampang yang dihitung dengan periode ulang tertentu dan digunakan sebagai dasar dalam perencanaan kapasitas saluran drainase (Ariyani dkk., 2024). Debit ini dipengaruhi oleh koefisien pengaliran, intensitas curah hujan, serta karakteristik daerah tangkapan air (Virayani,

2022). Perhitungan debit rencana menggunakan metode rasional, metode ini umumnya digunakan pada daerah tangkapan air yang relative kecil dengan luas daerah pengaliran ≤ 300 Ha (Nurfaijah dkk., 2025). Persamaannya dinyatakan dalam rumus berikut (Kamiana, 2011):

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A \quad (2.23)$$

Keterangan :

Q = Debit rencana (m^3/s)

0,278 = Konstanta, jika satuan luas daerah tangkapan air (km^2)

C = Koefisien pengaliran

A = Luas daerah tangkapan air (km^2)

I = Intensitas curah hujan (mm/jam)

h. Koefisien Pengaliran

Koefisien pengaliran atau limpasan adalah perbandingan antara volume aliran permukaan dengan volume hujan yang turun di wilayah tersebut dan dinyatakan dengan nilai $0 \leq C \leq 1$ tergantung dari kondisi karakteristik daerah pengalirannya. Koefisien limpasan dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya tingkat kemiringan lahan, laju infiltrasi tanah, vegetasi penutup tanah, serta intensitas hujan. Berdasarkan SNI 03-3424-1994, penentuan koefisien pengaliran dengan penggunaan lahan beragam dihitung sebagai nilai rata-rata yang mempertimbangkan luas setiap jenis permukaan. Perhitungan dilakukan melalui persamaan berikut (Kamiana, 2011):

$$C = \frac{C_1 \times A_1 + C_2 \times A_2 + \dots + C_n \times A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2.24)$$

Keterangan:

A_n = Luas daerah pengaliran sesuai dengan kondisi permukaan

C_n = Koefisien sesuai dengan tipe kondisi permukaan

6. Analisis Hidraulika

Analisis Hidraulika adalah ilmu yang mempelajari sifat mekanis fluida dan perilaku alirannya baik di saluran terbuka maupun tertutup, seperti

sungai, jaringan irigasi atau saluran drainase, dengan mempertimbangkan parameter hidraulik seperti kecepatan aliran, kedalaman dan debit air, serta kemiringan dasar saluran. Analisis ini bertujuan untuk menentukan dimensi yang memadai dari saluran drainase, saluran pembuangan, maupun gorong-gorong dalam menyalurkan debit air secara optimal, dengan berbagai bentuk penampang, seperti trapesium, persegi, setengah lingkaran ataupun segitiga melalui persamaan *Manning* berikut (Saidah dkk., 2021).

$$V = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \quad (2.25)$$

$$Q = A \times V \quad (2.26)$$

$$S_o = \frac{\text{Elevasi hulu} - \text{Elevasi hilir}}{L} \quad (2.27)$$

Keterangan :

Q = Debit saluran (m³/s)

V = Kecepatan aliran (m/s)

S_o = Kemiringan dasar saluran

R = Jari-jari hidraulik (m)

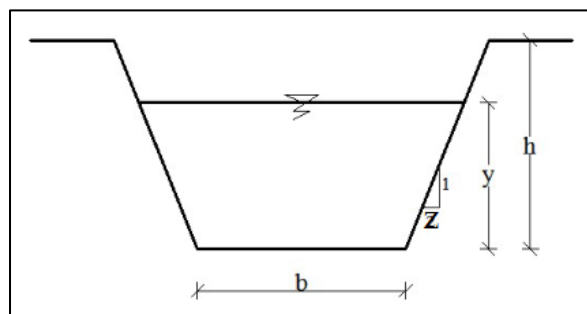
n = Koefisien kekasaran *Manning*

A = Luas penampang basah (m²)

L = Panjang saluran (m)

Nilai koefisien kekasaran *Manning* sesuai dengan jenis dinding saluran yang dapat dilihat pada Lampiran C.

Perhitungan penampang trapesium dapat dilakukan menggunakan persamaan rumus sebagai berikut:



Gambar II. 3 Penampang Trapesium
(Sumber: Ridha dkk., 2025)

$$A = (b + mh)h \quad (2.28)$$

$$P = b + 2h \sqrt{m^2 + 1} \quad (2.29)$$

$$R = \frac{A}{P} \quad (2.30)$$

$$W = \sqrt{0,5 \times h} \quad (2.31)$$

$$H = h + W \quad (2.32)$$

Keterangan :

b = Lebar dasar penampang (m)

m = Kemiringan dinding saluran (m:1)

P = Keliling basah saluran (m)

h = Kedalaman aliran (m)

W = Tinggi jagaan (*freebord*)

H = Ketinggian Saluran (m)

7. Curah Hujan *Ekstrem*

Jumlah air yang jatuh di permukaan bumi dalam periode waktu tertentu dan dinyatakan dengan satuan tinggi milimeter (mm), yang menunjukkan volume air hujan tanpa memperhitungkan kehilangan akibat infiltrasi, *runoff*, maupun penguapan disebut sebagai curah hujan (Ruswanti, 2020). Selain itu, menurut Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) curah hujan ekstrem adalah kondisi di mana intensitas curah hujan melebihi batas normal dengan intensitasnya > 150 mm per hari (BMKG, 2025). Terjadinya cuaca ekstrem di Indonesia mengakibatkan peningkatan terhadap intensitas curah hujan, frekuensi hujan lebat dan kemarau panjang (Nurlatifah dkk., 2023). Sementara itu, curah hujan ekstrem berpotensi menimbulkan berbagai dampak antara lain, peningkatan risiko wabah penyakit, gangguan kesehatan masyarakat, terjadinya banjir, serta terganggunya jadwal penerbangan maupun kereta api, kenaikan muka air laut, serta kegagalan panen di sektor pertanian (Mabruroh & Wiyanto, 2023). Oleh karena itu, curah hujan *ekstrem* merupakan salah satu parameter penting dalam perencanaan infrastruktur khususnya sistem drainase, karena tingginya

intensitas hujan berpengaruh terhadap kemampuan drainase dalam menampung limpasan air (Hendryarto dkk., 2025).

Tabel II. 3 Klasifikasi Intensitas Curah Hujan Kota Semarang

Kriteria Hujan	Volume Curah Hujan
Ringan	< 20 mm/hari
Sedang	20-50 mm/hari
Lebat	50-100 mm/hari
Sangat Lebat	100-150 mm/hari
Ekstrem	>150 mm/hari

(Sumber: BMKG, 2025)

8. Drainase

Drainase adalah suatu sistem yang terdiri dari pipa, saluran, dan bangunan pendukung lainnya yang dibangun untuk memenuhi kebutuhan masyarakat serta menjadi komponen penting dari perencanaan infrastruktur dan kawasan perkotaan (Musa dkk., 2025). Sistem ini berfungsi untuk menampung dan menyalurkan kelebihan air dari suatu wilayah, baik yang berada di atas permukaan maupun di bawah permukaan tanah agar tetap berfungsi secara optimal serta mencegah terjadinya genangan yang dapat mengganggu kinerja infrastruktur dan lingkungan sekitar (Fahrezi Abdulhalim dkk., 2018). Efektifitasnya bergantung pada desain saluran yang mampu menangani debit limpasan dan curah hujan tinggi, baik melalui saluran terbuka maupun saluran tertutup (Palawa'ae dkk., 2024). Perencanaan sistem drainase dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa aspek, salah satunya ditinjau dari keberadaan air, yaitu drainase permukaan dan drainase bawah permukaan.

a. *Surface Drainage* (Drainase permukaan)

Drainase permukaan merupakan suatu sistem drainase yang umumnya berbentuk saluran terbuka yang berfungsi untuk mengendalikan limpasan air permukaan (Mohammad dkk., 2023). Saluran terbuka terbagi menjadi dua jenis, yaitu *natural drainage*

yang terbentuk secara alami akibat gerusan air dan proses erosi yang dipengaruhi oleh gravitasi dalam jangka waktu panjang hingga membentuk aliran air permanen seperti sungai serta *Artificial Drainage* yang dibangun dan dirancang secara sengaja oleh manusia sesuai dengan kebutuhan dan kondisi lingkungan. Dalam sistem drainase melintang, diperlukan bangunan penunjang seperti gorong-gorong atau *culvert* untuk menyalurkan air menuju saluran selanjutnya secara terkendali (Zeyrek dkk., 2025).

b. *Sub Surface Drainage* (Drainase bawah permukaan)

Drainase bawah permukaan digunakan pada lahan dengan topografi relatif datar, terutama ketika muka air tanah mengalami peningkatan yang berpotensi menurunkan daya dukung tanah hingga menyebabkan keruntuhan konstruksi. Sistem ini berfungsi untuk mengendalikan keberadaan air di bawah permukaan tanah, seperti drainase bawah rel kereta api, lapangan terbang, ataupun lapangan olahraga serta menghilangkan kelebihan air yang berpotensi mengganggu stabilitas vegetasi dan tanah (Frankl dkk., 2023).

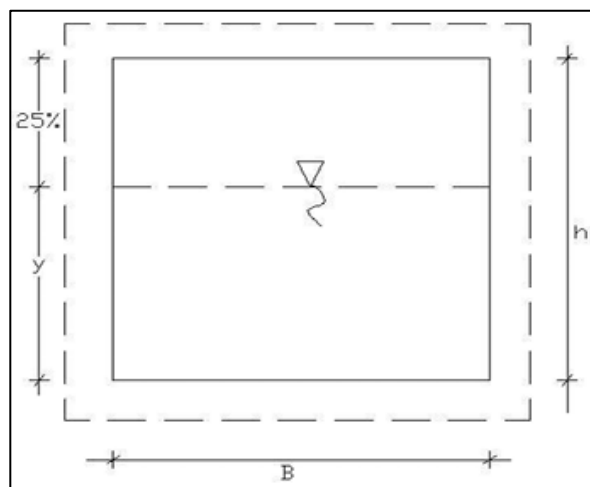
9. Gorong-gorong (*Box Culvert*)

Secara umum, Gorong-gorong merupakan serangkaian bangunan air pelengkap maupun pengontrol pada sistem drainase konvensional. Penampangnya bervariasi dapat berbentuk segi empat maupun lingkaran sesuai dengan kebutuhan. Salah satu jenis yang sering digunakan adalah *box culvert*.



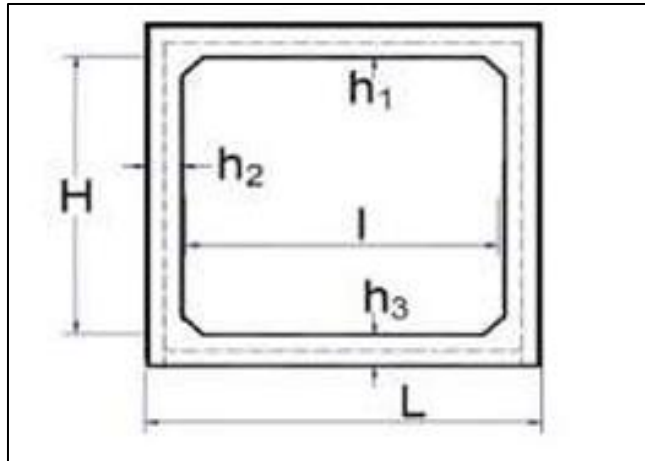
Gambar II. 4 Tampak Melintang *Box Culvert*
Sumber: (Saidah dkk, 2021)

Seperti yang terlihat pada Gambar II. 4, *box culvert* merupakan komponen penting dalam infrastruktur drainase melintang dengan konstruksi beton bertulang *precast* berbentuk persegi dengan ukuran relatif besar yang diaplikasikan di bawah infrastruktur transportasi serta mampu menahan beban lalu lintas di atasnya dengan tujuan melindungi badan jalan dari banjir (Akbar dkk.,2025). Pada bandar udara, *box culvert* terletak pada bagian bawah perkerasan *taxiway* yang digunakan sebagai perangkat untuk menyalurkan aliran air sisi udara tanpa mengganggu operasional pergerakan pesawat udara dan mempunyai standar dimensi dalam desainnya.



Gambar II. 5 Tinggi Jagaan *Box Culvert*
(Sumber: Rakasiwi, 2021)

Penentuan permukaan *layout box culvert* dirancang berdasarkan hasil akhir peta kontur landas pacu untuk memastikan kecepatan aliran memenuhi syarat kecepatan minimum sehingga tidak terjadi pengendapan. Selain itu, tinggi jagaan pada *box culvert* direncanakan sebesar 25% dari kapasitas tinggi volume *precast* tersebut.



Gambar II. 6 Penampang Struktur *Box Culvert*
(Sumber: Nurdiana dkk., 2021)

Standar dimensi gorong-gorong persegi beton bertulang yang ditetapkan oleh Kementerian PUPR adalah sebagai berikut:

Tabel II. 4 Standar Dimensi *Box culvert*

Dimensi <i>Type Single</i>		
l (lebar) (Cm)	t (Tinggi) (Cm)	h (Tebal) (Cm)
100	100	16
100	150	17
100	200	18
200	100	22
200	150	23
200	200	25
200	250	26
200	300	28
300	100	26
300	200	30
300	250	30

l (lebar) (Cm)	t (Tinggi) (Cm)	h (Tebal) (Cm)
300	300	30

(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum, 1987)

Perhitungan kapasitas *box culvert* dinyatakan melalui persamaan berikut (Saidah dkk, 2021):

$$A = b \times h \quad (2.33)$$

$$P = b + 2h \quad (2.34)$$

$$Q = A \times V \quad (2.35)$$

Keterangan:

A = Luas penampang basah (m²)

P = Keliling basah saluran (m)

b = Lebar *box culvert* (m)

h = Tinggi *box culvert* (m)

B. Kajian Relevan

Sejumlah penelitian telah mengkaji sistem drainase melalui perencanaan, evaluasi, maupun perhitungan debit rencana untuk menilai kemampuan kapasitas saluran dalam mengalirkan debit.

Tabel II. 5 Penelitian Terdahulu

No	Penelitian Terdahulu	Persamaan dan Perbedaan	Hasil Penelitian
1.	Assem & Falderika (2023) menganalisis kapasitas <i>box culvert existing</i> pada pengembangan Bandar Udara Rendani di Provinsi Papua	Persamaan: Penelitian tersebut dengan penelitian yang dilakukan terletak pada metode analisis distribusi frekuensi yang digunakan adalah metode gumbel	Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas eksisting 438,4 m ³ /s mampu menampung debit rencana periode ulang 100 tahun sebesar 215, 26 m ³ /s, sehingga dimensi <i>box culvert</i> dinyatakan

	Barat. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dimensi <i>box culvert</i> dalam menampung debit rencana serta menentukan dimensi minimum yang paling aman	dengan kala ulang 100 tahun. Perbedaan: Penelitian tersebut berfokus pada analisis kapasitas <i>box culvert</i> pada area landas pacu dan menggunakan metode Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu terhadap debit rencana, sedangkan penelitian ini berfokus pada perencanaan ulang saluran drainase dan <i>box culvert</i> di area <i>Taxiway</i> menggunakan metode rasional dalam menentukan debit rencana	aman dengan ukuran minimum 3,1 x 7 m.
2.	Akbar dkk. (2025) membahas perencanaan pembangunan <i>box culvert</i> pada <i>access road</i> Bandara Rahadi	Persamaan: Penelitian tersebut dengan penelitian ini terletak pada kajian mengenai evaluasi dan perencanaan sistem drainase dan	Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan <i>box culvert type single</i> 1,5 x 1,5 m dengan panjang 8 m dan mutu betok K-350 dan

	Oesman Ketapang. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem drainase untuk mengatasi permasalahan genangan air akibat belum tersedianya <i>box culvert</i> pada jalur tersebut.	<i>box culvert</i> pada kawasan bandara. Perbedaan: Penelitian tersebut membahas perencanaan <i>box culvert</i> pada <i>akses road</i> PKP-PK yang mencakup analisis beban struktural, sedangkan penelitian ini berfokus pada perencanaan ulang saluran drainase dan <i>box culvert</i> pada area <i>Taxiway</i> Bandara Internasional Ahmad Yani Semarang.	tulangan BJTS 420B mampu mengalirkan air sebesar 0,03229 m³/s secara optimal sehingga dapat meminimalkan risiko terjadinya genangan
3.	Asnaning & Zulkarnain (2020) mengevaluasi dimensi <i>box culvert</i> pada Jalan Arteri Soekarno Hatta. Penelitian ini bertujuan untuk menilai kemampuan <i>box culvert</i> eksisting dalam menampung debit	Persamaan: Kedua penelitian sama-sama menggunakan metode distribusi gumbel dalam menghitung debit rencana. Perbedaan: Terletak pada lokasi penelitian, penelitian tersebut berfokus pada evaluasi <i>box</i>	Hasil penelitian menyimpulkan bahwa <i>box culvert eksisting</i> sebesar 5,79 m³/s tidak mampu menampung debit rencana untuk periode ulang 10, 25, dan 25 tahun masing-masing sebesar 10,13 m³/s, 11,07 m³/s, dan 11,37 m³/s. Dengan demikian, diperlukan

	rencana akibat meningkatnya limpasan pada area tangkapan air.	<i>culvert</i> pada ruas jalan perkotaan sedangkan penelitian ini berfokus pada kawasan bandara.	<i>single culvert</i> berdimensi 2 m x 2 m.
4.	Pangesti dkk. (2022) merancang saluran drainase pada Bandara Douw Aturure untuk mencegah terjadinya genangan pada sisi udara. Penelitian ini bertujuan merencanakan sistem drainase yang efektif dalam mengalirkan limpasan air.	Persamaan: Keduanya sama-sama merencanakan sistem drainase yang optimal pada kawasan bandara. Perbedaan: Penelitian yang ini berfokus pada area landas hubung sedangkan penelitian terdahulu dilakukan pada area landas pacu.	Hasil penelitian menunjukkan diperlukan perencanaan saluran drainase berepenampang trapesium di sisi kiri dan kanan landas pacu dalam menampung debit rencana kala ulang 5 tahun sebesar $19,76 \text{ m}^3/\text{s}$.
5.	Aditya dkk. (2025) membahas perencanaan ulang saluran drainase pada Bandara Atung Bungsu Pagar Alam akibat perubahan tata guna lahan.	Persamaan: Keduanya sama-sama bertujuan melakukan perencanaan ulang struktur dalam meningkatkan kinerja sistem drainase pada area	Hasil penelitian menyimpulkan bahwa kapasitas saluran eksisting tidak mampu menampung debit air sebesar $3,27 \text{ m}^3/\text{s}$, sehingga dilakukan <i>redesain</i> struktur menggunakan U-

	Tujuan penelitian ini adalah menilai kinerja saluran eksisting dan merancang ulang dimensi saluran agar dapat menampung debit limpasan pada periode tertentu.	sisi udara. Perbedaan: Penelitian terdahulu dilakukan pada saluran drainase <i>runway strip</i> , sedangkan penelitian ini menitikberatkan pada perencanaan ulang saluran drainase dan box culvert pada <i>taxiway</i> .	Ditch berdimensi 1 x 1 m.
6.	Ibrahim dkk. (2025) meredesain saluran terbuka pada sisi udara Bandara Internasional I Gusti Ngurah Rai Bali akibat kerusakan struktur. Tujuan penelitian ini untuk memastikan air dapat mengalir secara efektif tanpa mengganggu operasional penerbangan.	Persamaan: Keduanya menggunakan debit rencana sebagai dasar penentuan dimensi saluran drainase. Perbedaan: Penelitian sebelumnya melakukan perencanaan ulang pada saluran terbuka sedangkan penelitian ini mencakup perencanaan struktur pelintas.	Hasil penelitian merancang dimensi ulang saluran dengan lebar bawah 2 m dan lebar atas 3,92 m.

7.	Rahmat dkk. (2025) merencanakan saluran drainase pada ruas jalan terminal Bandara Internasional Juanda dengan tujuan agar dapat menampung air hujan tanpa mengganggu pergerakan kendaraan.	Persamaan: Keduanya merencanakan saluran terbuka dan box culvert dengan dimensi yang memadai. Perbedaan: Terletak pada lokasi yang diteliti, penelitian ini dilakukan pada area sisi udara sedangkan penelitian tersebut berlokasi di sisi darat bandara.	Hasil perencanaan diperoleh dimensi saluran terbuka 2,6 m x 1,73 m dan <i>box culvert</i> 1,2 x 1,2 m.
8.	Rusardi (2021) merancang saluran drainase pada kawasan Kota Bekasi untuk meminimalkan terjadinya luapan saat hujan dengan intensitas tinggi.	Persamaan: Keduanya merencanakan sistem drainase yang mencakup saluran terbuka dan struktur <i>box culvert</i> sebagai <i>cross section</i>, sehingga aliran dapat tersalurkan secara efektif. Perbedaan: Penelitian tersebut berlokasi pada kawasan perkotaan,	Hasil penelitian melakukan perencanaan konstruksi drainase menggunakan tiga jenis bentuk saluran dengan menyesuaikan kondisi lingkungan, meliputi saluran terbuka pasangan batu berdimensi 2,20 m x 1,60 m yang diintegrasikan dengan box culvert sebagai <i>crossing</i> penghubung

		sedangkan penelitian ini berfokus pada drainase bandara.	berukuran 2 x 2 m sepanjang 15 m serta saluran u-ditch untuk meningkatkan kapasitas aliran air.
9.	Wikanto & Wibisono (2024) membahas evaluasi saluran diversi pada <i>box culvert</i> di Jalan Babat Jerawat Kota Surabaya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas box culvert dalam menampung debit air.	Persamaan: Keduanya menerapkan analisis hidrologi dalam menentukan debit rencana untuk mengevaluasi kinerja sistem drainase. Perbedaan: Penelitian ini berfokus pada perencanaan saluran drainase dan <i>box culvert</i> pada kawasan <i>taxiway</i> menggunakan metode distribusi gumbel sedangkan penelitian tersebut menitikberatkan evaluasi drainase pada ruas jalan perkotaan.	Hasil penelitian menunjukkan terdapat empat saluran eksisting yang tidak mampu menampung debit sebesar 85,96 m ³ /s, sehingga diperlukan perencanaan ulang dimensi

Dengan demikian, berbagai penelitian terdahulu menjadi landasan teori serta memberikan pemahaman dan informasi yang relevan mengenai metode, pendekatan, dan hasil penelitian dengan topik yang diteliti.