



PRINSIP PENERAPAN WATER SENSITIVE URBAN DESIGN PADA KAWASAN PERKOTAAN (KASUS STUDI: KECAMATAN SUBANG, KABUPATEN SUBANG)

PRINCIPLES OF IMPLEMENTING WATER SENSITIVE URBAN DESIGN (CASE STUDY: SUBANG DISTRICT, SUBANG REGENCY)

Indira Shakina Ramadhani^a, Petrus Natalivan Indradjati^{b*}

^aProgram Magister Perencanaan Wilayah dan Kota, Sekolah Arsitektur Perencanaan dan Pengembangan Kebijakan, Institut Teknologi Bandung; Bandung

^bProgram Studi Perencanaan Wilayah dan Kota, Sekolah Arsitektur Perencanaan dan Pengembangan Kebijakan, Institut Teknologi Bandung; Bandung

*Korespondensi: natalivan@itb.ac.id

Info Artikel:

- Artikel Masuk: 10 Mei 2022
- Artikel diterima: 3 Januari 2023
- Tersedia Online: 31 Desember 2023

ABSTRAK

Banjir disebabkan karena gangguan siklus air saat meresap, menampung, dan mengalirkan air hujan akibat manajemen siklus air perkotaan dan pengelolaan air hujan yang buruk. Pendekatan penanganan banjir yang masih mengandalkan rekayasa infrastruktur abu-abu terbukti belum efektif. Konsep Water Sensitive Urban Design/WSUD menawarkan paradigma baru dalam penanganan banjir dengan solusi berbasis alam melalui pengelolaan air hujan dan penurunan limpasan air permukaan di kawasan perkotaan. Penelitian ini bertujuan untuk merumuskan prinsip penerapan WSUD pada kawasan perkotaan sebagai upaya menurunkan risiko banjir. Penelitian diawali dengan perumusan jenis dan prasyarat penerapan WSUD; identifikasi persoalan dan peluang penerapan WSUD di berbagai jenis guna lahan, karakteristik bangunan dan fisik lingkungan. Pada bagian akhir, studi ini merumuskan prinsip penerapan WSUD. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan WSUD dihadapkan pada persolan karakteristik guna lahan, keterbatasan luas kaveling atau ruang terbuka yang dapat meresapkan air, serta kondisi dinding dan atap bangunan yang ringkih. Oleh karena itu, tidak semua jenis WSUD dapat diterapkan di kawasan perkotaan dan beberapa diantaranya membutuhkan penyesuaian dalam penerapannya apabila tidak sepenuhnya persyaratan penerapan WSUD dipenuhi. Prinsip penerapan jenis WSUD didasarkan pada obyek bangunan, kaveling dan ruang di luar kaveling untuk setiap jenis penggunaan lahan.

Kata Kunci: Water Sensitive Urban Design, Kawasan Perkotaan, Banjir Perkotaan

ABSTRACT

Flooding is caused by disruptions in the water cycle as it infiltrates, stores and drains rainwater due to poor urban water cycle management and stormwater management. Flood management approaches that still rely on gray infrastructure engineering have proven ineffective. The concept of Water Sensitive Urban Design (WSUD) offers a new paradigm in flood management with nature-based solutions through stormwater management and reducing surface water runoff in urban areas. This research aims to formulate the principles of WSUD implementation in urban areas as an effort to reduce flood risk. The research begins with the formulation of types and prerequisites for WSUD implementation; identification of problems and opportunities for WSUD implementation in various types of land use, building characteristics and physical environment. Finally, the study formulated the principles of WSUD implementation. The results show that the application of WSUD is faced with problems of land use characteristics, limited lot area or open space that can absorb water, and the condition of walls and roofs of buildings that are fragile. Therefore, not all types of WSUD can be applied in urban areas and some of them require adjustments in their application if the requirements for WSUD application are not fully met. The principle of applying WSUD types is based on the object of the building, the lot and the space outside the lot for each type of land use.

Keyword: Water Sensitive Urban Design, Urban Area, Urban Flooding

1. PENDAHULUAN

Banjir merupakan bencana alam dengan jumlah kejadian paling sering di Indonesia (Qodriyatun, 2020). Provinsi Jawa Barat memiliki sejarah kejadian bencana hingga paling tinggi mencapai 4.693 kejadian setelah Provinsi Jawa Tengah dengan 7.113 kejadian sejak tahun 1815 sampai tahun 2019, dimana kejadian bencana ini didominasi oleh sebab iklim seperti banjir (Adi et al., 2022; Nugroho et al., 2018). Kejadian banjir yang terjadi di kawasan perkotaan cenderung mengalami peningkatan.

Upaya penanganan banjir di Indonesia masih menawarkan pendekatan yang tidak ekologis dan hanya bertumpu pada pembangunan infrastruktur (Elisa, 2018). Sampai saat ini, solusi banjir dengan pendekatan yang hanya mengedepankan infrastruktur abu-abu belum mampu mengurangi frekuensi kejadian banjir perkotaan di Indonesia secara signifikan, bahkan titik dan ketinggian banjir semakin bertambah (Saptoyo, 2021). Kegagalan penanganan banjir secara teknis dan konvensional melalui rekayasa infrastruktur abu-abu di sebagian besar kawasan perkotaan, mendorong munculnya pendekatan baru dalam menangani banjir melalui solusi berbasis alam yang mementingkan prinsip ekologi. Solusi tersebut membantu mengurangi beban pada drainase kota, menjaga saluran air dan meningkatkan kinerja fasilitas perkotaan, mendorong kota menjadi lebih layak huni, mengurangi risiko banjir, dan mengubah ruang kota menjadi pusat kehidupan masyarakat (Nash, 2020). Salah satu komponen dari solusi berbasis alam adalah penerapan *Water Sensitive Urban Design/WSUD* yang baru diperkenalkan sejak awal tahun 2000. Konsep ini memanfaatkan infrastruktur hijau yang ditempatkan dalam sistem air perkotaan melalui bentuk bangunan dan lanskap yang inovatif (Asian Development Bank, 2019). Perancangan kawasan menggunakan konsep WSUD meniru proses keseimbangan siklus air dengan cara mengalirkan, menyimpan atau menyerap, menggunakan ulang, serta mengurangi laju limpasan air permukaan yang ditimbulkan oleh hujan.

Solusi banjir yang mengedepankan prinsip ekologi belum menjadi perhatian utama dalam penanganan banjir di Kecamatan Subang. Misalnya, Gubernur Jawa Barat Ridwan Kamil, pernah menyampaikan perlunya normalisasi sungai dan pemasangan tanggul permanen untuk solusi jangka pendek, serta pembangunan bendungan untuk solusi jangka panjang untuk banjir Subang (Lukihardianti & Fitriat, 2021). Dalam Rencana Program Investasi Jangka Menengah/RPIJM Kabupaten Subang Tahun 2017-2022, perbaikan dan penambahan saluran drainase dilakukan dengan menerapkan prinsip baru berwawasan lingkungan, yaitu menahan air lebih lama dan menyerap air lebih banyak. Namun pendekatan penanganan banjir melalui pengelolaan air hujan lokal dan penurunan limpasan permukaan masih belum menjadi perhatian yang utama di Kecamatan Subang. Penerapan konsep WSUD diharapkan dapat mengurangi kerentanan banjir dan meningkatkan kapasitas kawasan di kecamatan ini sebagai kawasan perkotaan.

Penerapan WSUD membutuhkan pemahaman karakteristik iklim, cuaca dan sistem infrastruktur khususnya drainase serta karakteristik lingkungan terbangun. Jenis penanganan banjir dengan pendekatan WSUD berbeda antara satu negara dengan negara lainnya, antara satu lokasi dengan lokasi lainnya. Beberapa negara mengembangkan panduan penerapan WSUD yang disesuaikan dengan karakteristik masing-masing, seperti di Australia, Jepang, Afrika, dan negara lainnya (Armitage et al., 2014; Brown et al., 2013; Melbourne Water, 2009, 2014; Radcliffe, 2018; Rohilla et al., 2017; South Eastern Councils State Government Victoria, 2013; Wongwatcharapaiboon et al., 2020; Zhang et al., 2021). Di Indonesia, cukup banyak penelitian terkait penerapan WSUD berdasarkan karakteristik lingkungan seperti yang dilakukan Lokita tahun 2011 yang membahas penerapan WSUD pada kawasan cagar budaya di Kota Lama Semarang serta Pradipta dan Pamungkas pada tahun 2017 meneliti penerapan WSUD berdasarkan karakteristik fisik Kawasan (Lokita, 2011; Pradipta & Pamungkas, 2017). Sementara Rahmat dan Djoeffan tahun 2019 mengkaji penerapan WSUD pada skala Daerah Aliran Sungai/DAS (Rahmat & Djoeffan, 2019). Penelitian yang dilakukan oleh Fitria et al Tahun 2023 mencoba mengkaji penerapan WSUD pada kawasan yang akan dibangun dengan intensitas tinggi pada lahan dengan karakteristik tanah yang rendah dalam meresapkan air (Fitria et al., 2023). Demikian pula penelitian penerapan WSUD pada daerah langka air juga dilakukan oleh Wardani dan Kurniawati pada tahun 2014 (Wardani & Kurniawati, 2014). Penelitian-penelitian ini menunjukkan masih dibutuhkannya kekayaan informasi terkait penyesuaian teknik penerapan WSUD pada wilayah dengan

karakteristik yang berbeda-beda (Rohilla et al., 2017; Sharma et al., 2016). Oleh karena itu, penelitian ini sangat penting untuk memahami dan mengeksplorasi karakteristik dan persoalan banjir, karakteristik dan penerapan WSUD di kawasan perkotaan sebagai dasar dalam merumuskan prinsip penerapan konsep WSUD di kawasan perkotaan Kecamatan Subang, Kabupaten Subang.

2. JENIS DAN PRASYARAT PENERAPAN WSUD

Selain disebabkan sistem drainase yang hanya mengalirkan air tanpa meresapkan, perkembangan kawasan perkotaan yang ditandai dengan peningkatan kepadatan dan perubahan guna lahan menyebabkan peningkatan tutupan lahan sekaligus penurunan luas daerah resapan air dan berkontribusi sebagai penyebab banjir di kawasan perkotaan (Rodríguez et al., 2014; Xiong et al., 2020). Berbagai upaya dilakukan untuk mengatasi banjir, mulai dari pendekatan untuk mengalirkan air secepat mungkin hingga pendekatan sebaliknya, yaitu menahan air selama mungkin agar penanganannya tidak hanya untuk menyelesaikan secara teknis banjir tetapi juga bagaimana memanfaatkan air hujan (Wong, 2015). Pendekatan terakhir ini dianggap lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan, dimana WSUD merupakan salah satu teknik yang digunakan. Sejak berkembang sekitar 30 tahun lalu, penerapan WSUD tidak hanya sekedar untuk menangani banjir tetapi juga mulai digunakan untuk menjawab isu-isu terkait perubahan iklim, penanganan iklim mikro terkait *urban heat island* (Dolman, 2021; Fumero, 2020; Pérez Cambra & Roca Cladera, 2018; Rasheed, 2018) dan diintegrasikan dengan pengembangan infrastruktur lainnya (Jabeen et al., 2020; Meng et al., 2022; Wong, 2006, 2015).

WSUD merupakan salah satu komponen dari *Nature-Based Solution/NBS* atau solusi berbasis alam (Asian Development Bank, 2019; Kooy et al., 2020). WSUD merupakan konsep yang dapat diterapkan pada skala perancangan kota untuk menciptakan kota sensitif air/*Water-Sensitive Cities/WSC*. WSC merupakan kondisi kota yang menyediakan keamanan air untuk kemakmuran ekonomi; meningkatkan dan melindungi kesehatan saluran air dan lahan basah, daerah aliran sungai yang mengelilingi, serta pesisir dan teluk; mengurangi resiko banjir dan kerusakannya; dan menciptakan ruang publik yang dapat mengumpulkan, membersihkan, dan mendaur ulang air (Cooperative Research Centre for Water Sensitive Cities, 2021).

Penerapan WSUD memiliki nilai manfaat yang luas berkenaan dengan berbagai isu air. Kunci utama dalam teknik perancangan yang bisa dimaksimalkan dalam mengurangi banjir dan aliran puncak melalui konsep WSUD adalah peningkatan jumlah volume penyimpanan dan laju pengosongan volume penyimpanan melalui infiltrasi, penggunaan kembali, pembuangan, atau penguapan; konektivitas fitur WSUD pada lahan kedap air; penyimpanan untuk retensi berupa tangki air hujan, sistem penggunaan ulang; dan sistem detensi besar (Myers & Pezzaniti, 2018). Beberapa jenis penerapan WSUD memiliki fungsi penerapan yang beragam meliputi penurunan laju aliran air, peningkatan kualitas air, pengelolaan banjir, pemanenan air, dan peningkatan amenitas bagi kawasan sebagaimana diuraikan pada Tabel 1. Jenis penerapan WSUD tersebut dapat berbentuk tangki air hujan, bioretensi, cekungan vegetasi atau strip penyangga, perkerasan berpori, atap dan dinding hijau, parit atau cekungan infiltrasi, filter pasir, kolam atau danau, keranjang sampah, lahan basah, dan *grass pollutant traps* (Department of Planning and Local Government, 2013; Sharma et al., 2018; South Eastern Councils State Government Victoria, 2013). Beberapa jenis WSUD yang akan dikaji dalam penelitian ini ditunjukkan dalam Gambar 1.

Tabel 1. Jenis Penerapan Konsep WSUD

Jenis Penerapan	Penurunan Laju Aliran Air	Peningkatan Kualitas Air	Pengelolaan Banjir	Pemanenan Air	Peningkatan amenitas/ habitat/ lanskap
Tangki air hujan	✓	x	✓	✓	x
Bioretensi	✓	✓	✓	X	✓
Cekungan vegetasi atau strip penyangga/sengkedan	✓	✓	✓	x	✓
Perkerasan berpori	✓	✓	x	x	x
Atap dan dinding hijau	✓	✓	✓	x	✓
Parit atau cekungan infiltrasi	✓	✓	x	✓	✓
Filter pasir	x	✓	x	x	x
Kolam dan danau	✓	✓	✓	✓	✓
Keranjang sampah	x	✓	x	x	x
Lahan basah	x	✓	x	✓	✓
Gross pollutant traps	x	✓	x	x	x

Jenis WSUD yang diteliti

Sumber: Department of Planning and Local Government, 2013; Sharma et al., 2018; South Eastern Councils State Government Victoria, 2013



Sumber: Department of Planning and Local Government, 2013; Sharma et al., 2018;
 South Eastern Councils State Government Victoria, 2013

Gambar 1. Ilustrasi Tangki Air Hujan, Bioretensi, Perkerasan Berpori, Cekungan Vegetasi/Strip Penyangga serta Atap dan Dinding Hijau

Penerapan WSUD dapat dilakukan pada skala mikro atau kaveling hingga kawasan. Misalnya Pemerintah Victoria di Australia menerapkan WSUD berdasarkan pendekatan kawasan/guna lahan mulai dari perencanaan tapak dengan menerapkan jejaring ruang terbuka publik, mengatur tata letak perumahan, letak jalan, bentang jalan dan area parkir sedemikian rupa agar jenis WSUD dapat diterapkan dengan mudah (Victoria Stormwater Committee, 1999). Pemerintah Australia Selatan untuk wilayah Adelaide penerapan WSUD didasarkan pada jenis jalan, dan ukuran kaveling (Department of Planning and Local Government, 2013). Sementara itu, Sharma et al (Sharma et al., 2018) membagi penerapan pada skala rumah dan bentang jalan, skala pembangunan perkotaan. Tabel 2 berikut menunjukkan obyek, prasyarat penerapan WSUD dan pemberlakuan persyaratannya tersebut.

Tabel 2. Jenis dan Prasyarat Penerapan Konsep WSUD

Obyek	Prasyarat Penerapan WSUD	Penerapan/Pemberlakuan Persyaratan
Bangunan pada dinding dan atap.	Tersedia atap bangunan sebagai bidang tangkapan air sebagai bidang tangkapan air untuk tangki air hujan.	Perumahan (P); Komersial (K); Industri (I).
	Tersedia atap bangunan dengan kemiringan 0-30 derajat yang memadai sebagai media penerapan atap hijau.	
	Tersedia dinding sebagai media penerapan dinding hijau.	
Kaveling dan ruang terbuka di luar kaveling.	Tersedia bidang lahan yang dapat digunakan untuk menangkap air hujan yang turun menjadi air permukaan. Untuk lahan terbuka yang diperkeras terintegrasi dengan saluran air atau drainase agar dapat berfungsi dengan efektif dalam mengalirkan air.	Perumahan (P); Komersial (K); Industri (I); Ruang Terbuka Publik (RTP).
	Terletak pada lahan yang cenderung datar untuk penerapan strip penyangga.	
	Terletak pada lahan landai (kemiringan lahan <4%) untuk penerapan perkerasan berpori dan sengkedan vegetasi.	
	Tersedia lahan untuk penerapan parit dan cekungan infiltrasi yang memiliki kapasitas infiltrasi yang baik dan beban sedimentasi rendah.	
	Kedalaman tanah antara 0,3-0,8 meter sebagai media penangkap dan penyaluran air bawah tanah untuk bioretensi.	
	Terletak pada lahan yang cenderung datar untuk penerapan strip penyangga.	
Di luar kaveling.	Tersedia lahan yang cukup atau dapat dibebaskan, berlokasi di samping badan sungai, di dalam badan sungai, dan memanjang, serta memiliki muara di lahan basah untuk penerapan kolam dan danau.	Ruang Milik Jalan (RMJ); Komersial (K); Industri (I); Ruang Terbuka Publik (RTP).
	Tersedia drainase untuk penerapan bioretensi, sengkedan terintegrasi dengan pipa drainase.	
	Terletak pada lahan yang dilalui arus lalu lintas rendah untuk penerapan perkerasan berpori.	
	Terletak pada lahan yang tidak dilalui arus lalu lintas kendaraan untuk penerapan sengkedan vegetasi dan strip penyangga.	

Sumber: Hasil Analisis. 2022

3. DATA DAN METODE

Penelitian ini bersifat eksploratif dan preskriptif. Penelitian eksploratif untuk memperdalam pengetahuan dan menemukenali persoalan penerapan WSUD dan peluang penerapannya berdasarkan karakteristik di wilayah studi. Sementara penelitian preskriptif ditujukan untuk memberikan rekomendasi prinsip implementasi penerapan WSUD sesuai dengan tipologi guna lahan di wilayah studi.

3.1. Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui survei data sekunder dan primer. Pengumpulan data sekunder berupa data fisik lingkungan serta kejadian banjir dilakukan melalui literatur dari jurnal, penelitian terdahulu, *report study*, dan dokumen rencana tata ruang yang diperoleh dari publikasi terpercaya dan resmi, seperti lembaga pendidikan, Badan Pusat Statistik Kabupaten Subang, Badan Nasional Penanggulangan Bencana, Badan Penanggulangan Bencana Daerah Kabupaten Subang, dan Badan Perencanaan Pembangunan Penelitian dan Pengembangan Daerah Kabupaten Subang/BP4D. Survei data primer dilakukan melalui observasi pada objek bangunan, kaveling, lahan terbuka, drainase, dan kegiatan yang ada di blok guna lahan perumahan, perdagangan dan jasa, perkantoran pemerintah, industri, dan sarana pelayanan umum di setiap kelurahan di Kecamatan Subang. Teknis observasi dilakukan menurut pembagian blok guna lahan untuk meninjau seluruh keragaman yang ada dari objek yang diamati dengan menggunakan form observasi untuk merekam karakteristik kaveling yang mencakup luas dan ketersediaan ruang terbuka yang dapat meresapkan air, dan kondisi dinding dan atap bangunan dimana jenis WSUD dapat ditempatkan. Hasil observasi digunakan sebagai data utama untuk mengidentifikasi persoalan dan peluang penerapan WSUD di Kecamatan Subang.

3.2. Metode Analisis Data

Analisis data menggunakan metode analisis deskriptif kualitatif, analisis gap, dan analisis spasial. Metode analisis deskriptif kualitatif digunakan untuk mendapatkan gambaran mengenai kondisi faktual dan karakteristik wilayah studi berdasarkan hasil pengamatan. Kemudian analisis gap digunakan untuk membandingkan antara kondisi faktual wilayah studi dengan prasyarat penerapan WSUD berupa ketentuan yang harus dipenuhi untuk menerapkan WSUD. Apabila kondisi faktual memenuhi prasyarat penerapan WSUD, maka jenis WSUD dapat secara langsung diterapkan, tanpa perlu intervensi terlebih dahulu. Sebaliknya, apabila kondisi faktual tidak memenuhi sebagian atau seluruh prasyarat, maka penerapan WSUD memerlukan intervensi tertentu dan/atau penyesuaian sesuai tipologi dan karakteristik guna lahan yang ada. Analisis spasial digunakan untuk memetakan kondisi faktual, persoalan, dan peluang melalui teknik pertampalan, serta menyajikan secara visual peta peluang penerapan WSUD dengan model *bivariate choropleth maps*.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Banjir di Kawasan Perkotaan Kecamatan Subang, Kabupaten Subang

Banjir di Kecamatan Subang disebabkan oleh faktor curah hujan, kapasitas resapan air dan tampung sungai, dan kemampuan pengelolaan siklus air dan pembangunan perkotaan. Menurut Data Kejadian Bencana Kabupaten Subang Tahun 2019, bencana banjir yang ada di Kecamatan Subang disebabkan oleh intensitas hujan deras yang cukup lama dan saluran air yang tersumbat oleh tumpukan sampah dan rerumputan (Pemerintah Kabupaten Subang, 2019). Banjir di Kecamatan Subang mengindikasikan adanya gangguan terhadap siklus air di Kecamatan Subang di mana air hujan yang turun tidak mampu mengalir dengan baik ke drainase dan sungai, serta tidak meresap ke tanah dengan maksimal sehingga menyebabkan genangan dan terakumulasi menjadi banjir. Badan Nasional Penanggulangan Bencana menunjukkan indeks bahaya banjir Kabupaten Subang masuk kategori tinggi dengan skor 33.18. Lebih rinci, InaRISK Badan Nasional Penanggulangan Bencana Indonesia menyatakan jumlah penduduk terpapar banjir di Kabupaten Subang mencapai 42% tahun 2021 (Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2022).

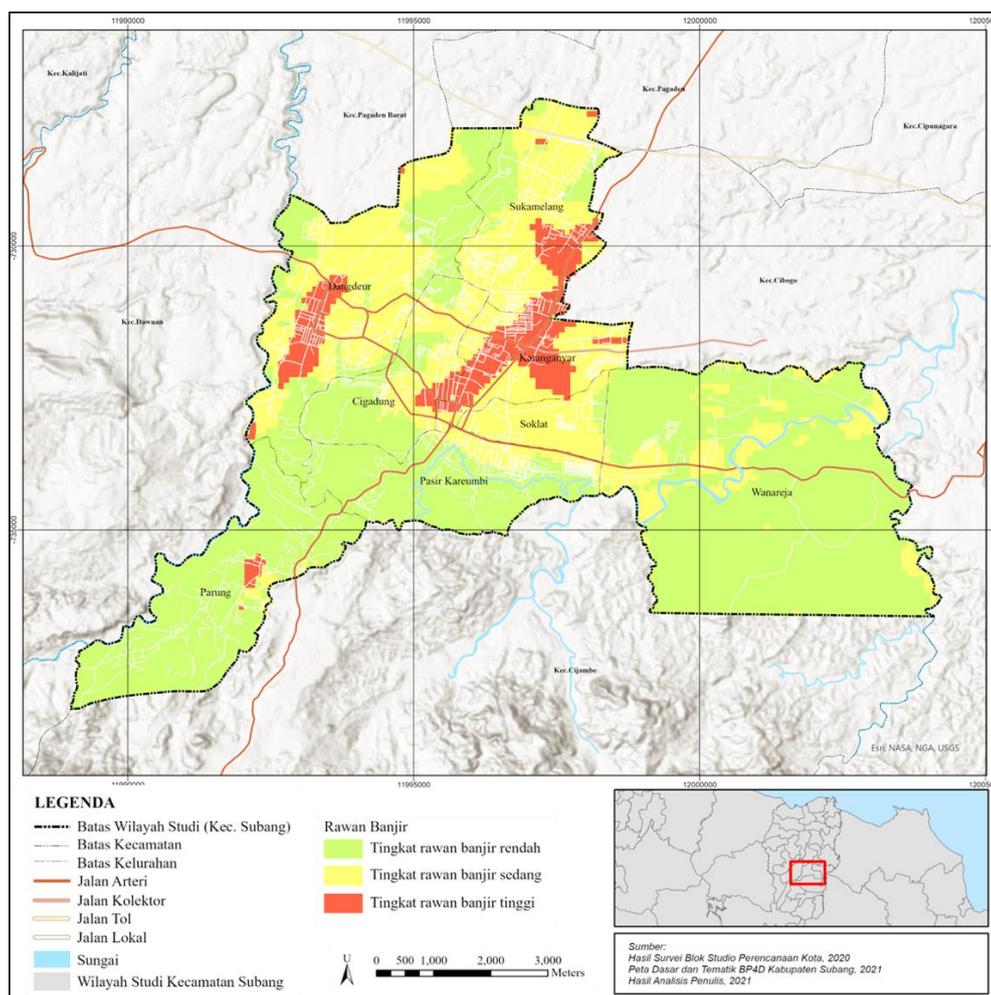
Kejadian banjir yang ada di Kecamatan Subang terjadi setiap tahun, terutama di kelurahan yang ada di pusat kota, yaitu Kelurahan Cigadung, Dangdeur, Karanganyar. Gambar 2 menunjukkan kondisi saat terjadi banjir di Kecamatan Subang. Intensitas hujan yang cukup tinggi dan berlangsung cukup lama tidak mampu teralirkan dengan baik pada saluran drainase yang ada. Kebanyakan saluran drainase di Kecamatan Subang dibuat dengan material yang tidak meresapkan air, akibatnya air meluap dan terakumulasi menjadi banjir. Di sisi lain, Kecamatan Subang merupakan bagian dari kawasan perkotaan di Kabupaten Subang yang memiliki

lahan terbangun relatif besar dengan area resapan air yang semakin berkurang. Pendangkalan sungai dan cekdam yang tidak terurus dengan baik juga berkontribusi pada kejadian banjir. Gambar 3 menunjukkan area rawan banjir dengan tingkat kerawanan rendah hingga tinggi.



Sumber: Call Center BPBD Kabupaten Subang & Explore Subang, 2021

Gambar 2. Kondisi Kawasan Perkotaan di Kecamatan Subang Saat Terjadi Banjir



Gambar 3. Peta Rawan Banjir di Kecamatan Subang

4.2. Masalah dan Peluang Penerapan WSUD

Beberapa kondisi faktual di wilayah studi tidak memenuhi prasyarat penerapan WSUD, sehingga menjadi persoalan yang membatasi dan menghambat penerapannya. Sebagian kondisi bangunan semi dan non permanen yang memiliki atap dan dinding yang ringkih sehingga penerapan WSUD pada atap dan dinding tidak memungkinkan. Penerapan strip penyangga, sengkedan vegetasi, perkerasan berpori, parit, dan cekungan infiltrasi, serta kolam terkendala oleh ukuran kaveling yang terbatas dengan lahan terbuka baik hijau maupun non hijau yang terbatas atau diperkeras yang tidak dapat meresapkan air.

Karakteristik fisik dan lingkungan sebagian lahan di Kecamatan Subang agak curam dan memiliki tekstur tanah liat dan lempung, sehingga tidak dapat memenuhi prasyarat kemiringan lahan yang landai dan kapasitas infiltrasi yang tinggi untuk penerapan WSUD secara ideal. Oleh karena itu, secara umum penerapan parit, cekungan infiltrasi, perkerasan berpori, dan sengkedan vegetasi di seluruh guna sangat terbatas. Drainase yang digunakan saat ini masih menggunakan material semen dan tidak bisa meresapkan air. Selain itu, tidak seluruh drainase di Kecamatan Subang terhubung satu sama lain. Hal ini membuat penerapan bioretensi dan sengkedan vegetasi yang terintegrasi saluran drainase tidak bisa dilakukan. Jalan-jalan tertentu yang saat ini dilalui kendaraan dengan kecepatan tinggi, tidak memungkinkan menggunakan material berpori. Demikian juga penerapan strip penyangga, dan sengkedan vegetasi di kanan-kiri jalan lebih memungkinkan untuk jaringan jalan dengan arus lalu lintas kendaraan yang rendah.

Atap dan Dinding Bangunan Ringkih



Drainase Model Paradigma Lama



Lahan Terbuka Didominasi Perkerasan Tak Berpori



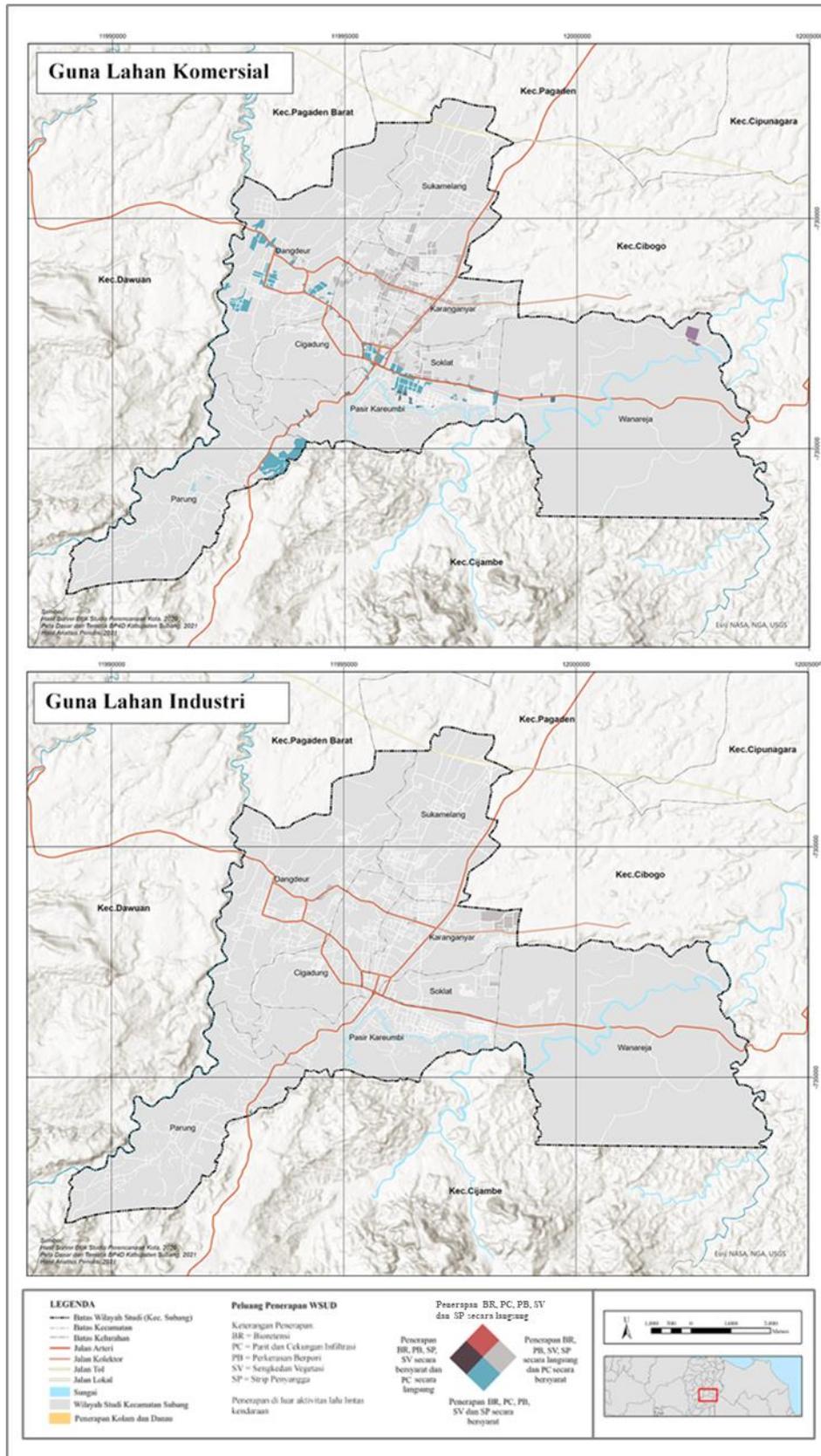
Kegiatan Industri dan Perdagangan yang Memiliki Arus Lalu Lintas Kendaraan Tinggi



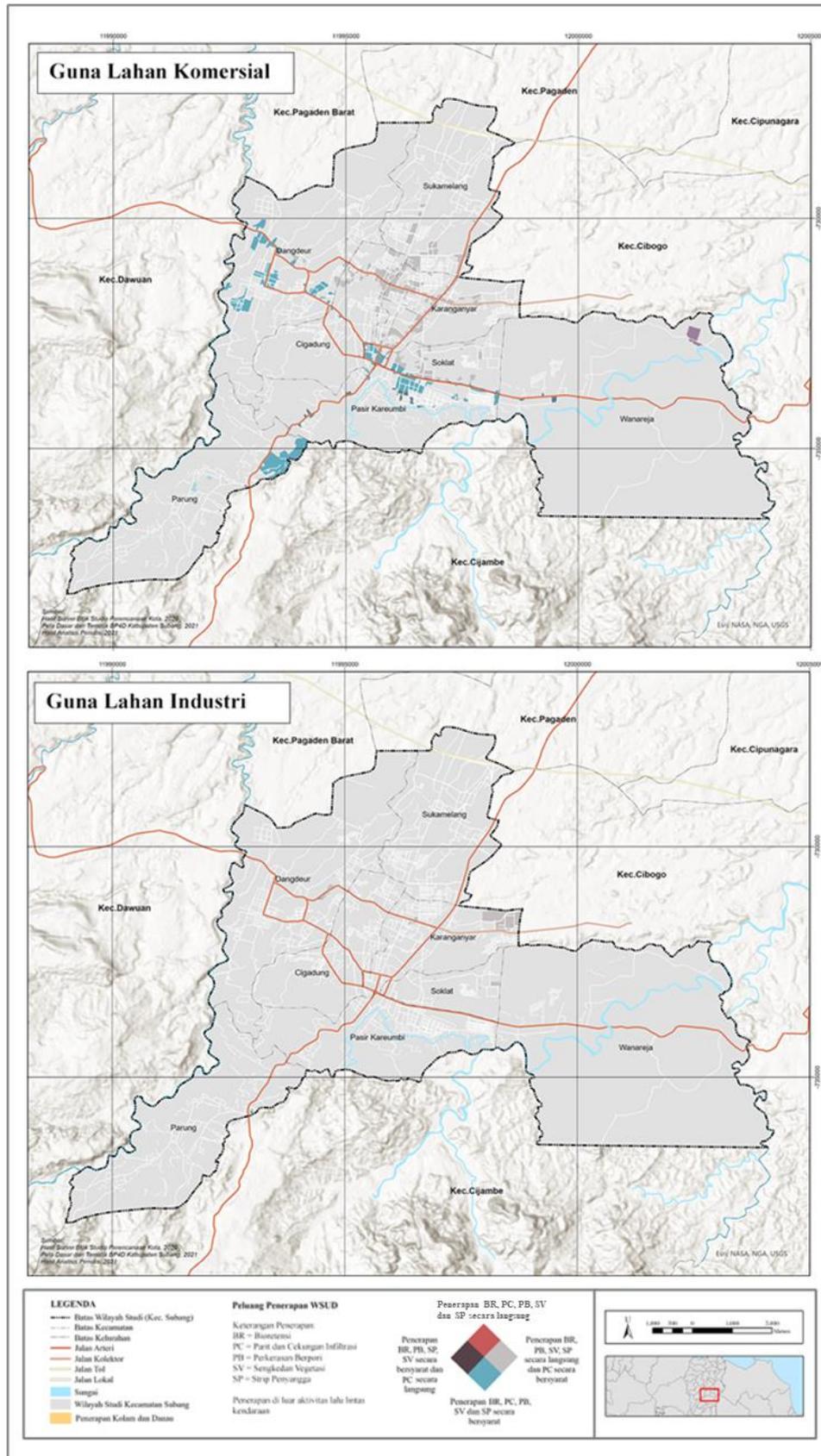
Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021

Gambar 4. Kondisi Faktual Bangunan, Lahan Terbuka, Drainase, dan Kegiatan yang Tidak Memenuhi Prasyarat Penerapan WSUD

Kawasan perkotaan Subang memiliki berbagai karakteristik baik pada lingkup wilayah perkotaan, Kawasan/guna lahan, kaveling dan bangunan, sehingga penerapan WSUD harus memperhatikan jenis karakteristik dan persoalan sebagaimana dikemukakan Rohilla dan Sharma (Rohilla et al., 2017; Sharma et al., 2016). Dengan pertimbangan persoalan penerapan sebagaimana yang telah dijelaskan di atas, maka dapat ditinjau peluang penerapan WSUD di wilayah studi. Kondisi faktual yang tidak memenuhi persyaratan penerapan WSUD membutuhkan intervensi di masa mendatang dengan penerapan ketentuan bangunan, tata letak/perancangan tapak hingga kawasan dan ketentuan penyediaan ruang terbuka untuk peresapan air. Untuk kondisi faktual yang memenuhi sebagian atau seluruh persyaratan penerapan WSUD memungkinkan diterapkannya beberapa jenis WSUD. Gambar 5 dan Gambar 6 menunjukkan peluang penerapan WSUD tersebut untuk setiap guna lahan.



Gambar 5. Peta Peluang Penerapan WSUD di Guna Lahan Perumahan (P) dan Ruang Terbuka Hijau (RTH)



Gambar 6. Peta Peluang Penerapan WSUD di Guna Lahan Komersial (K) dan Industri (I)

Jenis WSUD berupa tangki air hujan dapat diterapkan secara langsung di bangunan perumahan, komersial, dan industri yang tersebar di seluruh kecamatan. Penerapan atap hijau dapat diterapkan secara langsung pada atap bangunan perumahan, komersial, dan industri. Penerapan jenis atap hijau baik secara intensif, semi-intensif, dan ekstensif menyesuaikan dengan kondisi struktur atap. Dinding hijau hanya dapat diterapkan secara langsung pada bangunan perumahan, komersial, dan industri yang permanen atau memiliki struktur dinding kokoh. Penerapan dinding hijau tidak bisa dilakukan pada bangunan semi atau non permanen yang ada di guna lahan perumahan dan komersial. Penerapan bioretensi, sengkedan vegetasi, strip penyangga, dan perkerasan berpori dapat diterapkan secara langsung pada lahan terbuka hijau yang tidak dilalui kendaraan pada guna lahan perumahan, komersial, industri, dan ruang terbuka publik di sebagian pusat kota dan bagian Utara kecamatan yaitu di Kelurahan Sukamelang, Karanganyar, Soklat, dan sebagian Kelurahan Dangdeur, sebagian besar Kelurahan Wanareja, serta Kelurahan Parung. Kemudian, penerapan pada ruang milik jalan kolektor Jalan Kaptan Hanafiah dan arteri seperti Jalan Otto Iskandardinata, Jalan Mayjen Sutoyo, dan Jalan RA Kartini-Cibogo juga dapat diterapkan secara langsung. Khusus untuk sengkedan dan strip penyangga pada lahan curam di sebagian pusat kota seperti di Kelurahan Cigadung dan Pasirkareumbi dan ruang milik jalan arteri seperti Jalan MT Haryono, Jalan Brigjen Katamso, Jalan RA Kartini, Jalan Jend Ahmad Yani, Jalan Subang-Cidahu, Jalan Raya Dangdeur, dapat diterapkan secara bersyarat dengan menyediakan *flow spreader* atau cekdam.

Untuk jenis penerapan parit dan cekungan infiltrasi peluang penerapan secara langsung pada lahan hijau yang memiliki kapasitas infiltrasi yang baik di sebagian kecil guna lahan perumahan, komersial, ruang terbuka publik di pinggir kawasan perkotaan seperti di Kelurahan Wanareja, sebagian kecil Kelurahan Parung dan sebagian kecil di pusat kota yaitu di Kelurahan Pasirkareumbi dan Cigadung, serta ruang milik jalan arteri di Jalan RA Kartini-Cibogo. Selain itu, jenis penerapan parit dan cekungan infiltrasi memiliki peluang penerapan secara bersyarat pada lahan hijau yang memiliki kapasitas infiltrasi yang buruk di sebagian besar guna lahan perumahan, komersial, industri, ruang terbuka publik di kawasan pusat kota di Kelurahan Soklat, Cigadung, Sukamelang, Dangdeur, dan sebagian Kelurahan Pasirkareumbi, serta ruang milik jalan kolektor di Jalan Kaptan Hanafiah dan ruang milik jalan arteri seperti di Jalan MT Haryono, Jalan Brigjen Katamso, Jalan Jend Ahmad Yani, Jalan Subang-Cidahu, Jalan Raya Dangdeur, Jalan Otto Iskandardinata, dan Jalan Mayjen Sutoyo, serta Jalan RA Kartini. Kolam dan danau memiliki peluang penerapan pada lahan biru yang bermuara di sekitar sawah pada guna lahan ruang terbuka publik di bagian utara kecamatan. Namun di jenis penggunaan lahan lainnya tidak memiliki peluang penerapan kolam dan danau.

4.3. Prinsip Penerapan WSUD di Kecamatan Subang

Penyusunan prinsip penerapan WSUD di Kecamatan Subang dilakukan untuk mewujudkan tujuan menurunkan risiko banjir. Perumusan prinsip penerapan tersebut ditujukan pada seluruh kawasan perkotaan Kecamatan Subang yang memiliki peluang penerapan WSUD untuk meningkatkan kapasitas dan mengurangi kerentanan kawasan rawan banjir secara komprehensif. Berdasarkan karakteristik banjir perkotaan yang terjadi dan peluang penerapan WSUD di Kecamatan Subang, terdapat prinsip utama yang dilakukan untuk menurunkan risiko banjir, yaitu memanen atau menampung air hujan, mengurangi volume dan laju limpasan air permukaan, serta meningkatkan resapan air. Prinsip utama ini dapat dirincikan sesuai dengan tipologi guna lahan di Kecamatan Subang menurut jenis bangunan dan lahan terbuka sebagaimana Tabel 3.

Tabel 3. Prinsip Penerapan Konsep WSUD

Obyek Penerapan Jenis WSUD	Jenis WSUD	Prinsip Penerapan WSUD	Lokasi Penerapan
Bangunan dengan atap dan dinding permanen.	Tangki air hujan	Atap bangunan digunakan untuk menangkap air hujan, dihubungkan ke tangki air melalui saluran (misalnya, talang air). Penempatan tangki air hujan dapat diletakkan di dalam maupun luar bangunan yang tidak menghalangi penghuni dalam berkegiatan.	Perumahan (P); Komersial (K).
	Atap hijau	Permukaan atap bangunan ditanami vegetasi yang memiliki jenis ekstensif dan semi-intensif untuk perumahan; jenis semi-intensif dan intensif untuk komersial; jenis intensif di peruntukan industry (<i>keterangan: Vegetasi jenis ekstensif adalah vegetasi yang tidak membutuhkan media tanam yang dalam, sedangkan vegetasi intensif adalah vegetasi yang membutuhkan media tanam yang dalam</i>).	
	Dinding hijau	Dinding eksterior bangunan yang terkena guyuran air hujan ditanami oleh vegetasi dengan sistem fasad hijau.	
Bangunan dengan atap dan dinding semi atau non permanen.	Tangki air hujan	Atap bangunan digunakan untuk menangkap air hujan, dihubungkan ke tangki air melalui saluran (misalnya, talang air). Penempatan tangki air hujan dapat diletakkan di dalam maupun luar bangunan yang tidak menghalangi penghuni dalam berkegiatan.	
	Atap hijau	Permukaan atap bangunan ditanami vegetasi yang memiliki jenis ekstensif/tidak membutuhkan media tanam yang dalam.	
Lahan terbuka atau halaman yang diperkeras.	Perkerasan berpori	Perkerasan berpori (<i>porous pavement</i>) digunakan pada area parkir terbuka, akses pejalan kaki, dan akses sepeda yang diperkeras di dalam kaveling.	Perumahan (P); Komersial (K); Ruang Terbuka Publik (RTP).
	Bioretensi	Halaman terbuka hijau dapat dijadikan sebagai <i>rain garden</i> dan sengkedan bioretensi. Khusus sengkedan bioretensi, perlu disertai <i>flow spreader</i> pada penempatan lahan curam. Taman aktif, taman pasif, hutan kota, jalur hijau, dan lahan hijau lainnya dapat dijadikan sebagai <i>street tree</i> , <i>rain garden</i> , sengkedan bioretensi, dan/atau <i>biopods</i> . Khusus sengkedan bioretensi, perlu disertai <i>flow spreader</i> pada penempatan lahan curam.	Perumahan (P); Komersial (K). Ruang Terbuka Publik (RTP).
Lahan terbuka atau halaman hijau	Sengkedan vegetasi dan strip penyangga	Vegetasi pada halaman yang tidak dilalui kendaraan ditempatkan di atas sengkedan untuk membentuk sengkedan vegetasi. Di sisi terluar permukaan sengkedan vegetasi, ditempatkan strip penyangga. Khusus penempatan di lahan curam perlu disertai <i>flow spreader</i> seperti batuan atau kerikil	Perumahan (P); Komersial (K); Ruang Terbuka Publik (RTP); Ruang Milik Jalan.
	Parit dan cekungan infiltrasi	Halaman hijau dengan ukuran sempit menyediakan parit dan halaman dengan ukuran menengah hingga besar menyediakan cekungan infiltrasi. Perlu ada peningkatan kapasitas infiltrasi pada lahan yang terbatas melalui pengolahan tanah atau penambahan tanah atau menambah bahan organik ke tanah.	Perumahan (P); Komersial (K).
		Lahan terbuka hijau dengan ukuran kecil (misalnya, taman RT) menyediakan parit dan lahan terbuka hijau dengan ukuran menengah hingga besar (misalnya, taman kota dan hutan kota) menyediakan cekungan infiltrasi. Perlu ada peningkatan	Ruang Terbuka Publik (RTP).

Obyek Penerapan Jenis WSUD	Jenis WSUD	Prinsip Penerapan WSUD	Lokasi Penerapan
		kapasitas infiltrasi pada lahan yang terbatas melalui pengolahan tanah atau penambahan tanah atau menambah bahan organik ke tanah	
Lahan terbuka biru yang bermuara di lahan basah	Kolam dan danau	Lahan biru dimanfaatkan sebagai tempat menampung dan menahan air hujan, dilengkapi dengan sistem filtrasi untuk meningkatkan pemanfaatan air untuk irigasi	
Trotoar	Perkerasan berpori	Permukaan trotoar dan jalur sepeda menggunakan jenis perkerasan berpori (<i>porous pavement</i>)	Ruang Milik Jalan
Jalur sepeda	Bioretensi	Vegetasi pada pulau dan jalur hijau terintegrasi dengan bioretensi <i>street tree</i> , sengkedan bioretensi, dan/atau <i>biopods</i> . Khusus sengkedan bioretensi, perlu disertai <i>flow spreader</i> pada penempatan lahan curam	
Pulau dan jalur hijau	Parit dan cekungan infiltrasi	Di antara pulau dan jalur hijau pada jalan lokal dapat menyediakan parit infiltrasi, pulau dan jalur hijau pada jalan kolektor, arteri, dengan ukuran menengah hingga besar, dapat menyediakan cekungan infiltrasi. Perlu ada peningkatan kapasitas infiltrasi pada lahan yang terbatas melalui pengolahan tanah atau penambahan tanah atau menambah bahan organik ke tanah	

Serupa dengan prinsip penerapan WSUD pada umumnya, pengurangan volume limpasan permukaan dan peningkatan kapasitas infiltrasi lahan menjadi prinsip yang utama dalam penerapan WSUD untuk mengelola banjir. Namun, penelitian ini juga menambahkan prinsip utama lain yang dapat diadopsi disamping prinsip-prinsip dari studi sebelumnya, terutama oleh kawasan perkotaan yang memiliki luas lahan terbangun yang tinggi, yaitu pemanenan atau penampungan air hujan dengan menangkap air hujan dari atap bangunan. Hasil penelitian ini juga melengkapi ketersediaan literatur WSUD yang semula membagi prinsip penerapan berdasarkan skala penerapan guna lahan, dimana penelitian ini menunjukkan pentingnya penerapan WSUD hingga pada tataran tipologi bangunan dan lahan terbuka baik hijau dan non hijau di setiap jenis guna lahan.

Prinsip penerapan WSUD tidak dapat semerta-merta diartikan sebagai substitusi dari solusi penanggulangan banjir saat ini. Dalam pemanfaatan WSUD ini, jenis WSUD yang diterapkan dalam menanggulangi bencana banjir lebih pada tahap pencegahan dan mitigasi dalam jangka panjang dan membutuhkan waktu yang tidak singkat. Maka dari itu, penerapan WSUD, yaitu tangki air hujan, atap dan dinding hijau, bioretensi, parit dan cekungan infiltrasi, perkerasan berpori, sengkedan vegetasi, strip penyangga, dan kolam serta danau, dapat bersifat sebagai komplementer terhadap solusi banjir yang telah ada maupun telah direncanakan berkaitan dengan infrastruktur abu-abu, sebelum benar-benar mengedepankan solusi infrastruktur abu dan hijau seutuhnya.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa karakteristik kawasan perkotaan yang tumbuh secara organik tidak terencana serta tidak terintegrasi menyebabkan peluang penerapan berbagai jenis WSUD kecil. Upaya penerapan tidak hanya pada tataran desain tetapi harus terintegrasi dalam berbagai skala serta mempertimbangkan manfaat sosial dan lingkungan dengan biaya yang cukup murah (Victoria Stormwater Committee, 1999; Wong, 2006). Persoalan di Kabupaten Subang memperkuat argumen yang dikemukakan dalam penelitian Wong dan sharma et al, bahwa persoalan penerapan WSUD tidak hanya pada tataran makro terkait dengan sistem pengelolaan air dalam suatu wilayah tetapi juga pada tataran meso dan mikro (Sharma et al., 2018; Wong, 2006).

Pada skala makro pada kawasan perkotaan Subang dibutuhkan integrasi dan keterpaduan perencanaan tata ruang dengan sistem pengelolaan siklus air. Pada skala meso dimana kawasan berkembang organik, panduan penerapan WSUD dibutuhkan berdasarkan karakteristik guna lahan lahan sebagai bagian dari

pengelolaan kawasan (Sharma et al., 2016, 2018). Sementara pada lingkup mikro didasarkan pada karakteristik kaveling serta bangunan yang cenderung beragam ukuran dan kualitasnya membutuhkan panduan penyesuaian penerapan jenis WSUD karena kondisi faktual yang tidak ideal/tidak sepenuhnya memenuhi prasyarat penerapan WSUD. Dalam konteks meso dan mikro pendekatan penerapan WSUD sebagaimana dikemukakan oleh penelitian Myer & Pezzaniti, Rohilla et al dan Sharma et al dapat difokuskan pada karakteristik dan persoalan pada setiap skala (Myers & Pezzaniti, 2018; Rohilla et al., 2017; Sharma et al., 2016). Penerapan WSUD pada skala meso/kawasan fokus pada upaya perwujudan tempat penyimpanan air dan laju pengosongan penyimpanannya serta konektivitas fitur WSUD pada lahan kedap air, sementara pada kavling dan bangunan penerapan WSUD difokuskan pada penyimpanan untuk retensi berupa penyediaan tangki air hujan, atap/dinding hijau dan sistem penggunaan ulang (Asian Development Bank, 2019; Cooperative Research Centre for Water Sensitive Cities, 2021; Jabeen et al., 2020; Sharma et al., 2016). Karakteristik kawasan perkotaan di Indonesia umumnya mirip, oleh karena itu, penerapan WSUD di Indonesia sebaiknya terintegrasi dalam perencanaan tata ruang dengan mempertimbangkan pengelolaan siklus air perkotaan yang terpadu, tidak hanya konfigurasi guna lahan untuk memastikan tersedianya area untuk meresapkan air, tetapi juga pengembangan tapak kawasan yang sensitif terhadap air. Sementara untuk karakteristik spesifik pada lingkup kaveling dan bangunan dibutuhkan panduan teknis penerapan setiap jenis WSUD.

5. KESIMPULAN

Keterbatasan penerapan WSUD pada kawasan perkotaan Subang dipengaruhi karakteristik fisik lingkungan, kaveling dan bangunan pada setiap jenis penggunaan lahan. Dalam beberapa kasus di negara maju penerapan jenis WSUD lebih mudah diterapkan karena keberadaan bangunan yang sudah memenuhi standar dan kawasan yang lebih terencana, sedangkan perkotaan di Indonesia pada umumnya dan perkotaan Subang pada khususnya, cenderung tumbuh organik dengan luasan kaveling dan bentuk bangunan yang sangat beragam sehingga kapasitas infiltrasi air tidak memadai untuk meresapkan air hujan secara optimal. Karakteristik kaveling dengan area terbuka/resapan terbatas dan cenderung diperkeras dengan permukaan tidak berpori serta adanya bangunan semi/non permanen dengan atap dan dinding yang ringkih menyebabkan terbatasnya penerapan WSUD. Oleh karena itu, penerapan WSUD di kawasan perkotaan rawan banjir memerlukan penyesuaian yang lebih rinci pada jenis penerapan WSUD dan komponen yang diatur untuk setiap tipologi guna lahan yang ada.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa karakteristik perkembangan perkotaan berpengaruh pada besarnya peluang penerapan WSUD. Perkembangan karakteristik fisik dan bangunan perkotaan yang tidak mengantisipasi penerapan WSUD menyebabkan semakin besarnya intervensi yang dibutuhkan untuk menerapkan jenis-jenis WSUD. Di masa mendatang dibutuhkan perspektif WSUD dalam perencanaan kawasan perkotaan yang memungkinkan penerapan WSUD khususnya dalam menentukan lokasi ruang terbuka dan proporsinya, serta menentukan intensitas pemanfaatan ruang dan tata bangunan.

6. REFERENSI

- Adi, A. W., Shalih, O., Shabrina, F. Z., Rizqi, A., Putra, A. S., Karimah, R., Eveline, F., Ifian, A., Syauqi, Septian, R. T., Widiastomo, Y., Bagaskoro, Y., Dewi, A. N., Rahmawati, I., & Seniarwan. (2022). *IRBI: Indeks Risiko Bencana Indonesia Tahun 2021* (R. Yunus (ed.)). Pusat Data, Informasi dan Komunikasi Kebencanaan, Badan Nasional Penanggulangan Bencana.
- Armitage, N., Norman, L., Zutari, F.-J., Carden, K., & Winter, K. (2014). *Water Sensitive Urban Design (WSUD) for South Africa: Framework and Guidelines*. <https://doi.org/10.13140/2.1.3042.5922>.
- Asian Development Bank. (2019). *Nature-Based Solutions for Cities in Viet Nam: Water Sensitive Urban Design*. <https://www.adb.org/terms-use#openaccess>.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2022). *InaRisk Kabupaten Subang Tahun 2021*. <https://inarisk.bnpb.go.id/irbi/kabupaten>.
- Brown, R. R., Deletić, A., Gangadharan, L., Gernjak, W., Jakob, C., Johnstone, P., Reeder, M., Tapper, N., Vietz, G. N., & Walsh, C. J. (2013). *Blueprint2013: Stormwater Management in a Water Sensitive City* (Wong T.H.F (ed.)).

Cooperative Research Centre for Water Sensitive Cities.

- Cooperative Research Centre for Water Sensitive Cities. (2021, March 14). *What is a Water Sensitive City?* <https://watersensitivecities.org.au/what-is-a-water-sensitive-city/>.
- Department of Planning and Local Government. (2013). *Water Sensitive Urban Design Technical Manual for the Greater Adelaide Region*. <https://www.watersensitivesa.com/resources/guidelines/technical-manual-for-water-sensitive-urban-design-in-greater-adelaide/>.
- Dolman, N. (2021). Integration of Water Management and Urban Design for Climate Resilient Cities. In R. De Graaf & van Dinther (Eds.), *Climate Resilient Urban Areas* (pp. 21–43). Palgrave Studies in Climate Resilient Societies. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57537-3_2.
- Elisa. (2018, March 21). (Solusi) Alam untuk Air. Center for Urban Studies (Rujak). <https://rujak.org/solusi-alam-untuk-air/>.
- Fitria, D., Winarso, H., & Indradjati, P. N. (2023). Transit-oriented Development Using Water Sensitive Urban Design (WSUD) Approach. *ARTEKS: Jurnal Teknik Arsitektur*, 8(2), 181–190. <https://doi.org/10.30822/arteks.v8i2.1958>.
- Fumero, A. (2020). *Water Sensitive Urban Design (WSUD) as a Climate Adaptation Strategy*. KTH Royal Institute of Technology.
- Jabeen, F., Qadir, A., & Anum, F. (2020). Water Sensitive Urban Design for Rain Water Harvesting And Groundwater Recharge. *Advances in BioResearch*, 11(5), 13–20. <https://doi.org/10.15515/abr.0976-4585.11.5.1320>.
- Kooy, M., Furlong, K., & Lamb, V. (2020). Nature Based Solutions for Urban Water Management in Asian Cities: Integrating Vulnerability into Sustainable Design. *International Development Planning Review*, 42(3), 381–390. <https://doi.org/10.3828/idpr.2019.17>.
- Lokita, A. D. (2011). Adaptasi Konsep Water Sensitive Urban Design (WSUD) di Kawasan Cagar Budaya Kota Lama Semarang. *Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota*, 22(1), 65–80.
- Lukihardianti, A., & Fitrat, I. (2021, February 9). Solusi Banjir Subang, Emil Berharap Bendungan Sadawarna. *Republika Online*. <https://republika.co.id/berita/repjabar/purwasuka/q09hr3432/solusi-banjir-subang-emil-berharap-bendungan-sadawarna>.
- Melbourne Water. (2009). *Water Sensitive Urban Design Guidelines*. Melbourne Water.
- Melbourne Water. (2014). *City of Melbourne WSUD Guidelines: Applying the Model WSUD Guidelines An Initiative of the Inner Melbourne Action Plan*. http://urbanwater.melbourne.vic.gov.au/wp-content/uploads/2014/12/WSUD_Guidelines-1.pdf.
- Meng, X., Li, X., Nghiem, L. D., Ruiz, E., Johir, M. A., Gao, L., & Wang, Q. (2022). Improved Stormwater Management Through the Combination of the Conventional Water Sensitive Urban Design and Stormwater Pipeline Network. *Process Safety and Environmental Protection*, 159, 1164–1173. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.02.003>.
- Myers, B. R., & Pezzaniti, D. (2018). Flood and Peak Flow Management Using WSUD Systems. In *Approaches to Water Sensitive Urban Design: Potential, Design, Ecological Health, Urban Greening, Economics, Policies, and Community Perceptions* (pp. 119–138). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812843-5.00006-X>.
- Nash, A. (2020, May 25). *Transforming Asian Cities Using Water Sensitive Urban Design*. Development Asia: An Initiative of Sian Development Bank. <https://development.asia/explainer/transforming-asian-cities-using-water-sensitive-urban-design>.
- Nugroho, P. C., Pinuji, S. E., Ichwana, A. N., Nugraha, A., Wiguna, S., Syauqi, Randongkir, R. E., Shabrina, F. Z., Septian, R. T., Iriansyah, A. A., Hafiz, A., Hamzah, A., Seniorwan, & Setiawan, A. (2018). *IRBI: Indeks Risiko Bencana Indonesia Tahun 2018* (R. Yunus & P. C. Nugroho (eds.)). Badan nasional Penanggulangan Bencana.
- Pemerintah Kabupaten Subang. (2019). *Data Kejadian Bencana Tahun 2019*. <https://www.subang.go.id/pengumuman/data-kejadian-bencana-tahun-2019>.
- Pérez Cambra, M. del M., & Roca Cladera, J. (2018, December). WSUDs (Water Sensitive Urban Design Systems) Thermal Behavior. *International Conference Virtual City and Territory*. <https://doi.org/10.5821/ctv.8254>.
- Pradipta, I. M. S., & Pamungkas, A. (2017). Karakteristik Lingkungan Fisik yang Mempengaruhi Pengelolaan ir Berdasarkan Water Sensitive Urban Design di Kelurahan Tambak Sarioso. *Jurnal Teknik ITS*, 6(1), C63–C66.
- Qodriyatun, S. N. (2020). Bencana Banjir: Pengawasan dan Pengendalian Pemanfaatan Ruang Berdasarkan UU Penataan Ruang dan UU Cipta Kerja. *Jurnal Masalah-Masalah Sosial*, 11(1), 29–42. <https://doi.org/10.22212/aspirasi.v11i1.1590>.
- Radcliffe, J. C. (2018). Australia's Water Sensitive Urban Design. *2018 International Sponge City Conference*, 1, 38–52.
- Rahmat, R. R., & Djoeffan, S. H. (2019). Penerapan Water Sensitive Urban Design Pada Permukiman Das Cikapundung (Studi Kasus: Kelurahan Pasirluyu Kota Bandung). *Jurnal Perencanaan Wilayah Dan Kota*, XVI(1), 38–46. <https://ejournal.unisba.ac.id/index.php/planologi/article/view/37>.

- Rasheed, A. M. (2018). *Adaptation of Water Sensitive Urban Design to Climate Change* [Queensland University of Technology]. <https://doi.org/10.5204/thesis.eprints.122960>.
- Rodríguez, M. I., Cuevas, M. M., Martínez, G., & Moreno, B. (2014). Planning Criteria for Water Sensitive Urban Design. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 191, 1579–1591. <https://doi.org/10.2495/SC141342>.
- Rohilla, S. K., Matto, M., Jainar, S., & Sharda, C. (2017). *Water-Sensitive Urban Design and Planning: A Practitioner's Guide* (A. Shankar (ed.)). Centre for Science and Environment.
- Saptoyo, R. D. A. (2021, January 20). Perubahan Tata Kota, Izin Lahan, dan Maraknya Banjir di Indonesia. *Kompas Media*. <https://www.kompas.com/tren/read/2021/01/20/083000065/perubahan-tata-kota-izin-lahan-dan-maraknya-banjir-di-indonesia?page=all>.
- Sharma, A. K., Pezzaniti, D., Myers, B., Cook, S., Tjandraatmadja, G., Chacko, P., Chavoshi, S., Kemp, D., Leonard, R., Koth, B., & Walton, A. (2016). Water Sensitive Urban Design: An Investigation of Current Systems, Implementation Drivers, Community Perceptions and Potential to Supplement Urban Water Services. *Water*, 8, 1–15. <https://doi.org/10.3390/w8070272>.
- Sharma, A. K., Rashetnia, S., Gardner, T., & Begbie, D. (2018). WSUD Design Guidelines and Data Needs. In *Approaches to Water Sensitive Urban Design: Potential, Design, Ecological Health, Urban Greening, Economics, Policies, and Community Perceptions* (pp. 75–86). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812843-5.00004-6>.
- South Eastern Councils State Government Victoria. (2013). *Water Sensitive Urban Design Guidelines*.
- Victoria Stormwater Committee. (1999). *Urban stormwater: Best Practice Environmental Management Guidelines*. CSIRO Pub.
- Wardani, H. K., & Kurniawati, W. (2014). Kajian Desain Kawasan Berbasis Konsep WSUD (Water Sensitive Urban Design) di Daerah langka Air (Studi Kasus: Desa Gambirmanis, Kec. Pracimantoro, Kab. Wonogiri). *Jurnal Ruang*, 2(3), 211–220.
- Wong, T. H. F. (2006). An Overview of Water Sensitive Urban Design Practices in Australia. *Water Practice and Technology*, 1(1). <https://doi.org/10.2166/wpt.2006.018>.
- Wong, T. H. F. (2015). *Water Sensitive Urban Design - A Paradigm Shift in Urban Design*. <https://www.researchgate.net/publication/267822087>.
- Wongwatcharapaiboon, J., Irvine, K., Jamieson, I., Rinchumphu, D., Teang, L., & Irvine, K. N. (2020, June 28). Modelling the Impact of Water Sensitive Urban Design on Pluvial Flood Management in a Tropical Climate. *12th Built Environment Research Associates Conference*. <https://www.researchgate.net/publication/352787219>.
- Xiong, H., Sun, Y., & Ren, X. (2020). Comprehensive Assessment of Water Sensitive Urban Design Practices based on Multi-criteria Decision Analysis via a Case Study of the University of Melbourne, Australia. *Water (Switzerland)*, 12, 1–37. <https://doi.org/10.3390/w12102885>.
- Zhang, Y., Shen, Z., & Lin, Y. (2021). The Construction of Water-Sensitive Urban Design in the Context of Japan. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 691(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/691/1/012015>.