

Perencanaan *Green Infrastructure* pada Lanskap *Transit Oriented Development* (TOD) Lebak Bulus, Jakarta Selatan

Green Infrastructure Planning for Lebak Bulus Transit Oriented Development (TOD), South Jakarta

Annisa Laini Hakim^{1*}, Bambang Sulistyantara¹

¹Departemen Arsitektur Lanskap, Fakultas Pertanian, IPB University

*Email: annisalaini@gmail.com

Artikel Info

Diajukan: 31 Desember 2021
Direvisi: 29 Maret 2024
Diterima: 30 Maret 2024
Dipublikasi: 01 Oktober 2024

Keywords

Air pollution
Green infrastructure
Stormwater runoff
Transit oriented development

ABSTRACT

Transit Oriented Development (TOD) approach is one of the solutions adopted by DKI Jakarta's Government in order to create a walkable and mass transportation friendly environment in Jakarta. Lebak Bulus TOD in its development will use an environmental sustainability approach in order to reduce negative impact from urban development. However, Lebak Bulus TOD is currently lacking of green open space and dominated with impermeable surface that affect the increase of the stormwater runoff. Implementing the green infrastructure concept in planning Lebak Bulus TOD site is one of the solutions to overcome the problems. This research is aimed to reduce stormwater runoff and pollution in Pasar Jumat Street, Lebak Bulus Raya Street, and RA Kartini Street located in Lebak Bulus TOD. The methods used in this research are descriptive, quantitative analysis, and spatial analysis. Quantitative analysis is used to calculate water quality volume for each location, the results for each location respectively are 832,56 m³, 205,44 m³, dan 205,7 m³. Green infrastructure system used are stormwater tree trench, stormwater planter, green gutter, permeable pavement, and green wall. 285,95 m³ of stormwater runoff can be reduced by the implementation of green infrastructure. Spatial analysis using CITYGreen shows that the planning can reduce pollution by 48,83 kg/year with economic value of \$263,49 (Rp3.751.834,11) and reduce runoff volume by 51% with economic value of \$2.408,67 (Rp34.348.838).

PENDAHULUAN

Distribusi spasial lanskap permukiman, perkantoran, dan area komersial memiliki pengaruh terhadap jarak tempuh perjalanan dan emisi yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor. Penataan spasial menggunakan konsep *Transit Oriented Development* (TOD) merupakan solusi yang saat ini diterapkan oleh pemerintah DKI Jakarta untuk mengatasi berbagai permasalahan tersebut, salah satunya pada lanskap TOD Lebak Bulus, Jakarta Selatan. Dalam mengembangkan perencanaan lanskap TOD digunakan prinsip keberlanjutan lingkungan yang bertujuan untuk mengurangi dampak pembangunan terhadap lingkungan (Peraturan Gubernur DKI Jakarta No. 57 Tahun 2020). Kondisi lanskap TOD Lebak Bulus saat ini masih kurang keberadaan Ruang Terbuka Hijau (RTH) dan Ruang Terbuka Biru (RTB) sehingga masih didominasi oleh lanskap permukaan kedap air.

Pengembangan lanskap TOD yang membangun infrastruktur seperti stasiun dan berbagai bangunan penunjang di sekitarnya pada prakteknya seringkali tidak memprioritaskan keberadaan RTH atau mengakibatkan hilangnya RTH yang berdampak pada meningkatnya tutupan lahan permukaan kedap air pada tapak. Penggunaan penutupan permukaan lahan yang kedap air dapat berakibat pada meningkatnya limpasan air permukaan (Fatimah 2014; Kaswanto *et al.* 2023). Lanskap TOD Lebak Bulus memerlukan penataan RTH dan RTB yang dapat meningkatkan resapan air dan mengurangi polusi udara pada tapak (Arkham *et al.* 2014; Hasibuan *et al.* 2018; Effendi *et al.* 2022; Arifin dan Kaswanto

2023). Salah satu solusi yang dapat dilakukan adalah pengembangan yang berbasis *green infrastructure*.

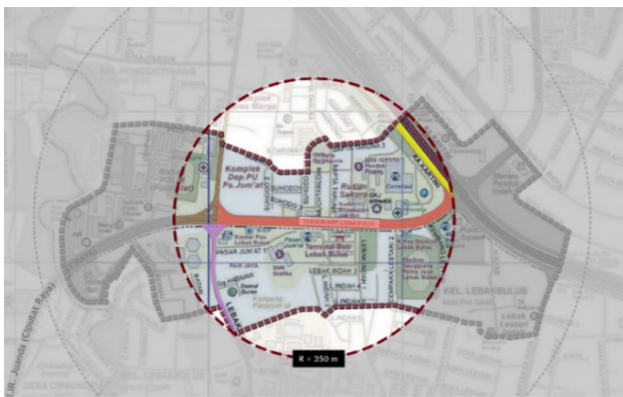
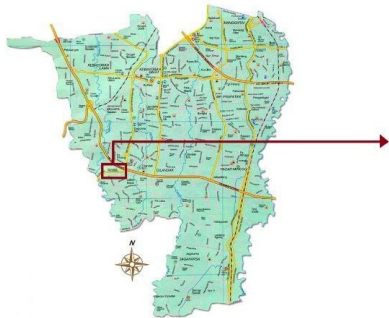
Green Infrastructure atau infrastruktur hijau merupakan suatu jaringan yang menghubungkan komponen alami dan buatan, yakni dengan menghubungkan lanskap RTH dan RTB dengan infrastruktur kota (Damayanti 2019; Regita *et al.* 2021). Pada skala yang lebih kecil, infrastruktur hijau diaplikasikan dengan penerapan *stormwater management system* yang bertujuan untuk mengembalikan atau meniru proses hidrologi natural pada kondisi lingkungan terbangun. Menurut Mungkasa (2020), kota-kota di Indonesia saat ini sudah membutuhkan pembangunan infrastruktur hijau. Penerapan *green infrastructure* pada lanskap TOD dapat menciptakan *green open space* atau koridor hijau yang tidak hanya menyediakan akses yang nyaman bagi pejalan kaki namun juga memiliki beragam jasa lanskap (*landscape services*) mulai dari biodiversitas, kualitas dan kuantitas air, keindahan lanskap hingga karbon tersimpan (Kaswanto 2022; Aulia *et al.* 2023). Infrastruktur hijau diyakini memiliki potensi yang amat besar dalam menyesuaikan perubahan kota dengan beberapa dampak perubahan iklim yang muncul (Pratiwi *et al.* 2019; Fitriana *et al.* 2023).

Manfaat infrastruktur hijau bagi lanskap di antaranya adalah meningkatkan kualitas udara dan air, meningkatkan interaksi sosial, meningkatkan estetika perkotaan, dan mengurangi limpasan permukaan. Berdasarkan uraian di atas, diperlukan perencanaan *green infrastructure* pada lanskap TOD Lebak Bulus yang mampu mengatasi permasalahan polusi udara dan tingginya limpasan air permukaan pada tapak.

METODE PENELITIAN

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di lanskap TOD Lebak Bulus yang berada di Kota Jakarta Selatan. Lanskap TOD Lebak Bulus berada dalam wilayah dua kecamatan yang berbeda, pada bagian utara lanskap ini terletak di Kelurahan Lebak Bulus, Kecamatan Cilandak dan pada bagian selatan terletak di Kelurahan Pondok Pinang, Kecamatan Kebayoran Lama. Lingkup wilayah perencanaan dibagi menjadi tiga lokasi yang berada pada radius 350 m dari Stasiun MRT Lebak Bulus. Ketiga lokasi tersebut merupakan Jalan Pasar Jumat (Lokasi A), Jalan Lebak Bulus Raya (Lokasi B), dan Jalan RA Kartini (Lokasi C) (Gambar 1). Waktu penelitian dilakukan bulan Maret hingga September 2021.



Gambar 1. Lokasi penelitian

Metode Penelitian

Penelitian dilakukan dalam tiga tahap yakni tahap inventarisasi, analisis, dan sintesis. Pada tahap inventarisasi dilakukan pengamatan serta pengumpulan data dan informasi yang diperlukan untuk memperoleh gambaran lengkap mengenai kondisi tapak. Data yang dikumpulkan dalam penelitian meliputi data fisik, biofisik, dan visual pada tapak yang diperoleh dari hasil observasi/pengamatan langsung di lapangan serta dari studi literatur dan sumber terkait.

Metode analisis yang digunakan pada penelitian ini adalah deskriptif, kuantitatif, serta spasial. Analisis kuantitatif dilakukan untuk mengetahui volume limpasan air permukaan pada tapak yang perlu diresapkan oleh sistem *green infrastructure* dengan menggunakan perhitungan WQv (*Water Quality Volume*). WQv merupakan volume penampungan yang dibutuhkan untuk menangkap dan meresapkan limpasan permukaan berdasarkan 90% nomor kejadian hujan. Menurut DEC (2010) formula untuk menghitung WQv adalah sebagai berikut:

$$WQv = \frac{P \cdot Rv \cdot A}{12}$$

Keterangan:

- P = 90% nomor kejadian hujan (inch)
- Rv = $0.05 + (0.009 \times I)$
- I = persentase area kedap air ke *green infrastructure*
- A = area penerapan (ft²)

Analisis kemampuan ketiga tapak dalam mereduksi polusi udara dilakukan secara spasial menggunakan *software GIS* (ArcMap 10.3, Arcview 3.3, ekstensi CITYGreen 5.2). CITYgreen merupakan kumpulan model yang menghitung manfaat pepohonan dan ruang hijau berdasarkan representasi geografis dari suatu area yang diteliti. Analisis menggunakan CITYgreen banyak dilakukan bukan hanya untuk tujuan teoritis namun untuk mempengaruhi keputusan kebijakan riil dan dapat mempertimbangkan keuntungan yang paling penting untuk kota dan masyarakat (American Forest 2002). Hasil analisis berupa jumlah polutan yang dapat dihilangkan oleh kanopi pohon dalam satu tahun dan biaya eksternal yang secara tidak langsung dikeluarkan oleh masyarakat dan pemerintah akibat polusi udara serta volume limpasan permukaan pada kondisi *real* dan jika diandaikan vegetasi/kanopi pohon pada area studi dihilangkan. Analisis deskriptif dilakukan untuk menentukan penerapan *green infrastructure* yang sesuai pada tiap tapak yakni dengan mengidentifikasi kondisi jalan serta tipologi jalan yang mengacu pada klasifikasi jalan menurut Philadelphia Transportation and Utilities (2017), kemudian menganalisis potensi penerapan menggunakan matriks kesesuaian yang telah dikembangkan oleh Philadelphia Water Department (2014) dalam *Green Streets Design Manual* dengan turut mempertimbangkan kondisi tanah dan topografi pada tapak. Menurut CCD dan UDFCD (2015), sistem *green infrastructure* memerlukan media tanam dengan tanah yang memiliki permeabilitas tinggi yakni yang berada dalam kelompok HSG (*Hydrologic Soil Group*) A dan B. Sedangkan dalam aspek topografi, tapak yang merupakan lokasi strategis untuk diterapkan sistem *green infrastructure* adalah tapak dengan kemiringan 0-5% (Carlson *et al.* 2014).

Pada tahap sintesis, konsep penerapan *green infrastructure* dituangkan ke dalam *site plan*. Pada tahap ini juga dipaparkan detail sistem *green infrastructure* serta tata hijau berdasarkan pendekatan fungsi vegetasi yang sesuai untuk *green infrastructure* dan dapat menyerap polutan. Setelah itu pada perencanaan yang sudah dibuat dilakukan perhitungan keuntungan volume yang diresapkan oleh sistem *green infrastructure* serta keuntungan reduksi polusi udara dan volume limpasan permukaan menggunakan *software CITYGreen*. CITYGreen adalah sebuah perangkat lunak yang dikembangkan oleh American Forest yang membantu masyarakat untuk memahami nilai pohon bagi lingkungan setempat (Fatimah *et al.* 2013). Perhitungan keuntungan volume yang diresapkan oleh sistem *green infrastructure* dilakukan menggunakan formula menurut DEC (2010) sebagai berikut:

$$WQv \leq Vsm + Vdl + (Dp \cdot A)$$

$$Vsm = A \cdot Dsm \cdot nsm$$

$$Vdl = A \cdot Ddl \cdot ndl$$

Keterangan:

- Vsm = volume soil media (ft³)
- Vdl = volume gravel media (ft³)
- A = area penerapan *green infrastructure* (ft²)
- Dsm = kedalaman soil media (ft)
- nsm = porositas soil media (≥20%)
- ndl = porositas layer drainase (≥40%)
- Dp = kedalaman diatas permukaan (ft)
- Ddl = kedalaman layer drainase (ft)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Umum

Lanskap TOD Lebak Bulus berada dalam wilayah administrasi Kecamatan Cilandak dan Kecamatan Kebayoran Lama. Lingkup wilayah perencanaan dibagi menjadi tiga lokasi yakni Jalan Pasar Jumat (Lokasi A), Jalan Lebak Bulus Raya (Lokasi B), dan Jalan RA Kartini (Lokasi C). Ketiga lokasi dipilih karena menjadi sarana mobilitas pejalan kaki yang menuju ke stasiun transit serta area maupun fasilitas penting seperti halte, *park and ride*, *transit plaza*, lanskap permukiman, serta lanskap perdagangan dan perkantoran.

Lokasi A (Jalan Pasar Jumat) merupakan jalan arteri yang berada di perbatasan antara dua kecamatan. Jalur bagian utaranya terletak di Kelurahan Pondok Pinang, Kecamatan Kebayoran Lama dan jalur bagian selatannya terletak di Kelurahan Lebak Bulus, Kecamatan Cilandak. Panjang jalan yang termasuk ke dalam lingkup perencanaan adalah 770 m dengan lebar 30 m. Jalur pedestrian terdapat pada sisi utara dan selatan. Jalur pedestrian pada sisi selatan memiliki lebar 1,3-8,0 m dan pada sisi utara selebar 2,0-4,0 m. Pada jalan ini terdapat Stasiun MRT Lebak Bulus sehingga terdapat flyover jalur MRT. Pada jalan ini terdapat jalur transjakarta koridor 8. Tapak masih sangat minim tutupan vegetasi sehingga tapak terlihat gersang dan kurang menarik.

Lokasi B (Jalan Lebak Bulus Raya) terletak pada Kelurahan Lebak Bulus, Kecamatan Cilandak. Panjang jalan yang termasuk ke dalam lingkup perencanaan adalah 350 m dengan lebar badan jalan 12 m. Jalur pedestrian pada tapak terdapat pada sisi barat dan timur, dengan lebar pedestrian selebar 2,5 m pada sisi barat dan 1 m pada sisi timur. Pada pedestrian di sisi barat terdapat *bad view* yang disebabkan oleh drainase terbuka yang kerap terdapat sampah. Jalur pedestrian pada sisi barat terhubung dengan *Park and Ride* MRT Lebak Bulus dan pada sisi timur terhubung dengan pedestrian pada Jalan Pasar Jumat. Pada tapak terdapat halte Pasar Jumat serta dua titik pemberhentian transjakarta microbus (JAKLingko).

Lokasi C (Jalan RA Kartini) merupakan jalan arteri yang terletak di Kelurahan Pondok Pinang, Kecamatan Kebayoran Lama. Panjang lokasi perencanaan adalah 280 m dengan lebar badan jalan 30 m. Jalur pedestrian pada tapak terdapat pada sisi barat dengan lebar 3,5 m yang berbatasan dengan *Park and Ride* Carrefour Lebak Bulus. Pada sisi timur jalan terdapat jalur hijau dan *flyover* Jalan Tol Lingkar Luar Jakarta. Pada jalur pedestrian di sisi timur beberapa area perkerasan yang rusak akibat akar pohon sehingga menimbulkan *bad view*.

Aspek Fisik dan Biologis

Tanah dan Topografi

Jenis tanah pada lanskap TOD MRT Lebak Bulus merupakan asosiasi latosol merah dan latosol merah kecoklatan. Karakteristik keteknikan tanah dan batuan pada lanskap ini adalah lempung lanauan dan lanau pasir yang merupakan endapan kipas aluvial vulkanik (Dinas Kebersihan DKI Jakarta 2012). Lanskap TOD Lebak Bulus termasuk ke dalam relief wilayah yang datar dengan kemiringan lereng yang dominan pada tapak adalah 0-3% (Hasibuan 2018).

Iklim

Kondisi iklim pada tapak didasarkan pada data dari Stasiun Klimatologi Klas II Pondok Betung, Tangerang Selatan dari bulan Januari 2020 hingga Desember 2020. Suhu rata-rata bulanan tertinggi terjadi pada bulan September yaitu 29°C dan yang terendah pada bulan Februari yaitu 27,1°C, dengan suhu maksimum 34,3°C dan suhu minimum 24,3°C. Menurut

Hasibuan (2018) Lanskap TOD Lebak Bulus terletak pada satu pola curah hujan yakni 2000-2500 mm/tahun. Pola curah hujan tersebut termasuk ke dalam pola curah hujan tinggi. Curah hujan bulanan terendah terjadi pada bulan September dan tertinggi terjadi pada bulan Oktober.

Tata Guna Lahan

Berdasarkan data Jakarta Satu (2021), penggunaan lahan pada tapak didominasi oleh area terminal, permukiman, pelayanan pendidikan, keagamaan, serta perkantoran dan perdagangan. Area terminal yang terdapat pada tapak merupakan Stasiun MRT Lebak Bulus, Terminal Bus Lebak Bulus, dan Halte Busway Lebak Bulus. Area perdagangan di antaranya Poins Square dan Carrefour Lebak Bulus.

Hidrologi dan Drainase

Pada Lanskap TOD Lebak Bulus aliran air dari saluran-saluran mikro mengalir ke saluran penghubung yang kemudian menuju saluran makro yakni Kali Pesanggrahan. Terdapat dua saluran penghubung pada tapak, yakni Saluran Penghubung Batan dan Saluran Penghubung Pasar Jumat/Grafika. Tipe saluran drainase terdiri dari saluran terbuka dan tertutup. Pada lokasi A (Jalan Pasar Jumat) didapati drainase tertutup di sisi utara maupun selatan yang terletak di samping jalur pedestrian. Saluran pembuangan air dari badan jalan yang terdapat pada tapak berupa *street inlet* dan *curb inlet*. *Street inlet* terdapat pada lokasi A dan C sedangkan *curb inlet* terdapat pada ketiga lokasi. Lokasi B (Jalan Lebak Bulus Raya) pada sisi timur tapak memiliki sistem drainase terbuka yang dapat menyebabkan pencemaran air, dan saluran drainase yang tersumbat.

Vegetasi

Vegetasi yang terdapat pada tapak terdiri dari pohon, perdu, dan semak. Pada lokasi A (Jalan Pasar Jumat) belum terdapat banyak tutupan vegetasi karena masih didominasi oleh perkerasan, terutama pada jalur pedestrian yang belum terdapat tutupan vegetasi sama sekali. Vegetasi yang terdapat pada tapak hanya berupa semak yakni Bugenvil (*Bougainvillea* sp.) yang berfungsi sebagai pengarah jalur underpass pada sisi barat serta timur. Lokasi B (Jalan Lebak Bulus Raya) hanya memiliki tutupan vegetasi kelompok pohon dan didominasi oleh jenis Asam kranji (*Dialium indum*) yang berfungsi sebagai peneduh. Jalur pedestrian pada sisi barat yang terletak di lokasi C (Jalan RA Kartini) didominasi oleh pohon peneduh dengan jenis Bintaro (*Cerbera manghas*), namun belum terdapat vegetasi dengan jenis semak maupun *ground cover*. Pada sisi timur tapak terdapat jalur hijau yang ditanami dengan berbagai jenis pohon yang didominasi oleh Mahoni (*Swietenia mahagoni*), Tanjung (*Mimusops elengi*) dan Asam jawa (*Tamarindus indica*).

Analisis Water Quality Volume (WQv)

Green infrastructure merupakan salah satu solusi untuk mengurangi limpasan permukaan, mengurangi erosi pada drainase, serta mencegah dan membantu banjir ekstrim. Untuk mengetahui dan mengukur kebutuhan *green infrastructure* dalam mengurangi limpasan air permukaan, dilakukan analisis *Water Quality Volume* (WQv). Perhitungan nilai WQv dapat dilihat pada Tabel 1. Berdasarkan perhitungan nilai WQv didapatkan hasil yang beragam dengan nilai WQv terbesar ialah pada lokasi A segmen 2 dengan nilai 464,96 m³, diikuti dengan lokasi A segmen 1 dengan nilai 267,6 m³ dan lokasi B senilai 205,44 m³. Sedangkan lokasi C memiliki nilai WQv paling kecil dibandingkan dengan lokasi lainnya yakni senilai 205,7 m³. Besarnya volume limpasan air permukaan dipengaruhi oleh luas permukaan kedap air pada tapak.

Lokasi A (Jalan Pasar Jumat) memiliki persentase area kedap air yang paling besar senilai 100%. Sedangkan lokasi C (Jalan RA Kartini) memiliki persentase area kedap air senilai 52%. Dapat disimpulkan bahwa semakin besar persentase area kedap air maka volume limpasan permukaan semakin besar.

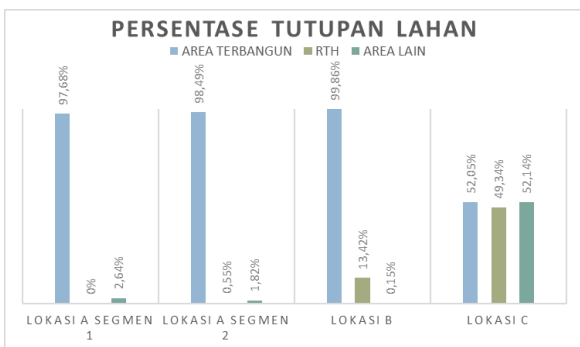
Tabel 1. Hasil perhitungan WQv (Water Quality Volume)

Lokasi	P (mm)	Rv	A (m ²)	WQv (m ³)
Lokasi A				
Segmen 1	50,29	0,95	7.694,23	367,6
Segmen 2	50,29	0,95	9.732,37	464,96
Lokasi B				
Lokasi B	50,29	0,95	4.300,00	205,44
Lokasi C				
Lokasi C	50,29	0,51	8.000,00	205,70

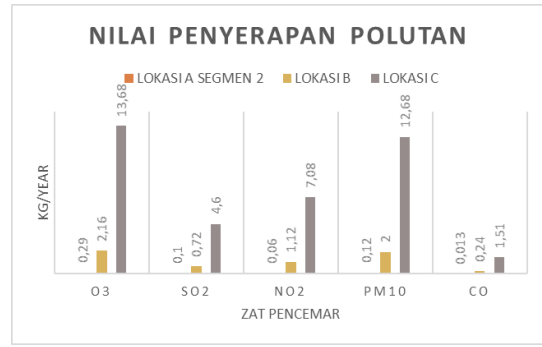
Analisis Kualitas Udara dan Stormwater Runoff menggunakan Software CITYgreen 5.2.

Analisis menggunakan ekstensi CITYGreen dilakukan untuk mengetahui kemampuan ketiga lokasi dalam mereduksi polutan di udara dan limpasan permukaan. Setelah dilakukan analisis menggunakan ekstensi CITYGreen dapat diketahui persentase penutupan lahan pada tiap lokasi. Pada diagram persentase penutupan lahan (Gambar 2a), area terbangun mencakup lahan kedap air dan lahan perkotaan, sedangkan RTH mencakup kanopi pohon, dan area lain mencakup penutupan lahan berupa ruang terbuka dan semak. Pada diagram terlihat bahwa lokasi A dan B didominasi oleh tutupan lahan berupa permukaan kedap air. Persentase permukaan kedap air tertinggi terdapat pada lokasi B yakni sebesar 99,86% dengan luas 1,1 acres. Sementara itu untuk persentase penutupan area berupa RTH atau kanopi pohon paling besar terdapat pada lokasi C yakni sebesar 49,34% dengan luas sebesar 0,94 acres. Persentase tutupan berupa RTH paling minim terdapat pada lokasi A yakni sebesar 0,55% dengan luas 0,02 acres.

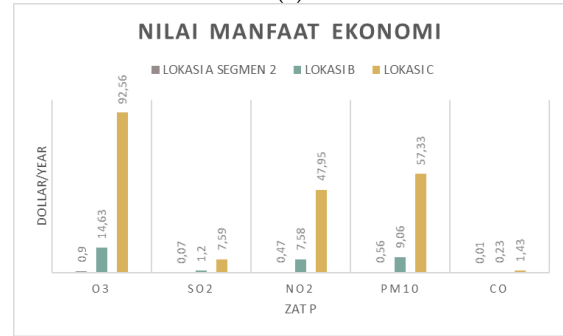
Pada diagram hasil analisis kualitas udara (Gambar 2b) dapat dilihat lokasi C dengan penutupan kanopi pohon terbesar dapat menyerap zat polutan paling baik dengan total sebesar 39,55 kg/tahun. Nilai ekonomi yang dapat dihemat adalah sebesar \$206,86 atau senilai Rp2.945.479,54 per tahun (Gambar 2c). Sementara itu, lokasi yang memiliki nilai penyerapan polutan paling kecil adalah lokasi A dengan total sebesar 0,58 kg/tahun. Pada diagram volume limpasan permukaan (Gambar 2d), terlihat bahwa volume limpasan permukaan terbesar terdapat pada Lokasi A yakni senilai 250,82 ft³. Sementara itu, lokasi C memiliki volume limpasan permukaan terkecil yakni senilai 0,07 m³ pada kondisi *real* dan 3,3 m³ pada kondisi tanpa pohon. Hasil analisis CITYgreen dapat disimpulkan bahwa semakin sedikit tutupan lahan berupa ruang terbuka hijau maka kemampuan tapak dalam mereduksi polutan akan semakin kecil dan nilai volume limpasan permukaan akan semakin besar.



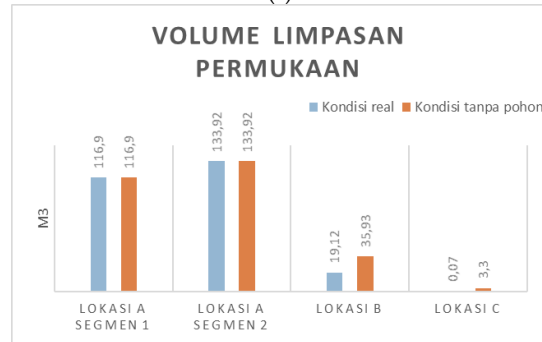
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 2. (a) Persentase tutupan lahan, (b) Nilai penyerapan polutan, (c) Nilai manfaat ekonomi, (d) Volume limpasan permukaan

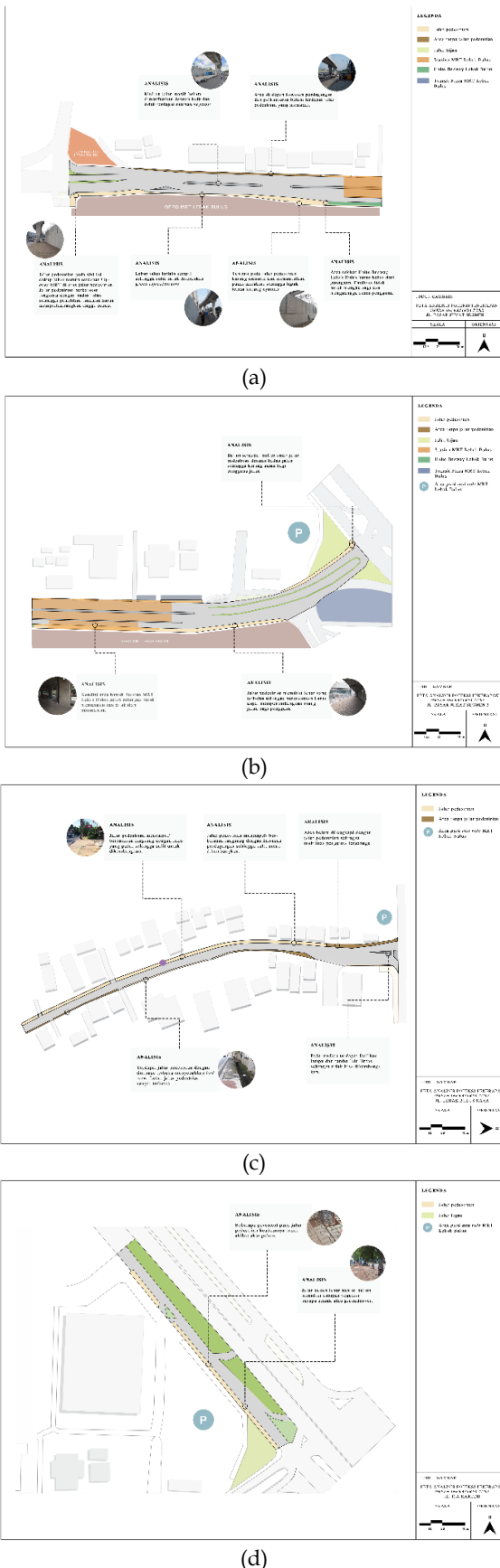
Analisis Potensi Penerapan Green Infrastructure

Kondisi dan Tipologi Jalan

Lokasi A (Jalan Pasar Jumat) dan Lokasi C (Jalan RA Kartini) berdasarkan tipe jalan menurut Philadelphia Transportation and Utilities (2017) termasuk ke dalam tipe jalan *urban arterial* dan Lokasi B (Jalan Lebak Bulus Raya) merupakan tipe jalan *walkable commercial corridor*.

Lokasi A (Jalan Pasar Jumat) dan lokasi B (Jalan Lebak Bulus Raya) memiliki permasalahan utama yakni ruang yang terbatas dengan tutupan lahan yang didominasi oleh permukaan kedap air. Air yang jatuh pada permukaan kedap air seperti atap, jalan, dan lahan parkir tidak dapat meresap ke dalam tanah dan menjadi limpasan air hujan yang membawa polutan seperti minyak, logam berat, dan bakteri sebelum mengalir ke saluran pembuangan dan badan air. Lokasi A (Jalan Pasar Jumat) dan lokasi C (Jalan RA Kartini) yang merupakan jalan *urban arterial* memiliki badan jalan yang lebar untuk volume kendaraan dengan intensitas yang tinggi. Menurut NACTO (2017), keberadaan ruang kendaraan bermotor yang lebar mengakibatkan tingginya kecepatan kendaraan yang melintas dan berdampak pada kondisi kenyamanan berjalan kaki yang buruk bagi pedestrian. Sementara itu, lanskap TOD memiliki konsep mengutamakan pejalan kaki. Menurut Philadelphia Transportation and Utilities (2017), jenis jalan *urban arterial* maupun *walkable*

commercial street memerlukan penerapan *green infrastructure* yang dapat berfungsi untuk meningkatkan kenyamanan pedestrian, memperlambat kecepatan kendaraan, dan mengatasi limpasan air permukaan. Peta analisis dapat dilihat pada Gambar 3.

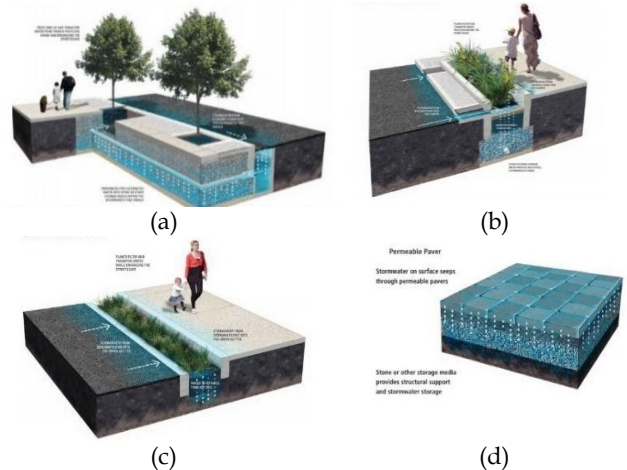


Gambar 3. Analisis Potensi Penerapan Green Infrastructure: (a) Jl. Pasar Jumat segmen 1, (b) Jl. Pasar Jumat segmen 2, (c) Jl. Lebak Bulus Raya, (d) Jl. RA Kartini

Penerapan Green Infrastructure

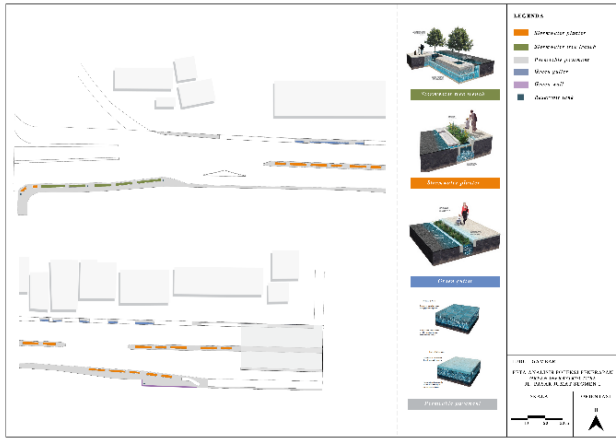
Secara umum ketiga tapak memiliki lebar jalan yang cukup sempit dengan mobilitas yang padat. Menurut NACTO (2017), penerapan *green infrastructure* menggunakan sistem bioretensi dengan ukuran kecil namun sering dapat menjadi solusi untuk mengoptimalkan kemampuan tapak dalam mengatasi limpasan permukaan. Berdasarkan matriks kesesuaian yang dikembangkan oleh Philadelphia Water Department (2014), sistem *green infrastructure* yang dapat diterapkan pada ketiga tapak di antaranya adalah *stormwater planter*, *stormwater tree trench*, *green gutter*, dan *permeable pavement* (Gambar 4).

Stormwater planter merupakan struktur yang dibangun di sisi jalur pedestrian. Sistem ini membuat limpasan air hujan dapat ditampung dan diresapkan terlebih dahulu sehingga air dapat tersaring sebelum dialirkan ke sistem drainase. *Stormwater planter* diterapkan pada lokasi A dan C. *Stormwater tree trench* merupakan parit bawah permukaan yang direncanakan di sisi jalur pedestrian untuk mengelola limpasan air permukaan dengan menghubungkan parit dengan beberapa inlet. *Stormwater tree trench* terdiri dari *open tree trench* dan *closed tree trench*. Sistem *open tree trench* memungkinkan penanaman pohon, perdu, maupun semak. Sementara itu sistem *closed tree trench* menggunakan *tree grate*. Sistem *closed tree trench* diterapkan pada lebar jalan yang terbatas untuk meminimalisir penggunaan ruang. *Green gutter* merupakan desain tangkapan air pada area yang sempit dengan penanaman yang berbentuk memanjang. *Green gutter* akan diterapkan pada jalur pedestrian yang sangat terbatas yakni pada lokasi A. Untuk meningkatkan efektifitas, ketiga sistem *green infrastructure* tersebut digabungkan dengan penerapan *permeable pavement*. *Permeable pavement* merupakan perkerasan yang dapat mengalirkan air ke lapisan bawah perkerasan sehingga dapat mengurangi limpasan air permukaan dibandingkan dengan perkerasan yang kedap air.

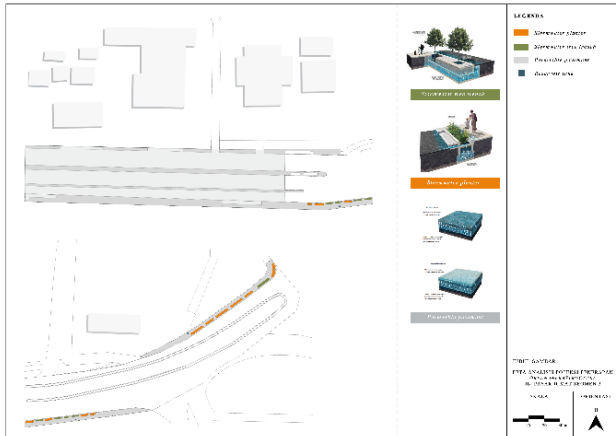


Gambar 4. (a) *Stormwater tree trench*, (b) *Stormwater planter*, (c) *Green gutter*, (d) *Permeable pavement*
Sumber: Philadelphia Water Department (2014)

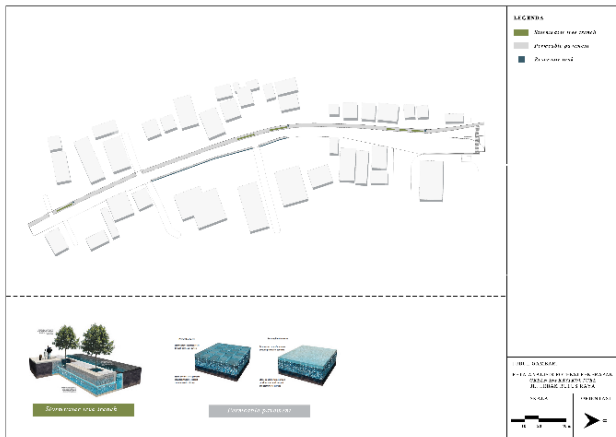
Sementara itu pada lokasi A yang memiliki lebar jalan yang terbatas, alternatif yang dapat dilakukan adalah penerapan *green wall*. *Green wall* merupakan salah satu sistem *green infrastructure* yang dapat memberikan hijauan pada ruang perkotaan yang terbatas. Jenis yang akan digunakan merupakan jenis *living wall* dengan sistem kantong-kantong geotekstil. Struktur terdiri atas rangka, lapisan *waterproofing* (polikarbonat), dan geotekstil berkantung. Media tanam yang digunakan adalah campuran cocopeat, sekam bakar dan kompos. Peta konsep *green infrastructure* dapat dilihat pada Gambar 5.



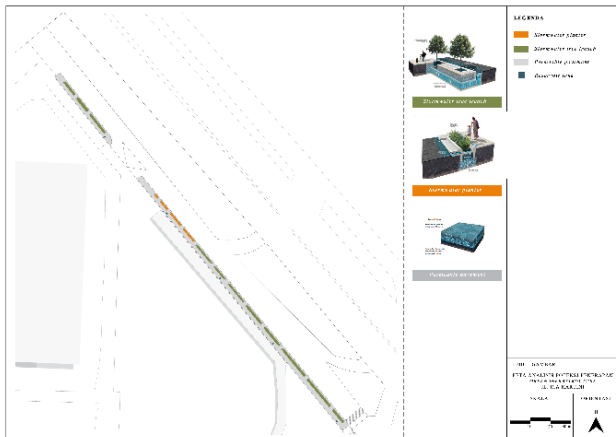
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 5. Konsep Green Infrastructure: (a) Jl. Pasar Jumat segmen 1, (b) Jl. Pasar Jumat segmen 2, (c) Jl. Lebak Bulus Raya, (d) Jl. RA Kartini

Tabel 2. Rencana sistem green infrastructure yang digunakan

Lokasi	Fungsi dan Tipe Jalan	Rekomendasi Sistem GI	Sistem GI yang digunakan
Lokasi A	Fungsi: Arteri primer Tipe: Urban arterial	Stormwater bump out	
		Stormwater planter	✓
		Stormwater tree trench	✓
		Stormwater tree trench	✓
		Permeable pavement	✓
		Stormwater drainage well	
Lokasi B	Fungsi: Kolektor primer Tipe: Walkable commercial corridor	Stormwater bump out	
		Stormwater planter	
		Stormwater tree trench	
		Permeable pavement	✓
		Stormwater drainage well	
		Green gutter	✓
Lokasi C	Fungsi: Arteri primer Tipe: Urban arterial	Stormwater bump out	
		Stormwater planter	✓
		Stormwater tree trench	✓
		Permeable pavement	✓
		Stormwater drainage well	
		Green gutter	

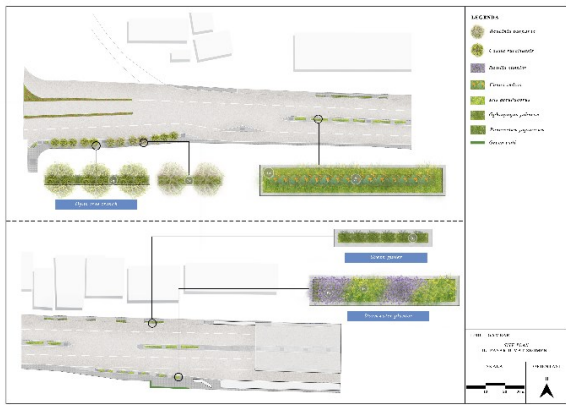
Sintesis

Site Plan

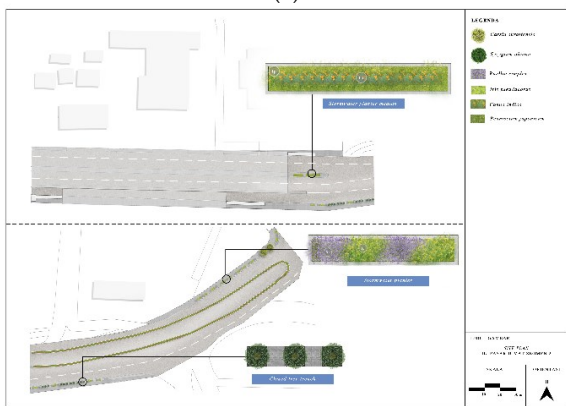
Pada lokasi A (Jalan Pasar Jumat) green infrastructure diterapkan pada jalur pedestrian sisi utara dan selatan serta pada median jalan. Green gutter diterapkan sehingga dapat berfungsi sebagai barrier antara trotoar dengan badan jalan. Pada jalur pedestrian sisi selatan yang memiliki lebar 8 m diterapkan green infrastructure berupa stormwater planter dan open tree trench. Sementara itu pada jalur pedestrian yang memiliki lebar 4 meter diterapkan closed tree trench untuk meminimalisir area yang terpakai. Pada area sekitar Halte Busway Lebak Bulus diterapkan stormwater planter dan green wall. Permeable pavement diintegrasikan dengan penerapan green infrastructure (Gambar 6a dan Gambar 6b).

Lokasi B (Jalan Lebak Bulus Raya) berbatasan langsung dengan lanskap perdagangan sehingga area yang dapat direncanakan cukup terbatas. Green infrastructure diterapkan pada jalur pedestrian di sisi barat yakni berupa closed tree trench akibat area yang terbatas. Pada kedua jalur pedestrian diterapkan permeable pavement (Gambar 6c). Lokasi C (Jalan RA Kartini) berbatasan dengan area Park and Ride dan Carrefour Lebak Bulus sehingga jalur pedestrian cukup sering digunakan

oleh pengguna. Pada tapak diterapkan sistem *green infrastructure* berupa *open tree trench* yang diintegrasikan dengan *permeable pavement* untuk mengoptimalkan kemampuan tapak dalam mengatasi limpasan permukaan (Gambar 6d).



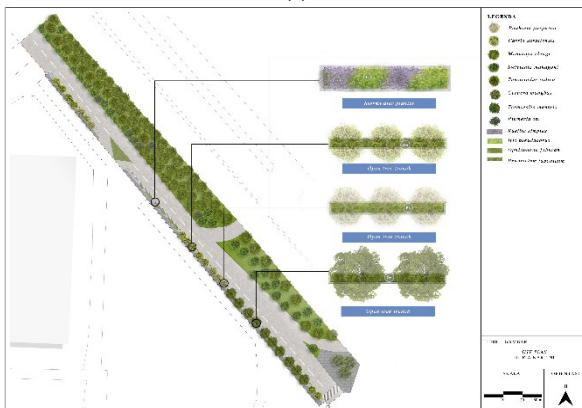
(a)



(b)



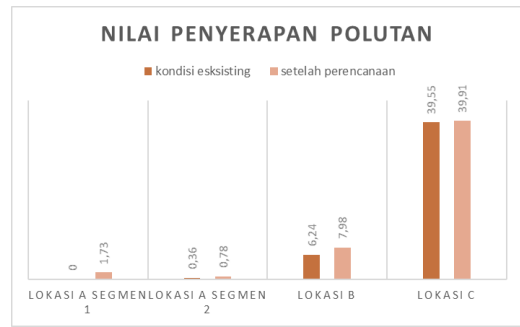
(c)



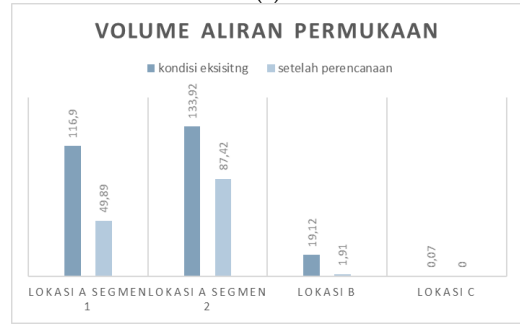
(d)

Gambar 6. (a) Lokasi A (Jalan Pasar Jumat) segmen 1, (b) Lokasi A (Jalan Pasar Jumat) segmen 2, (c) Lokasi B (Jalan Lebak Bulus Raya), (d) Lokasi C (Jalan RA Kartini)

Berdasarkan perencanaan yang sudah dirancang tersebut kemudian dilakukan analisis menggunakan CITYGreen untuk mengetahui perbandingan kemampuan tapak dalam mereduksi polusi udara serta besar volume limpasan permukaan pada kondisi eksisting dengan hasil perencanaan. Hasil analisis CITYGreen menunjukkan ketiga lokasi dapat mereduksi polusi udara sebesar 48,83 kg/tahun dengan nilai ekonomi yang dapat dihemat adalah sebesar \$263,49 atau setara dengan Rp3.751.834,11. Sementara itu untuk volume limpasan permukaan pada ketiga tapak didapatkan nilai sebesar 139,22 m³ dengan nilai keuntungan ekonomi sebesar \$2.048,67 atau setara dengan Rp34.348.838 (Gambar 7a dan Gambar 7b).



(a)



(b)

Gambar 7. (a) Perbandingan kemampuan tapak dalam mereduksi polusi udara, (b) Perbandingan volume limpasan permukaan

Tata Hijau

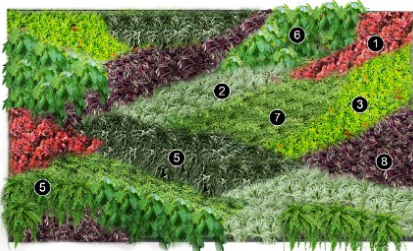
Vegetasi memegang peranan penting dalam menghilangkan polutan di dalam sistem bioretensi, khususnya partikel nitrogen. Struktur perakaran pada tanaman juga dapat membantu dalam memperbaiki struktur tanah dengan melonggarkan tanah dan membentuk pori-pori makro yang kemudian akan meningkatkan kapasitas infiltrasi media tanam dalam jangka panjang (Hunt *et al.* 2015; Wibowo dan Sulistyantara 2023; Ayyubi *et al.* 2024). Konsep tata hijau berbeda untuk setiap sistem *green infrastructure*.

Sistem *green infrastructure* yang diterapkan pada tapak yang membutuhkan tanaman sebagai komponen utamanya ialah *stormwater planter*, *stormwater tree trench*, dan *green gutter*. Menurut (CCD dan UDFCD 2015), tanaman yang digunakan untuk sistem *stormwater planter* harus tanaman yang toleran terhadap kekeringan maupun genangan, memiliki tinggi lebih dari 5 cm dan kurang dari 3,5 m, mampu tumbuh subur dalam kesuburan rendah dan non invasif. *Stormwater planter* hanya memiliki satu zona penanaman karena bentuknya yang datar sehingga semua tanaman yang terdapat di dalam sistem *stormwater planter* harus toleran terhadap genangan maupun kekeringan. Vegetasi yang digunakan dalam *stormwater planter* di antaranya adalah bunga kana (*Canna indica*), iris kuning (*Iris pseudacorus*), dan kencana ungu (*Ruellia simplex*). Sementara itu *green gutter* memerlukan penanaman yang lebih sederhana

menggunakan satu jenis tanaman, yakni kucai gondrong (*Ophiopogon jaburan*). *Stormwater tree trench* terdiri dari *open tree trench* dan *closed tree trench*. Pada *open tree trench*, digunakan vegetasi jenis semak dan *ground cover* yakni *Pennisetum japonicum* dan *Ophiopogon jaburan*.

Permasalahan lain pada tapak yang dapat diatasi dengan penanaman vegetasi adalah polusi udara. Berdasarkan hasil analisis menggunakan menggunakan CITYGreen, kemampuan ketiga tapak terutama lokasi A dalam mereduksi polusi udara masih minim akibat sedikitnya tutupan vegetasi pada tapak. Pemilihan tanaman jenis pohon dilakukan berdasarkan kemampuan pohon dalam mereduksi polutan. Selain itu, pemilihan tanaman jenis pohon juga perlu mempertimbangkan ketinggian pohon dikarenakan lebar jalan yang cukup terbatas dan keadaan jalur pedestrian yang berbatasan langsung dengan badan jalan. Pohon yang akan digunakan pada sistem *tree trench* dengan fungsi penyerap polutan di antaranya adalah bunga kupu-kupu (*Bauhinia purpurea*), tanjung (*Mimusops elengi*), dan hujan mas (*Cassia surattensis*).

Praktik *green infrastructure* yang juga berfungsi untuk meningkatkan kualitas udara dengan menyerap polutan adalah *green wall*. Tanaman yang akan digunakan terdiri dari tanaman jenis semak dan *ground cover* yang dapat mereduksi polutan gas dan yang berfungsi sebagai estetika. Tanaman jenis *ground cover* dan semak dengan fungsi mereduksi polutan yang digunakan di antaranya adalah *Chlorophytum comosum*, *Ixora chinensis*, *Schefflera arboricola*, *Acalypha wilkesiana*, *Ophiopogon jaburan*, dan *Philodendron burle marx*. Sementara itu untuk vegetasi dengan fungsi estetika digunakan *Zebrina pendula* dan *Nephrolepis exaltata*.



- 1 *Acalypha wilkesiana*
- 2 *Chorophytum comosum*
- 3 *Ixora coccinea*
- 4 *Nephrolepis exaltata*
- 5 *Ophiopogon jaburan*
- 6 *Philodendron burle marx*
- 7 *Schefflera arboricola*
- 8 *Zebrina pendula*

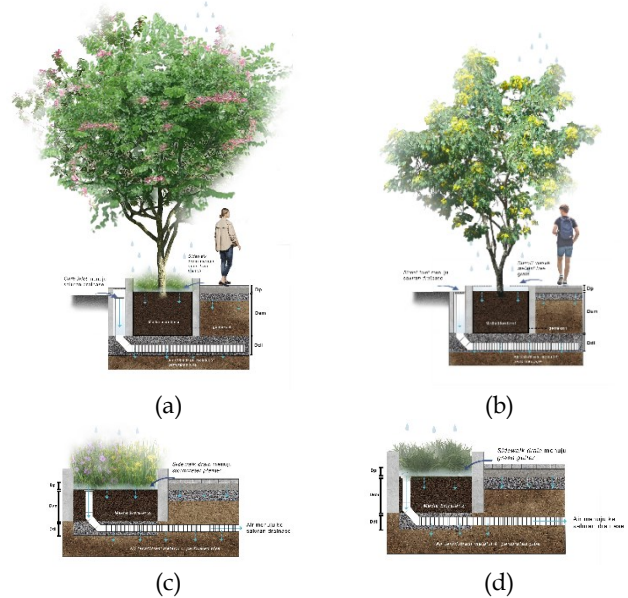
Gambar 8. Ilustrasi *green wall*

Sistem Green Infrastructure

Stormwater planter, *tree trench*, dan *green gutter* merupakan salah satu praktik bioretensi yang dapat diterapkan pada jalur jalan untuk mengatasi limpasan permukaan. Lapisan bioretensi terdiri dari vegetasi yang berfungsi untuk menangkap limpasan air hujan, membantu transport oksigen ke tanah dan meningkatkan pertumbuhan mikroba yang dapat mengubah polutan. Pada lapisan kedua terdapat media bioretensi yang dapat menyokong vegetasi serta menjaga tanaman agar tetap tumbuh. Lapisan terakhir merupakan *drainage layer* berupa batu serta pipa berlubang (*perforated pipe*). *Drainage layer* berfungsi untuk mengumpulkan air dari sistem bioretensi dan mengalirkannya ke *perforated pipe*. Media merupakan salah satu kunci dalam merencanakan bioretensi.

Berdasarkan analisis HSG tanah, tanah yang terdapat pada lanskap TOD Lebak Bulus termasuk ke dalam HSG A dan B yang berarti tanah tersebut sesuai dan dapat digunakan untuk media bioretensi *green infrastructure*. Menurut City of Eugene (2014), tanah yang digunakan pada sistem bioretensi dapat dicampur dengan kompos dengan perbandingan 1:3. Menurut CCD dan UDFCD (2015), ketebalan media bioretensi (Dsm) untuk mengelola limpasan

permukaan minimal adalah 45 cm, sedangkan untuk penanaman pohon minimal memiliki ketebalan 90 cm. Pada lapisan di bawah media bioretensi terdapat *drainage layer* berupa batu kerikil dengan ketebalan *drainage layer* (Ddl) 20 cm. Kedalaman permukaan (Dp) diukur dari permukaan perkerasan hingga permukaan media bioretensi. Kedalaman berkisar dari 5 cm hingga 30 cm untuk mengurangi limpasan permukaan dari jalan maupun trotoar. Pada area dengan ruang terbatas, sistem bioretensi harus dangkal atau memiliki tepi yang terlihat jelas (NACTO 2017).



Gambar 9. Ilustrasi potongan *green infrastructure*; (a) *Open tree trench*, (b) *Closed tree trench*, (c) *Stormwater planter*, (d) *Green gutter*

Sumber: Hasil penelitian

Setelah menentukan ukuran detail tiap sistem *green infrastructure*, dilakukan perhitungan keuntungan resapan air oleh sistem *green infrastructure*. Hasil perhitungan kemudian akan dibandingkan dengan nilai WQv yang telah dihitung pada bab analisis (Tabel 3). Berdasarkan hasil perhitungan dapat dilihat bahwa volume limpasan permukaan (WQv) masih lebih besar dibandingkan dengan volume total resapan air oleh sistem *green infrastructure* sehingga terdapat limpasan air permukaan yang tidak dapat diresapkan oleh sistem *green infrastructure*.

Terdapat beberapa strategi dalam mengurangi limpasan permukaan salah satunya yakni peletakan tempat penampungan air sementara (*reservoir tank*). *Reservoir tank* dapat dijadikan solusi dalam menampung limpasan permukaan yang tidak dapat diresapkan oleh sistem *green infrastructure*. Air yang telah ditampung tersebut kemudian dapat digunakan untuk menyiram tanaman (*rainwater harvesting*). *Reservoir tank* diletakkan di bawah jalur pedestrian dengan kedalaman 1,5 m dan jarak peletakan 50 m. Dimensi *reservoir tank* yang direncanakan adalah 6 m x 2,5 m x 5 m dengan jumlah 15 buah reservoir tank. Pada lokasi A (Jalan Pasar Jumat) akan diletakkan sejumlah 7 buah, pada lokasi B (Jalan Lebak Bulus Raya) sejumlah 3 buah, dan pada lokasi C (Jalan RA Kartini) sejumlah 5 buah.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian, ketiga lokasi yang berada pada lanskap TOD Lebak Bulus yakni lokasi A (Jalan Pasar Jumat), lokasi B (Jalan Lebak Bulus Raya), dan lokasi C (Jalan

Tabel 3. Hasil perhitungan keuntungan resapan air dengan sistem *green infrastructure*

Sistem <i>green infrastructure</i>	A (ft ²)	Dp (ft)	Dsm (ft)	Ddl (ft)	Dp x A (ft ³)	Vsm (ft ³)	Vdl (ft ³)	Total	WQv
Lokasi A									
segmen 1									
<i>Stormwater planter</i>	186,5	0,1	0,45	0,2	18,65	16,785	14,92	50,355	
<i>Stormwater tree trench</i>	88,5	0,1	0,9	0,4	8,85	15,93	14,16	38,94	
<i>Green gutter</i>	63,5	0,1	0,45	0,2	6,35	5,715	5,08	17,145	
Total								106,44	367,6
segmen 2									
<i>Stormwater planter</i>	129,95	0,1	0,45	0,2	13	11,69	10,39	35,08	
<i>Stormwater tree trench</i>	45,85	0,1	0,9	0,4	4,58	8,23	7,33	20,17	
Total								55,26	464,9
Lokasi B									
<i>Stormwater tree trench</i>	72,8	0,1	0,9	0,4	7,28	13,1	11,64	32,03	205,44
Lokasi C									
<i>Stormwater tree trench</i>	189,3	0,1	0,9	0,4	18,93	34,07	30,28	83,29	
<i>Stormwater planter</i>	33,1	0,1	0,45	0,2	3,31	2,97	2,64	8,93	
Total								92,22	205,7
Total keseluruhan								285,95	1243,7

RA Kartini) memiliki nilai WQv yang tinggi yakni 832,56 m³, 205,44 m³, dan 205,7 m³ yang dipengaruhi oleh curah hujan yang tinggi serta tingginya persebaran permukaan kedap air pada tapak. Untuk mengurangi limpasan permukaan, pada Jalan Pasar Jumat direncanakan *green infrastructure* berupa *stormwater tree trench*, *stormwater planter*, *green gutter*, dan *permeable pavement* yang mampu meresapkan *stormwater runoff* sebesar 161,7 m³. Pada Jalan Lebak Bulus Raya diterapkan *stormwater tree trench* dan *permeable pavement* yang mampu meresapkan *runoff* sebesar 32,03 m³ dan pada Jalan RA Kartini diterapkan *stormwater tree trench*, *stormwater planter* dan *permeable pavement* yang mampu meresapkan *runoff* sebesar 92,22 m³ sehingga didapatkan *green infrastructure* dapat meresapkan *stormwater runoff* dengan total 285,95 m³. Penggunaan vegetasi dengan kemampuan menyerap polutan berupa pohon, perdu, dan semak serta penerapan *green wall* berfungsi untuk mengurangi polusi udara serta meningkatkan estetika pada tapak. Berdasarkan hasil analisis CITYGreen, hasil perencanaan *green infrastructure* pada ketiga lokasi dapat mereduksi zat pencemar sebesar 48,83 kg/tahun dengan nilai ekonomi yang dapat dihemat adalah sebesar \$263,49 atau setara dengan Rp3.751.834,11 dan dapat mereduksi sebesar 51% volume limpasan permukaan dengan nilai keuntungan ekonomi sebesar \$2.048,67 atau setara dengan Rp34.348.838. Perencanaan *green infrastructure* pada tapak dapat berperan dalam mengurangi limpasan permukaan, mereduksi polusi udara dan air, dan meningkatkan estetika kota.

Saran

Dalam merencanakan suatu lanskap khususnya lanskap berorientasi transit, perlu untuk memperhatikan integrasi antara trotoar, siklus hidrologi, dan ruang terbuka hijau sehingga dapat meminimalisir dampak buruk dari pembangunan terutama pada lanskap urban yang padat. Penelitian ini menghasilkan alternatif perencanaan *green infrastructure* yang bertujuan untuk mengurangi limpasan permukaan, mereduksi polutan udara serta air, dan meningkatkan estetika pada lanskap berorientasi transit dengan ruang yang terbatas. Perencanaan *green infrastructure* perlu dilakukan pada tahap awal perencanaan untuk meminimalisir biaya yang akan dikeluarkan. Ketersediaan jalur hijau dengan tutupan kanopi pohon yang memadai pada lanskap TOD yang terkoneksi dengan ruang terbuka hijau di sekitarnya dapat menambah jasa lanskap untuk suatu lanskap sehingga tercipta suatu pembangunan yang berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin HS, Kaswanto RL. 2023. Manajemen Ruang Terbuka Biru untuk Pengendali Banjir. IPB Press. Bogor.
- Arkham HS, Arifin HS, Kaswanto RL. 2014. Strategi Pengelolaan Lanskap Ruang Terbuka Biru di Daerah Aliran Sungai Ciliwung. *Jurnal Lanskap Indonesia* 6(1): 1-5. <https://doi.org/10.29244/jli.v6i1.18125>
- Aulia R, Kaswanto RL, Arifin HS, Mosyafitiani A, Syasita N, Wahyu A, Wiyoga H. 2023. Assessing the Benefits and Management of Urban Forest in Supporting Low Carbon City in Jakarta, Indonesia. *Biodiversitas* 24: 6151-6159. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d241136>
- Ayyubi MS, Arifin HS, Kaswanto RL. 2024. Rekomendasi Strategi Pengelolaan Lanskap Publik Ruang Terbuka Hijau dan Biru di Kota Bogor. *Risalah Kebijakan Pertanian dan Lingkungan Rumusan Kajian Strategis Bidang Pertanian dan Lingkungan* 11(2), 102-112. <https://doi.org/10.29244/jkebijakan.v11i2.57137>
- Carlson M, Caughey W, Ward N. 2014. *Green Street Guidelines for the City of Holyoke, Massachusetts*. Northampton (UK): The Conway School of Landscape Design.
- [CCD dan UDFCD] City and Country of Denver, Urban Drainage and Flood Control District. 2015. *Ultra Urban Green Infrastructure Guidelines*. Denver (US): CCD.
- City of Eugene. 2014. *Stormwater Management Manual (SWMM)*. Oregon (US): City of Eugene.
- Damayanti V. 2019. Potensi Pengembangan Infrastruktur Hijau dalam Upaya Mewujudkan Cimahi sebagai Kota Hijau Berkelanjutan. *ETHOS (Jurnal Penelitian dan Pengabdian)*. 7(2): 233-243.
- [DEC] Department of Environmental Conservation. 2010. *Stormwater Management Design Manual*. New York (US): Department of Environmental Conservation. <https://doi.org/10.29313/ethos.v7i2.4560>
- Dinas Kebersihan DKI Jakarta. 2012. Profil DKI Jakarta 2012. Dinas Kebersihan DKI Jakarta (ID): Jakarta.
- Effendi H, Kaswanto RL, Wardiatno Y, Bengen DG, Setiawan BI, Pawitan H, Soetarto E, Damayanthi E, Arifin HS, Widanarni. 2022. Waterfront City: Kota Tepian Air Ramah Lingkungan. *Policy Brief Dewan Guru Besar IPB University*.
- Faradilla E, Kaswanto RL, Arifin HS. 2018. Analisis Kesesuaian Lahan untuk Ruang Terbuka Hijau dan Ruang Terbuka Biru di Sentul City, Bogor. *Jurnal Lanskap Indonesia* 9(2): 101-109. <https://doi.org/10.29244/jli.v9i2.17398>

- Fatimah IS, Sinukaban N, Munandar A, Kholil K. 2013. Valuasi Manfaat Ekologis Ruang Terbuka Hijau (RTH) di Kota Bogor dengan Aplikasi CITYGreen 5.4. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)* 3(1): 31-31. <https://doi.org/10.19081/jpsl.2013.3.1.31>
- Fitriana AF, Kaswanto RL, Nurhayati HSA. 2023. Strategi Manajemen Lanskap yang Dikembangkan pada Taman Kota di Kota Purwokerto. *SPACE* 10(2). <https://doi.org/10.24843/JRS.2023.v10.i02.p09>
- Gubernur Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta. 2020. *Peraturan Daerah Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta No. 57 Tahun 2020 tentang Panduan Rancang Kota Kawasan Stasiun MRT Lebak Bulus*. Jakarta.
- Hasibuan HS, Harmain R, Berkademi W, Sari IP. 2018. Daya Dukung Kawasan Transit Oriented Development di Lebak Bulus Provinsi DKI Jakarta. *Jurnal Plano Madani* 7: 174-184.
- Kaswanto RL. 2022. Manajemen Metabolisme Lanskap Mewujudkan Lanskap Rendah Karbon. Dalam Ragam Aktualisasi Agromaritim Indonesia Bunga Rampai: Pemikiran Dosen Muda Institut Pertanian Bogor. IPB Press. Bogor.
- Kaswanto RL, Ilmi MR, Nurhayati HSA. 2023. Waterfront City Management to Realize Low Carbon Landscape in Pekanbaru City, Indonesia. *International Journal of Conservation Science* 14 (3): 1151-1162. <https://doi.org/10.36868/IJCS.2023.03.24>.
- Mungkasa OW. 2020. Green Infrastructure in Jakarta, Basic Understanding and Implementation Efforts in Indonesian Cities. *Applied Research on Civil Engineering and Environment (ARCEE)* 2 (10):28-35. <https://doi.org/10.32722/arcee.v2i10.2921>
- [NACTO] National Association of City Transportation Officials. 2017. *Urban Street Stormwater Guide*. Washington DC (US): Island Press
- Philadelphia Transportation and Utilities. 2017. *Philadelphia Complete Streets Design Handbook*. Philadelphia (US): Mayor's Office of Transportation and Utilities.
- Philadelphia Water Department. 2014. *City Philadelphia Green Street Design Manual*. Philadelphia (US): Philadelphia Water Department.
- Pratiwi RD, Fatimah IS, Munandar A. 2019. Persepsi dan Preferensi Masyarakat terhadap Infrastruktur Hijau Kota Yogyakarta. *Jurnal Lanskap Indonesia* 11(1): 33-42. <https://doi.org/10.29244/jli.v11i1.20563>
- Regita RS, Simangunsong NI, Chalim A. 2021. Kajian Peletakan Fungsi Vegetasi Terhadap Kondisi Ruang Terbuka Kampus (Studi Kasus: Indonesia Port Corporation University, Ciawi, Bogor). *Jurnal Lanskap Indonesia* 13(2):38-44. <https://doi.org/10.29244/jli.v13i2.33327>
- Wibowo KRR, Sulistyantara B. 2023. Perencanaan Jalur Hijau Kota Wisata Cibubur Berbasis Prediksi Kapasitas Serapan NO₂ Melalui Analisis Menggunakan Software CITYgreen. *Jurnal Lanskap Indonesia* 15(2):118-126. <https://doi.org/10.29244/jli.v15i2.43633>