

Analisis banjir sistem drainase perkotaan di Kecamatan Poasia, Kota Kendari, menggunakan perangkat lunak PCSWMM

Achmad Awal Notanda

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Kendari, Sulawesi Tenggara, Indonesia

Abstrak

Banjir merupakan salah satu permasalahan yang sering terjadi di Kota Kendari, khususnya di Kecamatan Poasia. Kondisi tersebut dipengaruhi oleh curah hujan tinggi, keterbatasan kapasitas sistem drainase, limpasan permukaan, serta pengaruh muka air laut pada daerah hilir. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi banjir pada sistem drainase eksisting di Kecamatan Poasia, Kota Kendari berdasarkan kejadian hujan historis menggunakan perangkat lunak Personal Computer Storm Water Management Model (PCSWMM). Data curah hujan yang digunakan merupakan kejadian hujan pada 15 Juli 2013 dengan total curah hujan sebesar 205,0 mm selama 18 jam. Pemodelan dilakukan dengan mengintegrasikan data spasial, hidrologi, dan hidraulika untuk mensimulasikan limpasan permukaan dan aliran pada jaringan drainase. Kondisi batas hilir dalam pemodelan juga mempertimbangkan muka air laut sebesar 1,93 m. Hasil simulasi menunjukkan bahwa terdapat beberapa junction yang mengalami luapan, yaitu J4, J6, J8, J10, J12, J13, J27, J35, J42, dan J43. Debit banjir terbesar terjadi pada J10 sebesar 0,500 m³/s, sedangkan debit banjir terkecil terjadi pada J6 sebesar 0,002 m³/s. Luapan juga terjadi pada kawasan Jalan Bunggasi, Jalan Belimbing, saluran pengalihan, dan daerah hilir. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kapasitas sistem drainase eksisting belum mampu menampung limpasan yang dihasilkan oleh kejadian hujan ekstrem. Selain curah hujan, kondisi muka air laut di daerah hilir sebesar 1,93 m turut memperburuk kondisi luapan dan memengaruhi kemampuan sistem drainase dalam mengalirkan air. Hasil simulasi PCSWMM menunjukkan bahwa model mampu menggambarkan lokasi dan karakteristik luapan yang terjadi pada sistem drainase di lokasi studi, sehingga dapat digunakan untuk mengevaluasi kondisi eksisting sistem drainase di Kecamatan Poasia, Kota Kendari.

Kata Kunci: Banjir, Drainase Perkotaan, Curah Hujan, Pasang Surut, PCSWMM

***Penulis Koresponden:**

achmadawalnotanda@gmail.com

PENDAHULUAN

Banjir perkotaan terjadi ketika volume limpasan permukaan melampaui kapasitas sistem drainase atau sistem aliran sungai yang tersedia. Kondisi ini dipengaruhi oleh intensitas dan durasi hujan, karakteristik topografi, tingkat kedap air permukaan, kapasitas infiltrasi tanah, serta kondisi batas pada daerah hilir. Pada kota pesisir, faktor terakhir menjadi sangat menentukan karena muka air laut membatasi kemampuan sistem drainase mengalirkan air keluar, sehingga luapan dapat terjadi bahkan ketika kapasitas saluran secara geometris masih memadai.

Kota Kendari memiliki curah hujan berkisar 1.200–2.400 mm per tahun dengan 120–180 hari hujan per tahun dengan puncak musim hujan pada Desember hingga April. Pada periode tersebut luapan sistem drainase terjadi berulang, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1, dan mengganggu aktivitas masyarakat karena jalan, permukiman, dan kawasan komersial terendam.



Gambar 1. Kondisi banjir di lokasi studi

Pemodelan hidrologi-hidraulika berbasis *Storm Water Management Model* (SWMM) telah digunakan secara luas untuk mengevaluasi kinerja sistem drainase perkotaan. Barco, Wong, dan Stenstrom (2008) menunjukkan penerapan SWMM pada daerah tangkapan perkotaan berskala luas beserta prosedur kalibrasi otomatisnya. Swathi, Raju, dan Varma (2020) mengembangkan penambahan metode limpasan dan penelusuran aliran permukaan pada penerapan SWMM di Hyderabad, India. Model ini juga banyak dipakai untuk mengevaluasi alternatif penanganan, misalnya oleh Rossman (2010) dan Damodaram dkk. (2010) untuk *low impact development* serta kombinasi praktik pengelolaan terbaik, Randall dkk. (2019) untuk rasio penangkapan volume pada skala daerah tangkapan, Zhang, Chui, dan Yang (2018) untuk kondisi air tanah dangkal, Bai dkk. (2019) untuk kawasan perkotaan, serta Wang dkk. (2022) untuk penilaian efek hidrologi berbagai fasilitas LID. Di Indonesia, penerapan serupa dilakukan Savitri (2017) dan Suwarno dkk. (2021) untuk meminimalkan genangan dan mengkaji debit banjir perkotaan.

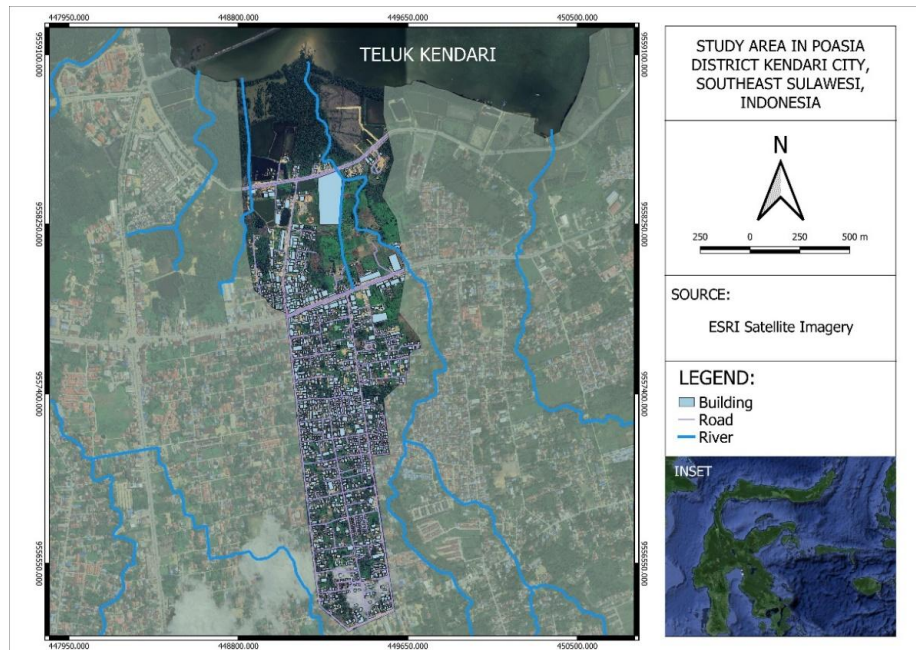
Sebagian besar kajian tersebut berfokus pada daerah tangkapan daratan dengan kondisi batas hilir berupa muka air bebas. Kajian yang secara eksplisit memasukkan muka air laut sebagai kondisi batas hilir pada sistem drainase kota pesisir Indonesia masih terbatas, padahal justru interaksi antara limpasan hulu dan muka air laut di hilir inilah yang menentukan pola luapan pada kota seperti Kendari. Penelitian ini mengisi celah tersebut dengan menyimulasikan sistem drainase eksisting Kecamatan Poasia terhadap kejadian hujan historis, dengan muka air laut diterapkan sebagai kondisi batas pada *outfall*.

Tujuan penelitian ini adalah menganalisis kinerja sistem drainase eksisting di Kecamatan Poasia berdasarkan kejadian hujan historis menggunakan PCSWMM, mengidentifikasi lokasi dan besaran luapan yang terjadi, serta mengevaluasi pengaruh kondisi batas muka air laut terhadap kemampuan pengaliran sistem.

METODOLOGI

Lokasi Studi

Lokasi studi berada di Kecamatan Poasia, Kota Kendari, Sulawesi Tenggara, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2. Kawasan ini dipilih karena banjir berulang terjadi di Jalan Bunggasi dan Jalan Belimbing yang merupakan jalan arteri penghubung antarkawasan. Pada kejadian banjir, jalan, permukiman, dan kawasan komersial tergenang dengan kedalaman 30–50 cm sehingga aktivitas masyarakat terganggu.



Gambar 2. Lokasi studi Kecamatan Poasia, Kota Kendari

Pengumpulan Data

Data yang digunakan sebagai masukan model terdiri atas data spasial, data hidrologi, dan data hidraulika.

Data spasial

Data spasial mencakup peta topografi dan *Digital Elevation Model* (DEM) untuk resolusi dan sumbernya. Peta topografi digunakan sebagai panduan survei pengukuran saluran drainase dan sebagai peta latar dalam PCSWMM untuk menentukan pembagian *subcatchment*, *node*, dan *link*. Data DEM digunakan untuk menurunkan kemiringan lahan dan kontur kawasan.

Data hidrologi

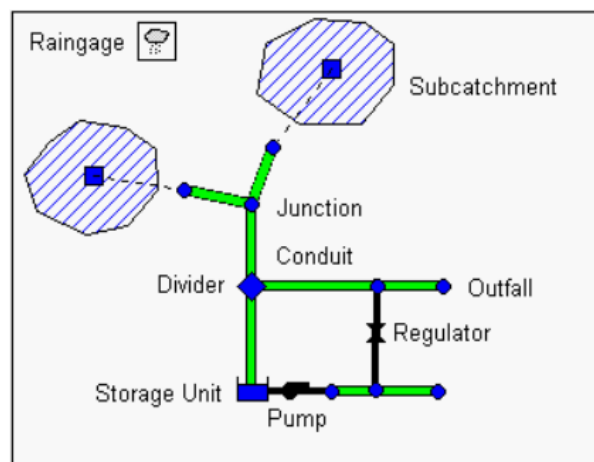
Kejadian hujan maksimum tercatat pada 15 Juli 2013 dengan total 205,0 mm selama 18 jam, yang bersamaan dengan kejadian banjir di lokasi studi. Kejadian ini digunakan sebagai masukan deret waktu hujan pada pemodelan.

Data hidraulika

Data hidraulika mencakup profil memanjang dan melintang saluran drainase untuk menentukan panjang saluran, dimensi penampang, dan kemiringan dasar. Kondisi batas hilir berupa muka air laut setinggi 1,93 m. Pada PCSWMM, *outfall* dimodelkan dengan tipe FIXED/TIDAL.

Dasar Pemodelan PCSWMM

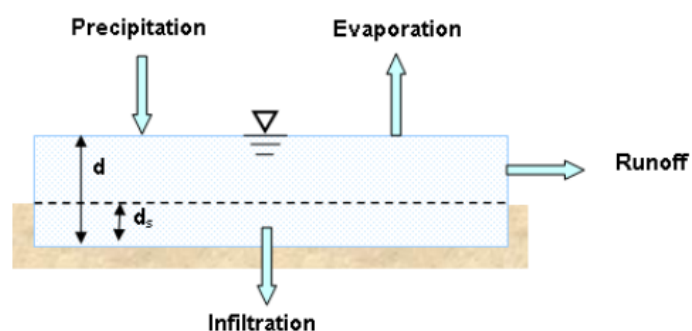
PCSWMM merupakan model simulasi dinamis hujan–limpasan yang menggabungkan analisis hidrologi dan hidraulika untuk simulasi kejadian tunggal maupun jangka panjang, terutama pada kawasan perkotaan. Objek hidrologi dan hidraulika yang dimodelkan meliputi *rain gage*, *subcatchment*, *junction*, *conduit*, dan *outfall*. *Node* mewakili titik pertemuan aliran, *link* menghubungkan dua *node*, *subcatchment* menentukan luas permukaan penghasil limpasan, dan *outfall* menunjukkan titik keluar air dari sistem (Rossman, 2015). Skema susunan objek tersebut ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema objek pemodelan sistem drainase air hujan (Sumber: Rossman, 2015)

Limpasan permukaan

Setiap permukaan *subcatchment* diperlakukan sebagai reservoir nonlinier, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4. Aliran masuk berasal dari curah hujan dan *subcatchment* hulu yang ditetapkan, sedangkan aliran keluar meliputi infiltrasi, penguapan, dan limpasan permukaan (Swathi dkk., 2020). Kapasitas reservoir tersebut adalah tampungan cekungan maksimum, yaitu tampungan permukaan yang disediakan oleh genangan, pembasahan permukaan, dan intersepsi. Limpasan permukaan per satuan luas hanya terjadi ketika kedalaman air melebihi tampungan cekungan maksimum, dan besarnya dihitung melalui persamaan ambang. Kedalaman air pada *subcatchment* diperbarui setiap langkah waktu dengan menyelesaikan persamaan neraca air secara numerik.



Gambar 4. Konsep limpasan permukaan sebagai reservoir nonlinier (Sumber: Rossman, 2015)

Infiltrasi

Infiltrasi dimodelkan menggunakan metode bilangan kurva (*curve number*) yang diadopsi dari NRCS. Metode ini mengasumsikan bahwa total kapasitas infiltrasi tanah dapat diturunkan dari bilangan kurva yang telah ditabulasi. Selama kejadian hujan, kapasitas tersebut berkurang sebagai fungsi hujan kumulatif dan kapasitas tersisa. Parameter masukan metode ini adalah

bilangan kurva dan waktu yang dibutuhkan tanah jenuh untuk mengering sepenuhnya (Chow dkk., 1988).

Kondisi kelembapan tanah sebelum kejadian hujan diklasifikasikan dalam tiga kelas *Antecedent Moisture Condition* (AMC): AMC I untuk kondisi hampir kering, AMC II untuk kondisi rerata, dan AMC III untuk kondisi hampir jenuh. Konversi antarkelas dilakukan melalui persamaan berikut.

$$CN(I) = 4,2 \cdot CN(II) / [10 - 0,058 \cdot CN(II)] \dots (1)$$

$$CN(III) = 23 \cdot CN(II) / [10 + 0,13 \cdot CN(II)] \dots (2)$$

Penelusuran aliran

Penelusuran aliran (*flow routing*) digunakan untuk menentukan besaran dan waktu debit di suatu titik sepanjang saluran berdasarkan hidrograf di bagian hulu. Penelusuran aliran dalam *conduit* pada PCSWMM diatur oleh persamaan konservasi massa dan momentum untuk aliran berubah lambat laun tidak tetap, yaitu persamaan Saint-Venant (Damodaram dkk., 2010), yang dinyatakan sebagai berikut.

$$\partial Q / \partial x + \partial A c / \partial t = 0 \dots (3)$$

$$S_f = S_o - \partial y / \partial x - (v/g)(\partial v / \partial x) - (1/g)(\partial v / \partial t) \dots (4)$$

Dengan Q adalah debit (m^3/s); Ac adalah luas penampang basah (m^2); t adalah waktu (s); x adalah jarak memanjang saluran (m); S_o adalah kemiringan dasar saluran; S_f adalah kemiringan gesek; y adalah kedalaman aliran (m); v adalah kecepatan aliran (m/s); dan g adalah percepatan gravitasi (m/s^2).

Kalibrasi dan Verifikasi Model

Verifikasi dilakukan dengan membandingkan kedalaman genangan hasil simulasi terhadap kedalaman genangan terukur di lapangan pada titik yang sama. Apabila data debit terukur tidak tersedia sehingga kalibrasi formal tidak dapat dilakukan, hal tersebut harus dinyatakan secara terbuka pada bagian ini dan pada bagian keterbatasan, dan istilah "validasi" tidak digunakan untuk perbandingan yang bersifat visual.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Hidrologi

Kejadian hujan maksimum yang tercatat pada seri data GSMap terjadi pada 15 Juli 2013 dengan total 205,0 mm selama 18 jam. Distribusi hujan per jam pada kejadian tersebut disajikan pada Tabel 3, yang digunakan sebagai parameter masukan deret waktu untuk kondisi eksisting dalam PCSWMM. Distribusi ini menunjukkan hujan meningkat secara bertahap dengan puncak pada jam ke-16 sebesar 26,0 mm, sehingga sebagian besar volume hujan terkonsentrasi pada paruh kedua kejadian.

Tabel 1. Distribusi curah hujan per jam pada 15 Juli 2013

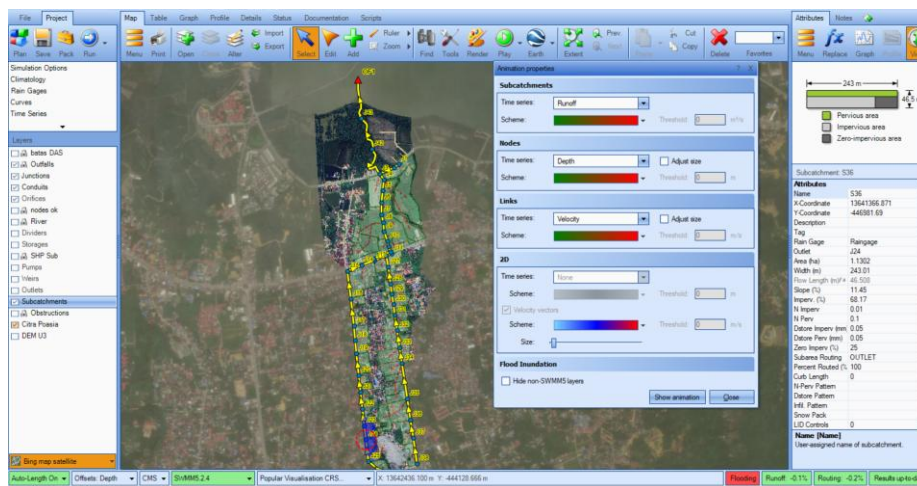
t (jam)	Nilai (mm)	t (jam)	Nilai (mm)
1	1,0	10	9,4
2	2,1	11	13,1
3	5,2	12	10,7
4	5,2	13	17,9
5	7,1	14	15,4
6	5,4	15	20,1
7	16,6	16	26,0
8	8,4	17	19,4
9	17,1	18	4,9
		Total	205,0

Pembangunan Model

Peninjauan lapangan dilakukan untuk mengukur kondisi eksisting sistem drainase di lokasi penelitian. Berdasarkan hasil pengukuran tersebut, model disusun atas 38 *subcatchment*, 43 *conduit*, 43 *junction*, dan satu *outfall*. Tata letak model beserta penamaan *junction* dan koridor jalan yang dilaluinya ditunjukkan pada Gambar 5, sedangkan tampilan model dalam ruang kerja PCSWMM ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 5. Tata letak model simulasi sistem drainase lokasi studi



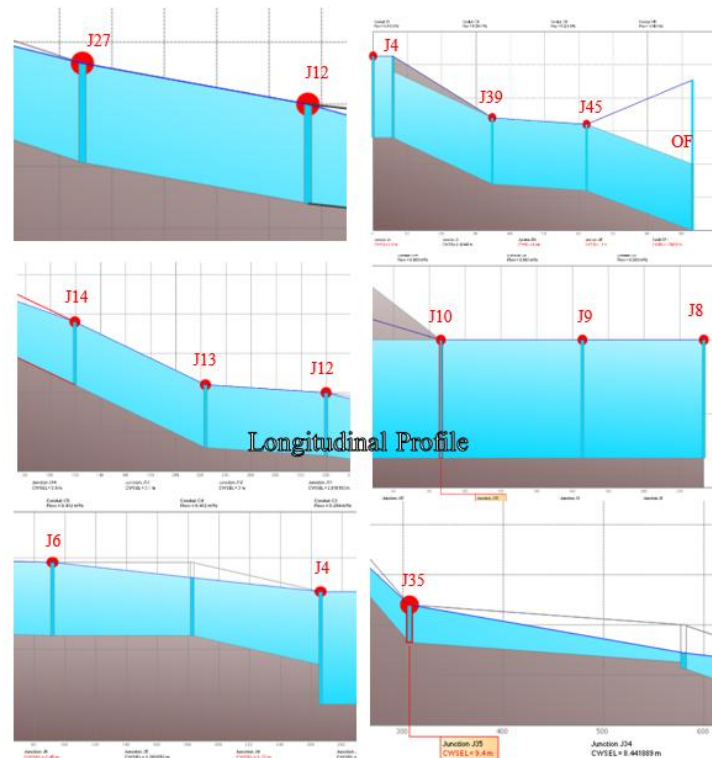
Gambar 6. Pemodelan sistem drainase dalam PCSWMM

Hasil Simulasi

Hasil simulasi mengidentifikasi sejumlah *junction* yang mengalami luapan pada sistem drainase. Berdasarkan tata letak pada Gambar 5, J4, J6, J8, dan J10 berada pada saluran pembuang; J12, J13, dan J14 berada pada Jalan Bunggasi; J27 dan J35 berada pada Jalan Belimbing; sedangkan J42 dan J43 berada pada daerah hilir. Profil memanjang pada titik-titik tersebut ditunjukkan pada Gambar 7, dan rekapitulasi debitnya disajikan pada Tabel 2.

Tabel 4. Debit total dan debit luapan pada *junction* yang meluap

Junction	Lokasi	Debit total (m ³ /s)	Debit luapan (m ³ /s)
J4	Saluran pembuang	0,554	0,184
J6	Saluran pembuang	0,327	0,002 / 0,006
J8	Saluran pembuang	0,274	0,050
J10	Saluran pembuang	0,575	0,500
J12	Jalan Bunggasi	0,914	0,416
J13	Jalan Bunggasi	0,354	0,041
J27	Jalan Belimbing	0,710	0,137
J35	Jalan Belimbing	0,181	0,004
J42	Daerah hilir	0,496	0,288
J43	Daerah hilir	0,439	0,343



Gambar 7. Profil memanjang hasil simulasi pada koridor yang mengalami luapan

Pembahasan

Pola luapan yang dihasilkan simulasi memperlihatkan dua pengelompokan yang berbeda sifatnya. Kelompok pertama berada pada koridor tengah, yaitu J10 dan J12 dengan debit luapan terbesar ($0,500 \text{ m}^3/\text{s}$ dan $0,416 \text{ m}^3/\text{s}$). Kedua titik ini menerima akumulasi limpasan dari *subcatchment* hulu di sepanjang Jalan Belimbing dan Jalan Bunggasi, sehingga luapan pada keduanya mencerminkan keterbatasan kapasitas penampang saluran terhadap debit yang harus dialirkan. Kelompok kedua berada pada daerah hilir, yaitu J42 dan J43 dengan debit luapan $0,288 \text{ m}^3/\text{s}$ dan $0,343 \text{ m}^3/\text{s}$. Berbeda dengan kelompok pertama, luapan pada kelompok ini terjadi pada bagian sistem yang paling dekat dengan *outfall* dan karenanya paling terpengaruh oleh kondisi batas muka air laut. Nisbah debit luapan terhadap debit total pada J43 mencapai 78%, yang tertinggi di antara seluruh *junction* dan mengindikasikan bahwa hambatan pengaliran di hilir merupakan faktor dominan pada titik tersebut.

Perbedaan mekanisme ini memiliki konsekuensi praktis yang penting: penanganan untuk kedua kelompok tidak dapat disamakan. Pada kelompok pertama, penambahan kapasitas penampang atau pengurangan debit puncak dari hulu berpotensi efektif. Pada kelompok kedua, penambahan kapasitas saluran saja tidak akan menyelesaikan masalah selama muka air laut membatasi pengaliran keluar, sehingga diperlukan penanganan yang berbeda seperti pintu air, kolam tampungan, atau sistem pompa.

Sebaliknya, koridor Jalan Kelapa (J17–J26) tidak menunjukkan luapan pada simulasi. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh kapasitas saluran yang lebih besar / luas *subcatchment* yang lebih kecil / kemiringan yang lebih curam, dan penjelasannya justru memperkuat analisis karena menunjukkan bahwa luapan bersifat setempat dan berkaitan dengan karakteristik ruas tertentu, bukan kegagalan sistem secara menyeluruh.

Temuan mengenai peran kondisi batas hilir sejalan dengan pemahaman umum dalam pemodelan drainase perkotaan pesisir, tetapi masih jarang dikuantifikasi pada konteks kota menengah di Indonesia. Kajian SWMM terdahulu di Indonesia oleh Savitri (2017) dan Suwarno dkk. (2021) berfokus pada pengurangan genangan dan debit banjir tanpa memasukkan pengaruh

pasang surut secara eksplisit, sehingga hasil penelitian ini melengkapi keduanya. Perlu dicatat bahwa besaran pengaruh muka air laut yang dilaporkan di sini bersumber dari satu skenario kondisi batas tunggal; simulasi pembandingan dengan muka air laut yang lebih rendah akan memungkinkan pemisahan kontribusi hujan dan kontribusi pasang surut secara kuantitatif, dan disarankan dilakukan pada penelitian lanjutan.

Terkait opsi penanganan, sejumlah penelitian menunjukkan bahwa penerapan *low impact development* dapat mengurangi limpasan permukaan pada kawasan perkotaan. Rossman (2010) dan Damodaram dkk. (2010) menunjukkan pemodelan alternatif LID dan kombinasi praktik pengelolaan terbaik dengan SWMM, Randall dkk. (2019) mengevaluasi rasio penangkapan volume pada skala daerah tangkapan, Bai dkk. (2019) dan Wang dkk. (2022) menilai efek hidrologis berbagai fasilitas LID, Hou dkk. (2020) menyimulasikan pengaturan limpasan pada taman hujan, sedangkan Zhang dkk. (2018) menyoroti kinerja LID pada kondisi air tanah dangkal — catatan yang relevan bagi kawasan pesisir seperti Poasia. Bagi lokasi studi, penerapan LID paling menjanjikan pada *subcatchment* hulu koridor Jalan Belimbing dan Jalan Bunggasi untuk menurunkan debit puncak yang masuk ke J10 dan J12, sedangkan untuk J42 dan J43 penanganan struktural di hilir tetap diperlukan. Evaluasi kuantitatif atas opsi-opsi tersebut berada di luar lingkup penelitian ini dan disarankan menjadi kelanjutan langsung.

Keandalan hasil di atas dibatasi oleh ketiadaan kalibrasi formal. Barco dkk. (2008) menunjukkan bahwa kalibrasi parameter memberikan pengaruh nyata terhadap ketepatan keluaran SWMM pada daerah tangkapan perkotaan luas, sehingga angka debit luapan dalam penelitian ini sebaiknya dibaca sebagai indikasi relatif antar-*junction*, bukan sebagai besaran mutlak. Ketersediaan alat bantu terbuka seperti PySWMM (McDonnell dkk., 2020) dan kerangka layanan berbasis SWMM (Zeng dkk., 2021) membuka peluang otomasi kalibrasi maupun pengembangan sistem pendukung keputusan waktu nyata untuk lokasi studi.

SIMPULAN

Simulasi PCSWMM terhadap kejadian hujan 15 Juli 2013 sebesar 205,0 mm selama 18 jam menunjukkan bahwa sistem drainase eksisting di Kecamatan Poasia mengalami luapan pada 10/11 *junction* yang tersebar pada saluran pembuang, Jalan Bunggasi, Jalan Belimbing, dan daerah hilir. Debit luapan terbesar terjadi pada J10 sebesar 0,500 m³/s. Analisis atas pola luapan menunjukkan dua mekanisme yang berbeda: keterbatasan kapasitas penampang pada koridor tengah, dan hambatan pengaliran akibat kondisi batas muka air laut pada daerah hilir. Kapasitas sistem drainase eksisting dengan demikian belum memadai untuk kejadian hujan tersebut, dan penanganannya perlu dibedakan menurut mekanisme luapan yang berlaku pada masing-masing ruas.

Penelitian ini memiliki empat keterbatasan. Pertama, simulasi menggunakan satu kejadian hujan historis tunggal tanpa pembandingan antarkala ulang, sehingga kecukupan kapasitas sistem terhadap standar perencanaan belum dapat dinilai. Kedua, data hujan bersumber dari produk satelit GSMaP yang memiliki bias diketahui untuk kejadian ekstrem dan belum dikoreksi terhadap data stasiun. Ketiga, kalibrasi parameter terhadap data debit terukur tidak dilakukan karena keterbatasan data, sehingga hasil sebaiknya dibaca sebagai indikasi relatif antar-*junction*. Keempat, kondisi batas hilir diterapkan sebagai muka air tunggal dan bukan sebagai deret waktu pasang surut, sehingga dinamika interaksi hujan dan pasang belum tergambarkan.

Penelitian lanjutan disarankan melakukan simulasi pada beberapa kala ulang hujan rencana, menerapkan kondisi batas pasang surut berupa deret waktu, melakukan kalibrasi terhadap data pengamatan tinggi muka air atau debit, serta mengevaluasi secara kuantitatif alternatif penanganan berbasis *low impact development* pada *subcatchment* hulu yang dipadukan dengan penanganan struktural di hilir.

DAFTAR PUSTAKA

- Bai, Y., Zhao, N., Zhang, R., & Zeng, X. (2019). Storm water management of low impact development in urban areas based on SWMM. *Water*, 11(1), 33. <https://doi.org/10.3390/w11010033>
- Barco, J., Wong, K. M., & Stenstrom, M. K. (2008). Automatic calibration of the U.S. EPA SWMM model for a large urban catchment. *Journal of Hydraulic Engineering*, 134(4), 466–474. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2008\)134:4\(466\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2008)134:4(466))
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Applied hydrology*. McGraw-Hill.
- Damodaram, C., Giacomoni, M. H., Prakash Khedun, C., Holmes, H., Ryan, A., Saour, W., & Zechman, E. M. (2010). Simulation of combined best management practices and low impact development for sustainable stormwater management. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 46(5), 907–918. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2010.00462.x>
- Hou, J., Liu, F., Tong, Y., Guo, K., Ma, L., & Li, D. (2020). Numerical simulation for runoff regulation in rain garden using 2D hydrodynamic model. *Ecological Engineering*, 153, 105794. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.105794>
- McDonnell, B. E., Ratliff, K., Tryby, M. E., Wu, J. J. X., & Mullapudi, A. (2020). PySWMM: The Python interface to Stormwater Management Model (SWMM). *Journal of Open Source Software*, 5(52), 2292. <https://doi.org/10.21105/joss.02292>
- Randall, M., Sun, F., Zhang, Y., & Jensen, M. B. (2019). Evaluating Sponge City volume capture ratio at the catchment scale using SWMM. *Journal of Environmental Management*, 246, 745–757. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.134>
- Rossman, L. A. (2010). Modeling low impact development alternatives with SWMM. *Journal of Water Management Modeling*. <https://doi.org/10.14796/JWMM.R236-11>
- Rossman, L. A. (2015). *Storm Water Management Model user's manual, version 5.1* (EPA/600/R-14/413b). U.S. Environmental Protection Agency. [mohon disesuaikan dengan versi yang benar-benar digunakan]
- Savitri, Y. R. (2017). Penerapan low impact development (LID) untuk meminimalisir genangan. *Jurnal Hidroteknik*, 2(1), 35–40.
- Sosrodarsono, S., & Takeda, K. (1980). *Hidrologi untuk pengairan*. Pradnya Paramita.
- Suwarno, D., Purnama, K. I., Pratikna, I. S., & Santosa, B. (2021). Kajian low-impact development dan debit banjir Sungai Sringin Kota Semarang. *Simposium Teknik Sipil, Lingkungan, Bencana & Manajemen Risiko (CEEDRIMS) Lanjutan 2021*.
- Swathi, V., Raju, K. S., & Varma, M. R. (2020). Addition of overland runoff and flow routing methods to SWMM: Model application to Hyderabad, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192, 1–16. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08657-9>
- Wang, W., Zhang, Z., Hu, W., Zhou, J., Liu, D., Qi, X., & Zhao, X. (2022). Assessment of hydrologic effects and uncertainty based on SWMM runoff indicators for various LID facilities. *Journal of Hydrology*, 613, 128418. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128418>
- Zeng, Z., Yuan, X., Liang, J., & Li, Y. (2021). Designing and implementing an SWMM-based web service framework to provide decision support for real-time urban stormwater management. *Environmental Modelling & Software*, 135, 104887. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2020.104887>
- Zhang, K., Chui, T. F. M., & Yang, Y. (2018). Simulating the hydrological performance of low impact development in shallow groundwater via a modified SWMM. *Journal of Hydrology*, 566, 313–331. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.09.006>