



TINJAUAN KAPASITAS SISTEM DRAINASE DI PERUMAHAN CENTER PARK PALEMBANG MENGGUNAKAN PCSWMM

M. BAITULLAH AL AMIN^{1*}, HELMI HAKI¹, FEBRINASTI ALIA¹

¹Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Sriwijaya. Ogan Ilir, Indonesia

*Corresponding author: ✉ baitullah@unsri.ac.id

Naskah diterima : 2 Desember 2021. Disetujui: 18 Maret 2022

ABSTRAK

This research focuses on reviewing the drainage system's capacity in Alang-Alang Lebar Center Park Residential Area, Palembang City. Several spots in this area are frequently flooded, especially during heavy rainfall. Field surveys were conducted to acquire the required data, such as topographic maps, aerial photographs, dimensions, and elevations of drainage channels. This research uses the maximum daily rainfall data recorded at the Sultan Mahmud Badaruddin II Airport station for 25 years (1996 – 2020). The return periods used to determine the magnitude of 3 hours-design rainfall are 2 and 5 years. The hydrodynamic simulation of the drainage system was carried out with an integrated 1D-2D model using PCSWMM 2021 Professional 2D version 7.4. The simulation results show flooding occurred in the Willow, Cassia, Bougenville, and Amaryllis blocks. The most significant overflow occurred in the Willow block, causing flood inundation with a maximum height of 0.1 m. Recommendations for increasing the capacity of the drainage system to prevent flood overflows are by enlarging several secondary channels and adding culverts to divert some of the flow discharge in a channel so that it is distributed to other channels. The results of this study are expected to confirm the capability of the PCSWMM model in the design and evaluation of drainage systems in urban areas. Also, the results of this study are expected to emphasize the importance of the role of the hydrodynamic model as a tool for planning the capacity of an adequate drainage system.

Kata kunci : *design rainfall, flood simulation, PCSWMM, SCS-CN, 1D-2D flow model*

1. PENDAHULUAN

Sistem drainase merupakan bagian dari infrastruktur sumberdaya air yang memiliki fungsi penting dalam mengelola dan mengendalikan aliran permukaan di suatu wilayah atau kawasan (Qiao dkk. 2018). Ketika sistem drainase tidak memadai, maka bencana banjir dapat melanda suatu kota yang mengakibatkan banyak gangguan aktivitas, kerugian dan kehilangan harta benda, kerusakan bangunan dan infrastruktur lainnya, dan bahkan kehilangan jiwa manusia. Oleh karena itu, sistem drainase yang memadai merupakan infrastruktur kota yang wajib disediakan dan dipastikan berfungsi dengan baik dalam meminimalkan dampak dari potensi banjir (Al Amin, 2020).

DOI : <https://doi.org/10.25077/jrs.18.3.178-193.2022>

Attribution-NonCommercial 4.0 International. Some rights reserved

Penelitian ini bertujuan untuk meninjau kapasitas sistem drainase pada kawasan Perumahan Center Park Alang-Alang Lebar di Kota Palembang untuk periode ulang banjir 2 tahun dan 5 tahun menggunakan model PCSWMM 2021. Permasalahan yang terjadi pada kawasan perumahan ini adalah terdapat beberapa lokasi genangan banjir yang sering terjadi terutama pada saat hujan deras. Hasil penelitian ini diharapkan dapat mengkonfirmasi kemampuan PCSWMM 2021 dalam perancangan dan evaluasi sistem drainase di wilayah perkotaan.

1.1. Kriteria Desain Sistem Drainase

Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 12/PRT/M/2014 tentang Penyelenggaraan Sistem Drainase Perkotaan menyebutkan bahwa dalam perencanaan drainase diantaranya harus dipenuhi kriteria hidrologi dan hidraulika. Kriteria hidrologi berkaitan dengan hujan dan debit banjir rancangan. Penetapan periode ulang debit banjir didasarkan pada tipologi kota dan luasan daerah tangkapan hujan seperti yang diberikan pada **Tabel 1**. Adapun kriteria hidrologi berkaitan dengan bentuk atau geometri saluran, kecepatan aliran rerata, nilai kekasaran saluran, dan jenis aliran.

Tabel 1. Periode ulang desain sistem drainase (Permen PU No. 12/PRT/M/2014)

Tipologi Kota	Daerah Tangkapan Hujan (Ha)			
	< 10	10 - 100	100 - 500	> 500
Kota Metropolitan	2 th	2 - 5 th	5 - 10 th	10 - 25 th
Kota Besar	2 th	2 - 5 th	2 - 5 th	5 - 20 th
Kota Sedang	2 th	2 - 5 th	2 - 5 th	5 - 10 th
Kota Kecil	2 th	2 th	2 th	2 - 5 th

1.2. Model Hidrodinamika Sistem Drainase

Guo dkk. (2020) menjelaskan bahwa model sistem drainase merupakan alat untuk mempermudah pekerjaan tinjauan dan perancangan sistem drainase. Disamping itu, model sistem drainase juga dapat dimanfaatkan untuk studi risiko banjir. Sistem drainase yang disimulasikan seharusnya dibuat secara detil namun tetap mempertimbangkan sumberdaya yang tersedia dan tingkat akurasi yang diharapkan. Cortes dkk. (2021) menjelaskan bahwa model sistem drainase dalam skala yang detil dan terverifikasi dapat mengurangi tingkat ketidakpastian dalam simulasi aliran. Lebih jauh, model yang detil dapat digunakan untuk memprediksi dengan akurat lokasi-lokasi yang rawan dan berpotensi tergenang banjir (Liwanag dkk. 2018).

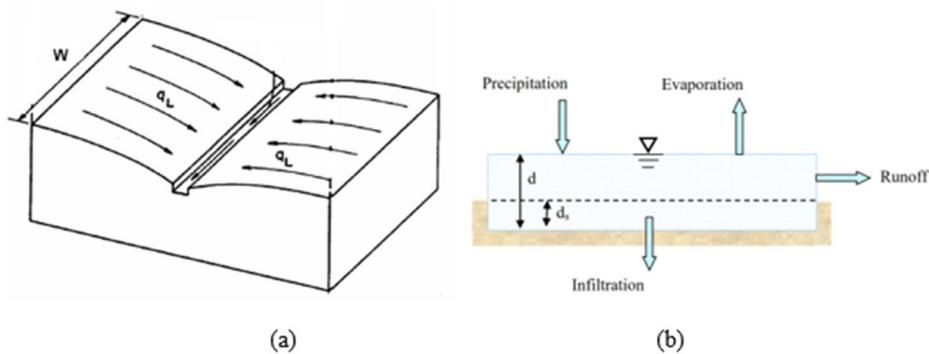
Berbagai model hidrodinamika cukup banyak tersedia untuk mensimulasikan aliran pada sistem drainase dalam rangka tinjauan dan perancangan sistem drainase, pengelolaan banjir, dan studi risiko banjir (Teshome, 2020). Sebagai contoh penelitian yang dilakukan oleh Davy dan Richard (2018), Rangari dkk. (2018), Agarwajal dan Kumar (2019), Laouacheria dkk. (2019), Ocampo dkk. (2019), Majeed dan Chinnamma (2021), dan Cortes dkk. (2021) menggunakan model EPA SWMM yang sangat populer. Situngkir (2016) dan de Fraiture dkk. (2017) menggunakan model Duflow untuk menganalisis strategi pengendalian banjir dari suatu sistem drainase. Kedua model hidrodinamika yang disebutkan di atas merupakan model aliran satu dimensi yang belum dapat mensimulasikan propagasi genangan banjir. Meskipun demikian, area genangan tetap dapat diperkirakan dengan mengintegrasikan model tersebut terhadap perangkat GIS (Chen dkk. 2017). Model aliran dua dimensi kemudian dikembangkan dan menjadi populer untuk mempelajari propagasi genangan dari luapan aliran di saluran (Teshome, 2020). Penelitian lain yang dilakukan oleh Liwanag dkk. (2018), Dung dkk. (2021), dan Sidek dkk. (2021) menggunakan model PCSWMM yang telah dapat mensimulasikan aliran

dua dimensi berbasis SWMM. Hasan dkk. (2019) menggunakan model XPSWMM yang juga menggunakan mesin (*engine*) SWMM. Simulasi aliran dua dimensi juga dapat dilakukan dengan model MIKE URBAN seperti yang dijelaskan dalam Anni dkk. (2020) dan Kourtis dkk. (2017).

1.3. Persamaan-Persamaan Pengatur

Model sistem drainase terdiri dari model hidrologi dan hidraulika. Model hidrologi bertujuan untuk mengalihragamkan input hujan menjadi output limpasan dari proses yang terjadi di suatu daerah tangkapan hujan. Adapun model hidraulika bertujuan untuk mengalirkan debit limpasan dari daerah tangkapan hujan ke dalam jaringan drainase seperti saluran dan bangunan air lainnya. Model PCSWMM dikembangkan berbasis *engine* EPA SWMM dalam pemodelan hidrologi dan hidrauliknya.

Rossmann dan Huber (2016) menjelaskan bahwa SWMM merepresentasikan suatu daerah tangkapan hujan sebagai permukaan berbentuk persegi yang memiliki kemiringan S (m) dan lebar W (m) yang seragam. Bidang permukaan ini kemudian akan membuang limpasannya ke saluran melalui satu titik outlet seperti yang diilustrasikan dalam **Gambar 1a**. Limpasan permukaan diperhitungkan dengan menganggap daerah tangkapan hujan sebagai tampungan nonlinier seperti yang diilustrasikan dalam **Gambar 1b**.



Gambar 1. Representasi daerah tangkapan hujan (a) dan model tampungan nonlinier (b) dalam SWMM (Rossmann dan Huber, 2016)

Dalam representasi ini, daerah tangkapan hujan akan menerima input dari presipitasi dan kehilangan akibat evaporasi dan infiltrasi. Tinggi aliran permukaan d (mm) akan menjadi limpasan q (mm) apabila melampaui tampungan cekungan d_s (mm). Persamaan konservasi massa laju limpasan terhadap waktu t (s) dapat diekspresikan sebagai:

$$\frac{\partial d}{\partial t} = i - e - f - q \quad (1)$$

dimana:

i : laju presipitasi (mm/s)

e : laju evaporasi (mm/s)

f : laju infiltrasi (mm/s)

q : laju limpasan (mm/s)

nilai i , e , f , dan q dinyatakan sebagai laju aliran per satuan luas

Besaran laju limpasan per satuan luas daerah tangkapan hujan, q dapat dihitung menggunakan persamaan Manning yang diekspresikan sebagai:

$$q = \frac{WS^{1/2}}{An} (d - d_s)^{5/3} \quad (2)$$

dengan n adalah koefisien kekasaran permukaan Manning dan A adalah luas daerah tangkapan hujan.

Rossmann (2017) menjelaskan bahwa pergerakan air dalam saluran drainase pada SWMM diatur oleh persamaan konservasi massa (pers. 3) dan momentum (pers. 4) untuk aliran berubah dan tidak mantap yang dikenal sebagai persamaan St. Venant. Persamaan-persamaan ini diselesaikan dengan metode analisis gelombang dinamik.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Q^2/A)}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gAS_f = 0 \quad (4)$$

dimana:

x : jarak (m)

t : waktu (s)

A : luas penampang aliran (m^2)

Q : debit aliran (m^3/s)

H : tinggi energi hidrolik (m)

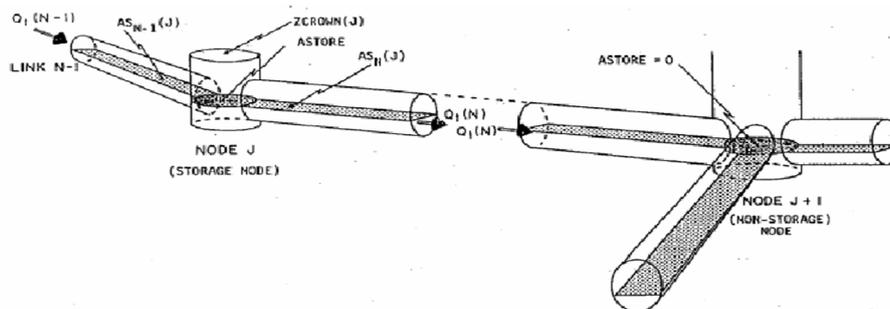
S_f : kehilangan energi akibat friksi (m/m)

g : percepatan gravitasi (m/s^2)

Gabungan persamaan (3) dan (4) menghasilkan:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = 2U \frac{\partial A}{\partial t} + U^2 \frac{\partial A}{\partial x} - gA \frac{\partial H}{\partial x} - gAS_f \quad (5)$$

dengan U adalah kecepatan aliran dalam m/s. Aliran dalam saluran direpresentasikan sebagai hubungan *node-link* seperti yang diilustrasikan dalam **Gambar 2**.



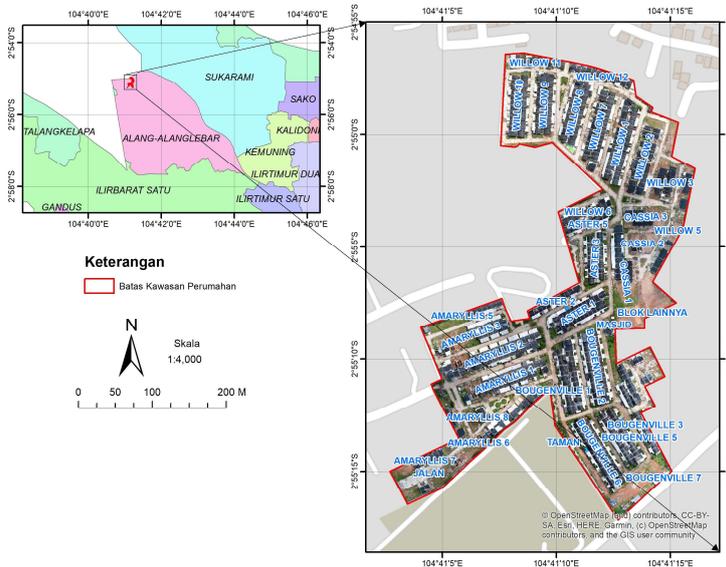
Gambar 2. Representasi node-link dari jaringan saluran dalam SWMM (Roesner, dkk., 1992 dalam Rossmann, 2017)

2. METODE PENELITIAN

2.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di kawasan Perumahan Center Park yang terletak di Kecamatan Alang-Alang Lebar, Kota Palembang seperti yang ditunjukkan dalam **Gambar 3**. Luas total lahan kawasan adalah sekitar 11,53 hektar yang mana terdiri dari lima blok perumahan, yaitu blok Willow, Aster, Cassia, Bougenville, dan Amaryllis. Kawasan perumahan ini mulai dibangun

sejak tahun 2015 dan saat ini telah terbangun sekitar 90 persen. Sebelum dibangun kawasan ini merupakan kebun karet yang cukup luas. Lokasi kawasan perumahan berada di dekat jalan lintas Sumatera dan hanya berjarak sekitar 3,5 km dari Bandara Sultan Mahmud Badaruddin II (SMB II). Pada saat hujan, aliran air dari saluran drainase primer di kawasan ini dibuang mengalir ke saluran drainase utama di Jalan Bypass Alang-Alang Lebar (sebelah barat) dan sebagian lagi masuk ke dalam kolam retensi yang berada di luar kawasan melalui saluran sekunder (sebelah utara).



Gambar 3. Peta lokasi penelitian

2.2. Metode

Data primer yang digunakan dalam penelitian ini antara lain peta topografi, foto udara, dimensi dan elevasi saluran drainase. Peta topografi dan foto udara diperoleh dari hasil survei fotogrametri menggunakan perangkat *drone*. Koreksi koordinat dan elevasi dari survei fotogrametri dilakukan dengan menggunakan beberapa titik kontrol di permukaan tanah yaitu *ground control point (GCP)* yang tersebar dan diikatkan dengan *base station* InaCORS BIG di Bandara Sultan Mahmud Badaruddin II (SMB II). Proses survei fotogrametri dan pengukuran GCP ditunjukkan dalam Gambar 4.



Gambar 4. Proses survei fotogrametri dan pengukuran koordinat serta elevasi GCP

Pengukuran koordinat dan elevasi saluran drainase dilakukan menggunakan perangkat GPS geodetik dengan tingkat ketelitian mencapai 10 mm. Dalam pengukuran ini juga digunakan titik ikat stasiun InaCORS SMB II yang dihubungkan dengan metode *real time kinematic* (RTK) melalui *internet protocol* atau dikenal sebagai RTK NTRIP. Penjelasan detail mengenai metode RTK NTRIP dapat ditemukan dalam buku referensi yang ditulis oleh Abidin dkk. (2011). Oleh karena itu, baik peta topografi, foto udara, dan peta sistem drainase di lokasi penelitian menggunakan titik ikat referensi yang sama. Adapun pengukuran dimensi saluran menggunakan meteran pada setiap titik saluran yang disurvei. **Gambar 5** menunjukkan proses survei dan pengukuran di saluran drainase.



Gambar 5. Proses survei dan pengukuran saluran drainase

Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini antara lain data curah hujan harian maksimum di stasiun SMB II, jenis tanah, tata guna lahan, dan beberapa data pendukung lainnya yang berkaitan. Hasil survei fotogrametri kemudian diolah dengan perangkat lunak Agisoft Photoscan Professional dan ArcGIS sehingga diperoleh peta topografi *digital elevation model* (DEM) dengan resolusi tinggi mencapai 5 cm. Hasil survei dan pengukuran saluran drainase juga dipetakan menggunakan perangkat ArcGIS. Peta-peta ini kemudian diimpor ke dalam perangkat lunak PCSWMM sehingga dijadikan dasar dalam pembuatan model sistem drainase. Adapun parameter-parameter hidrologi dan hidraulika untuk setiap komponen model sistem drainase seperti *conduits*, *junctions*, *outfalls*, dan *subcatchments* menyesuaikan dengan data hasil pengukuran di lapangan dan data sekunder.

Data curah hujan harian maksimum ditransformasi menjadi hujan rancangan melalui rangkaian analisis frekuensi (*frequency analysis*) dan uji kecocokan seri data (*the goodness of fit test*) terhadap beberapa jenis distribusi probabilitas yang dipilih. Penjelasan detail mengenai analisis frekuensi dan uji kecocokan dapat ditemukan dalam buku referensi yang ditulis oleh Sri Harto (2000) dan Triatmodjo (2008). Besaran hujan rancangan kemudian dialihragamkan menjadi hietograf hujan rancangan yang kemudian menjadi input bagi komponen *rain gages* dalam model sistem drainase.

Simulasi hidrodinamika terhadap model sistem drainase dilakukan dalam PCSWMM menggunakan model aliran 1-dimensi dan 2-dimensi yang saling terintegrasi. Perhitungan hidrologi untuk limpasan permukaan adalah menggunakan metode penelusuran tampungan nonlinier, dimana kehilangan hujan akibat infiltrasi diperhitungkan dengan metode SCS-CN sebagai fungsi dari tata guna lahan dan jenis tanah. Penjelasan detail mengenai model hidrologi SWMM dapat ditemukan dalam Rossman dan Huber (2016). Adapun perhitungan hidraulika kecepatan aliran menggunakan persamaan Manning, dimana persamaan-persamaan konservasi diselesaikan dengan pendekatan gelombang dinamik (*dynamic wave routing*)

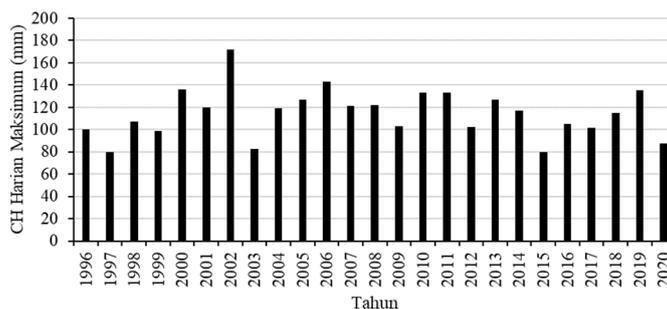
seperti yang dijelaskan dalam Rossman (2017). Kondisi batas hulu dalam analisis hidraulika adalah hidrograf debit limpasan dari setiap *subcatchment*, sedangkan kondisi batas hilir berupa aliran bebas (*free outfall*) pada setiap *outfall* saluran karena tidak ada pengaruh pasang surut. Durasi simulasi adalah 6 jam dengan tahapan waktu penelusuran 0,5 detik dan pelaporan hasil tiap 30 detik. Hasil simulasi kemudian dapat memberikan informasi mengenai potensi titik-titik luapan banjir dan sebaran genangan banjir di permukaan lahan di lokasi penelitian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hujan Rancangan

Triatmodjo (2008) menjelaskan bahwa hujan rancangan diperlukan untuk memperkirakan debit banjir rencana dalam analisis hujan-aliran. Hujan rancangan tersebut berupa hietograf hujan rancangan yang merupakan distribusi hujan sebagai fungsi waktu selama hujan deras. Perencanaan bangunan air termasuk sistem drainase didasarkan pada debit banjir rencana yang diperoleh dari hasil analisis hujan-aliran tersebut, yang bisa berupa banjir rencana dengan periode ulang tertentu.

Curah hujan rancangan dalam penelitian ini dihitung menggunakan analisis frekuensi terhadap data curah hujan harian maksimum yang tercatat di Stasiun Bandara SMB II Kota Palembang selama 25 tahun (1996 – 2020). Data curah hujan harian maksimum tahunan di Stasiun SMB II tersebut disajikan dalam **Gambar 6** di bawah ini.



Gambar 6. Curah hujan harian maksimum tahunan di Stasiun SMB II

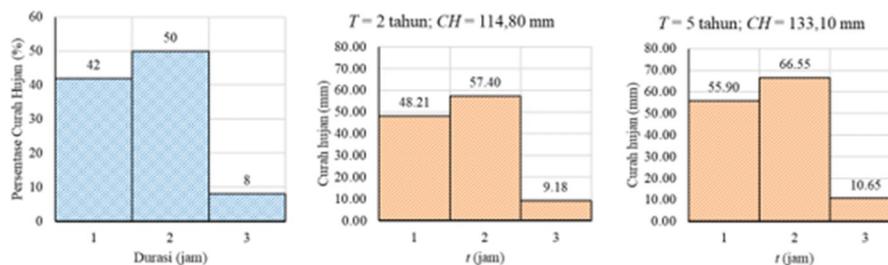
Hasil analisis frekuensi terhadap empat jenis distribusi probabilitas, yaitu distribusi normal, log-normal, Gumbel, dan log-Pearson III memberikan bahwa distribusi yang terbaik untuk seri data di atas adalah distribusi normal. Dengan demikian, besaran curah hujan rancangan untuk setiap periode ulangnya diberikan dalam **Tabel 2** di bawah ini.

Tabel 2. Curah hujan rancangan harian maksimum

Probabilitas	Periode Ulang (tahun)	CH Rancangan (mm)
0,9	1,1	86,93
0,5	2	114,80
0,2	5	133,10
0,1	10	142,67
0,04	25	152,87
0,02	50	159,46
0,01	100	165,39
0,001	1000	182,00

Hietograf hujan rancangan merupakan distribusi hujan sebagai fungsi waktu pada durasi hujan dominan. Hal ini kemudian mentransformasi curah hujan rancangan menjadi intensitas hujan yang jatuh di lokasi penelitian. Namun sayangnya, sampai dengan saat ini belum tersedia informasi mengenai hietograf hujan terukur yang berlaku untuk di lokasi penelitian. Oleh karena itu, hietograf hujan sintentik digunakan untuk menjembatani keterbatasan ini. Meskipun tersedia hietograf sintentik seperti metode Mononobe modifikasi, *Alternating Block Method* (ABM), Tadashi Tanimoto, dan lain-lain, namun metode-metode tersebut dikembangkan berdasarkan pola distribusi hujan di tempat-tempat tertentu sehingga tingkat kesalahannya apabila dipakai di lokasi penelitian ini dapat menjadi cukup besar. Tunas, dkk. (2016) menyebutkan bahwa suatu wilayah dapat memiliki pola distribusi hujan yang berbeda dengan wilayah lainnya yang dipengaruhi oleh karakteristik iklim dan keadaan geografis. Laouacheria, dkk. (2018) menjelaskan bahwa hietograf hujan rancangan merupakan input dalam model sistem drainase yang sangat mempengaruhi performa sistem drainase dan perilaku aliran di dalamnya. Oleh karena itu, perlu kehati-hatian dalam menentukan hietograf hujan rancangan yang dipilih untuk model yang diuji. Dengan demikian, dalam penelitian ini digunakan hietograf hujan sintentik dari hasil penelitian sebelumnya yang lebih dekat dengan lokasi penelitian.

Kusumastuti, dkk. (2016) melakukan penelitian distribusi intensitasi hujan di DAS Way Awi di Bandar Lampung, dimana hasil penelitiannya menyebutkan bahwa durasi dominan hujan deras harian terjadi selama 3 – 8 jam. Hal yang serupa juga disebutkan dalam penelitian yang dilakukan oleh Thessalonika, dkk. (2018) yang menyebutkan bahwa durasi hujan rancangan yang dapat dipakai di Kabupaten Kampar, Provinsi Riau adalah selama 3 – 7 jam dengan durasi dominan hujan adalah selama 3 jam. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Asfa, dkk. (2014) dan Saragi, dkk. (2014) di lokasi yang sama juga menyebutkan bahwa durasi dominan hujan adalah 3 jam. Oleh karena itu, dalam penelitian ini digunakan hietograf hujan sintetik yang diusulkan oleh Kusumastuti, dkk. (2016) dengan durasi hujan selama 3 jam dengan distribusi masing-masing adalah 42%, 50%, dan 8% seperti yang diberikan dalam **Gambar 7**.

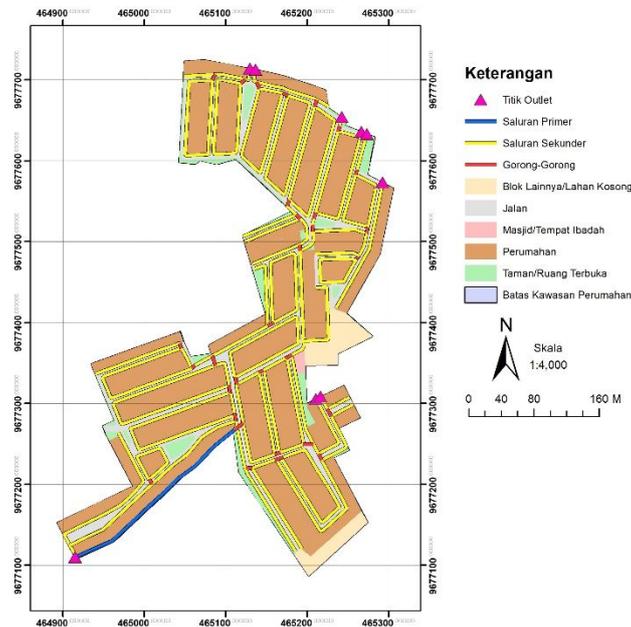


Gambar 7. Hietograf hujan rancangan selama 3 jam untuk periode ulang 2 dan 5 tahun

3.2. Sistem Drainase

Sistem drainase di dalam kawasan Perumahan Center Park terdiri dari saluran primer, saluran sekunder, gorong-gorong, dan titik-titik outlet seperti yang diberikan dalam **Gambar 8**. Seluruh saluran terbuat dari beton. Saluran primer difungsikan sebagai saluran buang utama menuju luar kawasan perumahan, sedangkan saluran sekunder difungsikan sebagai saluran pengumpul yang akan mengalir ke saluran primer. Bentuk saluran primer adalah persegi dengan ukuran lebar dan tinggi masing-masing adalah 0,95 m dan 1,45 m. Adapun saluran sekunder juga berbentuk persegi dengan ukuran yang bervariasi untuk lebar 0,22 m – 0,66 m dan tinggi 0,22 m – 0,85 m. Terdapat gorong-gorong dengan bentuk lingkaran dan persegi dalam sistem drainase ini. Gorong-gorong lingkaran memiliki diameter bervariasi 0,52 m – 0,56 m, sedangkan gorong-gorong persegi memiliki lebar bervariasi 0,42 m – 0,90 m dan tinggi

0,30 m – 0,60 m. Titik-titik outlet sebagai titik buangan akhir aliran keluar dari kawasan perumahan merupakan buangan bebas (*free outfall*).



Gambar 8. Peta sistem drainase dan tata guna lahan di lokasi penelitian

3.3. Tata Guna Lahan

Penggunaan lahan di lokasi penelitian didominasi oleh area perumahan seperti yang disajikan dalam Gambar 8. Disamping itu, jenis penggunaan lahan lainnya adalah diperuntukkan bagi jalan, taman/ruang terbuka, masjid/tempat ibadah, dan blok lainnya yang belum terbangun atau lahan kosong. Tabel 3 memberikan rincian tata guna lahan berikut parameter-parameter hidrologi yang berkaitan dan digunakan untuk pemodelan dalam penelitian ini

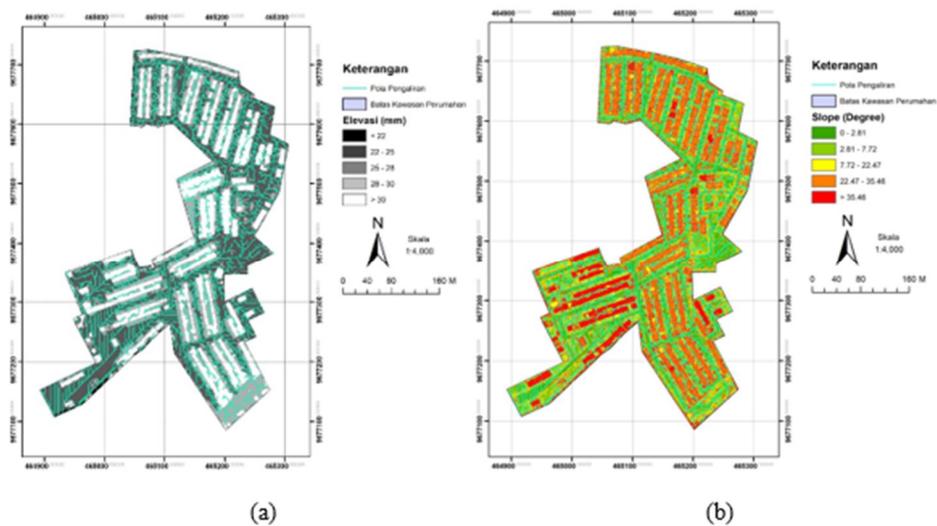
Tabel 3. Tata guna lahan dan parameter hidrologi di lokasi penelitian

No.	Penggunaan Lahan	Luasan (ha)	Persentase Luas (%)	CN	Imperv (%)	N Imperv	N Perv	Dstore Imperv (mm)	Dstore Perv (mm)
1	Perumahan	8,13	70,57	85	65	0,012	0,15	1,905	3,8
2	Taman/Ruang Terbuka	0,65	5,67	69	25	0,012	0,15	1,905	3,8
3	Jalan	2,22	19,28	98	95	0,011	0,15	1,27	3,8
4	Masjid/Tempat Ibadah	0,04	0,38	80	65	0,012	0,15	1,905	3,8
5	Blok Lainnya/Lahan Kosong	0,47	4,10	85	65	0,012	0,15	1,905	3,8
	Total	11,53	100,00						

3.4. Topografi dan Pola Pengaliran

Peta topografi dan pola pengaliran dalam penelitian ini diolah menggunakan perangkat lunak ArcGIS. Elevasi permukaan lahan di lokasi penelitian berkisar antara 22 – 30 m seperti yang diberikan oleh peta *digital elevation model* (DEM) dalam Gambar 9a. Adapun kemiringan lahan adalah relatif landai dengan kemiringan rata-rata sebesar 2,67% seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 9b. Pola pengaliran air limpasan terbagi menjadi dua arah, dimana sebagian limpasan mengalir ke arah utara, dan sebagian lagi mengalir ke arah selatan menuju

saluran primer. Pola pengaliran ini kemudian digunakan sebagai pedoman dalam menetapkan arah aliran di dalam sistem drainase yang dikaji.

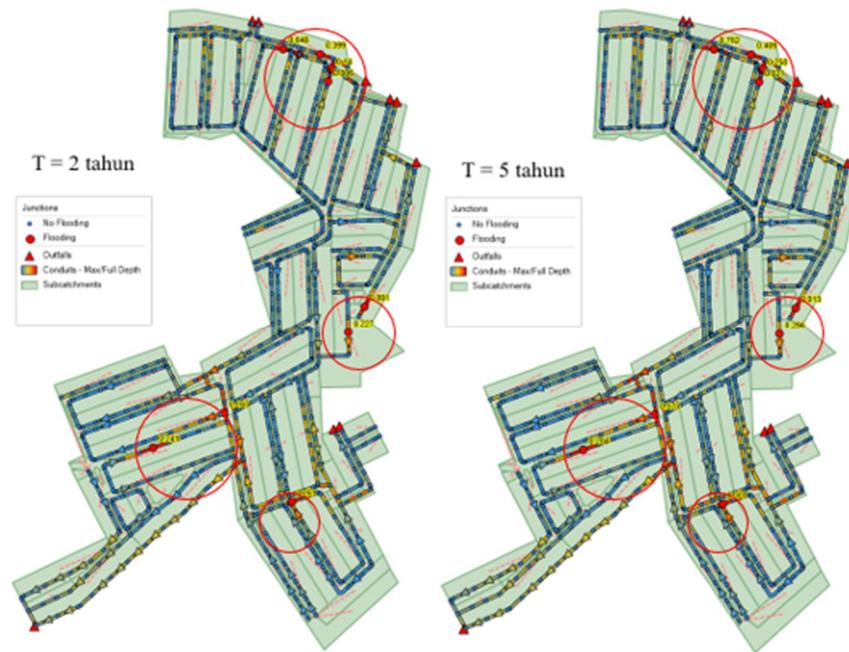


Gambar 9. Peta topografi (DEM) (a) dan kemiringan lahan (b) berikut pola pengaliran limpasan di lokasi penelitian

3.5. Simulasi Hidrodinamika Sistem Drainase

Pemodelan sistem drainase dalam penelitian ini menggunakan model komputer PCSWMM 2021 Professional yang dikembangkan oleh Computational Hydraulics International (CHI). Hal ini disebabkan karena PCSWMM dapat mensimulasikan aliran 1-dimensi dan 2-dimensi secara terintegrasi (*integrated 1D-2D flow simulation*). Model aliran 1D-2D dapat mengatasi limitasi aliran 1D dalam mensimulasikan propagasi genangan banjir (Kourtis, dkk., 2017). Disamping itu, PCSWMM dikembangkan berbasis *solver* EPA SWMM yang mana merupakan perangkat lunak bersifat *public domain* yang sudah teruji dan digunakan secara luas untuk memodelkan sistem drainase (Al Amin, 2020).

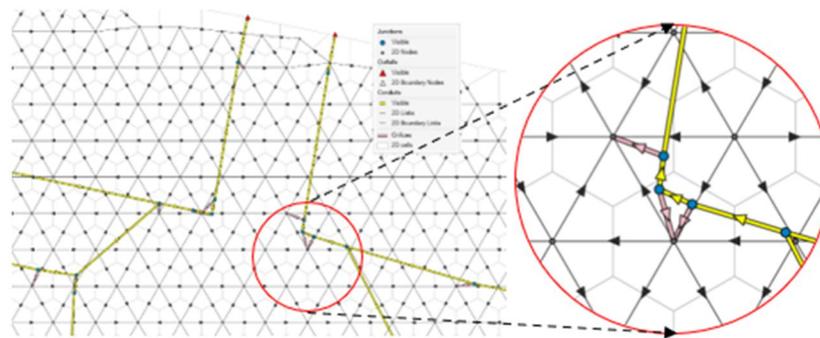
Gambar 10 menunjukkan model sistem drainase di lokasi penelitian menggunakan PCSWMM berikut hasil simulasi 1D untuk periode ulang 2 dan 5 tahun. Penggunaan periode ulang 2 dan 5 tahun ini adalah sesuai dengan kriteria desain drainase seperti yang diberikan dalam **Tabel 1**. Berdasarkan hasil simulasi tersebut ditunjukkan bahwa baik pada periode ulang 2 tahun maupun 5 tahun kapasitas saluran drainase telah terlampaui. Hal ini terlihat dari kedalaman aliran pada beberapa saluran sekunder (*conduits*) yang sudah mencapai maksimal (*full depth*) dan pada beberapa titik (*junctions*) teridentifikasi adanya luapan banjir (*flooding*). Titik-titik luapan teridentifikasi pada blok Willow, Cassia, Bougenville, dan Amaryllis yang ditandai dengan lingkaran berwarna merah. Lokasi luapan untuk periode ulang 2 dan 5 tahun tersebut adalah sama, namun karena intensitas hujan yang berbeda menyebabkan volume dan durasi luapan banjir pada periode ulang 5 tahun menjadi lebih besar dan lama dibandingkan periode ulang 2 tahun.



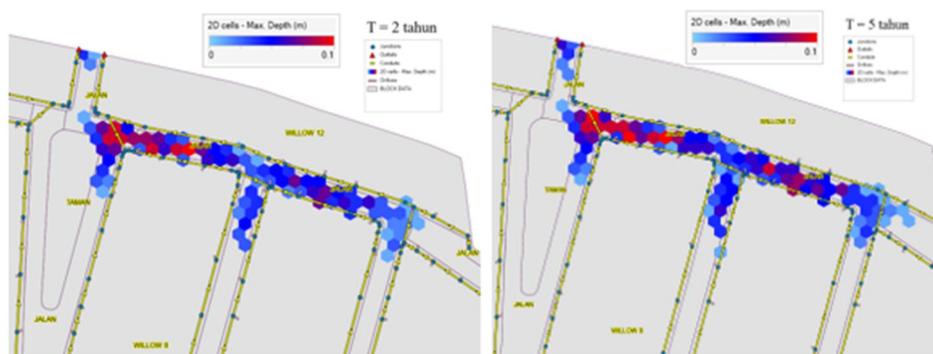
Gambar 10. Hasil simulasi 1D sistem drainase Perumahan Center Park menggunakan PCSWMM untuk periode ulang 2 tahun (kiri) dan 5 tahun (kanan) yang menunjukkan titik-titik luapan banjir. *Junctions* memberikan informasi volume luapan dalam ML (*million liters*), sedangkan *conduits* menunjukkan rasio kedalaman maksimal terhadap kedalaman penuh

Analisis genangan banjir akibat luapan saluran drainase dilakukan melalui model aliran 1D-2D terintegrasi. Aliran 1D merupakan aliran di dalam sistem drainase, sedangkan aliran 2D merupakan aliran permukaan (*overland flow*) yang direpresentasikan oleh sel-sel (*2D cells*) yang dibentuk oleh jejarang (*mesh*). Tiap sel memiliki nilai elevasi yang diperoleh dari peta DEM. Bentuk geometri dari sel tersebut adalah heksagonal dengan resolusi 3 m. Aliran dari model 1D ke model 2D dikoneksikan melalui komponen *orifices* yang menghubungkan komponen *junctions 1D* ke *2D nodes*. **Gambar 11** menunjukkan integrasi model 1D dan 2D menggunakan PCSWMM.

Hasil simulasi model 1D-2D terintegrasi menunjukkan bahwa pada blok Willow terjadi genangan akibat luapan saluran baik untuk periode ulang 2 tahun dan 5 tahun seperti yang ditunjukkan oleh **Gambar 12**. Kedua periode ulang tersebut menghasilkan tinggi genangan maksimal yang sama, yaitu sebesar 0,1 m, namun area genangan yang lebih luas dihasilkan oleh periode ulang 5 tahun. Luas genangan untuk periode ulang 2 tahun dan 5 tahun masing-masing adalah 609 m² dan 807 m². Tinggi genangan ini diukur terhadap elevasi setiap permukaan di atas saluran drainase (lihat peta DEM pada Gambar 9). Adapun tinggi genangan maksimal sebesar 0,1 m terjadi pada area di sekitar blok Willow 8 dan Willow 12 yang berdekatan dengan titik outlet saluran. Hal ini dapat disebabkan karena aliran limpasan dari saluran yang terkonsentrasi di sekitar area ini, sedangkan kapasitas salurannya tidak mencukupi untuk mengalirkan akumulasi beban aliran limpasan di area tersebut.



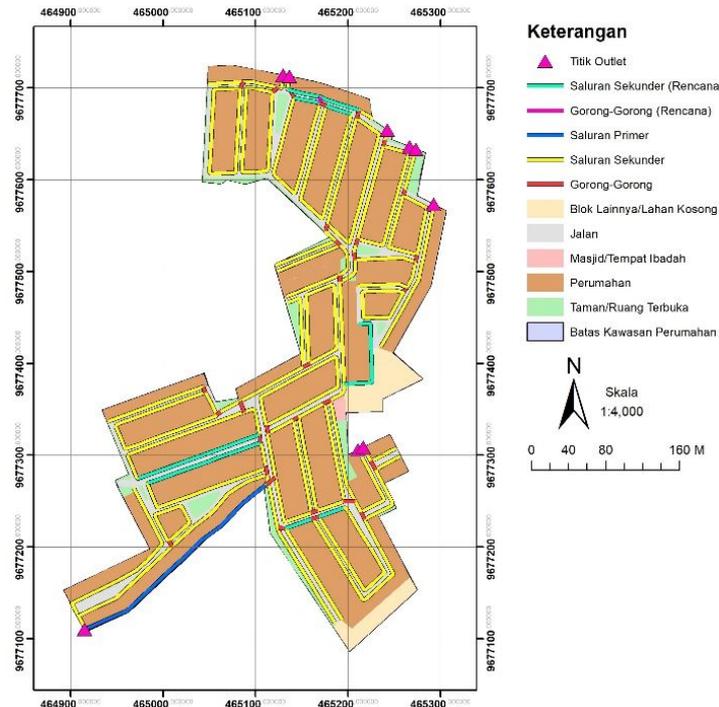
Gambar 11. Integrasi model 1D dan 2D sistem drainase menggunakan PCSWMM



Gambar 12. Hasil simulasi 1D-2D sistem drainase Perumahan Center Park menggunakan PCSWMM untuk periode ulang 2 tahun (kiri) dan 5 tahun (kanan) menunjukkan bahwa telah terjadi genangan pada blok Willow 8 dan 12. Genangan diwakilkan dalam sel-sel heksagonal

3.6. Rekomendasi Sistem Drainase

Liwanag, dkk. (2018) menjelaskan bahwa peningkatan sistem drainase dapat dicapai dengan cara meningkatkan kapasitas saluran dan atau menyediakan tambahan outlet pada lokasi-lokasi yang teridentifikasi rawan tergenang banjir. Saluran-saluran yang mengalami luapan perlu dilakukan peningkatan kapasitas pengaliran dengan cara memperbesar dimensinya. Ukuran saluran drainase tersebut diperhitungkan sesuai dengan debit aliran maksimal dari hasil simulasi hidrodinamika. Disamping pembesaran dimensi saluran, juga dibutuhkan penambahan gorong-gorong untuk mengalihkan sebagian debit aliran ke saluran lainnya sehingga beban aliran tidak terkonsentrasi pada satu saluran saja yang dapat menyebabkan terjadinya luapan. Dalam penelitian ini, beberapa saluran sekunder direkomendasikan untuk ditingkatkan kapasitasnya dan ditambahkan gorong-gorong baru seperti yang ditunjukkan dalam **Gambar 13**. Adapun rinciannya diberikan oleh **Tabel 4**. Dimensi saluran sekunder yang direncanakan pada blok Willow adalah 0,6 m x 0,70 m, sedangkan pada blok Cassia, Amaryllis, dan Bougenville masing-masing adalah 0,5 m x 0,5 m, 0,6 m x 0,6 m, dan 0,7 m x 0,85 m. Dimensi tersebut adalah ukuran minimal yang direkomendasikan. Adapun penambahan gorong-gorong baru hanya diperlukan pada blok Willow sebanyak 1 unit berbentuk lingkaran dengan diameter 0,5 m.



Gambar 13. Rekomendasi peningkatan kapasitas saluran dan penambahan gorong-gorong

Tabel 4. Rencana peningkatan kapasitas saluran dan penambahan gorong-gorong

No.	Blok	Dimensi Saluran Eksisting	Dimensi Saluran Rencana	Penambahan Gorong-Gorong
1	Willow	0,5 m x 0,52 m	0,6 m x 0,70 m	1 unit D = 0,5 m (lingkaran)
2	Cassia	0,5 m x 0,42 m	0,5 m x 0,5 m	-
3	Amaryllis	0,5 m x 0,5 m	0,6 m x 0,6 m	-
4	Bougenville	0,51 m x 0,83 m	0,7 m x 0,85 m	-

3.7. Pembahasan

Desain hidrologi untuk tinjauan kapasitas sistem drainase di kawasan Perumahan Center Park Palembang menggunakan periode ulang 2 dan 5 tahun. Hal ini menyesuaikan dengan tipologi Kota Palembang sebagai kota metropolitan dan luasan wilayah kajian adalah sebesar 11,53 ha. Besaran hujan harian maksimum rancangan periode ulang 2 dan 5 tahun masing-masing adalah sebesar 114,80 mm dan 133,10 mm. Hujan rancangan tersebut kemudian didistribusikan selama 3 jam mengikuti pola distribusi hujan yang diusulkan oleh Kusumastuti dkk., (2016).

Sistem drainase di wilayah kajian terdiri dari saluran primer, saluran sekunder, gorong-gorong, dan titik-titik outlet. Tata guna lahan di wilayah kajian didominasi oleh lahan perumahan, sedangkan lahan permeabel seperti taman dan ruang terbuka lainnya cukup terbatas. Hal ini kemudian dapat memicu volume limpasan yang besar terutama pada saat hujan deras. Adapun kemiringan lahan di wilayah kajian tergolong relatif datar atau landai.

Hasil simulasi hidrodinamika terhadap sistem drainase eksisting untuk periode ulang 2 dan 5 tahun menggunakan model komputer PCSWMM menunjukkan bahwa di beberapa titik terjadi luapan banjir, yaitu di blok Willow, Cassia, Bougenville, dan Amaryllis baik. Luapan terbesar

terjadi di blok Willow sehingga menyebabkan genangan air dengan tinggi maksimal sebesar 0,1 m. Hal ini menunjukkan bahwa kapasitas sistem drainase eksisting tidak mampu mengalirkan debit banjir sesuai kriteria desain yang disyaratkan. Periode ulang banjir 5 tahun menghasilkan volume luapan yang lebih besar dan durasi genangan yang lebih lama dibandingkan dengan periode ulang banjir 2 tahun. Disamping itu, luas genangan yang dihasilkan oleh banjir 5 tahun adalah lebih besar dibandingkan dengan banjir 2 tahun. Rekomendasi peningkatan kapasitas sistem drainase untuk mencegah luapan banjir adalah dengan melakukan pembesaran dimensi beberapa saluran sekunder dan penambahan gorong-gorong untuk mengalihkan sebagian debit aliran agar tidak terkonsentrasi pada satu saluran saja.

Peningkatan kapasitas sistem drainase sesungguhnya tidak hanya dapat dilakukan dengan pembesaran ukuran saluran saja, namun juga dapat dilakukan dengan mengurangi volume limpasan yang akan menjadi beban saluran drainase. Pengurangan volume limpasan dapat dilakukan dengan cara menahan, menampung, dan atau meresapkannya ke dalam tanah sebelum masuk ke dalam saluran drainase. Metode ini kemudian dikenal dengan konsep drainase berwawasan lingkungan atau ekodrainase. Qiao, dkk. (2018) menyebutkan bahwa konsep drainase berwawasan lingkungan dapat menjadi alternatif dan atau tambahan bagi metode drainase konvensional untuk meningkatkan kapasitas sistem drainase sekaligus sebagai upaya konservasi sumberdaya air dan perlindungan kualitas air. Meskipun demikian, metode ini tidak dibahas dalam artikel ini, namun dapat menjadi pertimbangan untuk penelitian selanjutnya.

Penelitian-penelitian yang berkaitan dengan tinjauan kapasitas sistem drainase dan pemetaan genangan banjir menggunakan model computer sebelumnya sudah banyak dilakukan. Penelitian yang dilakukan di kawasan Perumahan Center Park ini memang tidak menyajikan temuan baru dalam topik tersebut, namun hasil penelitian ini telah berhasil mengkonfirmasi kemampuan model PCSWMM untuk keperluan perancangan dan evaluasi sistem drainase. Simulasi sistem drainase yang kompleks dapat dilakukan dengan mudah dan cepat menggunakan model terintegrasi 1D-2D dalam PCSWMM. Hasil penelitian ini juga mempertegas pentingnya peranan dari model hidrodinamika sebagai alat untuk merencanakan kapasitas sistem drainase yang memenuhi kriteria desainnya.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi kondisi eksisting sistem drainase di kawasan Perumahan Center Park Alang-Alang Lebar Palembang menggunakan PCSWMM dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Sistem drainase eksisting di kawasan Perumahan Center Park tidak mampu mengalirkan debit banjir dengan periode ulang 2 dan 5 tahun yang dihasilkan oleh hujan berdurasi 3 jam.
2. Titik-titik lokasi luapan banjir berdasarkan hasil simulasi terjadi di blok Willow, Cassia, Bougenville, dan Amaryllis, dimana luapan banjir terbesar terjadi blok Willow. Genangan banjir tertinggi sebesar 0,1 m terjadi di blok Willow, yaitu pada area di sekitar Willow 8 dan Willow 12 yang berdekatan dengan titik outlet saluran.
3. Rekomendasi peningkatan kapasitas sistem drainase untuk mencegah luapan banjir adalah dengan melakukan pembesaran dimensi beberapa saluran sekunder eksisting dan penambahan gorong-gorong baru.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan yang baik ini penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Sriwijaya yang telah mendanai penelitian ini melalui skema Hibah Penelitian Sainteks tahun

2021. Disamping itu, penulis juga berterima kasih kepada Computational Hydraulics International (CHI) yang telah memberikan lisensi pengguna PCSWMM 2021 Professional 2D melalui CHI *University Grant Program*. Penulis juga berterima kasih kepada para mahasiswa, dosen, pengembang perumahan, dan pihak lainnya yang telah membantu dalam proses perizinan serta pengumpulan dan pengolahan data penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H.Z., Jones, A., & Kahar, J. (2011). *Survei dengan GPS*. Penerbit ITB: Bandung.
- Agarwal, S., & Kumar, S. (2019). Applicability of SWMM for Semi Urban Catchment Flood modeling using Extreme Rainfall Events. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8(2), 245–251. <https://doi.org/10.35940/ijrte.A3169.078219>.
- Al Amin, M. B. (2020). *Pemodelan Sistem Drainase Perkotaan Menggunakan SWMM*. Deepublish. Yogyakarta.
- Anni, A. H., Cohen, S., & Praskievicz, S. (2020). Sensitivity of urban flood simulations to stormwater infrastructure and soil infiltration. *Journal of Hydrology*, 588, 125028. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125028>.
- Asfa, A. F., Handayani, Y. L., & Hendri, A. (2014). Pola Distribusi Hujan Jam-Jaman Pada Stasiun Hujan Pasar Kampar. *Jom FTEKNIK*, 1(2), 1–6. <https://jom.unri.ac.id/index.php/JOMFTEKNIK/article/view/9612>.
- Chen, W., Huang, G., & Zhang, H. (2017). Urban stormwater inundation simulation based on SWMM and diffusive overland-flow model. *Water Science and Technology*, 76(12), 3392–3403. <https://doi.org/10.2166/wst.2017.504>.
- Cortés Z. M., Tequia, W. E. A., & Fernández. D. S. G. (2020). Implementation of the hydraulic modelling of urban drainage in the northeast sector, Tunja, Boyacá. *Revista Facultad De Ingeniería Universidad De Antioquia*, (101), 74–83. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.20200798>.
- Davy, B., & Richard, K. (2018). Modeling of storm water runoff for Kitwe CBD drainage system using SWMM software. *Rwanda Journal of Engineering, Science, Technology and Environment*, 1(1). <https://doi.org/10.4314/rjeste.v1i1.10S>.
- de Fraiture, C., Susanto, R. H., Suryadi, F. X., & Wahyu, H. M. H. (2017). Urban Drainage Management and Flood Control Improvement Using the Duflow Case Study: Aur Sub Catchment, Palembang, South Sumatra, Indonesia. *Makara Journal of Technology*, 21(2), 83. <https://doi.org/10.7454/mst.v21i2.3085>.
- Dung, L. T., Phu, V. le, Lan, N. H. M., Tien, N. T. C., & Hiep, L. D. (2021). Sustainable Urban Drainage System Model for The Nhieu Loc – Thi Nghe Basin, Ho Chi Minh City. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 652(1), 012012. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/652/1/012012>.
- Guo, K., Guan, M., & Yu, D. (2021). Urban surface water flood modelling – a comprehensive review of current models and future challenges. *Hydrology and Earth System Sciences*, 25(5), 2843–2860. <https://doi.org/10.5194/hess-25-2843-2021>.
- Hasan, H. H., Mohd Razali, S. F., Ahmad Zaki, A. Z. I., & Mohamad Hamzah, F. (2019). Integrated Hydrological-Hydraulic Model for Flood Simulation in Tropical Urban Catchment. *Sustainability*, 11(23), 6700. <https://doi.org/10.3390/su11236700>.
- Kourtis, I. M., Bellos, V., & Tsihrintzis, V. A. (2017). Comparison of 1D-1D and 1D-2D urban flood models. 15 International Conference on Environmental Science and Technology.
- Kusumastuti, D. I., Jokowiarno, D., van Rafi'i, C. H., & Yuniarti, F. (2016). Analysis of Rainfall Characteristics for Flood Estimation in Way Awi Watershed. *Civil Engineering Dimension*, 18(1). <https://doi.org/10.9744/ced.18.1.31-37>.
- Laouacheria, F., Kechida, S., & Chabi, M. (2019). Modelling the impact of design rainfall on the urban drainage system by Storm Water Management Model. *Journal of Water and Land Development*, 40(1), 119–125. <https://doi.org/10.2478/jwld-2019-0013>.
- Liwanag, F., Mostrales, D. S., Ignacio, Ma. T. T., & Orejudos, J. N. (2018). Flood Modeling Using GIS and PCSWMM. *Engineering Journal*, 22(3), 279–289. <https://doi.org/10.4186/ej.2018.22.3.279>.
- Majeed, S., & Chinnamma, M. A. (2021). Design of urban drainage system using SWMM. *International*

- Research Journal of Engineering and Technology, 8(6), 311–316. www.irjet.net.
- Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia. (2014). Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 12 /PRT/M/2014 Tentang Penyelenggaraan Sistem Drainase Perkotaan. Jakarta.
- Ocampo, C., Carvajal-Escobar, Y., & Peña, L. E. (2019). Storm Water Management Model Simulation and Evaluation of the Eastern urban drainage system of Cali in the face of climate variability scenarios. *Ingeniería y Competitividad*, 21(2). <https://doi.org/10.25100/iyc.v21i2i.8046>.
- Rangari, V. A., Prashanth, S. S., Umamahesh, N. v., & Patel, A. K. (2018). Simulation of Urban Drainage System using a Storm Water Management Model (SWMM). *Asian Journal of Engineering and Applied Technology*, 7(S1), 7–10.
- Rossman, L. A., & Huber, W. C. (2016). Storm Water Management Model Reference Manual Volume I-Hydrology (Revised). <http://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi?Dockkey=P100NYRA.txt>.
- Rossman, L. A. (2017). Storm Water Management Model Reference Manual Volume II-Hydraulics. <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi?Dockkey=P100S9AS.pdf>.
- Saragi, S., Lilis Handayani, Y., & Hendri, A. (2014). Pola Distribusi Hujan Jam-Jaman (Studi Kasus Stasiun Hujan Kecamatan Senapelan). *Jom FTEKNIK*, 1(2). <https://jom.unri.ac.id/index.php/JOMFTEKNIK/article/view/8306>.
- Situngkir, A. M. (2016). Evaluation and Improvement of Drainage Performance in Gedongtataan, Lampung using DufLOW Modeling Studio. *Journal of Natural Resources and Environmental Management*, 6(2), 111–121. <https://doi.org/10.19081/jpsl.2016.6.2.111>.
- Sidek, L. M., Chua, L. H. C., Azizi, A. S. M., Basri, H., Jaafar, A. S., & Moon, W. C. (2021). Application of PCSWMM for the 1-D and 1-D-2-D Modeling of Urban Flooding in Damansara Catchment, Malaysia. *Applied Sciences*, 11(19), 9300. <https://doi.org/10.3390/app11199300>.
- Sri Harto Br. 2000. Hidrologi : Teori, Masalah, Penyelesaian. Nafiri Offset. Yogyakarta.
- Teshome, M. (2020). A Review of Recent Studies on Urban Stormwater Drainage System for Urban Flood Management. Preprints, 2020100295. doi: 10.20944/preprints202010.0295.v2.
- Thessalonika, Handayani, Y. L., & Fauzi, M. (2018). Bentuk Distribusi Hujan Jam - Jaman Kabupaten Kampar Berdasarkan Data Satelit. *Jom FTEKNIK*, 5(1), 1–8. <https://jom.unri.ac.id/index.php/JOMFTEKNIK/article/view/17252>.
- Triatmodjo, B. (2008). Hidrologi Terapan. Penerbit Beta Offset. Yogyakarta.
- Tunas, I. G., Anwar, N. dan Lasminto, U. (2016) “Analysis of Dominant Rainfall Distribution Pattern for Flood Hydrograph Prediction,” in International Seminar On Infrastructure Development 2016. Makassar, hal. 43–52.
- Qiao, F., Wanyan, Y., & Li, Q. (2018). Influencing Factors and Strategies for Sustainable Urban Drainage System. *Civil Engineering Research Journal*, 3(3), 89–91. <https://doi.org/10.19080/CERJ.2018.03.555616>.