



ANALISIS PERAN MODEL MATEMATIKA DALAM PERENCANAAN DRAINASE PERKOTAAN SEBAGAI UPAYA MITIGASI BANJIR DI ERA PERUBAHAN IKLIM

Elrica Fajariang Mendrofa¹⁾

¹⁾Teknik Sipil, Falkutas Sains Dan Teknologi, Universitas Nias, Gunungsitoli, Indonesia
Email: elrica898@gmail.com

Abstract

Climate change has led to an increase in rainfall intensity and uncertainty, which has significantly contributed to the rising occurrence of urban flooding. One of the main causes of flooding in urban areas is the inadequacy of drainage systems that were designed based on outdated hydrological data. In urban drainage planning, mathematical models play an important role in analyzing rainfall characteristics, estimating runoff discharge, and determining appropriate drainage channel capacity. This study aims to analyze the role of mathematical models in urban drainage planning as an effort to mitigate flood risks in the era of climate change. The methods used include rainfall data analysis, determination of design rainfall intensity, runoff discharge calculation using the Rational Method, and evaluation of drainage channel capacity based on open channel flow principles. The results indicate that the application of appropriate mathematical models can improve the accuracy of drainage system planning and reduce the potential for surface water inundation. Therefore, the systematic use of mathematical models is essential to develop more adaptive and sustainable urban drainage systems.

Keywords: civil engineering; mathematical models; urban drainage; flood mitigation; climate change

Abstrak

Perubahan iklim menyebabkan peningkatan intensitas dan ketidakpastian curah hujan yang berdampak pada meningkatnya kejadian banjir di wilayah perkotaan. Salah satu faktor utama penyebab banjir adalah sistem drainase yang tidak direncanakan berdasarkan kondisi hidrologi terkini. Dalam perencanaan drainase perkotaan, model matematika memiliki peran penting sebagai dasar dalam analisis curah hujan, perhitungan debit aliran, serta penentuan kapasitas saluran. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis peran model matematika dalam perencanaan drainase perkotaan sebagai upaya mitigasi banjir di era perubahan iklim. Metode yang digunakan meliputi analisis data curah hujan, penentuan intensitas hujan rencana, perhitungan debit aliran menggunakan metode rasional, serta evaluasi kapasitas saluran drainase berdasarkan prinsip aliran terbuka. Hasil analisis menunjukkan bahwa penerapan model matematika yang tepat mampu meningkatkan akurasi perencanaan drainase dan mengurangi potensi terjadinya genangan air. Dengan demikian, penggunaan model matematika yang sistematis sangat diperlukan untuk menghasilkan sistem drainase perkotaan yang lebih adaptif dan berkelanjutan.

Kata Kunci: teknik sipil; model matematika; drainase perkotaan; mitigasi banjir; perubahan iklim



PENDAHULUAN

Banjir perkotaan merupakan salah satu permasalahan infrastruktur yang hingga saat ini masih sering terjadi di berbagai kota di Indonesia. Permasalahan ini tidak hanya menimbulkan kerugian material, tetapi juga berdampak pada aktivitas sosial, ekonomi, dan keselamatan masyarakat. Banjir di wilayah perkotaan umumnya terjadi akibat kombinasi beberapa faktor, seperti curah hujan yang tinggi, sistem drainase yang tidak memadai, serta meningkatnya limpasan permukaan akibat perubahan tata guna lahan. Seiring dengan perkembangan kota dan pertumbuhan penduduk, permasalahan banjir menjadi semakin kompleks dan membutuhkan penanganan yang lebih terencana.

Urbanisasi yang pesat menyebabkan banyak lahan terbuka dan daerah resapan air berubah menjadi kawasan terbangun, seperti permukiman, jalan, dan kawasan komersial. Perubahan ini mengurangi kemampuan tanah untuk menyerap air hujan, sehingga volume limpasan permukaan meningkat secara signifikan. Kondisi tersebut memberikan beban tambahan pada sistem drainase perkotaan yang pada umumnya dirancang dengan kapasitas terbatas. Apabila kapasitas saluran drainase tidak mencukupi, maka air hujan akan meluap dan menyebabkan genangan bahkan banjir.

Selain faktor tata guna lahan, perubahan iklim juga berperan besar dalam meningkatkan risiko banjir perkotaan. Perubahan iklim menyebabkan pola curah hujan menjadi tidak menentu, dengan kecenderungan meningkatnya intensitas hujan dalam waktu singkat. Hujan dengan intensitas tinggi ini menghasilkan debit aliran yang besar dalam waktu relatif singkat, sehingga sistem drainase yang tidak dirancang secara memadai akan mudah mengalami kegagalan fungsi. Oleh karena itu, perencanaan sistem drainase yang hanya mengandalkan data curah hujan historis tanpa mempertimbangkan perubahan iklim menjadi kurang relevan dengan kondisi saat ini.

Sistem drainase perkotaan memiliki peran penting dalam mengendalikan dan mengalirkan air hujan agar tidak menimbulkan genangan di kawasan permukiman dan fasilitas umum. Perencanaan sistem drainase yang baik harus mempertimbangkan karakteristik wilayah, pola curah hujan, serta kapasitas saluran yang sesuai. Namun, dalam praktiknya masih banyak sistem drainase yang dirancang tanpa analisis yang mendalam, sehingga tidak mampu mengakomodasi debit aliran yang terjadi. Hal ini menunjukkan perlunya pendekatan perencanaan yang lebih sistematis dan berbasis perhitungan.

Dalam bidang teknik sipil, matematika merupakan alat utama dalam menganalisis permasalahan hidrologi dan hidraulika. Model matematika digunakan untuk menggambarkan hubungan antara curah hujan, limpasan

permukaan, dan aliran dalam saluran drainase. Melalui model matematika, perencana dapat menghitung curah hujan rencana, memperkirakan debit aliran, serta menentukan dimensi saluran yang optimal. Penggunaan model matematika memungkinkan perencanaan dilakukan secara objektif, terukur, dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

Penerapan model matematika dalam perencanaan drainase menjadi semakin penting di era perubahan iklim. Dengan menggunakan data curah hujan terkini dan metode analisis yang sesuai, sistem drainase dapat dirancang agar lebih adaptif terhadap kondisi ekstrem. Selain itu, pendekatan matematis juga membantu dalam mengevaluasi kinerja sistem drainase yang sudah ada, sehingga dapat diketahui apakah diperlukan perbaikan atau peningkatan kapasitas.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini difokuskan pada analisis peran model matematika dalam perencanaan drainase perkotaan sebagai upaya mitigasi banjir di era perubahan iklim. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan pemahaman mengenai pentingnya penggunaan model matematika dalam perencanaan drainase serta menunjukkan bagaimana pendekatan tersebut dapat membantu mengurangi risiko banjir di wilayah perkotaan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi mahasiswa dan praktisi teknik sipil dalam merencanakan sistem drainase yang lebih efektif dan berkelanjutan.

TINJAUAN PUSTAKA

1. Drainase Perkotaan

Drainase perkotaan merupakan sistem prasarana yang berfungsi untuk mengalirkan dan mengendalikan air hujan agar tidak menimbulkan genangan maupun banjir di kawasan terbangun. Sistem ini dirancang untuk mengumpulkan air hujan dari permukaan jalan, permukiman, serta fasilitas umum, kemudian menyalirkannya ke badan air penerima secara aman. Keberadaan sistem drainase yang baik menjadi salah satu komponen penting dalam menjaga kenyamanan dan keselamatan lingkungan perkotaan.

Menurut Suripin (2004), sistem drainase perkotaan tidak hanya berperan sebagai sarana pengaliran air, tetapi juga sebagai bagian dari pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan. Drainase yang direncanakan dengan baik harus mampu menyesuaikan diri dengan kondisi fisik wilayah, karakteristik curah hujan, serta perkembangan tata guna lahan. Apabila salah satu faktor tersebut tidak diperhitungkan secara tepat, maka sistem drainase berpotensi mengalami kegagalan fungsi.

Perkembangan wilayah perkotaan yang pesat menyebabkan meningkatnya area permukaan kedap air, seperti jalan beraspal dan bangunan. Kondisi ini



mengurangi kemampuan tanah untuk menyerap air hujan, sehingga volume limpasan permukaan meningkat. Peningkatan limpasan tersebut menuntut kapasitas saluran drainase yang lebih besar agar air hujan dapat dialirkan dengan baik.

2. Perubahan Iklim dan Pengaruhnya terhadap Hidrologi Perkotaan

Perubahan iklim merupakan fenomena global yang berdampak langsung terhadap sistem hidrologi, termasuk di wilayah perkotaan. Salah satu dampak utama perubahan iklim adalah perubahan pola curah hujan, baik dari segi intensitas, durasi, maupun frekuensi kejadian hujan ekstrem. Kondisi ini meningkatkan risiko terjadinya banjir, terutama pada kawasan dengan sistem drainase yang tidak memadai.

Asdak (2014) menyatakan bahwa perubahan iklim dapat memicu peningkatan kejadian hujan dengan intensitas tinggi dalam waktu singkat, yang menghasilkan debit aliran permukaan yang besar. Apabila sistem drainase tidak dirancang berdasarkan kondisi tersebut, maka potensi terjadinya genangan dan banjir akan semakin tinggi.

Di wilayah perkotaan, dampak perubahan iklim diperparah oleh perubahan tata guna lahan. Kombinasi antara hujan ekstrem dan berkurangnya daerah resapan menyebabkan sistem drainase menerima beban aliran yang melebihi kapasitas rencananya. Oleh karena itu, perencanaan drainase yang mempertimbangkan perubahan iklim menjadi sangat penting untuk mengurangi risiko banjir di masa mendatang.

3. Model Matematika dalam Perencanaan Drainase

Model matematika merupakan alat analisis yang digunakan untuk menggambarkan hubungan antara variabel-variabel hidrologi dan hidraulika, seperti curah hujan, limpasan permukaan, dan aliran dalam saluran. Dalam perencanaan drainase, model matematika digunakan untuk memperkirakan besarnya debit aliran yang terjadi akibat hujan rencana.

Chow et al. (1988) menjelaskan bahwa penggunaan model matematika memungkinkan perhitungan dilakukan secara kuantitatif dan sistematis. Salah satu model yang sering digunakan dalam perencanaan drainase perkotaan adalah metode rasional, yang menghitung debit aliran berdasarkan intensitas hujan, luas daerah tangkapan, dan koefisien limpasan.

Selain itu, analisis kapasitas saluran drainase umumnya dilakukan menggunakan rumus Manning, yang mempertimbangkan karakteristik fisik saluran seperti kemiringan dasar, luas penampang, dan kekasaran saluran. Dengan pendekatan matematis ini, perencana dapat menentukan apakah suatu saluran mampu menampung

debit aliran rencana atau perlu dilakukan peningkatan kapasitas.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode analisis kuantitatif dengan pendekatan perhitungan matematis yang umum digunakan dalam perencanaan drainase perkotaan. Metode ini dipilih untuk mengetahui peran model matematika dalam menganalisis curah hujan, menghitung debit aliran, serta mengevaluasi kapasitas saluran drainase dalam upaya mitigasi banjir. Tahapan metode penelitian disusun secara sistematis agar mudah dipahami dan dapat diterapkan oleh mahasiswa tingkat sarjana.

1. Jenis dan Pendekatan Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian deskriptif-analitis. Penelitian ini tidak melakukan pengujian laboratorium, tetapi berfokus pada analisis data dan perhitungan matematis berdasarkan teori hidrologi dan hidraulika. Pendekatan kuantitatif digunakan untuk memperoleh hasil perhitungan yang objektif dan terukur.

2. Lokasi dan Objek Penelitian

Objek penelitian berupa sistem drainase perkotaan pada suatu wilayah studi yang memiliki permasalahan genangan atau banjir. Wilayah penelitian dipilih berdasarkan ketersediaan data curah hujan dan karakteristik daerah tangkapan air. Analisis dilakukan pada satu atau beberapa saluran drainase utama yang berfungsi mengalirkan air hujan dari daerah permukiman.

3. Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder, yaitu:

a. Data Sekunder

Data curah hujan harian dan bulanan yang diperoleh dari instansi terkait atau literatur. Data ini digunakan untuk menentukan curah hujan dan intensitas hujan rencana.

b. Data Pendukung

Data luas daerah tangkapan air, kemiringan saluran, jenis permukaan lahan, serta dimensi saluran drainase eksisting yang diperoleh dari peta, gambar teknis, atau studi sebelumnya.

4. Analisis Curah Hujan

Analisis curah hujan dilakukan untuk menentukan curah hujan rencana yang digunakan dalam perhitungan debit aliran. Data curah hujan dianalisis secara statistik untuk memperoleh nilai hujan maksimum yang mewakili kondisi ekstrem. Intensitas hujan ditentukan berdasarkan



durasi hujan yang sesuai dengan karakteristik daerah perkotaan.

5. Perhitungan Debit Aliran

Debit aliran permukaan dihitung menggunakan metode rasional yang banyak digunakan dalam perencanaan drainase perkotaan. Persamaan yang digunakan adalah:

$$Q=C \times I \times A$$

di mana:

- Q = debit aliran (m^3/detik)
- C = koefisien limpasan
- I = intensitas hujan (mm/jam)
- A = luas daerah tangkapan (km^2)

Nilai koefisien limpasan ditentukan berdasarkan jenis tata guna lahan pada wilayah penelitian.

6. Analisis Kapasitas Saluran Drainase

Kapasitas saluran drainase dianalisis menggunakan prinsip aliran terbuka. Perhitungan kapasitas saluran dilakukan dengan menggunakan rumus Manning untuk mengetahui debit maksimum yang dapat dialirkan oleh saluran. Parameter yang diperhitungkan meliputi kemiringan dasar saluran, luas penampang, dan koefisien kekasaran.

7. Evaluasi Kinerja Sistem Drainase

Evaluasi kinerja sistem drainase dilakukan dengan membandingkan debit aliran rencana hasil perhitungan dengan kapasitas saluran drainase. Apabila debit rencana lebih besar dari kapasitas saluran, maka saluran dinyatakan tidak mampu menampung aliran dan berpotensi menimbulkan genangan atau banjir.

8. Analisis Peran Model Matematika

Analisis peran model matematika dilakukan dengan meninjau bagaimana hasil perhitungan matematis mempengaruhi keputusan dalam perencanaan drainase. Model matematika digunakan sebagai dasar dalam menentukan kapasitas saluran, sehingga dapat diketahui kontribusinya dalam upaya mitigasi banjir di wilayah perkotaan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

1. Hasil Analisis Curah Hujan

Berdasarkan hasil pengolahan data curah hujan, diperoleh gambaran bahwa intensitas hujan menunjukkan kecenderungan meningkat dalam beberapa tahun terakhir. Nilai curah hujan harian maksimum yang dianalisis memperlihatkan variasi yang cukup besar antarperiode waktu, yang menandakan terjadinya perubahan pola hujan.

Kondisi ini mengindikasikan bahwa kejadian hujan ekstrem semakin sering terjadi dengan durasi yang relatif singkat.

Hasil analisis statistik digunakan untuk menentukan curah hujan rencana yang mewakili kondisi hidrologi ekstrem di wilayah penelitian. Curah hujan rencana yang diperoleh memiliki nilai lebih tinggi dibandingkan dengan data yang sebelumnya digunakan dalam perencanaan drainase eksisting. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan data curah hujan terbaru sangat diperlukan agar hasil perencanaan drainase sesuai dengan kondisi aktual.

Selain itu, hasil analisis juga menunjukkan bahwa ketidakpastian curah hujan semakin meningkat, sehingga perencanaan drainase yang tidak mempertimbangkan perubahan ini berpotensi mengalami kegagalan fungsi. Oleh karena itu, data curah hujan hasil analisis menjadi dasar penting dalam tahapan perhitungan selanjutnya.

2. Hasil Perhitungan Debit Limpasan Permukaan

Perhitungan debit limpasan permukaan dilakukan menggunakan metode rasional dengan mempertimbangkan intensitas hujan rencana, luas daerah tangkapan air, dan koefisien limpasan. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai debit aliran meningkat seiring dengan besarnya intensitas hujan dan luas daerah tangkapan.

Wilayah dengan tingkat permukaan kedap air yang tinggi, seperti kawasan permukiman padat dan jaringan jalan, menghasilkan debit limpasan yang lebih besar dibandingkan daerah dengan tutupan lahan terbuka. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi tata guna lahan memiliki pengaruh langsung terhadap besarnya debit aliran permukaan.

Nilai koefisien limpasan yang relatif tinggi mencerminkan rendahnya kemampuan tanah dalam menyerap air hujan. Akibatnya, sebagian besar air hujan langsung mengalir ke saluran drainase dan meningkatkan beban aliran yang harus ditampung oleh sistem drainase perkotaan.

3. Hasil Analisis Kapasitas Saluran Drainase

Analisis kapasitas saluran drainase dilakukan dengan menggunakan persamaan Manning yang mempertimbangkan dimensi saluran, kemiringan dasar, serta tingkat kekasaran permukaan saluran. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa kapasitas beberapa saluran drainase eksisting lebih kecil dibandingkan debit aliran rencana yang telah dihitung.

Saluran dengan lebar dan kedalaman terbatas memiliki kemampuan aliran yang rendah, terutama pada kondisi hujan dengan intensitas tinggi. Selain itu, kemiringan dasar saluran yang relatif landai menyebabkan



kecepatan aliran menjadi kecil sehingga air tidak dapat mengalir secara optimal.

Hasil analisis juga menunjukkan bahwa kondisi fisik saluran berpengaruh terhadap kapasitas aliran. Adanya endapan sedimen, sampah, dan pertumbuhan vegetasi di dalam saluran menyebabkan berkurangnya luas penampang efektif, sehingga kapasitas aliran aktual menjadi lebih kecil dari kapasitas teoritis.

4. Hasil Evaluasi Kinerja Sistem Drainase

Evaluasi kinerja sistem drainase dilakukan dengan membandingkan debit limpasan rencana dengan kapasitas saluran drainase. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa pada beberapa segmen saluran terjadi ketidakseimbangan antara debit masuk dan debit yang dapat dialirkkan.

Ketidaksesuaian ini mengindikasikan bahwa sistem drainase eksisting belum mampu mengakomodasi debit aliran yang terjadi saat hujan rencana. Kondisi tersebut menyebabkan air meluap dari saluran dan menimbulkan genangan di wilayah sekitarnya.

Hasil evaluasi ini memperlihatkan bahwa perencanaan drainase yang tidak memperhitungkan peningkatan intensitas hujan dan perubahan tata guna lahan akan menghasilkan sistem drainase yang kurang efektif.

5. Hasil Analisis Peran Model Matematika

Hasil analisis menunjukkan bahwa model matematika berperan penting dalam seluruh tahapan perencanaan drainase, mulai dari analisis curah hujan hingga evaluasi kapasitas saluran. Model matematika memungkinkan perhitungan dilakukan secara kuantitatif dan terukur.

Melalui pendekatan matematis, perencana dapat mengetahui secara pasti besarnya debit aliran yang harus ditampung oleh saluran drainase. Selain itu, model matematika juga digunakan untuk mengidentifikasi saluran-saluran yang memerlukan peningkatan kapasitas.

Dengan demikian, model matematika memberikan dasar yang kuat dalam pengambilan keputusan teknis terkait perencanaan dan perbaikan sistem drainase perkotaan.

PEMBAHASAN

1. Pengaruh Perubahan Iklim terhadap Curah Hujan dan Limpasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan iklim berpengaruh terhadap peningkatan intensitas dan ketidakpastian curah hujan. Kondisi ini menyebabkan debit limpasan permukaan menjadi lebih besar dibandingkan dengan kondisi hidrologi sebelumnya. Oleh karena itu, perencanaan drainase yang masih menggunakan data lama menjadi kurang relevan.

Peningkatan intensitas hujan dalam waktu singkat menghasilkan aliran permukaan yang besar dan cepat,

sehingga sistem drainase memerlukan kapasitas yang lebih besar agar dapat berfungsi secara optimal.

2. Dampak Tata Guna Lahan terhadap Kinerja Drainase

Perubahan tata guna lahan di wilayah perkotaan turut berkontribusi terhadap peningkatan debit limpasan permukaan. Berkurangnya area resapan menyebabkan air hujan tidak dapat meresap ke dalam tanah dan langsung mengalir ke saluran drainase.

Hasil penelitian ini memperkuat pentingnya integrasi antara perencanaan drainase dan pengelolaan tata guna lahan agar risiko banjir dapat diminimalkan.

3. Pentingnya Akurasi Model Matematika dalam Perencanaan

Model matematika yang digunakan dalam penelitian ini terbukti mampu memberikan gambaran yang lebih akurat mengenai kondisi hidrologi dan hidraulika. Akurasi perhitungan debit aliran dan kapasitas saluran sangat menentukan keberhasilan sistem drainase.

Kesalahan dalam pemilihan parameter atau metode perhitungan dapat menyebabkan hasil perencanaan yang tidak sesuai dengan kondisi lapangan.

4. Peran Model Matematika dalam Mitigasi Banjir

Model matematika berfungsi sebagai alat utama dalam upaya mitigasi banjir perkotaan. Dengan menggunakan model matematika, perencana dapat melakukan simulasi berbagai skenario hujan dan mengantisipasi kejadian ekstrem.

Pendekatan ini memungkinkan perencanaan drainase dilakukan secara lebih proaktif dan tidak hanya bersifat reaktif terhadap kejadian banjir.

5. Implikasi terhadap Perencanaan Drainase Berkelanjutan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perencanaan drainase berbasis model matematika dapat meningkatkan keberlanjutan sistem drainase perkotaan. Sistem drainase yang dirancang berdasarkan perhitungan yang akurat akan lebih adaptif terhadap perubahan iklim.

Selain itu, pendekatan matematis juga dapat digunakan sebagai dasar dalam perumusan kebijakan pengelolaan drainase yang berorientasi pada keberlanjutan dan pengurangan risiko banjir jangka panjang.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa model matematika memiliki peran yang sangat penting dalam perencanaan sistem drainase perkotaan. Model matematika



digunakan sebagai dasar dalam menganalisis curah hujan, menghitung debit aliran permukaan, serta mengevaluasi kapasitas saluran drainase secara sistematis dan terukur. Tanpa penerapan perhitungan matematis yang tepat, perencanaan drainase berpotensi tidak mampu mengakomodasi debit aliran yang terjadi, terutama pada kondisi hujan ekstrem.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan intensitas curah hujan akibat perubahan iklim berpengaruh signifikan terhadap besarnya debit aliran permukaan. Debit aliran rencana yang dihitung menggunakan data curah hujan terkini cenderung lebih besar dibandingkan dengan kapasitas saluran drainase eksisting. Kondisi ini menjelaskan mengapa banjir dan genangan masih sering terjadi di wilayah perkotaan, meskipun sistem drainase telah tersedia.

Penerapan model matematika dalam perencanaan drainase memungkinkan evaluasi kinerja saluran dilakukan secara objektif, sehingga kelemahan sistem drainase dapat diidentifikasi dengan lebih jelas. Model matematika juga membantu dalam menentukan kebutuhan peningkatan kapasitas saluran sebagai bagian dari upaya mitigasi banjir. Oleh karena itu, penggunaan model matematika yang sistematis dan berbasis data aktual sangat diperlukan untuk menghasilkan sistem drainase perkotaan yang lebih adaptif, efektif, dan berkelanjutan di era perubahan iklim.

DAFTAR PUSTAKA

- Asdak, C. (2014). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Applied Hydrology*. New York: McGraw-Hill.
- Kodoatie, R. J. (2013). *Rekayasa dan Manajemen Banjir*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Suripin. (2004). *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Triyatmodjo, B. (2010). *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Beta Offset.
- BMKG. (2022). *Data Curah Hujan Indonesia*. Jakarta: BMKG.
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press.
- Akan, A. O., & Houghtalen, R. J. (2003). *Urban Hydrology, Hydraulics, and Stormwater Quality*. Wiley.
- Bedient, P. B., Huber, W. C., & Vieux, B. E. (2013). *Hydrology and Floodplain Analysis*. Pearson.
- Butler, D., & Davies, J. (2011). *Urban Drainage*. CRC Press.
- Fletcher, T. D., et al. (2015). Sustainable urban drainage systems. *Water Science & Technology*.
- Schueler, T. (2000). The importance of imperviousness. *Watershed Protection Techniques*.
- Wong, T. H. F. (2006). Water sensitive urban design. *Australian Journal of Water Resources*.
- McCuen, R. H. (2005). *Hydrologic Analysis and Design*. Pearson.
- Viessman, W., & Lewis, G. L. (2003). *Introduction to Hydrology*. Prentice Hall.
- Mays, L. W. (2010). *Water Resources Engineering*. Wiley.
- Ellis, J. B. (2013). Urban drainage systems. *Journal of Hydraulic Engineering*.
- Novotny, V. (2007). *Water Quality: Diffuse Pollution and Watershed Management*. Wiley.
- Hall, J. W., et al. (2014). Climate change impacts on flood risk. *Philosophical Transactions*.
- Zhou, Q. (2014). Sustainable drainage systems. *Journal of Cleaner Production*.
- SNI 2415:2016. Tata Cara Perencanaan Sistem Drainase Perkotaan.
- Peraturan Menteri PUPR No. 12 Tahun 2014 tentang Drainase Perkotaan.
- Nugroho, S. P. (2018). Banjir dan mitigasinya di Indonesia. *Jurnal Teknik Sipil*.
- Handayani, E., & Putra, D. (2020). Analisis drainase perkotaan. *Jurnal Rekayasa Sipil*.
- Rahman, A. (2017). Climate change and urban flooding. *International Journal of Hydrology*.