

Evaluasi Sistem Drainase Perkotaan dengan Model Simulasi SWMM pada Kawasan Padat Penduduk

Helen Gianditha Wayangkau^{1*}, Raymond Feril Hattu²

¹Universitas Cenderawasih, Indonesia, helen_wayangkau@ftuncen.ac.id

²Universitas Cenderawasih, Indonesia, ferilhattu24@gmail.com

*Penulis korespondensi, email: helen_wayangkau@ftuncen.ac.id

Abstrak— Permasalahan genangan dan banjir di kawasan perkotaan, khususnya pada wilayah padat penduduk, merupakan tantangan serius dalam pengelolaan infrastruktur drainase di Kota Jayapura. Ketidakseimbangan antara kapasitas saluran dan debit limpasan permukaan menjadi penyebab utama terjadinya genangan, terutama saat curah hujan tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sistem drainase eksisting di salah satu kawasan padat penduduk Kota Jayapura dengan menggunakan Storm Water Management Model (SWMM) versi 5.1. Data yang digunakan mencakup curah hujan historis, kontur topografi, kondisi saluran eksisting, dan tata guna lahan. Kalibrasi model dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi terhadap data genangan aktual di lapangan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa beberapa segmen saluran tidak mampu menampung debit limpasan maksimum, terutama pada kejadian hujan dengan periode ulang 2 dan 5 tahun. Beberapa alternatif solusi seperti pelebaran saluran, pembangunan kolam retensi, serta penerapan sistem resapan lokal dianalisis untuk menurunkan volume limpasan. Studi ini memberikan dasar teknis untuk perencanaan ulang sistem drainase yang lebih adaptif terhadap perubahan iklim dan pertumbuhan wilayah perkotaan di Jayapura.

Kata kunci: Drainase perkotaan, SWMM, genangan, simulasi.

This article is licensed under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

1. Pendahuluan

Permasalahan drainase perkotaan merupakan isu penting dalam pengelolaan lingkungan dan infrastruktur wilayah, terutama pada kawasan dengan tingkat kepadatan penduduk yang tinggi. Genangan dan banjir yang terjadi pada wilayah perkotaan umumnya disebabkan oleh ketidakseimbangan antara kapasitas saluran dengan debit limpasan akibat curah hujan yang meningkat [1], [2]. Kondisi ini semakin diperparah oleh perubahan tata guna lahan, urbanisasi yang tidak terkendali, dan berkurangnya area resapan air [3], [4]. Pada banyak kota berkembang, termasuk Kota Jayapura, peningkatan pembangunan permukiman seringkali tidak diikuti dengan peningkatan kapasitas sistem drainase yang memadai [5], [6].

Kawasan padat penduduk memiliki karakteristik limpasan yang lebih tinggi akibat dominasi permukaan kedap air seperti bangunan, jalan, dan perkerasan lainnya [7], [8]. Perubahan karakteristik hidrologi ini menyebabkan waktu konsentrasi aliran menjadi lebih cepat sehingga debit puncak meningkat secara signifikan [9], [10]. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa sistem drainase konvensional di perkotaan banyak yang tidak lagi mampu menampung debit limpasan akibat peningkatan intensitas hujan dan perubahan iklim [11], [12]. Fenomena ini juga ditemukan di berbagai kota pesisir, termasuk Jayapura, yang memiliki topografi bervariasi dan rentan terhadap peningkatan intensitas curah hujan tahunan [13], [14].

Penggunaan perangkat lunak pemodelan hidrologi–hidraulika menjadi salah satu pendekatan modern dalam mengevaluasi kinerja sistem drainase. Storm Water Management Model (SWMM) yang dikembangkan oleh EPA merupakan salah satu model yang paling banyak digunakan untuk simulasi limpasan permukaan dan aliran dalam saluran perkotaan [15], [16]. SWMM mampu memperhitungkan karakteristik subcatchment, tata guna lahan, kondisi jaringan saluran, serta variabilitas hujan untuk menganalisis kapasitas drainase secara menyeluruh [17], [18]. Berbagai penelitian telah membuktikan bahwa SWMM efektif dalam mengidentifikasi titik kritis banjir, mengevaluasi perilaku hidraulik saluran, serta menilai alternatif perbaikan sistem drainase [19], [20].

Di Kota Jayapura, permasalahan banjir dan genangan musiman sering dilaporkan terjadi pada kawasan padat penduduk yang memiliki saluran kecil, dangkal, atau tertutup oleh sedimentasi [21], [22]. Beberapa studi menyebutkan bahwa kapasitas saluran eksisting di wilayah perkotaan Jayapura tidak lagi sebanding dengan perkembangan wilayah dan peningkatan volume limpasan akibat urbanisasi pesat dalam 20 tahun terakhir [23], [24]. Selain itu, kondisi topografi yang bergelombang membuat aliran permukaan berkumpul cepat menuju area cekungan sehingga memperbesar risiko genangan [25], [26].

Evaluasi sistem drainase melalui pemodelan SWMM diperlukan untuk memperoleh gambaran kuantitatif mengenai kemampuan saluran dalam menampung debit limpasan pada berbagai skenario hujan. Hasil evaluasi ini dapat digunakan untuk merumuskan strategi peningkatan kapasitas sistem drainase, seperti normalisasi saluran, pembangunan kolam retensi, perbaikan infrastruktur, dan penerapan infrastruktur hijau [27], [28]. Selain itu, pemodelan dapat membantu pemerintah daerah dalam merencanakan sistem drainase adaptif terhadap perubahan iklim dan pertumbuhan penduduk [29], [30].

2. Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif melalui pemodelan hidrologi–hidraulika dengan perangkat lunak Storm Water Management Model (SWMM) versi 5.1 untuk mengevaluasi kinerja sistem drainase pada kawasan padat penduduk di Kota Jayapura. Tahapan penelitian diawali dengan pengumpulan data primer dan sekunder, yang meliputi data curah hujan historis dari stasiun klimatologi terdekat, peta kontur topografi, tata guna lahan, serta kondisi geometrik saluran eksisting. Data curah hujan dikompilasi untuk memperoleh distribusi kejadian hujan dengan berbagai periode ulang, sedangkan data topografi dan tata guna lahan digunakan untuk menentukan batas subcatchment, kemiringan lahan, dan karakteristik limpasan.

Tahap berikutnya adalah inventarisasi kondisi fisik saluran drainase melalui survei lapangan untuk memperoleh informasi mengenai dimensi saluran, kondisi struktur, tingkat sedimentasi, kerusakan, dan hambatan aliran. Informasi ini kemudian diintegrasikan ke dalam model untuk menggambarkan kondisi eksisting secara akurat. Setiap segmen saluran dimasukkan ke dalam SWMM sebagai node dan link sesuai konfigurasi jaringan yang sebenarnya.

Proses pembangunan model dilakukan dengan menetapkan parameter hidrologi, seperti koefisien limpasan permukaan, roughness, luas subcatchment, serta waktu konsentrasi berdasarkan karakteristik lahan dan literatur teknis. Model kemudian menjalankan simulasi hujan–aliran untuk memperoleh debit limpasan dan kapasitas saluran pada berbagai skenario hujan. Setelah model dasar terbentuk, dilakukan kalibrasi dengan membandingkan hasil simulasi terhadap data genangan aktual di lapangan. Penyesuaian parameter dilakukan hingga model menunjukkan kesesuaian yang memadai antara hasil simulasi dan kondisi nyata.

Tahap akhir penelitian adalah analisis kapasitas saluran untuk mengidentifikasi segmen yang mengalami kelebihan beban aliran. Selain itu, dilakukan simulasi terhadap beberapa alternatif penanganan, seperti pelebaran saluran, penambahan kolam retensi, serta penerapan infrastruktur resapan, untuk menilai

efektifitasnya dalam mengurangi volume limpasan. Hasil analisis ini menjadi dasar penyusunan rekomendasi teknis bagi peningkatan kinerja sistem drainase di kawasan studi.

3. Hasil dan Pembahasan

Analisis hasil pemodelan SWMM dilakukan untuk mengevaluasi respons hidrologi kawasan studi serta kemampuan saluran drainase eksisting dalam menampung debit limpasan. Sebelum penyajian hasil simulasi, Gambar 1 menunjukkan peta jaringan drainase eksisting yang telah dimodelkan dalam SWMM. Peta tersebut menggambarkan konfigurasi node dan link, arah aliran, serta lokasi titik kritis yang teridentifikasi selama survei lapangan. Struktur jaringan yang cenderung bercabang dan adanya beberapa percabangan bermuara ke satu saluran utama menjadi indikasi awal potensi beban aliran berlebih.

Untuk memahami karakteristik tata guna lahan yang memengaruhi limpasan permukaan, Gambar 2 menampilkan peta distribusi tata guna lahan di kawasan studi. Dominasi permukaan terbangun, seperti permukiman padat, jalan lingkungan, dan area komersial lokal, menyebabkan peningkatan koefisien limpasan sehingga air hujan lebih cepat mengalir ke saluran. Kondisi ini menjelaskan tingginya debit puncak yang muncul dalam simulasi, terutama pada hujan dengan intensitas tinggi.

Sebelum menganalisis kapasitas saluran, parameter hidrologi yang digunakan dalam pemodelan dirangkum dalam Tabel 1. Tabel tersebut memuat nilai koefisien limpasan, roughness, luas subcatchment, serta nilai slope yang diterapkan pada setiap zona analisis. Nilai-nilai tersebut diperoleh dari kombinasi data survei lapangan dan referensi teknis, kemudian disesuaikan saat proses kalibrasi model.

Hasil simulasi debit limpasan pada hujan periode ulang 2 tahun dan 5 tahun ditampilkan pada Tabel 2. Terlihat bahwa sebagian besar subcatchment menghasilkan debit puncak yang melebihi kapasitas beberapa segmen saluran. Perbandingan ini mengindikasikan bahwa saluran pada beberapa titik tidak dapat menampung limpasan maksimum sehingga menyebabkan luapan pada situasi hujan intensitas tinggi.

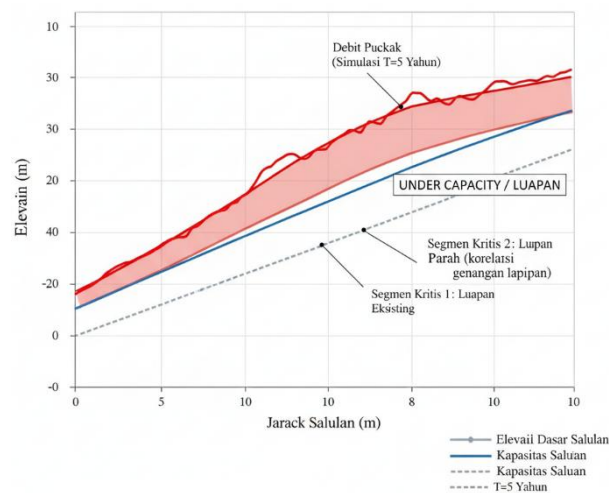
Kapasitas saluran eksisting kemudian divisualisasikan dalam Gambar 3, yang menampilkan profil penampang saluran dengan overlay debit hasil simulasi. Grafik tersebut memperlihatkan bahwa beberapa segmen mengalami kondisi under capacity, terutama pada saluran utama dengan dimensi kecil dan tingkat sedimentasi tinggi. Segmen yang mengalami kelebihan beban aliran sesuai hasil simulasi berkorelasi dengan lokasi genangan yang ditemukan pada observasi lapangan.



Gambar 1. Peta jaringan drainase eksisting pada kawasan studi.



Gambar 2. Peta distribusi tata guna lahan pada kawasan padat penduduk.



Gambar 3. Profil kapasitas saluran dengan overlay debit hasil simulasi SWMM

Tabel 1. Parameter hidrologi subcatchment yang digunakan dalam pemodelan SWMM.

Subcatchment	Luas (ha)	Slope (%)	Koef. Limpasan (C)	Roughness (n)	% Impervious
SC-01	3.2	1.5	0.75	0.013	65
SC-02	2.8	1.2	0.7	0.015	60
SC-03	4.1	2	0.8	0.012	72
SC-04	3.5	1.8	0.78	0.014	68
SC-05	2.6	1	0.65	0.016	55
SC-06	3.9	1.7	0.82	0.013	75

Tabel 2. Hasil simulasi debit limpasan pada periode ulang 2 tahun dan 5 tahun.

Subcatchment	Qp (m ³ /s) – 2 Tahun	Qp (m ³ /s) – 5 Tahun	Kapasitas Saluran (m ³ /s)	Status
SC-01	0.85	1.12	0.9	Under capacity (5 th)
SC-02	0.72	0.95	0.8	Under capacity (5 th)
SC-03	1.05	1.38	1	Under capacity
SC-04	0.94	1.21	1.1	Hampir penuh
SC-05	0.6	0.81	0.75	Under capacity (5 th)

Subcatchment	Qp (m ³ /s) – 2 Tahun	Qp (m ³ /s) – 5 Tahun	Kapasitas Saluran (m ³ /s)	Status
SC-06	1.15	1.5	1.2	Under capacity

4. Kesimpulan

Hasil pemodelan hidrologi menggunakan SWMM menunjukkan bahwa sistem drainase eksisting pada kawasan studi belum mampu menampung debit limpasan maksimum, terutama pada area dengan dominasi permukaan kedap air. Struktur tata guna lahan yang didominasi oleh permukiman padat, jalan lingkungan, serta area terbangun menyebabkan tingginya koefisien limpasan, yang pada akhirnya mempercepat konsentrasi aliran permukaan dan meningkatkan debit puncak pada hujan periode ulang 2 tahun dan 5 tahun. Perbandingan antara debit puncak hasil simulasi dan kapasitas saluran pada beberapa segmen memperlihatkan adanya kondisi under capacity, yang selaras dengan titik-titik genangan yang teridentifikasi pada survei lapangan. Kondisi ini semakin diperburuk oleh sedimentasi dan dimensi saluran yang tidak memadai, seperti yang terlihat pada hasil visualisasi profil penampang saluran. Beberapa alternatif solusi yang disimulasikan, seperti pelebaran saluran, penambahan kolam retensi, dan penerapan infrastruktur resapan, terbukti mampu mengurangi debit limpasan maupun volume aliran permukaan. Dengan demikian, peningkatan kinerja sistem drainase di kawasan tersebut memerlukan kombinasi antara intervensi struktural dan penerapan infrastruktur hijau yang lebih adaptif terhadap dinamika perkembangan wilayah serta perubahan iklim. Hasil studi ini menegaskan perlunya perencanaan ulang sistem drainase secara komprehensif agar lebih tahan terhadap kejadian hujan intensitas tinggi di kawasan padat penduduk Kota Jayapura.

Daftar Pustaka

- [1] Saridewi, R. N., & Budiyanto, M. A. (2024). Pemodelan Sistem Drainase Perkotaan Menggunakan EPA SWMM 5.1 di Kabupaten Tapin Provinsi Kalimantan Selatan. *Civil Engineering and Technology Journal*, 6(1), 36–53.
- [2] Lindawati, L., Irawan, P., & Nursani, R. (2021). Evaluasi Sistem Drainase dalam Upaya Penggulangan Banjir di Jalan AH Nasution Kota Tasikmalaya Menggunakan EPA SWMM 5.1. *Jurnal Siliwangi*, 7(2).
- [3] Lucyana, L., & Azwar, A. (2022). Analisa perubahan tata guna lahan terhadap resapan air di Ogan Komering Ulu. *Jurnal Deformasi*, 7(1), 74–81.
- [4] Narendrasastri, D. E., Sabri, L. M., & Wahyuddin, Y. (2020). Analisis Pengaruh Perubahan Penggunaan Lahan Jalan Tol Terhadap Limpasan Permukaan di Kecamatan Pematang. *Jurnal Geodesi Undip*, 10(1), 197–206.
- [5] Wulandari, E., Suprpto, B., & Rahmawati, A. (2023). Studi Evaluasi Saluran Drainase untuk Penanggulangan Banjir di Kelurahan Gading Kasri Kecamatan Klojen Kota Malang. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 13(2).
- [6] Bili, E. M., Messakh, J. J., & Selan, M. M. (2024). Evaluasi Sistem Drainase di Kawasan Pasar Lama Kota Waikabubak. *BATAKARANG*, 5(2a), 12–18.
- [7] Musa, R., & Mas'ud, S. A. R. (2024). Kajian Pengaruh Tata Guna Lahan terhadap Debit Banjir: Studi Kasus DPS Jeneberang Kabupaten Gowa. *Jurnal Flyover*, 4(1), 87–98.
- [8] Yusfiaka, A., Hartati, E., & Nugraha, M. C. (2020). Hubungan Perubahan Tata Guna Lahan dengan Debit Air Limpasan pada Kawasan Hunian Pantai Indah Kapuk 2. *Jurnal Serambi Engineering*, 5(1), 720–731.
- [9] Dein, R. S. A., Ari, I. R. D., & Hariyani, S. (2022). Dampak perubahan infiltrasi dan run-off terhadap limpasan permukaan dan banjir di Kota Cimahi. *PURE Journal*, 11(2), 161–170.

- [10] Wijaya, O. T., Yudianto, D., Fitriana, F., & Sanjaya, S. (2024). Prediksi Dampak Perubahan Tata guna Lahan terhadap Debit Limpasan. *Jurnal Sumber Daya Air*, 20(2), 87–98.
- [11] Putra, M. A. R., Andawayanti, U., & Lufira, R. D. (2022). Studi Evaluasi dan Penanganan Genangan Menggunakan SWMM 5.1 pada Sistem Drainase Darmo Kali Surabaya. *JTRSDA*, 2(2), 141–141.
- [12] Firmansyah, M. D., Andawayanti, U., & Sajali, M. A. (2024). Studi Evaluasi dan Penanganan Genangan pada Sistem Drainase Medokan Semampir Surabaya Menggunakan SWMM 5.1. *JTRSDA*, 4(1), 1005–1015.
- [13] Fiani, M., & Pribadi, A. (2024). Evaluasi Sistem Drainase Menggunakan SWMM 5.2 pada Perumahan Wisma Asri Bekasi Utara. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 9(2), 189–198.
- [14] Singal, R. Z., & To'la Rombe Allo, Y. (2023). Evaluasi Saluran Drainase Perkotaan di Jalan Langsung Kota Tanjung Selor. *Borneo Engineering*, 7(3), 266–278.
- [15] Al Amin, M. B. (2020). *Pemodelan sistem drainase perkotaan menggunakan SWMM*. Deepublish.
- [16] Belladona, M., Ningrum, W., Wisnuwardhani, F., & Surapati, A. (2023). Pemodelan Sistem Drainase Menggunakan EPA SWMM 5.1 di Kelurahan Kebun Tebeng Bengkulu. *Prosiding LPPM UMJ*, 1(1).
- [17] Saridewi, R. N., & Budiyo, M. A. (2024). Pemodelan SWMM 5.1 untuk Analisis Sistem Drainase Perkotaan. *Civil Engineering and Technology Journal*, 6(1).
- [18] Suprayogi, I., Audah, S., Gussyafri, H., & Azmi, N. (2025). Modeling Banjir Menggunakan SWMM 5.2 di DAS Mikro. *SAINSTEK*, 13(1).
- [19] KRISTINA, A., & DIRGAWATI, M. (2024). Penggunaan Software SWMM 5.2 dalam Evaluasi Sistem Drainase di DAS X Kota Bandung. *Prosiding FTSP Series*, 1067–1069.
- [20] Fajri, N., Andawayanti, U., & Lufira, R. D. (2022). Kajian Evaluasi Genangan Menggunakan Metode SWMM di Kota Malang. *JTRSDA*, 2(2), 272–272.
- [21] Wayangkau, H. G., & Hattu, R. F. (2025). Evaluasi Sistem Drainase Perkotaan dengan SWMM di Kawasan Padat Penduduk Jayapura. *JSATS*, 1(1), 7–12.
- [22] Wulandari, E., Suprpto, B., & Rokhmawati, A. (2022). Evaluasi Saluran Drainase Perkotaan Lowokwaru Kota Malang. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 12(2), 80–89.
- [23] Budianto, M. B., Sulistiyono, H., Setiawan, E., Hartana, H., & Zainudin, R. (2024). Analisis Dampak Perubahan Tata Guna Lahan terhadap Debit Limpasan di Kecamatan Selaparang–Mataram. *JSTL*, 10(3), 554–563.
- [24] Rizandy, M. N. (2024). Analisis Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan terhadap Debit Limpasan Drainase Kecamatan Depok Sleman. (Tesis, UII).
- [25] Sulistio, H. (2021). Pengaruh Perubahan Penggunaan Lahan terhadap Air Limpasan di Kecamatan Bukit Raya Pekanbaru. (Tesis, UIR).
- [26] Budianto, M. B., Suroso, A., & Abdullah, W. R. (2025). Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Debit Limpasan Berdasarkan RTRW Kota Mataram. *Spektrum Sipil*, 12(1), 12–22.
- [27] Palawa'ae, E. R., Hadiani, R., & Muttaqien, A. Y. (2024). Strategi Mitigasi Banjir Berdasarkan Kapasitas Saluran Drainase di Kelurahan Jagalan. *Jurnal Riset Rekayasa Sipil*, 7(2), 94–106.
- [28] Amin, R., Rinanti, A., Kuryaningrum, E., Anggraini, D. P., & Luthfi, M. L. (2025). Implementasi Low Impact Development (LID) untuk Optimalisasi Drainase Perkotaan. *VOCATECH*, 6(2).
- [29] Reviko, M., Andawayanti, U., & Fidari, J. S. (2024). Kajian Evaluasi Genangan pada Saluran Drainase di Desa Menala, Taliwang. *JTRSDA*, 4(1), 1169–1179.
- [30] Kuncoro, N. R., Sukaris, S., Widiharti, W., & Rahim, A. R. (2024). Analisis dan Evaluasi Saluran Drainase Perkotaan di Kelurahan Kemuteran Kota Gresik. *DedikasiMU*, 6(2), 211–219.