ENGINTECH
Journal of Engineering and Technological Sciences

Vol. 2. No. 1. Halaman 51-12. Tahun 2026
https://naluriedukasi.com/index.php/engintech
Email: engintechejets@gmail.com
ISSN: 3109-922X
DOI: https://doi.org/10.64924/e4fsgs12

Submited Juli 30, 2026, Accepted October 10, 2026, Published October 25, 2026

PENGARUH GENANGAN AIR TERHADAP KONDISI JALAN PADA RUAS JALAN TOMOHON TANAWANGKO

(Studi Kasus Jalan Provinsi Tomohon Tawangko)

[1] **Filipi Galatio Gerungan ,[2] Rocky F. Roring ,[3] Djubir R.E. Kembuan**
Program Studi Teknik Sipil, Universitas Negeri manado
Email; filipigerungan26@gmail.com

ABSTRAK

Pengaruh genangan air terhadap kondisi jalan pada Ruas Jalan Tomohon–Tanawangko, khususnya di Segmen Woloan Tiga dan Kamasi Satu. Metode yang digunakan adalah penelitian kuantitatif deskriptif melalui analisis hidrologi, hidrolika drainase, dan penilaian kerusakan jalan menggunakan metode Surface Distress Index (SDI). hasil analisis hidrologi menggunakan metode Log Pearson III didapat hasil curah hujan rencana sebesar 595,7 mm dengan periode ulang 10 tahun. Intensitas curah hujan diperoleh 667,5 mm/jam pada segmen Kamasi Satu dan 724,2 mm/jam pada segmen Woloan Tiga Pada segmen Woloan tiga didapat kapasitas drainase sebesar 0,146 m3/detik, debit limpasan sebesar 0,798 m^3/detik. Saluran drianase dinyatakan tidak dapat menampung debit limpasan tersebut.sehingga dilakukan perencanaan ulang dimensi drainase dan didapat hasil desain ulang kapasitas drainase sebesar 1,13 m^3/detik. Pada segmen Kamasi Satu, karena tidak terdapat saluran drainase, maka dilakukan perencanaan dimensi drainase. hasil perencaaan kapasitas drainase didapat sebesar 0,373 m^3/detik sehingga dapat menampung debit limpasan sebesar 0,274 m^3/detik. Hasil analisis SDI menunjukkan nilai 85 pada seluruh segmen yang termasuk kategori kondisi sedang dan memerlukan pemeliharaan berkala**.** Penelitian ini membuktikan bahwa kondisi drainase yang tidak memadai berkontribusi terhadap meningkatnya kerusakan perkerasan jalan akibat genangan air.

Kata kunci: Genangan Air , Drainase Jalan, Kerusakan, Debit Limpasan, SDI

ABSTRACT

*The effect of water ponding on road conditions along the Tomohon–Tanawangko Road, particularly in the Woloan Tiga and Kamasi Satu segments. The research employed a descriptive quantitative approach through hydrological analysis, drainage hydraulic evaluation, and road damage assessment using the Surface Distress Index (SDI) method. The results indicate that the 10-year return period design rainfall was 595.7 mm**,** with rainfall intensities of 667.5 mm/h in the Kamasi Satu segment and 724.2 mm/h in the Woloan Tiga segment. In the Woloan Tiga segment, the existing drainage capacity of 0.146 m^3/**s** was insufficient to accommodate the runoff discharge* of 0.*798 m^3/s, resulting in a high potential for water ponding. After redesign, the drainage capacity increased to 1.03 m^3/s. Meanwhile, the Kamasi Satu segment had a drainage capacity of* 0.371 m^3/s*, exceeding the runoff discharge of 0.274 m^3/s. The SDI analysis yielded a value of 85 for all observed segments, indicating a* fair *condition requiring periodic maintenance**.** The findings demonstrate that inadequate drainage systems contribute significantly to pavement deterioration caused by prolonged water ponding.*

Keywords: *Water Ponding, Road Drainage, Pavement Damage, Runoff Discharge, Surface Distress Index (SDI)*

CC BY NC SA

PENDAHULUAN

Infrastruktur jalan memiliki peran penting dalam mendukung mobilitas masyarakat dan pertumbuhan ekonomi. Namun, curah hujan yang tinggi serta sistem drainase yang kurang memadai sering menyebabkan genangan air yang mempercepat kerusakan perkerasan jalan. Genangan yang terjadi secara berulang dapat menurunkan daya dukung perkerasan sehingga memicu retak, lubang, dan deformasi permukaan jalan.

Ruas Jalan Tomohon–Tanawangko merupakan jalur strategis di Sulawesi Utara yang menghubungkan kawasan pegunungan dan pesisir. Pada beberapa segmen jalan ditemukan drainase yang rusak, tersumbat, atau tidak berfungsi dengan baik sehingga menyebabkan genangan saat hujan dan berpotensi mempercepat kerusakan jalan.

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa drainase yang tidak memadai berpengaruh terhadap peningkatan kerusakan perkerasan dan penurunan umur layanan jalan. Namun, kajian kuantitatif yang menghubungkan kondisi drainase, genangan air, dan kerusakan jalan pada Ruas Jalan Tomohon–Tanawangko masih terbatas.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh genangan air terhadap kondisi jalan melalui evaluasi debit limpasan, kapasitas drainase, dan tingkat kerusakan perkerasan menggunakan metode Surface Distress Index (SDI).

TINJAUAN PUSTAKA

Perkerasan jalan merupakan struktur yang berfungsi menyalurkan beban lalu lintas ke tanah dasar sehingga menjamin keamanan dan kenyamanan pengguna jalan. Kinerja perkerasan dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti beban kendaraan, kualitas material, kondisi lingkungan, dan sistem drainase. Salah satu faktor yang paling berpengaruh terhadap kerusakan jalan adalah air, terutama ketika terjadi genangan yang berlangsung dalam waktu lama.

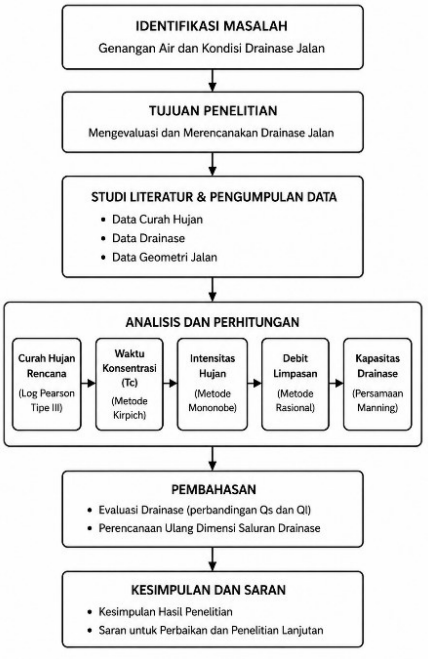
Genangan air pada permukaan jalan umumnya terjadi akibat sistem drainase yang tidak mampu mengalirkan limpasan hujan secara optimal. Air yang menggenang dapat meresap ke dalam lapisan perkerasan dan tanah dasar, sehingga menurunkan daya dukung struktur jalan serta mempercepat terjadinya retak, lubang, deformasi, dan pelepasan butiran agregat. Oleh karena itu, keberadaan sistem drainase yang baik sangat penting untuk menjaga umur layanan perkerasan jalan..

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa drainase yang tidak berfungsi dengan baik berkontribusi terhadap peningkatan kerusakan jalan. Mukherjee (2014) menyatakan bahwa genangan akibat drainase yang buruk dapat mempercepat penurunan kondisi perkerasan, sedangkan Sukur et al. (2023) menemukan bahwa umur layanan jalan menjadi lebih pendek pada ruas yang memiliki sistem drainase tidak memadai. Temuan tersebut menunjukkan bahwa kondisi drainase memiliki peran penting dalam menentukan tingkat kerusakan jalan, sehingga perlu dilakukan evaluasi pada Ruas Jalan Tomohon–Tanawangko yang sering mengalami genangan air.

METODE PENELITIAN

1. Pendekatan dan Jenis Penelitian

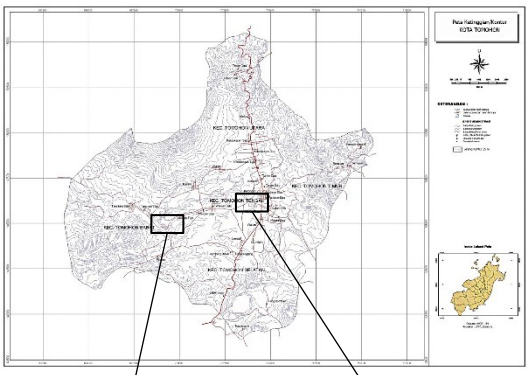
Penelitian ini menggunakan metode deskriptif dengan pendekatan kuantitatif untuk menganalisis pengaruh genangan air terhadap kondisi jalan pada Ruas Jalan Tomohon–Tanawangko. Data diperoleh melalui survei lapangan dan data curah hujan BMKG. Analisis meliputi perhitungan debit limpasan dengan Metode Rasional, kapasitas drainase dengan Persamaan Manning, serta penilaian kondisi jalan menggunakan metode Surface Distress Index (SDI).



Gambar 1 diagram alir penelitian

2. Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada Ruas Jalan Tomohon–Tanawangko, Sulawesi Utara, dengan fokus pada Segmen Woloan Tiga dan Segmen Kamasi Satu yang sering mengalami genangan air dan kerusakan perkerasan jalan



Gambar 2 Kota Tomohon



Gambar 3 Woloan Tiga



Gambar 4 Kamasi Satu

3. Pengumpulan data

penelitian dikumpulkan melalui survei lapangan dan studi dokumentasi. Survei lapangan dilakukan untuk mengamati kondisi drainase serta kerusakan perkerasan jalan, sedangkan studi dokumentasi digunakan untuk memperoleh data curah hujan dari BMKG sebagai dasar analisis hidrologi.

4. Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan menghitung curah hujan rencana, intensitas hujan, debit limpasan menggunakan Metode Rasional,dan kapasitas drainase menggunakan Persamaan Manning. Selanjutnya, kondisi jalan dinilai menggunakan metode Surface Distress Index (SDI), kemudian hasilnya dianalisis untuk mengevaluasi hubungan antara genangan air dan tingkat kerusakan jalan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Kondisi umum lokasi penelitian

a. Kondisi Jaringan Jalan

Hasil observasi menunjukkan kerusakan perkerasan jalan sering terjadi di area genangan air akibat hujan tinggi. Kondisi ini menegaskan bahwa sistem drainase sangat memengaruhi kinerja dan umur pelayanan jalan.

b. Kondisi drainase

Kondisi drainase di lokasi penelitian bervariasi antarsegmen. Segmen Kamasi Satu tidak memiliki sistem drainase, sementara Segmen Woloan Tiga memiliki drainase kurang optimal yang menyebabkan genangan air pada badan jalan saat hujan.

2. Analisis hidrologi

Analisis hidrologi dilakukan untuk menentukan curah hujan rencana sebagai dasar perhitungan debit limpasan.

Tabel 4.1 Curah Hujan Maksimum (2021-2025)

Tahun	R (mm)
2021	453
2022	403
2023	450
2024	468,5
2025	598

a. Curah Hujan Rencana

$$\log X_T = X_{log} + K \cdot S \text{ ……..…….....(1)}$$

$$\log X_{10} = 2{,}672 + (1{,}58 \times 0{,}063)$$

$$\log X_{10} = 2{,}775$$

$$X_{10} = 10^{2{,}775}$$

$$X_{10} = 595{,}7\ mm$$

Curah hujan rencana dihitung menggunakan metode Log Pearson Tipe III dengan periode ulang 10 tahun. Hasil perhitungan menunjukkan curah hujan rencana sebesar 595,7 mm, yang digunakan sebagai dasar analisis hidrologi pada penelitian ini.

b. Intensitas Curah Hujan

$$I = \frac{R_{24}}{24}\left(\frac{24}{Tc}\right)^{2/3} \text{……..…….....(2)}$$

CC BY NC SA

– Segmen Woloan Tiga

$$I = \frac{595,7}{24}\left(\frac{24}{0,1525}\right)^{2/3}$$

$$I = 724,2\ mm/jam$$

– Segmen Kamasi Satu

$$I = \frac{595,7}{24}\left(\frac{24}{0,172}\right)^{2/3}$$

$$I = 667,5\ \text{mm/jam}$$

Berdasarkan perhitungan menggunakan rumus Mononobe, diperoleh intensitas hujan sebesar 667,5 mm/jam pada Segmen Kamasi Satu dan 724,2 mm/jam pada Segmen Woloan Tiga. Hasil ini menunjukkan potensi limpasan permukaan yang tinggi pada kedua segmen penelitian.

c. Debit Limpasan

– Segmen Woloan Tiga

$Q = 0.278\ C\ I\ A$……..(3)

$$Q = 0,278 \times 0,72 \times 724,2 \times 0,005502$$

$$Q = 0,798\ m^3/detik$$

– Segmen Kamasi Satu

$Q = 0.278\ C\ I\ A$ ……(4)

$$Q = 0,278 \times 0,63 \times 667,5 \times 0,00234$$

$$Q = 0,274\ m^3/detik$$

Debit limpasan dihitung menggunakan Metode Rasional berdasarkan koefisien limpasan, intensitas hujan, dan luas daerah tangkapan. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa debit limpasan pada Segmen Woloan Tiga sebesar 0,798 m³/detik**,** sedangkan pada Segmen Kamasi Satu sebesar 0,274 m³/detik. Nilai debit yang lebih besar pada Segmen Woloan Tiga dipengaruhi oleh luas daerah tangkapan yang lebih besar, sehingga segmen ini memiliki potensi genangan yang lebih tinggi dibandingkan Segmen Kamasi Satu.

3. Kapasitas drainase

Kapasitas saluran drainase dihitung untuk mengetahui kemampuan saluran dalam mengalirkan debit air hujan yang terjadi pada daerah penelitian.

a. Woloan Tiga

– Luas Penampang Trapesium

$A = (b + mh)h$ ...……(5)

$$A = (0,35 + 1,39 \times 0,09) \times 0,09$$

$$A = 0,0428\ m^2$$

– Keliling Basah

$P = b + 2h\sqrt{1 + m^2}$ ……(6)

$$P = 0,35 + 2(0,09)\sqrt{1 + (1,39)^2}$$

$$P = 0,35 + 0,18 \times 1,71$$

$$P = 0,658\ m$$

– Kemiringan Saluran

$$S = 0,010$$

– Jari jari Hidrolik

$R = \frac{A}{P}$ ……(7)

$$R = \frac{0,04275}{0,658}$$

$$R = 0,065\ m$$

– Kecepatan Saluran (Manning)

$V = \frac{1}{n}AR^{2/3}S^{1/2}$ ……(8)

$$V = \frac{1}{0,0021}(0,065)^{2/3}(0,10)^{1/2}$$

$$V = 66,67 \times 0,162 \times 0,316$$

$$V = 2,437\ m/detik$$

– Kapasitas Saluran

$Q = A \times V$ ……(9)

$$Q = 0,0428 \times 2,437$$

$$Q = 0,146\ m^3/detik$$

– Evaluasi Kapasitas Drainase

$$Q_{saluran} \geq Q_{limpasan}$$

$$0,146\ m^3/detik \geq 0,798\ m^3/detik$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa kapasitas saluran eksisting pada Segmen Woloan Tiga sebesar 0,146 m³/detik**,** lebih kecil dari debit limpasan (0,798 m³/detik**)** sehingga berpotensi menimbulkan genangan.

BY NC SA

4. Perencanaan Drainase

berikut perencanaan ulang dimensi saluran pada segmen Woloan Tiga dan Segmen Kamasi Satu agar bisa menampung debit limpasan

a. Woloan Tiga

Tabel 4.2 Perncanaan Dimensi Saluran

No	Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
1	Lebar bawah	b	0,60	m
2	Tinggi air	h	0,35	m
3	Kemiringan sisi	m	0,25	-
4	Tinggi saluran	H	0,75	m
5	Lebar atas	T	0,65	m
6	Kemiringan saluran	S	0,10	m
7	Koefisien Manning	n	0,015	-
8	Debit limpasan	Q_l	0,798	m³/detik
9	Kapasitas saluran	Qs	1,13	m³/detik

– Luas Penampang Trapesium

$A = (b + mh)h$ ……(10)

$A = 0{,}60 + 2(0{,}25)(0{,}35)$

$A = 0{,}2406\ m^2$

– Keliling Basah

$P = b + 2h\sqrt{1 + m^2}$ …..……(11)

$P = 0{,}60 + 2(0{,}35)(1{,}031)$

$P = 1{,}119\ m$

– Jari jari Hidrolik

$R = \frac{A}{P}$ ……(12)

$R = \frac{0{,}2406}{1{,}322}$

$R = 0{,}182\ m$

– Kecepatan Saluran (Manning)

$V = \frac{1}{n} A R^{2/3} S^{1/2}$ ……(13)

$V = \frac{1}{0{,}021}(0{,}182)^{2/3}(0{,}0964)^{1/2}$

$V = 4{,}69\ m/detik$

– Kemiringan Saluran

$S = 0{,}010$

– Kapasitas Saluran

$Q = A \times V$ ……(14)

$Q = 0{,}2406 \times 4{,}32$

$Q = 1{,}03\ m^3/detik$

– Evaluasi Kapasitas Drainase

$Q_{saluran} \geq Q_{limpasan}$

$1{,}03\ m^3/detik \geq 0{,}798\ m^3/detik$

Dimensi Saluran yang direncanakan mampu menampung debit limpasan.

b. Kamasi Satu

Tabel 4.3 Perncanaan Dimensi Saluran

No	Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
1	Lebar bawah	b	0,50	m
2	Tinggi air	h	0,30	m
3	Kemiringan sisi	m	0,25	-
4	Tinggi saluran	H	1	m
5	Lebar atas	T	0,72	m
6	Kemiringan saluran	S	0,0129	m
7	Koefisien Manning	n	0,021	-
8	Debit limpasan	Q_l	0,274	m³/detik
9	Kapasitas saluran	Qs	0,373	m³/detik

– Luas Penampang Trapesium

$A = (b + mh)h$ ……(15)

$A = (0{,}55 + 0{,}25 \times 0{,}35)(0{,}35)$

$A = 0{,}2231\ m^2$

– Keliling Basah

$P = b + 2h\sqrt{1 + m^2}$ …..……(16)

$P = 0{,}55 + 2(0{,}35)\sqrt{1 + 0{,}25^2}$

$P = 0{,}50 + 0{,}60(1{,}031)$

$P = 1{,}272\ m$

– Jari jari Hidrolik

$R = \frac{A}{P}$ ……(17)

CC BY NC SA

$$R = \frac{0{,}2231}{1{,}272}$$

$$R = 0{,}154\ m$$

– Kecepatan Saluran (Manning)

$$V = \frac{1}{n} A R^{2/3} S^{1/2} \text{ ……(18)}$$

$$V = \frac{1}{0{,}021}(0{,}175)^{2/3}(0{,}0129)^{1/2}$$

$$V = 1{,}67\ m/detik$$

– Kemiringan Saluran

$$S = 0{,}010$$

– Kapasitas Saluran

$$Q = A \times V \text{ ……(19)}$$

$$Q = 0{,}2231 \times 1{,}67$$

$$Q = 0{,}373\ m^3/detik$$

– Evaluasi Kapasitas Drainase

$$Q_{saluran} \geq Q_{limpasan}$$

$$0{,}373\ m^3/detik \geq 0{,}274 m^3/detik$$

maka dapat disimpulkan bahwa desain saluran drainase pada segmen Kamasi Satu mampu menampung debit limpasan air hujan.

5. Analisis Kerusakan Jalan

Tabel 4.4 Perhitungan Nilai SDI

STA	PERHITUNGAN NILAI SDI				NILAI SDI	KONDISI	
	RETAK LUAS	RETAK LEBAR	JUMLAH LUBANG	BEKAS RODA			
0+000	0	0	0	0	0	B	BAIK
0+100	0	0	85	0	85	S	SEDANG
0+200	0	0	85	0	85	S	SEDANG
0+300	0	0	85	0	85	S	SEDANG

Tabel 4.5 Penangan Kerusakan SDI

STA		Nilai sdi		Rekomendasi penangan SDI
Titik (a)	0+100	85	Sedang	Pemeliharaan berkala
Titik (b)	0+200	85	Sedang	Pemeliharaan berkala
Titik (c)	0+300	85	Sedang	Pemeliharaan berkala

Analisis kerusakan jalan dilakukan menggunakan metode Surface Distress Index (SDI) melalui survei visual terhadap jenis dan tingkat kerusakan perkerasan. Hasil penilaian menunjukkan nilai SDI sebesar 85 pada Segmen Woloan Tiga dan Segmen Kamasi Satu. Berdasarkan klasifikasi Bina Marga, nilai tersebut termasuk dalam kategori sedang, sehingga ruas jalan memerlukan pemeliharaan berkala. Kerusakan yang ditemukan berupa retak, lubang, dan pelepasan butiran yang diduga dipengaruhi oleh genangan air akibat kinerja drainase yang kurang optimal.

CC BY NC SA

KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

- Curah Hujan rencana
  hasil analisis hidrologi menggunakan metode Log Pearson III didapat hasil curah hujan rencana sebesar 595,7 mm dengan periode ulang 10 tahun. Intensitas curah hujan diperoleh 667,5 mm/jam pada segmen Kamasi Satu dan 724,2 mm/jam pada segmen Woloan Tiga.
- Kondisi drainase Jalan
  Pada segmen Woloan tiga didapat kapasitas drainase sebesar 0,146 m3/detik, debit limpasan sebesar 0,798 m^3/detik. Saluran drianase dinyatakan tidak dapat menampung debit limpasan tersebut.sehingga dilakukan perencanaan ulang dimensi drainase dan didapat hasil desain ulang kapasitas drainase sebesar 1,13 m^3/detik. Pada segmen Kamasi Satu, karena tidak terdapat saluran drainase, maka dilakukan perencanaan dimensi drainase.hasil perencaaan kapasitas drainase didapat sebesar 0,373 m^3/detik sehingga dapat menampung debit limpasan sebesar 0,274 m^3/detik.
- Tingkat Kerusakan Jalan
  Berdasarkan analisis kondisi kerusakan jalan, diketahui bahwa kerusakan jalan dipengaruhi karena kondisi drainase yang buruk. Pada segmen Woloan Tiga, Genangan air terjadi karena saluran tidak dapat menampung debit limpasan yang menyebabkan kerusakan jalan, pada segmen Kamasi Satu, tidak tersedianya saluran drainase menyebabkan air langsung tergenang di jalan. Sehingga menyebabkan penurunan kualitas perkerasan.

2. Saran

- Perlu dilakukan perbaikan dan peningkatan kapasitas saluran drainase pada segmen Woloan Tiga agar mampu menampung debit limpasan yang terjadi.
- Diperlukan pembangunan sistem drainase baru pada segmen Kamasi Satu untuk mengalirkan air hujan secara terarah dan mencegah terjadinya genangan.
- Perlu dilakukan pemeliharaan rutin saluran drainase, seperti pembersihan sedimentasi dan sampah, agar fungsi drainase tetap optimal.
- Penanganan kerusakan jalan sebaiknya dilakukan berdasarkan tingkat kerusakan menggunakan metode SDI, sehingga perbaikan dapat dilakukan secara efektif dan efisien.
- Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk mempertimbangkan faktor tambahan seperti perubahan tata guna lahan, sistem drainase lingkungan sekitar, serta penggunaan data curah hujan dengan periode yang lebih panjang

DAFTAR PUSTAKA

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). 1993. *Guide for Design of Pavement Structures*. Washington, D.C.

Asdak, Chay. 2010. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Arsyad, A., & Rahman, M. (2022). *Analisis Hubungan Drainase dan Tingkat Kerusakan Jalan di Kabupaten Gowa*.

Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). 2025. *Data Curah Hujan Stasiun Klimatologi Sulawesi Utara*. Manado.

Chow, Ven Te. 1959. *Open-Channel Hydraulics*. New York: McGraw-Hill.

Cusuma, C. M. *Analisis Kondisi Permukaan Jalan dengan Menggunakan Metode Pavement Condition Index (PCI) dan Surface Distress Index (SDI)*

Departemen Pekerjaan Umum. 1997. *Manual Drainase Perkotaan*. Jakarta.

Direktorat Jenderal Bina Marga. 1990. *Tata Cara Penyusunan Program Pemeliharaan Jalan Kota (Metode SDI)*. Jakarta.

Direktorat Jenderal Bina Marga. 2018. *Manual Desain Perkerasan Jalan*. Jakarta.

Gunawan, H. 2010. "Evaluasi Sistem Drainase Perkotaan terhadap Genangan Air." *Jurnal Teknik Sipil*, 17(2), 95–102.

Haan, C. T. 1977. *Statistical Methods in Hydrology*. Ames: Iowa State University Press.

Harto, Sri Harto Br. 1993. *Analisis Hidrologi*. Jakarta: Gramedia.

Hidayat, A., & Wulandari, D. (2020). *Evaluasi Sistem Drainase Jalan Nasional Berdasarkan Curah Hujan dan Kondisi Perkerasan*.

Jonathan, R., & Pamadi, A. (2023). *Dampak Sistem Drainase Buruk terhadap Kondisi Jalan di Nagoya, Batam*.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2014. *Peraturan Sistem Drainase Perkotaan*. Jakarta.

Kodoatie, Robert J. 2005. "Pengelolaan Drainase Perkotaan dalam Mengatasi Banjir." *Jurnal Teknik Pengairan*, 6(1), 1–10.

Limantara, Lily Montarcih. 2010. *Hidrologi Praktis*. Bandung: Lubuk Agung.

Lai, X., et al. (2024). *Assessment of Road Network Vulnerability to Dynamic Urban Flooding Impacts*.

Lestari, N., et al. (2025). *Pengaruh pH Air dan Kedalaman Genangan terhadap Sifat Fisik dan Mekanis Beton Perkerasan*

Maidment, David R. 1993. *Handbook of Hydrology*. New York: McGraw-Hill.

Manning, Robert. 1891. *On the Flow of Water in Open Channels and Pipes*. Transactions of the Institution of Civil Engineers of Ireland.

Soemarto, C. D. 1999. *Hidrologi Teknik*. Jakarta: Erlangga.

Mukherjee, S. (2014). *Surface Road Drainage System and Waterlogging Problems on Road Sections*.

Rocky Roring. 2025. *Tinjauan Water Quality Berbasis Internet Of Things (IOT) dengan Paramater TDS, PD dan Temperatur dari Tiga Sumber Berbeda di Kec.Kakas, Kabupaten Minahasa*

Sosrodarsono, S., & Takeda, K. 2003. "Hidrologi untuk Pengairan." *Jurnal Teknik Sumber Daya Air*, 12(1), 45–54.

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

Sukur, A., et al. (2023). *Pengaruh Sistem Drainase Buruk terhadap Keawetan Perkerasan Jalan*

Triatmodjo, Bambang. 2003. "Analisis Frekuensi Curah Hujan untuk Perencanaan." *Jurnal Teknik Sipil*, 10(1), 33–40.

Triatmodjo, Bambang. 2008. *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Beta Offset.

Wu, Y., et al. (2023). *Urban Flood Resilience Assessment Based on Drainage Congestion Risk and Climate Change Impacts*

.