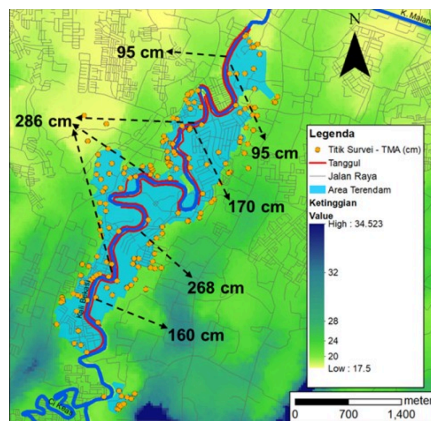


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Banjir Bekasi



Gambar 2.1 Peta Banjir Sungai Bekasi

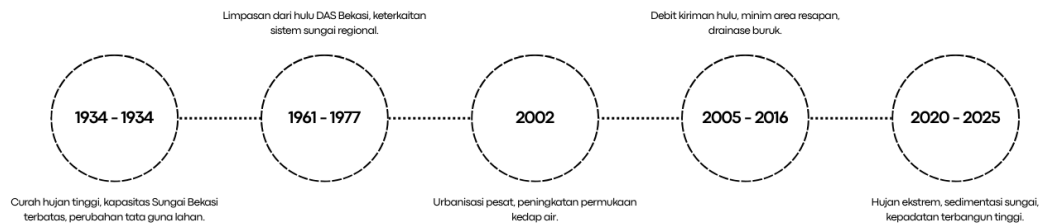
(sumber : <https://itb.ac.id/>)

Pemetaan banjir Sungai Bekasi menunjukkan sebaran area genangan di sepanjang bantaran sungai berdasarkan data survei tinggi muka air (TMA). Pada peta, area berwarna biru menunjukkan wilayah yang terdampak banjir, sedangkan titik berwarna oranye merupakan lokasi pengukuran tinggi muka air yang digunakan untuk memetakan tingkat kedalaman genangan. Garis merah menunjukkan tanggul sungai, sementara jaringan jalan ditampilkan sebagai referensi kawasan permukiman di sekitarnya. Pemetaan ini digunakan untuk mengidentifikasi pola penyebaran genangan serta tingkat kedalaman banjir pada kawasan bantaran Sungai Bekasi.

Berdasarkan hasil pemetaan, kedalaman genangan banjir di kawasan tersebut bervariasi antara sekitar 95 cm hingga 286 cm. Beberapa area menunjukkan genangan sekitar 160 cm, 170 cm, hingga 268 cm, yang menunjukkan bahwa sebagian kawasan permukiman berpotensi mengalami banjir dengan ketinggian lebih dari satu meter. Sebaran genangan tidak hanya terjadi pada badan sungai, tetapi juga meluas ke kawasan permukiman di sepanjang sempadan sungai, yang menandakan bahwa kapasitas sungai dan tanggul yang ada belum mampu menahan peningkatan debit air secara optimal.

Menurut kajian dari Institut Teknologi Bandung, kejadian banjir di Bekasi dipengaruhi oleh kombinasi curah hujan ekstrem, peningkatan limpasan akibat urbanisasi, serta terbatasnya kapasitas sungai dalam menampung debit air. Kondisi ini menunjukkan bahwa pendekatan pengendalian banjir yang hanya mengandalkan tanggul tidak lagi cukup, sehingga diperlukan strategi yang lebih adaptif melalui pengelolaan air perkotaan dan penataan kawasan yang mampu meningkatkan kapasitas resapan serta retensi air di kawasan bantaran Sungai Bekasi (Institut Teknologi Bandung, 2025).

2.2 Sejarah Sungai Bekasi



Gambar 2.2 Lini Massa Banjir Bekasi

(sumber : Olah Visual)

Sungai Bekasi merupakan salah satu sungai utama di wilayah Jawa Barat bagian barat yang memiliki peran penting bagi kehidupan masyarakat Bekasi sejak masa kolonial hingga saat ini. Sepanjang perkembangannya, Sungai Bekasi memiliki sejarah panjang kejadian banjir yang terus berulang dan dipengaruhi oleh berbagai faktor yang berkembang seiring perubahan kondisi lingkungan, sosial, dan tata guna lahan di kawasan daerah aliran sungai (DAS). Catatan historis menunjukkan bahwa banjir telah terjadi sejak era kolonial, seperti pada tahun 1924, 1926, 1932, 1933, dan 1934, yang salah satunya dipicu oleh jebolnya tanggul Sungai Citarum sehingga menyebabkan genangan pada kawasan sekitar Bekasi (Lutfi, 2023).

Memasuki masa pasca-kemerdekaan, banjir di wilayah Bekasi masih terus terjadi akibat curah hujan tinggi dan limpasan air dari wilayah hulu. Salah satu kejadian banjir besar terjadi pada tahun 1961 yang disebabkan oleh hujan lebat hingga menjebol Tanggul Cibeet, serta banjir besar pada tahun 1977 yang berlangsung selama beberapa hari dan menyebabkan genangan luas serta terputusnya akses transportasi di beberapa wilayah (Lutfi, 2023). Memasuki era perkembangan perkotaan yang pesat pada awal abad ke-21, khususnya sekitar tahun 2002, karakteristik banjir di Bekasi mulai dipengaruhi secara signifikan oleh urbanisasi dan perubahan tata guna lahan yang meningkatkan luas permukaan kedap air serta mengurangi daya resap tanah di kawasan DAS Bekasi (Lutfi, 2023).

Pada periode selanjutnya, sekitar tahun 2005-2016, kompleksitas permasalahan banjir semakin meningkat akibat kombinasi antara debit kiriman dari wilayah hulu, berkurangnya area resapan, serta perubahan penggunaan lahan yang semakin intensif. Kajian hidrologi pada DAS Cileungsi Hulu menunjukkan adanya peningkatan nilai Curve Number (CN), yang mengindikasikan menurunnya kemampuan tanah dalam menyerap air hujan akibat perkembangan kawasan terbangun. Memasuki periode 2020-2025, banjir di kawasan Sungai Bekasi semakin dipengaruhi oleh faktor hujan ekstrem, sedimentasi sungai, serta kepadatan kawasan terbangun di sepanjang DAS Bekasi yang meningkatkan limpasan permukaan dan memperbesar debit banjir di wilayah hilir, termasuk Kota Bekasi. Kondisi ini menunjukkan bahwa permasalahan banjir di Sungai Bekasi tidak hanya dipengaruhi oleh faktor alam, tetapi juga oleh dinamika perkembangan wilayah yang memerlukan pendekatan penanganan yang lebih adaptif dan terintegrasi.

2.3 Aliran Sungai Bekasi



Gambar 2.3 Peta Aliran Sungai Bekasi

(sumber : Olah Visual)

Sungai Bekasi (Kali Bekasi) merupakan aliran utama yang mengalir dari kawasan perbukitan Bogor-Jonggol menuju muara di pesisir timur Teluk Jakarta dan melintasi wilayah Kota serta Kabupaten Bekasi. Secara hidrologis, sungai ini terbentuk dari pertemuan dua anak sungai besar, yaitu Sungai Cileungsi dan Sungai Cikeas, dengan titik konfluensi di kawasan Jatiasih sebagai awal aliran Kali Bekasi yang kemudian mengalir ke utara hingga terhubung dengan saluran Cikarang-Bekasi Laut (CBL) di Babelan. Sistem konfluensi tersebut menjadikan Kali Bekasi sebagai sungai penerima limpasan utama dari wilayah hulu yang luas sehingga sangat dipengaruhi oleh dinamika debit kiriman saat musim hujan (Prasetyo et al., 2021).

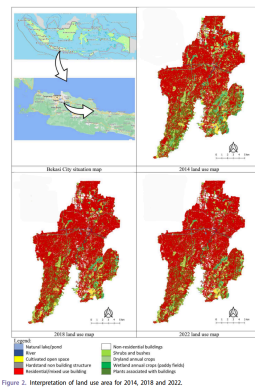
Luas wilayah tangkapan (DAS) Bekasi tergolong besar dan memiliki tingkat kerentanan banjir tinggi. Pada segmen hilir, sub-DAS seluas $\pm 2.919,76$ ha tercatat sering terdampak genangan akibat limpasan dari hulu. Pada skala lebih luas, sekitar 70,81% wilayah DAS ($\pm 985,96$ km²) diklasifikasikan sangat rentan banjir, dipengaruhi kombinasi topografi datar, kerapatan sungai tinggi, karakteristik tanah, serta dominasi lahan terbangun dan persawahan di dataran rendah. Kondisi ini menunjukkan bahwa secara geomorfologis kawasan Bekasi memang memiliki sensitivitas tinggi terhadap genangan dan banjir limpasan (Wijaya et al., 2023).

Dari sisi kapasitas hidrolis, penampang Kali Bekasi Hulu tidak sebanding dengan besarnya debit kiriman dari Cileungsi-Cikeas. Kapasitas sungai tercatat hanya sekitar 391,79 m³/s, sementara debit gabungan kedua anak sungai dapat mencapai $\pm 708,75$ m³/s, sehingga banyak segmen sungai mengalami luapan. Di bagian tengah-hilir, morfologi sungai relatif sempit pada beberapa dokumen teknis pemerintah lebar eksisting berkisar ± 20 m serta diapit permukiman padat yang membatasi ruang retensi alami. Keterbatasan dimensi penampang ini memperbesar kemungkinan overflow ketika terjadi hujan ekstrem atau kiriman banjir dari hulu (Sriyono et al., 2020).

Tekanan tersebut semakin diperparah oleh urbanisasi cepat di sepanjang koridor sungai. Perubahan tutupan lahan menuju permukiman dan permukaan kedap

meningkatkan limpasan permukaan sekitar 3,69%, mempercepat respons hidrologi, serta memperdalam genangan. Simulasi hidrologi terbaru menunjukkan kombinasi hujan ekstrem (>180 mm/hari) dan peningkatan impervious surface menghasilkan banjir dengan kedalaman >3 m dan waktu respon sangat singkat (≤ 7 jam). Kondisi ini menegaskan bahwa penanganan banjir tidak cukup melalui normalisasi sungai semata, melainkan memerlukan integrasi infrastruktur hijau-biru, ruang retensi, serta strategi berbasis permukiman adaptif sebagai bagian dari mitigasi risiko banjir perkotaan (Meliani et al., 2025).

2.4 Perubahan Tata Guna Lahan Kota Bekasi



Gambar 2.4 interpretasi tata guna lahan Kota Bekasi tahun 2014, 2018, dan 2022

(sumber : *Geomatics, Natural Hazards and Risk*)

Perubahan tata guna lahan merupakan salah satu faktor utama yang memengaruhi dinamika hidrologi perkotaan di Kota Bekasi. Interpretasi citra satelit Landsat 8 OLI tahun 2014, 2018, dan 2022 menunjukkan bahwa kawasan terbangun mengalami ekspansi signifikan, sementara ruang terbuka hijau serta lahan pertanian semakin berkurang dan terfragmentasi. Klasifikasi penggunaan lahan berdasarkan standar SNI 7645-1:2014 memperlihatkan dominasi permukaan kedap air yang terus meningkat dari waktu ke waktu. Kondisi ini mengindikasikan terjadinya urbanisasi intensif yang mengubah karakter alami tapak dari area resapan menjadi area limpasan, sehingga kapasitas infiltrasi tanah menurun dan aliran permukaan meningkat. Secara hidrologis, peningkatan impervious surface tersebut berkontribusi langsung terhadap kenaikan debit puncak sungai dan memperbesar potensi genangan banjir di kawasan perkotaan Bekasi (Fitriyati et al., 2024).

Analisis spasial lanjutan menggunakan perangkat FRAGSTATS serta pemodelan hidraulik HEC-RAS menunjukkan bahwa fragmentasi lanskap akibat penyebaran kawasan terbangun mempercepat respons limpasan menuju sungai. Hasil simulasi memperlihatkan bahwa peningkatan permukiman campuran sebesar 5,54% berimplikasi pada kenaikan luas genangan hingga 6,5%, sedangkan penambahan bangunan non-permukiman sebesar 1,47% bahkan mampu meningkatkan genangan sampai 36,9%. Peta skenario debit rencana (Q5-Q50) menegaskan bahwa semakin besar intensitas hujan, semakin luas dan dalam area genangan yang terbentuk. Temuan

ini menandakan bahwa struktur tata guna lahan memiliki pengaruh signifikan terhadap kerentanan banjir, sehingga pengendalian pembangunan melalui penyediaan ruang hijau terkoneksi, penerapan permukaan berpori, serta desain kawasan adaptif air menjadi strategi penting dalam mitigasi risiko banjir perkotaan (Fitriyati et al., 2024).

Dengan demikian, pengelolaan tata ruang Kota Bekasi tidak dapat lagi mengandalkan pendekatan konvensional berbasis drainase semata, melainkan memerlukan integrasi antara perencanaan spasial dan strategi desain ekologis. Konsep hunian vertikal yang mengurangi jejak tapak, membuka ruang infiltrasi di permukaan tanah, serta mengintegrasikan fungsi retensi air pada bangunan menjadi relevan sebagai respons arsitektural terhadap permasalahan ini. Pendekatan tersebut memungkinkan densifikasi kota tetap tercapai tanpa memperbesar limpasan, sehingga mendukung terbentuknya lingkungan permukiman yang lebih tangguh terhadap banjir sekaligus berkelanjutan secara ekologis.

2.5 Tinjauan Umum Proyek

2.5.1 Definsi Proyek

1. Rumah Susun (Rusun)

Berdasarkan Undang-Undang Nomor 20 Tahun 2011 tentang Rumah Susun, rumah susun didefinisikan sebagai bangunan bertingkat yang dibangun dalam suatu lingkungan yang terbagi dalam bagian-bagian yang distrukturkan secara fungsional dalam arah horizontal maupun vertikal dan merupakan satuan-satuan yang masing-masing dapat dimiliki dan digunakan secara terpisah, terutama untuk tempat hunian, yang dilengkapi dengan bagian bersama, benda bersama, dan tanah bersama (UU No. 20 Tahun 2011, Pasal 1 Ayat 1).

2. Infrastruktur Mitigasi Banjir

Mitigasi adalah serangkaian upaya untuk mengurangi risiko bencana, baik melalui pembangunan fisik maupun penyadaran dan peningkatan kemampuan menghadapi ancaman bencana (UU No. 24 Tahun 2007, Pasal 1 Ayat 9). Lebih lanjut, kegiatan mitigasi dilakukan untuk mengurangi risiko bencana bagi masyarakat yang berada pada kawasan rawan bencana, melalui pelaksanaan penataan ruang, pengaturan pembangunan, pembangunan infrastruktur, dan tata bangunan (UU No. 24 Tahun 2007, Pasal 47 Ayat 1-2).

Infrastruktur mitigasi banjir adalah sistem fisik yang dirancang untuk mengurangi risiko dan dampak banjir. Dalam konteks proyek ini, hunian vertikal tidak hanya berfungsi sebagai tempat tinggal, tetapi juga dirancang dengan elemen-elemen yang berkontribusi pada pengendalian banjir, meliputi:

- Sistem drainase berkelanjutan (sustainable drainage systems), sebagaimana diamanatkan dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan

Rakyat Nomor 12/PRT/M/2014 tentang Penyelenggaraan Sistem Drainase Perkotaan, yang mengatur penyelenggaraan drainase perkotaan yang berkelanjutan dan berwawasan lingkungan, termasuk penyediaan kolam retensi sebagai bagian dari sistem drainase perkotaan secara keseluruhan (Permen PUPR No. 12/PRT/M/2014).

- Ruang terbuka hijau yang berfungsi sebagai area resapan air, sebagaimana diatur dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 11/PRT/M/2014 tentang Pengelolaan Air Hujan pada Bangunan Gedung dan Persilannya, yang mewajibkan setiap bangunan gedung untuk memiliki fasilitas pengelolaan air hujan agar tidak seluruh limpasan mengalir langsung ke saluran drainase kota (Permen PU No. 11/PRT/M/2014).
- Tanggul hijau (green embankment), yang mengacu pada ketentuan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 28/PRT/M/2015 tentang Penetapan Garis Sempadan Sungai dan Garis Sempadan Danau. Peraturan ini berfungsi melindungi fungsi ekologis sungai sebagai daerah resapan air dan memastikan tersedianya ruang untuk operasi normalisasi sungai dan mitigasi bencana (Permen PUPR No. 28/PRT/M/2015).
- Kolam retensi (detention pond), sebagaimana diatur lebih lanjut dalam Peraturan Pemerintah Nomor 38 Tahun 2011 tentang Sungai, yang menyebutkan bahwa bantaran sungai berfungsi sebagai ruang penyalur banjir, dan sempadan sungai berfungsi sebagai ruang penyangga antara ekosistem sungai dan daratan agar fungsi sungai dan kegiatan manusia tidak saling terganggu (PP No. 38 Tahun 2011, Pasal 5 dan Pasal 6).

3. Optimalisasi Permukiman Bantaran Sungai

Optimalisasi permukiman bantaran sungai adalah upaya penataan kembali kawasan permukiman di tepi sungai agar memenuhi standar hunian layak, aman dari bencana banjir, serta tidak mengganggu fungsi ekologis sungai. Hal ini sejalan dengan amanat UU No. 20 Tahun 2011 yang bertujuan mengurangi luas dan mencegah terbentuknya permukiman kumuh serta mengarahkan pengembangan kawasan perkotaan yang seimbang, efisien, dan produktif.

2.5.2 Fungsi dan Tujuan Rumah Susun

Rumah susun merupakan salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan keterbatasan lahan dan kepadatan penduduk di kawasan perkotaan. Konsep hunian vertikal memungkinkan pemanfaatan lahan secara lebih efisien dengan menyediakan unit hunian yang tersusun secara bertingkat. Selain menjadi solusi penyediaan hunian, rumah susun juga berperan dalam meningkatkan kualitas lingkungan permukiman yang lebih tertata, sehat, dan berkelanjutan (Natalisa et al., 2021).

Secara normatif, tujuan penyelenggaraan rumah susun diatur dalam Undang-Undang Nomor 20 Tahun 2011 tentang Rumah Susun, yaitu untuk

menyediakan hunian yang layak dan terjangkau dalam lingkungan yang sehat dan aman, meningkatkan efisiensi pemanfaatan ruang dan tanah di perkotaan, mengurangi kawasan permukiman kumuh, serta mendukung pengembangan kawasan perkotaan yang lebih terpadu dan berkelanjutan (UU No. 20 Tahun 2011).

Dalam konteks urbanisasi yang terus meningkat, pengembangan hunian vertikal juga perlu memperhatikan kualitas lingkungan dan aspek sosial penghuninya. Penyediaan ruang terbuka dan fasilitas komunal menjadi penting untuk mendukung interaksi sosial serta menciptakan lingkungan hunian yang nyaman, aman, dan humanis bagi masyarakat perkotaan (Pramudito et al., 2025).

2.5.3 Jenis-jenis Rumah Susun

Berdasarkan Undang-Undang Nomor 20 Tahun 2011 tentang Rumah Susun, terdapat empat jenis rumah susun yang dibedakan berdasarkan peruntukannya, yaitu rumah susun umum, rumah susun khusus, rumah susun negara, dan rumah susun komersial (UU No. 20 Tahun 2011, Pasal 1 Ayat 7-10).

1. Rumah Susun Umum

Rumah Susun Umum adalah rumah susun yang diselenggarakan untuk memenuhi kebutuhan rumah bagi masyarakat berpenghasilan rendah (MBR). Rumah Susun Umum inilah yang kemudian berkembang menjadi dua varian berdasarkan status kepemilikannya, yaitu Rusunami (Rumah Susun Umum Milik) dan Rusunawa (Rumah Susun Umum Sewa) (Hak Milik Atas Satuan Rumah Susun, Jurnal Hukum, 2015).

- Rusunawa (Rumah Susun Sewa) adalah rumah susun sederhana yang dibangun dan dikelola pemerintah untuk disewakan kepada MBR yang belum memiliki kemampuan untuk memiliki hunian tetap. Batas maksimal pungutan sewa Rusunawa ditetapkan tidak melebihi 30% dari penghasilan bulanan penghuni (Permen PUPR No. 7 Tahun 2022).
- Rusunami (Rumah Susun Milik) adalah program pemerintah yang memberikan kemudahan kepemilikan hunian bagi MBR melalui skema Kredit Pemilikan Apartemen (KPA) bersubsidi, dengan bantuan berupa Subsidi Selisih Bunga (SSB) dan pembebasan PPN (Kementerian PUPR, 2022).

2. Rumah Susun Khusus

Rumah Susun Khusus merupakan rumah susun yang diselenggarakan untuk memenuhi kebutuhan khusus, seperti untuk korban bencana, masyarakat di daerah perbatasan, masyarakat terdampak program pembangunan pemerintah, pondok pesantren, buruh industri, dan tenaga kesehatan (UU No. 20 Tahun 2011, Pasal 1 Ayat 9).

3. Rumah Susun Negara

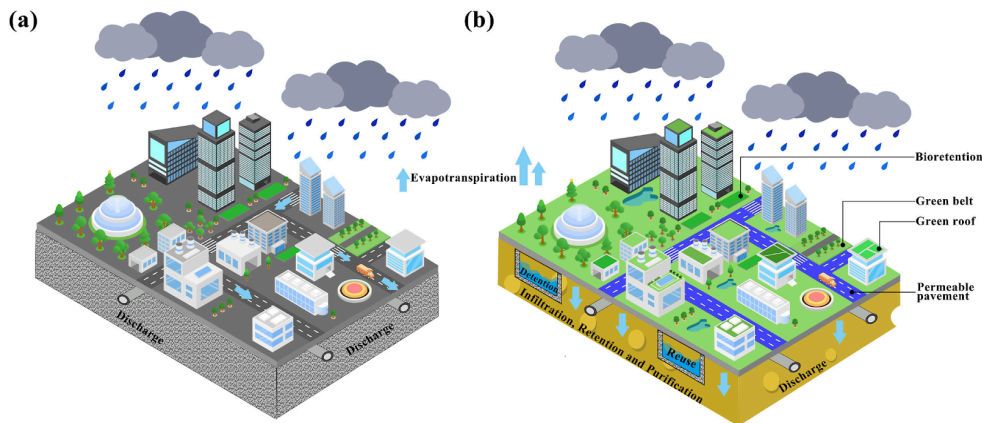
Rumah Susun Negara adalah rumah susun yang dimiliki oleh negara dan berfungsi sebagai tempat tinggal atau hunian, sarana pembinaan keluarga, serta penunjang pelaksanaan tugas pejabat dan/atau pegawai negeri (UU No. 20 Tahun 2011, Pasal 1 Ayat 10).

4. Rumah Susun Komersial

Rumah Susun Komersial adalah rumah susun yang diselenggarakan untuk mendapatkan keuntungan, dan oleh pengembang sering disebut sebagai apartemen, flat, atau kondominium. Rumah Susun Umum, Rusun Khusus, dan Rusun Negara merupakan tanggung jawab pemerintah, sedangkan Rumah Susun Komersial dapat dilaksanakan oleh setiap orang atau badan usaha swasta (UU No. 20 Tahun 2011, Pasal 16; Jurnal Hukum, 2015).

Selain pengelompokan berdasarkan peruntukan, menurut SNI 03-7013-2004, tipe hunian atau satuan rumah susun mempunyai ukuran standar minimum 18 m² dengan lebar muka minimal 3 m. Adapun minimal ruang yang tersedia pada rumah susun adalah ruang penerima, ruang keluarga, dapur, ruang tidur, kamar mandi, ruang cuci, dan gudang (Badan Standardisasi Nasional, 2004).

2.6 Konsep Sponge City



Gambar 2.5 Diagram konsep perkotaan konvensional vs konsep Sponge City

(sumber : <https://www.sciencedirect.com>)

Konsep Sponge City pertama kali dikembangkan di Tiongkok sebagai strategi pengelolaan air hujan berbasis alam (nature-based solutions). Kota dipandang seperti spons yang mampu menyerap, menyimpan, memurnikan, dan melepaskan kembali air secara perlahan ke lingkungan (Chan et al., 2018; Qi et al., 2020). Pendekatan ini dipopulerkan oleh Kongjian Yu, yang menekankan pentingnya integrasi lanskap ekologis ke dalam struktur kota sehingga sistem terbangun dapat meniru siklus hidrologi alami.

Program Sponge City secara eksplisit menargetkan pengurangan banjir permukaan, peningkatan kualitas air, serta konservasi sumber daya air melalui pemanfaatan jaringan ruang biru-hijau. Dengan demikian, air hujan tidak lagi diperlakukan sebagai limbah yang harus segera dibuang, melainkan sebagai sumber daya yang dikelola dan dimanfaatkan kembali.

Secara teoritis, prinsip utama Sponge City meliputi beberapa tahapan proses hidrologis yang saling berkaitan, yaitu infiltrasi, retensi, detensi, filtrasi, dan reuse. Rangkaian prinsip ini membentuk sistem pengelolaan air yang bersifat bertahap dan terdistribusi, sehingga beban terhadap drainase konvensional dapat dikurangi secara signifikan.

1. Infiltrasi - meningkatkan resapan tanah

Prinsip infiltrasi bertujuan mengembalikan kemampuan alami tanah dalam menyerap air hujan dengan mengurangi dominasi permukaan kedap air seperti beton dan aspal yang menyebabkan limpasan permukaan (runoff). Melalui proses ini, air diarahkan meresap ke dalam tanah sehingga menekan volume aliran permukaan sekaligus mengisi kembali cadangan air tanah (groundwater recharge). Penerapannya dilakukan melalui perkerasan berpori, rain garden, bioswale, sumur resapan, serta penyediaan lanskap terbuka, yang dalam konteks arsitektur dapat diwujudkan melalui plaza permeabel, courtyard tanah terbuka, dan pengurangan luas tapak tertutup bangunan.

2. Retensi - menahan air sementara

Prinsip retensi merupakan upaya menampung air hujan sementara sebelum dialirkan kembali ke sistem drainase, sehingga air tidak langsung menjadi limpasan permukaan. Strategi ini berfungsi mengurangi volume aliran sekaligus menyediakan cadangan air yang dapat dimanfaatkan kembali. Penerapannya dilakukan melalui kolam retensi, taman cekung (sunken garden), danau buatan, serta atap hijau dengan media tanam penyerap air, yang pada bangunan vertikal dapat diintegrasikan pada area atap maupun lantai dasar sebagai ruang tampungan sementara.

3. Detensi - memperlambat aliran air

Prinsip detensi berfokus pada pengendalian kecepatan aliran air dengan memperlambat pelepasan limpasan ke sistem drainase, sehingga debit puncak banjir dapat ditekan dan lonjakan aliran mendadak dapat dihindari. Berbeda dengan retensi yang menyimpan air, detensi mengatur pelepasan air secara bertahap melalui elemen seperti kolam detensi, saluran berliku, vegetasi rapat, dan tangki kontrol debit. Pada skala arsitektur, strategi ini dapat diterapkan melalui sistem talang bertahap, roof pond, atau controlled outlet untuk mengatur aliran air keluar dari bangunan.

4. Filtrasi - meningkatkan kualitas air

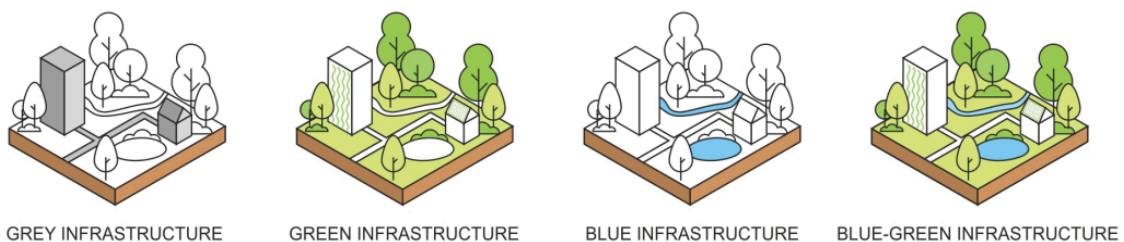
Prinsip filtrasi memanfaatkan proses biologis alami melalui tanah, akar tanaman, dan mikroorganisme untuk menyaring polutan sebelum air dikembalikan ke lingkungan, sehingga mampu mengurangi sedimen, logam berat, dan zat pencemar lainnya. Pendekatan ini menegaskan bahwa elemen lanskap tidak hanya berfungsi estetis, tetapi juga memiliki peran ekologis yang performatif. Implementasinya dapat berupa constructed wetland, biofilter tanaman air, sabuk hijau riparian, serta taman vegetatif atau green roof pada bangunan yang turut berperan sebagai media penyaring alami.

5. Reuse - pemanfaatan ulang air hujan

Prinsip Reuse atau pemanfaatan kembali air hujan yang telah tertampung untuk kebutuhan non-potable, seperti penyiraman tanaman, flushing toilet, pembersihan area, atau sistem pendingin. Pendekatan ini mengurangi ketergantungan terhadap pasokan air bersih kota sekaligus meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya air. Penerapannya dilakukan melalui sistem rainwater harvesting, tangki penampungan, serta jaringan utilitas terpisah (dual plumbing system), yang pada bangunan hunian vertikal memungkinkan pengelolaan air secara lebih mandiri, hemat, dan berkelanjutan.

2.7 Blue Green Infrastructure

Blue-Green Infrastructure dapat didefinisikan sebagai jaringan yang saling terhubung dari komponen lanskap alami dan terancang, mencakup badan air serta ruang hijau dan terbuka. Blue Green Infrastructure menghubungkan fungsi hidrologi perkotaan (blue infrastructure) dengan sistem vegetasi (green infrastructure) dalam desain lanskap perkotaan, sekaligus memberikan manfaat sosial-ekonomi secara keseluruhan. Proses yang mendasarinya adalah mekanisme berbasis ekosistem untuk pengelolaan air, yang menggunakan retensi, penyimpanan, infiltrasi, atau pembuangan polutan untuk mengelola berbagai elemen siklus air perkotaan (Liao et al., 2017).



Konsep Blue Green Infrastructure merupakan perluasan dari green infrastructure dengan menyertakan elemen berbasis air (blue). Blue Green Infrastructure berupaya mengintegrasikan dataran banjir alami, sungai, kolam, dan lahan basah ke dalam perencanaan komunitas, berdampingan dengan aset buatan seperti kanal dan instalasi pengolahan air. Infrastruktur ini dikembangkan sebagai alternatif terhadap sistem

pengelolaan air hujan konvensional, yang dikenal sebagai gray infrastructure, yang terdiri dari jaringan selokan, saluran pembuangan, bendungan, dan pipa yang mengalihkan air hujan dari kawasan permukiman .

Dalam konteks kawasan perkotaan yang rawan banjir seperti bantaran Sungai Bekasi, permasalahan lingkungan yang disertai kendala sosial-ekonomi memerlukan upaya pengelolaan banjir yang berkelanjutan dan terpadu melalui penerapan Blue Green Infrastructure. Blue Green Infrastructure dapat meminimalkan risiko banjir perkotaan melalui penilaian aksesibilitas masyarakat terhadap ruang biru-hijau dan perumusan beberapa parameter sosio-fisik untuk mengidentifikasi kawasan prioritas pengembangan komponen Blue Green Infrastructure

Komponen utama Blue Green Infrastructure yang relevan untuk penerapan pada kawasan permukiman bantaran sungai antara lain:

1. Kolam Retensi (Retention/Detention Pond)

Pembangunan Blue Green Infrastructure dilakukan sebagai upaya mengurangi dampak perubahan iklim dalam bentuk banjir melalui mitigasi struktural dalam konservasi keseimbangan air perkotaan, peningkatan kualitas air, serta pengurangan limpasan air hujan dan debit puncak. Salah satu penerapan Blue Green Infrastructure yang relevan adalah ruang terbuka hijau dengan kolam retensi sebagai upaya mencapai tujuan SDGs pada komponen Sustainable City (Aritenang et al., 2023). Kolam retensi dirancang untuk menampung dan menahan sementara volume air limpasan, kemudian melepaskannya secara perlahan ke saluran drainase sehingga debit puncak banjir dapat ditekan (Nurhidayati & Mussadun, 2022).

2. Bioswale (Saluran Vegetasi)

Bioswale adalah saluran terbuka yang menggunakan vegetasi atau mulsa untuk memperlambat, menyaring, dan mengolah air limpasan saat mengalir melalui saluran atau parit dangkal. Bioswale merupakan elemen linier yang cocok untuk mengolah limpasan air dari jalan raya atau jalan perumahan, dan membutuhkan area permukaan yang cukup berpori . Penerapan bioswale bersama permeable pavement dan planters box terbukti menjadi model pengendalian genangan yang efektif di kawasan permukiman padat perkotaan.

3. Rain Garden (Taman Hujan)

Penerapan rain garden pada lahan publik seluas 300 m² mampu mereduksi limpasan air hujan hingga 80-90% pada hujan intensitas sedang, sekaligus memberikan manfaat lingkungan dan sosial berupa peningkatan estetika kawasan, kenyamanan iklim mikro, serta fungsi edukatif bagi masyarakat. Rain garden merupakan alternatif yang efektif, adaptif, dan berkelanjutan untuk pengelolaan air hujan perkotaan.

4. Permeable Pavement (Perkerasan Permeabel)

Permeable pavement menyimpan dan/atau meresapkan air hujan di tempat jatuhnya. Lapisan permukaan yang permeabel dapat terbuat dari beton porus, aspal porus, atau paving blok permeabel yang saling mengunci. Air hujan meresap di permukaan dan tersimpan di lapisan bawah tanah berupa tanah dan kerikil, memungkinkan aliran menuju lapisan tanah atau keluar melalui underdrain. Penerapan permeable pavement pedestrian terbukti mampu meningkatkan kapasitas infiltrasi kawasan secara signifikan dan menjadi elemen kunci dalam mitigasi genangan banjir perkotaan (Nurhidayati & Mussadun, 2022).

5. Green Roof (Atap Hijau)

Green roof ditanami vegetasi dan substrat yang menangkap air hujan, kemudian melepaskannya secara perlahan melalui drainase, evaporasi, dan evapotranspirasi. Kombinasi elemen green infrastructure seperti bioretensi, atap hijau, ruang vegetasi, dan pohon jalan bersama elemen blue infrastructure seperti kolam retensi, kanal alami, dan waduk mikro secara konsisten mampu memulihkan neraca air pra-pengembangan sebesar 82-90%, menurunkan limpasan 35-45%, serta menurunkan suhu udara 3-5°C bergantung pada konfigurasi spasial dan kondisi iklim setempat.

2.8 Arsitektur sebagai Infrastruktur Ekologis

Konsep arsitektur sebagai infrastruktur ekologis berangkat dari pemahaman bahwa bangunan tidak berdiri terpisah dari alam, melainkan menjadi bagian dari sistem ekologi yang lebih luas. Arsitektur ekologis memandang lingkungan sebagai suatu ekosistem yang terdiri dari komponen biotik dan abiotik yang saling berinteraksi dan menjaga keseimbangan kehidupan. Oleh karena itu, perancangan arsitektur perlu memperhatikan efisiensi penggunaan energi, material, dan lahan, penggunaan bahan ramah lingkungan, pengelolaan air dan limbah, serta optimalisasi pencahayaan alami dan ventilasi sebagai bagian dari strategi desain berkelanjutan (Darman & Situmorang, 2024). Dengan pendekatan ini, bangunan tidak hanya berfungsi sebagai ruang hunian, tetapi juga menjalankan fungsi ekosistem seperti retensi air, pengaturan iklim mikro, dan peningkatan kualitas lingkungan.

Sebagai infrastruktur ekologis, bangunan terutama hunian vertikal di kawasan perkotaan padat dapat berperan dalam mendukung fungsi lingkungan melalui integrasi ruang terbuka hijau dan sistem pengelolaan air. Elemen seperti green roof, rain garden, kolam retensi, dan permukaan permeabel dapat membantu mengurangi limpasan permukaan, meningkatkan infiltrasi air, serta memperbaiki kualitas lingkungan perkotaan. Selain itu, ruang hijau perkotaan juga berfungsi sebagai penyangga ekologis yang membantu menstabilkan siklus hidrologi kota dan meningkatkan keanekaragaman hayati. Dalam konteks ini, hunian vertikal di kawasan bantaran sungai dapat menjadi solusi untuk memenuhi kebutuhan hunian sekaligus mendukung pemulihan fungsi ekologis kawasan (Rahmawati & Roychansyah, 2017).

Pendekatan ini juga berkaitan dengan konsep Sponge City dan Blue-Green Infrastructure, yang mengintegrasikan sistem alami dan rekayasa dalam pengelolaan air perkotaan. Infrastruktur biru mencakup badan air seperti sungai dan danau, sedangkan infrastruktur hijau meliputi vegetasi, taman kota, dan permukaan permeabel yang membantu mengurangi limpasan dan memperbaiki iklim kota. Dalam konteks bantaran Sungai Bekasi, penerapan arsitektur sebagai infrastruktur ekologis dapat berfungsi ganda, yaitu menyediakan hunian layak bagi masyarakat sekaligus meningkatkan ketahanan kawasan terhadap banjir melalui integrasi sistem air, lanskap, dan bangunan yang berkelanjutan (Wang et al., 2023).

2.9 Vegetasi dan Sistem Bio-Retensi sebagai Infrastruktur Hidrologi pada Hunian Vertikal

2.9.1 Peran Vegetasi dalam Mitigasi Banjir Perkotaan

Vegetasi dalam pendekatan Sponge City dan Low Impact Development (LID) diposisikan sebagai komponen aktif dalam pengelolaan air hujan, bukan sekadar elemen lanskap pasif. Tanaman berperan memperlambat aliran permukaan melalui peningkatan kekasaran tanah, meningkatkan infiltrasi melalui sistem perakaran, serta mengurangi volume limpasan melalui proses intersepsi kanopi dan evapotranspirasi. Akar tanaman juga membantu memperbaiki struktur tanah sehingga porositas meningkat dan kapasitas penyimpanan air bertambah.

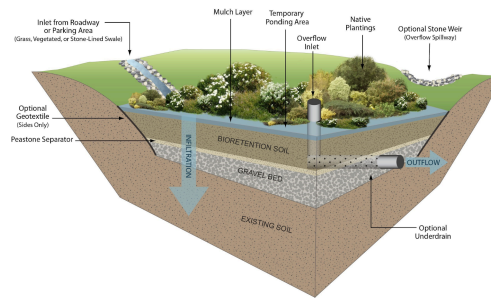
Dengan meningkatnya kemampuan tanah dalam menyerap dan menyimpan air, vegetasi secara langsung berkontribusi dalam menurunkan debit puncak (peak discharge) serta menunda waktu konsentrasi limpasan menuju sungai. Proses ini penting dalam konteks perkotaan yang didominasi permukaan kedap air, karena vegetasi mampu mengembalikan sebagian fungsi alami siklus hidrologi yang hilang akibat urbanisasi. Dengan demikian, keberadaan vegetasi tidak hanya berfungsi sebagai elemen estetika, tetapi juga sebagai infrastruktur ekologis yang memiliki kinerja hidrologis yang signifikan.

Pada konteks hunian vertikal bantaran sungai, vegetasi di lantai dasar atau ruang terbuka tapak dapat difungsikan sebagai zona penyangga hidrologi (buffer zone) yang bekerja menahan, menyerap, dan menyaring air sebelum mencapai badan sungai atau area hunian. Strategi ini sejalan dengan konsep blue-green infrastructure yang mengintegrasikan elemen ekologis ke dalam sistem arsitektur untuk meningkatkan ketahanan kawasan terhadap banjir.

2.9.2 Teknologi Sistem Tanaman untuk Hunian Vertikal

Berikut beberapa teknologi sistem tanaman yang dapat diterapkan di bawah maupun di sekitar bangunan vertikal sebagai bagian dari strategi pengelolaan air hujan dan peningkatan kualitas lingkungan:

1. Rain Garden / Bioretention Cell

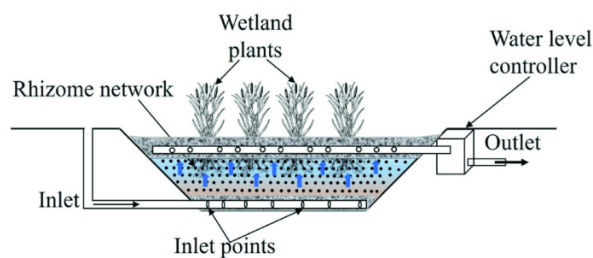


Gambar 2.6 Diagram Konsep Rain Garden

(sumber : <https://megamanual.geosyntec.com>)

Rain garden atau bioretention cell merupakan sistem resapan vegetatif berskala tapak yang dirancang untuk menampung limpasan air hujan sementara sebelum dialirkan ke sistem drainase kota. Prinsip kerjanya adalah memperlambat aliran permukaan dengan cara menahan air pada cekungan dangkal, kemudian meresapkannya secara bertahap melalui media tanah berpori. Selama proses tersebut, air mengalami filtrasi alami melalui lapisan pasir, kerikil, dan tanah, serta diserap oleh akar tanaman sehingga kualitas air meningkat dan volume limpasan berkurang. Sistem ini efektif menurunkan debit puncak (peak discharge) sekaligus meningkatkan infiltrasi tanah. Dalam konteks hunian vertikal adaptif banjir, rain garden dapat ditempatkan pada lantai dasar pilotis, courtyard, maupun perimeter bangunan sebagai zona transisi antara bangunan dan tanah. Dengan demikian, area kolong bangunan berfungsi sebagai ruang resapan aktif yang menahan air sebelum mencapai Sungai Bekasi.

2. Constructed Wetland / Kolam Retensi Vegetatif



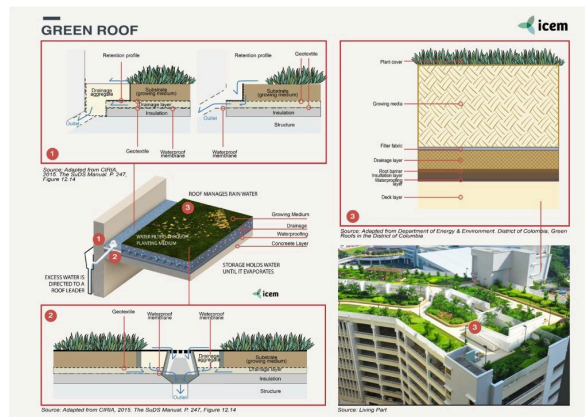
Gambar 2.7 Diagram Konsep Constructed Wetland

(sumber : *Ponds and Wetlands for Treatment of Wastewater*)

Constructed wetland atau kolam retensi vegetatif merupakan sistem penyimpanan air berbasis lanskap yang bekerja dengan menahan air hujan dalam volume besar saat terjadi curah hujan tinggi, kemudian melepaskannya secara perlahan melalui proses detensi. Kolam ini ditanami vegetasi air atau semi-akuatik yang berfungsi menyaring sedimen, menyerap nutrisi berlebih, serta memperbaiki kualitas air melalui proses fitoremediasi. Selain sebagai pengendali banjir, sistem ini juga

memberikan manfaat ekologis dan sosial berupa habitat biodiversitas, ruang terbuka publik, serta pendinginan mikroklimat kawasan. Pada perancangan hunian bantaran sungai, kolam retensi vegetatif sangat relevan ditempatkan di tepi sungai, plaza terbuka, atau ruang komunal sebagai penyangga (buffer) antara permukiman dan badan air. Keberadaannya membantu mengurangi tekanan langsung limpasan ke sungai sekaligus menghadirkan kualitas ruang lanskap yang rekreatif.

3. Green Roof & Planter Bertingkat



Gambar 2.8 Diagram Konsep Green Roof & Planter Bertingkat

(sumber : <https://lisa.icem.com.au>)

Green roof dan planter bertingkat merupakan strategi pengelolaan air hujan pada skala bangunan dengan memanfaatkan permukaan atap dan teras sebagai media vegetasi. Lapisan tanah, media tanam, dan sistem drainase pada atap hijau mampu menahan sekitar 50-80% curah hujan awal, sehingga aliran air menuju talang dan drainase tertunda. Proses evapotranspirasi tanaman juga membantu mengurangi volume air secara alami sekaligus memperbaiki mikroklimat bangunan. Pada hunian vertikal, penerapan green roof, balkon hijau, serta teras bertingkat memungkinkan distribusi vegetasi secara vertikal sehingga fungsi retensi tidak hanya terjadi di permukaan tanah, tetapi juga di setiap level bangunan. Strategi ini efektif menurunkan beban limpasan kumulatif sekaligus meningkatkan kualitas termal, kenyamanan visual, dan ruang komunal bagi penghuni.

2.9.3 Teknologi Aktif Pendukung Vegetasi

Pada area bawah hunian vertikal atau ruang pilotis, cahaya alami sering tidak mencukupi untuk mendukung fotosintesis tanaman. Meski strategi pasif seperti courtyard dan void diutamakan, beberapa kondisi tapak memerlukan teknologi aktif sebagai pendukung suplai cahaya, nutrisi, dan air agar vegetasi tetap berfungsi sebagai elemen bio-retensi dan infrastruktur ekologis. Penggunaannya dilakukan secara selektif untuk menjaga efisiensi energi dan keberlanjutan.

1. Grow Light LED (Lampu Fotosintesis)



Gambar 2.9 Diagram Konsep Grow Light LED

(sumber : Olah Visual)

Grow light LED merupakan teknologi pencahayaan buatan yang dirancang khusus untuk mendukung proses fotosintesis tanaman dengan memancarkan spektrum cahaya merah dan biru yang menyerupai sinar matahari. Cahaya merah berfungsi merangsang pertumbuhan batang dan pembungaan, sedangkan cahaya biru membantu perkembangan daun dan klorofil. Pada ruang teduh seperti kolong bangunan atau bawah *flyover*, lampu ini dapat menggantikan keterbatasan cahaya alami sehingga tanaman tetap mampu tumbuh secara sehat. Keunggulan sistem ini adalah konsumsi energi yang relatif rendah, umur pakai panjang, serta dapat diatur menggunakan *timer otomatis* sesuai kebutuhan siklus cahaya tanaman. Namun, penggunaan grow light tetap memerlukan pasokan listrik dan biaya operasional, sehingga penerapannya sebaiknya terbatas pada area kritis atau tanaman tertentu saja. Dalam konteks hunian vertikal, teknologi ini cocok untuk taman teduh, *vertical garden interior*, atau zona bio-retensi yang minim akses cahaya.

2. Reflektif Surface & Light Shelf System (Pemantul Cahaya Alami)



Gambar 2.10 Diagram Konsep Reflektif Surface & Light Shelf System

(sumber : Olah Visual)

Sistem reflektif memanfaatkan permukaan terang atau panel pemantul untuk mengarahkan cahaya matahari ke area teduh. *Light shelf*, kanopi aluminium, atau dinding berwarna terang dapat memantulkan cahaya ke bagian dalam ruang sehingga meningkatkan pencahayaan difus secara pasif. Teknologi ini relatif sederhana, tidak membutuhkan energi listrik, dan mudah diintegrasikan ke elemen arsitektur seperti fasad, soffit, atau plafon bawah bangunan. Pada hunian vertikal, reflektor cahaya dapat ditempatkan di tepi bangunan atau di atas taman *pilotis*

untuk memperbesar distribusi cahaya alami. Pendekatan ini meningkatkan efisiensi vegetasi sekaligus menjaga kenyamanan termal karena cahaya yang masuk tidak bersifat langsung dan panas.

2.10 Teknologi Pembersihan Lumpur Pasca Banjir

Banjir pada kawasan permukiman, khususnya di bantaran sungai, sering meninggalkan endapan lumpur dan sedimen yang dapat mengganggu aktivitas penghuni serta menurunkan kualitas lingkungan. Sedimentasi merupakan suatu proses pengendapan dari bahan partikel yang terangkut atau terbawa air akibat erosi, dan berdampak pada sungai, saluran, waduk, dan bangunan di sekitarnya. Faktor-faktor yang mempengaruhi sedimentasi meliputi intensitas curah hujan, formasi geologi dan jenis tanah, tata guna lahan, serta erosi di bagian hulu. Oleh karena itu, sistem penanganan pasca banjir perlu dipertimbangkan dalam perancangan kawasan agar proses pemulihan lingkungan dapat berlangsung lebih cepat dan efisien. Pembangunan sistem dan saluran drainase yang hanya berwawasan lokal hanya dapat mengalihkan permasalahan banjir, bukan menyelesaikannya. Untuk mengatasi masalah banjir perkotaan, diperlukan sistem drainase tepat guna yang tidak harus berupa bangunan mahal, melainkan sistem yang memperhatikan perilaku alamiah air dan tanah secara menyeluruh. Penerapan teknologi pembersihan lumpur dapat membantu mempercepat proses pemulihan kawasan melalui integrasi sistem mekanis, hidrolis, dan perancangan infrastruktur kawasan yang mendukung pengelolaan sedimen.

Berikut beberapa teknologi yang dapat diintegrasikan dalam perancangan kawasan hunian vertikal bantaran sungai:

1. Sistem Penyemprot Air Bertekanan (High-Pressure Water Spray System)

Sistem ini menggunakan nozzle atau sprinkler yang tertanam pada permukaan lantai atau tanah dan dapat diaktifkan secara otomatis untuk menyemburkan air bertekanan tinggi guna melonggarkan lumpur pada permukaan jalan, plaza, atau area terbuka. Lumpur yang terurai kemudian dialirkan menuju saluran drainase atau bak penampung sedimen. Selain berfungsi untuk membersihkan permukaan kawasan, sistem penyemprot bertekanan juga dapat membantu menurunkan suhu permukaan dan meningkatkan kenyamanan iklim mikro pada ruang publik perkotaan. Teknologi ini relevan diterapkan pada area terbuka di lantai dasar hunian vertikal karena mampu mempercepat proses pembersihan pasca banjir secara efisien.

2. Sistem Saluran Sedimen (Sediment Trap System)

Sistem saluran sedimen merupakan bagian dari jaringan drainase yang dirancang untuk menangkap dan mengendapkan lumpur sebelum air masuk ke saluran utama. Saluran ini biasanya dilengkapi dengan bak pengendap atau kolam retensi kecil yang

memungkinkan partikel sedimen mengendap secara alami sebelum air dialirkan kembali ke sungai. Penerapan sistem drainase yang baik, termasuk pembersihan saluran yang mengalami pendangkalan akibat sedimen, terbukti efektif dalam meningkatkan kapasitas drainase kawasan permukiman pasca banjir. Kolam retensi juga berfungsi menampung sementara limpasan air dan melepaskannya secara bertahap sehingga dapat menekan debit puncak banjir (Sangkawati & Sugiyanto, 2024).

3. Sistem Pompa Lumpur (Slurry Pump System)

Pompa lumpur digunakan untuk memindahkan campuran air dan sedimen dari area genangan menuju tempat penampungan atau kolam pengendap. Sistem ini mampu mengalirkan lumpur melalui pipa menuju lokasi pembuangan sehingga mempermudah proses pembersihan kawasan dengan volume lumpur yang besar. Dalam sistem manajemen banjir perkotaan, pompa menjadi komponen penting untuk mengeluarkan air dan sedimen terutama pada kawasan dengan elevasi rendah seperti bantaran sungai.

4. Sistem Pembersihan Mekanis (Street Sweeper / Vacuum System)

Teknologi ini menggunakan kendaraan atau alat penyedot khusus untuk mengangkat lumpur dan sedimen dari permukaan jalan atau area terbuka. Sistem penyedot vakum bekerja dengan mengumpulkan lumpur yang telah dilonggarkan oleh air atau alat mekanis lainnya sehingga proses pembersihan dapat berlangsung lebih cepat. Pemeliharaan rutin melalui pembersihan mekanis menjadi bagian penting dalam menjaga kinerja sistem drainase perkotaan, terutama setelah kejadian banjir.

Secara keseluruhan, penerapan teknologi pembersihan lumpur secara terintegrasi dapat meningkatkan ketahanan kawasan terhadap dampak banjir. Kombinasi sistem penyemprot air, saluran sedimen, pompa lumpur, serta pembersihan mekanis dapat mempercepat proses pemulihan kawasan pasca banjir. Pendekatan ini sejalan dengan konsep ketahanan perkotaan yang menekankan kesiapsiagaan, mitigasi, dan pemulihan pasca bencana sebagai bagian dari perencanaan kawasan yang berkelanjutan.

2.11 Studi Preseden

Studi preseden dilakukan terhadap Punggol Waterway Terraces dan Ca' delle Alzaie sebagai referensi dalam merumuskan konsep perancangan yang relevan dengan tema Optimalisasi Permukiman Bantaran Sungai Bekasi melalui Pengembangan Hunian Vertikal sebagai Bagian dari Infrastruktur Mitigasi Banjir, khususnya dalam hal integrasi hunian vertikal dengan sistem pengelolaan air, blue-green infrastructure, serta strategi desain adaptif terhadap risiko banjir di kawasan bantaran sungai.

2.11.1 Punggol Waterway Terrace



Gambar 2.11 Punggol Waterway Terrace

(sumber : <https://sgmark.org/>)

Nama	: Punggol Waterway Terraces (Waterway Terraces I & II)
Luas Tapak	: $\pm 78.000 \text{ m}^2$
Lokasi Tapak	: Punggol Waterway, Punggol, Singapura
Kategori Bangunan	: High-rise residential / Public housing (HDB)
Jumlah Lantai	: 18 lantai
Jumlah Blok	: 6 blok
Tahun Pembangunan	: 2011-2015
Jumlah Unit Hunian	: ± 1.072 unit
Tipe Unit Hunian	: 3-room (67 m^2), 4-room (92 m^2), dan 5-room (112 m^2)



Gambar 2.12 Site Plan Punggol Waterway Terrace

(sumber : <https://www.designboom.com/>)

Pengembangan kawasan hunian publik di wilayah Punggol sebagai bagian dari program Eco-Town Punggol yang mengintegrasikan hunian dengan lanskap air

serta ruang terbuka hijau di sepanjang Punggol Waterway. Proyek ini bertujuan menyediakan hunian berkualitas bagi masyarakat Singapura sekaligus menciptakan lingkungan hunian yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Punggol Waterway Terraces dirancang dengan konsep hunian vertikal yang terintegrasi dengan lanskap tepi air. Desain bangunan membentuk teras bertingkat yang menyerupai kontur lanskap sehingga menciptakan hubungan visual dan ekologis antara hunian dan kanal air. Pendekatan ini memungkinkan terciptanya ruang terbuka hijau yang luas serta meningkatkan kualitas lingkungan hunian melalui integrasi elemen air dan vegetasi sebagai bagian dari sistem ekologi perkotaan.

2.11.2 Ca' delle Alzaie



Gambar 2.13 Ca' delle Alzaie

(sumber : <https://www.wearch.eu/>)

Nama	: Ca' delle Alzaie
Luas Tapak	: $\pm 10.753 \text{ m}^2$
Lokasi Tapak	: Tepi Sungai Sile, Treviso, Italia
Kategori Bangunan	: Mid-rise residential / private housing
Jumlah Lantai	: 7 lantai + basement
Jumlah Blok	: 3 blok
Tahun Pembangunan	: 2016-2018
Jumlah Unit Hunian	: ± 60 unit
Tipe Unit Hunian	: Hunian dengan 2-3 kamar tidur per unit



Gambar 2.14 Site Plan Ca' delle Alzaie

(sumber : <https://www.wearch.eu/>)

Revitalisasi kawasan bekas industri di tepi Sungai Sile menjadi kawasan hunian yang lebih berkualitas serta memperkuat hubungan antara kawasan permukiman dengan lanskap sungai.

Proyek Ca' delle Alzaie dirancang oleh Stefano Boeri Architetti dengan pendekatan arsitektur yang menekankan integrasi antara bangunan, lanskap, dan lingkungan perairan. Bangunan hunian dirancang dengan orientasi yang menghadap ke arah sungai serta dilengkapi dengan ruang terbuka dan vegetasi yang berfungsi meningkatkan kualitas lingkungan sekaligus menjaga hubungan ekologis antara kawasan hunian dan sistem sungai. Pendekatan ini bertujuan menciptakan lingkungan hunian yang nyaman, berkelanjutan, serta sensitif terhadap konteks lanskap alami di sekitarnya.

2.11.3 Perbandingan Punggol Waterway Terrace dan Ca' delle Alzaie

PROGRAM RUANG PER LANTAI

Tabel 2.1 Program Ruang Perlantai

Parameter	Punggol Waterway Terrace	Ca' delle Alzaie
Basement / Bawah Tanah	Tidak ada basement. Parkir kendaraan: surface parking & koridor terbuka di bawah bangunan.	- Garasi kendaraan privat (underground basement plate) - Atap basement → dimanfaatkan sebagai ruang hijau besar (taman komunal bertingkat) - Taman privat untuk unit lantai 1 (garden apartment)

		• Kebun sayur komunal (condominium vegetable plots)
Lantai Dasar (Ground Floor)	• Void deck terbuka (ruang komunal semi-outdoor) → sirkulasi pejalan kaki & kegiatan komunitas • Hexagonal courtyard bertemakan lanskap (palm garden, jungle courtyard) • Water Points: basin air melingkar di sepanjang promenade kanal → area bermain anak • Jalur promenade sepanjang kanal (bersepeda & skating) • Akses ke jembatan pejalan kaki di atas kanal • Ruang terbuka hijau yang menghubungkan berbagai jalur pedestrian • Klinik / fasilitas kesehatan (di kawasan Punggol) • Food court / kios makanan (di podium kawasan)	• Apartemen lantai 1 dengan taman privat (garden apartment langsung ke tanah) • Embankment / lereng hijau menuju Sungai Sile • Jalur pedestrian & sepeda publik (Restera path) → terhubung ke Viale IV Novembre & pusat kota • Area parkir outdoor (sisi utara tapak) dengan bangku linear & rak sepeda • Peralatan olahraga outdoor • Retaining wall 2 m: memisahkan area publik dan taman privat • Akses masuk bangunan (sisi utara, dipotong oleh dinding beton)
Lantai 1 - 3 (Lower Floors)	• Unit hunian: 3-room & 4-room (70-90 m²) • Setiap unit: Juliet balcony sebagai sunshading dan rain protection • Koridor double-loaded terbuka, berventilasi alami • Lift core + breezeway vertikal (ventilasi tiap 3 unit)	• Unit hunian: 2-3 kamar tidur (avg. 3 unit/lantai per blok) • Teras bervegetasi per unit → minimal 1 pohon per teras • Loggia bertemakan tanaman dan semak besar (native species) • Jendela besar menghadap sungai & taman
Lantai 4 - 6 (Mid Floors)	• Unit hunian berlanjut (4-room premium) • Semua unit diorientasikan ke waterway / courtyard / taman tepi kanal • Sky terrace komunal di	• Unit hunian berlanjut • Fasad utara dan selatan: pohon besar & semak terintegrasi • Teras gantung bervegetasi tiap lantai • Pandangan bebas ke Sungai Sile

	beberapa lantai penghubung Vertical garden terintegrasi pada fasad blok	dari setiap unit
Lantai Paling Atas (Top Floor / Attic)	- Unit 5-room premium (lantai teratas, pandangan terbaik ke kanal) - Roof garden komunal - Panel surya (solar PV) - Ruang mekanikal & elektrik	- Apartemen attic (unit atap) - Teras atap privat bervegetasi - Panel surya & sistem energi terbarukan - Ruang mekanikal

KONSEP GREEN-BLUE INFRASTRUCTURE

Tabel 2.2 Konsep Green Blue Infrastructure

Parameter	Punggol Waterway Terrace	Ca' delle Alzaie
Elemen Hijau (Green Infrastructure)	80% vegetasi: spesies atraktif biodiversitas (buku Dense+Green Cities, Schröpfer) - Tematik heksagonal: palm garden, jungle courtyard, taman air - Juliet balcony bertingkat sebagai shading + elemen hijau fasad - Roof garden komunal - Sistem irigasi otomatis	51% luas tapak = ruang hijau (~2 hektar) 400 tanaman bertrunk rendah + 170 pohon besar, 120 di antaranya pada fasad - Spesies dipilih dari daftar tanaman asli Sile Park Environmental Plan - Kebun komunal + taman privat per unit - Embankment bunga liar sebagai infrastruktur hijau permeable - Mampu memproduksi >2,7 ton oksigen per tahun
Elemen Biru (Blue Infrastructure)	- Water Points: basin air melingkar sepanjang promenade kanal - Integrasi penuh dengan Punggol Waterway (kanal terkontrol PUB) - ABC Waters Design (Active, Beautiful, Clean Waters - PUB Singapore) - Orientasi massa terhadap kanal sebagai elemen desain	- Bangunan menghadap langsung Sungai Sile (sungai alami) - Lereng hijau taman menurun ke sungai secara gradual - Parit irigasi existing (sisi utara tapak) dipertahankan - Jalur Restera publik: koneksi antara warga kota dan sungai

	utama	
Pengelolaan Air & Sistem Irigasi	• Irigasi otomatis untuk seluruh vegetasi • Rainwater harvesting terintegrasi dalam program Eco-Town Punggol • Sistem drainase: kanal sebagai infrastruktur utama pengelolaan air	• Irigasi otomatis untuk vegetasi fasad dan taman • Anti-pollution paint pada seluruh fasad bangunan • Parit irigasi existing paralel di sisi utara tapak → dipertahankan sebagai infrastruktur air
Iklim Mikro & Kenyamanan Termal	• Cross-ventilation melalui koridor terbuka (tidak ada dead-end) • Breezeway vertikal dari lift core • Shading oleh Juliet balcony bertingkat (horizontal & vertikal) • Vegetasi mengurangi efek Urban Heat Island • Koridor & parkir: pencahayaan dan ventilasi pasif	• Pohon pada fasad → insulasi termal alami • Orientasi selatan: solar gain pasif optimal • Vegetasi fasad: penyerapan partikel debu & isolasi akustik • Kelas energi A (efisiensi tertinggi)

STRATEGI MITIGASI BANJIR & RESILIENSI

Tabel 2.3 Strategi Mitigasi Banjir & Resiliensi

Parameter	Punggol Waterway Terrace	Ca' delle Alzaie
Pendekatan Utama	• Integrasi dengan sistem kanal terkontrol (Punggol Waterway sebagai infrastruktur biru resmi PUB - Public Utilities Board - Singapura).	• Sistem embankment & lereng hijau alami sebagai buffer antara bangunan dan sungai; basement garasi sebagai lapisan perlindungan elevasi.
Sistem Kanal / Sungai	• Kanal didesain sebagai controlled waterway • Promenade elevated dari muka air banjir normal • Sistem ABC Waters: integrasi drainase dengan desain kawasan	• Retaining wall setinggi 2 m: memisahkan jalur publik Restera dari taman privat • Lereng selatan menurun secara bertahap ke sungai (tidak tegak lurus) • Basement garasi: lapisan

		perlindungan + mencegah air permukaan masuk ke zona privat
Permukaan Permeabel & Sponge City	● Courtyard heksagonal: dominan soft landscape (bukan beton) ● Vegetasi masif menyerap limpasan air hujan (run-off reduction) ● Parkir & sirkulasi: sesedikit mungkin hard surface	● Hampir seluruh tapak: taman (minimal area keras) ● Embankment padang bunga liar seluruhnya permeabel → infiltration zone ● Satu-satunya area keras: parkir utara (seminimal mungkin)
Elevasi Bangunan	● Bangunan tidak elevated secara signifikan terhadap kanal; perlindungan utama dari sistem kontrol kanal (PUB).	● Lantai 1 terangkat di atas atap basement garasi; efek: zona hunian mulai dari ketinggian aman di atas muka air sungai.

KELENGKAPAN FASILITAS

Tabel 2.4 Fasilitas Punggol Waterway Terraces dan Ca' delle Alzaie

Parameter	Punggol Waterway Terrace	Ca' delle Alzaie
Unit Hunian	✓ Ada	✓ Ada
Taman / RTH Publik	✓ Ada	✓ Ada
Promenade / Jalur Tepi Air	✓ Ada	✓ Ada
Jalur Sepeda & Pejalan Kaki	✓ Ada	✓ Ada
Area Bermain Anak (Water Points)	✓ Ada	- Tidak Ada

Courtyard / Taman Komunal	✓ Ada	✓ Ada
Vertical Garden / Green Façade	✓ Ada	✓ Ada
Kebun Komunal / Area Bercocok Tanam	✓ Ada	✓ Ada
Roof Garden / Taman Atap	✓ Ada	✓ Ada
Fasilitas Niaga / Food Court	✓ Ada	- Tidak Ada
Fasilitas Kesehatan (Klinik)	✓ Ada	- Tidak Ada
Masjid / Tempat Ibadah	- Tidak Ada	- Tidak Ada
Parkir Kendaraan	✓ Ada	✓ Ada
Parkir Sepeda	✓ Ada	✓ Ada
Peralatan Olahraga Outdoor	- Tidak Ada	✓ Ada
Akses Langsung ke Tepi Air / Sungai	✓ Ada	✓ Ada

Panel Surya / Energi Terbarukan	✓ Ada	✓ Ada
---------------------------------	-------	-------

2.11.4 Kelebihan dan Kekurangan

Tabel 2.5 Kelebihan dan Kekurangan Punggol Waterway Terraces dan Ca' delle Alzaie

Parameter	Punggol Waterway Terrace	Ca' delle Alzaie
Kelebihan	• Blueprint hunian massal berkelanjutan yang telah diakui secara global; memenangkan kompetisi internasional HDB pertama untuk asing. • Satu-satunya proyek perumahan publik (HDB) dengan kualitas desain premium: orientasi, ventilasi, dan view seluruh unit ke waterway. • Skala besar (1.072 unit) → dampak sosial dan komunitas yang luas. • Ventilasi pasif tropis terinspirasi SIT: zero dead-end corridor, breezeway vertikal, Juliet balcony sebagai shading. • Integrasi penuh dengan Punggol Waterway: promenade, water points, jalur sepeda → memperkuat koneksi warga dengan air. • Hexagonal plan: menciptakan keragaman pemandangan dan interaksi sosial (courtyard komunal	• Desain bertanggung jawab secara ekologis: 51% lahan adalah ruang hijau (~2 hektar), 120 pohon terintegrasi di fasad. • Setiap unit memiliki setidaknya satu teras dengan satu pohon → kualitas hidup biophilic per unit terjamin. • Menghasilkan >2,7 ton oksigen/tahun dari fasad hijau saja (Stefano Boeri Architetti, 2018). • Regenerasi lahan industri bekas: mengubah kawasan terbengkalai menjadi lingkungan residensial berkualitas tinggi. • Mengaktifkan kembali jalur publik Restera → menghubungkan warga Treviso dengan Sungai Sile dan pusat kota bersejarah. • Kelas energi A, material anti-polusi, dan energi terbarukan → bangunan zero-impact. • Rotasi berbeda tiap blok → privasi optimal + pandangan bebas ke sungai dari seluruh unit. • Spesies tanaman native dari Sile

	bertema). ● Harga terjangkau (HDB BTO) meski kualitas lingkungan setara hunian premium. ● Bagian dari ekosistem Eco-Town Punggol: terkoneksi ke sistem transportasi, sekolah, dan fasilitas kota.	Park → berkontribusi pada biodiversitas lokal.
Kekurangan	● Void deck cenderung gelap dan kurang nyaman: kurangnya cahaya matahari di bawah struktur bertingkat tinggi. ● Beberapa elemen dekoratif Juliet balcony dilaporkan kurang tahan lama di iklim tropis lembab (feedback penghuni). ● Parkir kendaraan terbatas untuk skala kompleks 1.072 unit, terutama saat volume kendaraan meningkat. ● Ketergantungan pada sistem kanal terkontrol PUB: jika manajemen kanal bermasalah, flood risk meningkat. ● Sebagai hunian publik (HDB), customisasi unit sangat terbatas oleh regulasi. ● Pemeliharaan vegetasi skala besar membutuhkan biaya operasional berkelanjutan.	● Skala kecil (60 unit) → manfaat komunal terbatas; fasilitas publik aktif (niaga, kesehatan) tidak tersedia di dalam tapak. ● Hunian privat premium → tidak inklusif untuk Masyarakat Berpenghasilan Rendah (MBR). ● Biaya pemeliharaan irigasi fasad hijau sangat tinggi dan memerlukan sistem khusus. ● Minim fasilitas aktif komunal: tidak ada food court, klinik, atau ruang publik multifungsi. ● Lokasi di luar pusat kota Treviso → bergantung pada kendaraan pribadi atau sepeda untuk akses fasilitas kota. ● Pemilihan spesies tanaman yang spesifik (native Sile Park) membatasi fleksibilitas desain tapak.

2.11.5 Rangkuman Studi Preseden

Tabel 2.6 Rangkuman Studi Preseden

Parameter	Punggol Waterway Terrace	Ca' delle Alzaie
Jumlah Blok	6 tower (2 kelompok × 3 tower)	3 blok residensial
Luas Lahan (m ²)	78.000 m ² (7,8 hektar)	10.753 m ²
Luas Satu Blok (m ²)	Per tower: ±2.000-2.500 m ² (18 lantai)	Per blok: ±1.125-1.200 m ² (7 lantai)
Luas Total Blok Bangunan (m ²)	±2.500 m ² × 6 = ±15.000 m ² (bersih, excl. kawasan)	±1.163 m ² × 3 = ±3.489 m ² (GFA ±13.373 m ²)
Perbandingan Luas Blok Bangunan dan Luas Lahan	15.000 : 78.000 = 1 : 5,2 (KDB ±19%)	3.489 : 10.753 = 1 : 3,1 (KDB ±32%)
Kapasitas Unit Hunian	• 1.072 unit total • Tipe 3-room: 721 sqft • Tipe 4-room: 969 sqft • Tipe 5-room: 1.206 sqft Total: 1.072 unit	• 60 unit total • 2 kamar tidur • 3 kamar tidur • Attic units Total: 60 unit
Tipe Unit Hunian	• 3-room: ±67 m² (2 KT) • 4-room: ±90 m² (3 KT) • 5-room: ±112 m² (3 KT+ruang kerja)	• 2 KT: ±75-90 m² • 3 KT: ±100-120 m² • Attic: ±120-150 m²
Ketinggian Bangunan	± 54 m (18 lantai)	± 27 m (7 lantai + basement)
Desain	Modern Premium, Tropis Pasif (hexagonal stepping terrace)	Kontemporer Ekologis, Biophilic Design (Vertical Forest mid-rise)

Konsep Hijau & Tepi Air	ABC Waters Design (PUB) Waterway promenade & water points Hexagonal courtyard tematik Juliet balcony sebagai shading	51% tapak = ruang hijau 120 pohon terintegrasi fasad >2,7 ton oksigen/tahun Lereng embankment ke sungai
Mitigasi Banjir	Kanal terkontrol PUB Permukaan permeabel masif Sistem ABC Waters drainase Elevasi promenade > muka banjir	Retaining wall 2 m Basement sebagai buffer elevasi Embankment permeabel (bunga liar) Basement garasi: lapisan pelindung
Fasilitas Komunitas	Void deck serbaguna Promenade & water points Roof garden Food court, klinik (kawasan)	Taman komunal di atas basement Kebun komunal Jalur Restera publik (tanpa food court / klinik)
Aspek Universal Design	✓ Akses lift, koridor lebar 1,8 m	✓ Akses difabel, ramp, jalur khusus
Harga Sewa / Harga Jual	SGD 300.000-500.000 (harga jual HDB BTO)	Harga privat premium (tidak dipublikasikan)
Kata Kunci Konsep	Waterfront Living Passive Tropical Design Community Identity Stepping Mass ABC Waters	Vertical Forest Biophilic Design Urban Regeneration Zero-Impact Housing River Edge