



SEMAR-SUDS : Sistem Drainase Cerdas dan Berkelanjutan Berbasis Sustainable Urban *Drainage Systems* sebagai Mitigasi Bencana Banjir di Kawasan Polder Tawang Semarang

Retsya Saputri^{1*}, Valiensia Dian Permata Sari², Amalina Fildza Hafila³,
Rio Devilito⁴

¹⁻⁴Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Vokasi, Politeknik Negeri Semarang, Indonesia

Email : retsyaasaputri@gmail.com¹, rio.devilito@polines.ac.id⁴

*Penulis Korespondensi : retsyaasaputri@gmail.com

Abstract. Semarang City is an urban area with a high vulnerability to flooding. Based on data from the Semarang City Regional Disaster Management Agency, in 2022 there were 133 flood events with extreme rainfall reaching 200 mm per day. Kota Lama Semarang is a historical tourist destination with high heritage value, but this area often faces flooding challenges, especially around the Tawang Polder Area with inundation reaching 30-100 cm. This condition is triggered by an existing drainage system that is not optimal due to limited channel capacity and blockages caused by sedimentation. The purpose of this study is to develop the SEMAR-SUDs smart drainage system innovation. The writing method was carried out through literature studies, hydrometeorological data reviews, and descriptive-quantitative analyses, which formed the basis for the design and implementation of the innovation. SEMAR-SUDs (Semarang-Sustainable Urban Drainage Systems) concept is an integrative solution that combines three main elements Debris Separate Baffle Boxes (DSBB) as a technology for separating waste and sediment, ArborFlow technology based on ecodrainage that optimizes rainwater retention and distribution and Self Closing Flood Barriers that work automatically to protect critical areas. The implementation of SEMAR-SUDs can be a solution model in increasing flood disaster resilience in the city of Semarang while supporting the realization of SDGs 9 (sustainable infrastructure development), SDGs 11 (resilient and sustainable cities), and SDGs 13 (climate action). The SEMAR-SUDs innovation is highly suitable for implementation in Semarang City to mitigate flooding and realize a smart, adaptive, and sustainable drainage system infrastructure.

Keywords: Ecodrainage; Flood; Semarang City; Smart Water Management; Sustainable Urban Drainage System.

Abstrak. Kota Semarang merupakan kawasan perkotaan dengan tingkat kerentanan tinggi terhadap banjir. Berdasarkan data Badan Penanggulangan Bencana Daerah Kota Semarang, pada tahun 2022 tercatat 133 kejadian banjir dengan curah hujan ekstrem mencapai 200 mm per hari. Kota Lama Semarang merupakan destinasi wisata bersejarah dengan nilai heritage yang tinggi, namun kawasan ini kerap menghadapi tantangan banjir khususnya di sekitar Kawasan Polder Tawang dengan genangan mencapai 30–100 cm. Kondisi tersebut dipicu oleh sistem drainase eksisting yang tidak optimal karena kapasitas saluran terbatas serta penyumbatan akibat sedimentasi. Tujuan penelitian ini untuk mengembangkan inovasi sistem drainase cerdas *SEMAR-SUDs*. Metode penulisan dilakukan melalui studi literatur, telaah data hidrometeorologi, serta analisis deskriptif-kuantitatif yang menjadi dasar untuk desain dan implementasi inovasi. Konsep *SEMAR-SUDs* (Semarang-Sustainable Urban Drainage Systems) sebagai solusi integratif melalui penggabungan tiga elemen utama: *Debris Separate Baffle Box (DSBB)* sebagai teknologi pemisah sampah dan sedimen, *Teknologi ArborFlow* berbasis ekodrainase yang mengoptimalkan retensi dan distribusi aliran air hujan serta *Self Closing Flood Barrier* yang mampu bekerja otomatis untuk melindungi area kritis. Implementasi *SEMAR-SUDs* dapat menjadi model solutif dalam meningkatkan resiliensi bencana banjir di Kota Semarang sekaligus mendukung terwujudnya SDGs 9 (pembangunan infrastruktur berkelanjutan), SDGs 11 (kota tangguh dan berkelanjutan) dan SDGs 13 (aksi iklim). Inovasi *SEMAR-SUDs* sangat sesuai diterapkan di Kota Semarang untuk menanggulangi banjir serta mewujudkan infrastruktur sistem drainase cerdas, adaptif, dan berkelanjutan.

Kata kunci: Ekodrainase; Banjir; Kota Semarang; Manajemen Air Cerdas; Sistem Drainase Perkotaan Berkelanjutan.

1. LATAR BELAKANG

Bencana banjir di Indonesia merupakan masalah kompleks yang memerlukan solusi komprehensif. Kota Semarang, sebagai salah satu kota besar di Indonesia, tidak luput dari permasalahan banjir. Berdasarkan data Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kota Semarang, pada tahun 2022 tercatat 133 kejadian banjir akibat curah hujan ekstrem yang dapat melampaui 200 mm per hari. Salah satu kawasan yang paling terdampak adalah Kelurahan Tanjung Mas karena minimnya ruang resapan air serta sistem drainase yang tidak memadai semakin memperburuk kondisi tersebut. Hal ini menjadi sangat krusial mengingat di kawasan Tanjung Mas terdapat bangunan-bangunan bersejarah yang memiliki pesona arsitektur kolonial dengan potensi besar sebagai destinasi wisata *heritage* yakni Kawasan Kota Lama yang dikenal sebagai *Little Netherland* (Pramono & Saputro, 2021). Namun, kawasan ini menjadi lokasi “langganan banjir” hampir setiap tahunnya, sehingga perlu diadakan revitalisasi berupa inovasi untuk memaksimalkan peran Polder Tawang Kota Semarang.

Polder Tawang dibangun oleh Pemerintah Kota Semarang pada periode 1998–2000 dengan kolam retensi seluas ± 1 ha dan daerah tangkapan sekitar ± 70 ha (Edy & Woro, 2018). Polder ini dirancang untuk mengendalikan banjir di kawasan Kota Lama, tetapi kapasitasnya terbatas dibandingkan volume limpasan yang masuk. Selain itu, performansi sistem menurun akibat kurangnya perawatan, sedimentasi saluran, serta kapasitas daya tampung yang kecil (Utami & Hidayat, 2020). Oleh karena itu, dibutuhkan terobosan yang lebih inovatif dan berkelanjutan serta ramah lingkungan untuk menjawab kompleksitas persoalan banjir di kawasan ini berupa optimalisasi sistem drainase.

Inovasi yang kami tawarkan yakni penerapan inovasi *SEMAR-SUDs* (Semarang–Sustainable Urban Drainage Systems) yaitu sistem drainase perkotaan berkelanjutan dengan tiga komponen utama yang terintegrasi. Pertama, *Debris Separate Baffle Box (DSBB)* yang berfungsi memisahkan sampah dan sedimen sehingga polutan tidak masuk ke kolam retensi (Bio Clean Environmental Services, 2019). Kedua, *ArborFlow* berbasis *Nature-Based Solutions (NbS)* dan Ekodrainase sebagai infrastruktur hijau multifungsi untuk menyerap, menyimpan, dan memfilter air hujan sekaligus meningkatkan kualitas ruang publik (Candra Partarini & Wirastri, 2024). Ketiga, *Self Closing Flood Barrier (SCFB)* yaitu sistem penghalang otomatis yang aktif mengikuti kenaikan muka air (Krishnan et al., 2018; Rima et al., 2025). Implementasi *SEMAR-SUDs* di kawasan Polder Tawang berperan strategis dalam menjaga keberlanjutan sekaligus memberi nilai tambah dengan menciptakan kawasan yang terbebas dari banjir sehingga daya tarik wisata *heritage* terjaga. Lebih jauh, inovasi ini berkontribusi pada pencapaian *Sustainable Development Goals (SDGs)*, khususnya tujuan

nomor 9 (industri, inovasi, dan infrastruktur), nomor 11 (kota dan permukiman berkelanjutan), serta nomor 13 (penanganan perubahan iklim). Dengan demikian, *SEMAR-SUDs* diharapkan menjadi solusi komprehensif yang mampu menjawab tantangan banjir di Kota Semarang secara berkelanjutan.

2. KAJIAN TEORITIS

Hakikat SEMAR-SUDs sebagai Infrastruktur Drainase Cerdas dan Berkelanjutan

Konsep *Sustainable Urban Drainage Systems (SUDs)* hadir untuk menjawab tantangan pengelolaan air hujan secara berkelanjutan dengan tujuan tidak hanya menyalurkan, tetapi juga menahan, menyerap, dan mendistribusikan aliran agar selaras dengan siklus hidrologi alami (Peng et al., 2016). *SEMAR-SUDs (Semarang-Sustainable Urban Drainage Systems)* merupakan sistem drainase cerdas yang memadukan teknologi rekayasa dengan prinsip ekodrainase melalui tiga komponen terintegrasi yaitu Debris Separate Baffle Box (DSBB), ArborFlow, dan Self Closing Flood Barrier (SCFB). Penerapan *SEMAR-SUDs* mendukung tercapainya *Sustainable Development Goals (SDGs)*, terutama SDG 9, SDG 11, dan SDG 13, serta menjadi model infrastruktur drainase cerdas yang relevan untuk direplikasi pada kawasan rawan banjir lain di Indonesia.

Sistem Ekodrainase Debris Separate Baffle Box (DSBB) dan ArborFlow

Debris Separating Baffle Box (DSBB) adalah salah satu *manufactured treatment device (MTD)* untuk pengendalian polutan yang dibawa limpasan perkotaan khususnya sampah terapung, sedimen kasar, dan minyak/partikel berat sebelum air masuk ke polder atau kolam retensi. Prinsip utama DSBB adalah pemisahan sampah terapung (*floatables*), sedimen, serta minyak melalui kombinasi sistem *non-clogging screening* dan pemisahan hidrodinamik berbasis gravitasi (Contech Engineered Solutions, 2020). *ArborFlow* merupakan sistem *Sustainable Urban Drainage System* yang mengintegrasikan lubang tanam pohon dengan ruang penyimpanan limpasan permukaan. Sistem ini mampu menurunkan beban sedimen, memperlambat laju limpasan, serta meningkatkan kesehatan pohon di area urban dengan kondisi tanah terbatas (Water Resilient Cities, 2020). Sistem modular ArborFlow memberikan kontribusi terhadap mitigasi banjir lokal meskipun kapasitas penyimpanan per unit terbatas (202–384 liter) (GreenBlue Urban, 2022).

Integrasi Self Closing Flood Barrier (SCFB) dan Internet of Things (IoT) dalam Mitigasi Bencana Banjir

Self-Closing Flood Barrier (SCFB) merupakan sistem barrier banjir inovatif yang dirancang untuk beroperasi secara otomatis melalui penerapan prinsip Archimedes mengenai prinsip-prinsip hidrostatis dan konsep pergerakan benda dalam cairan (Samosir et al., 2023). *Internet of Things (IoT)* hadir sebagai infrastruktur komunikasi global yang mampu menghubungkan manusia dengan mesin melalui proses pengumpulan, pemantauan, dan pengiriman data secara *real-time* (Kumar et al., 2022). Dalam konteks *Early Warning System (EWS)*, IoT berperan signifikan dalam menyediakan informasi akurat mengenai potensi bencana sehingga prediksi, penilaian risiko, serta kesiapsiagaan menghadapi banjir dapat dilakukan dengan lebih cepat dan tepat (Tenda et al., 2023).

Integrasi Nature-Based Solutions, Ecodrainage, dan Smart Water Management dalam Pengembangan Infrastruktur Drainase Perkotaan

Pendekatan pengelolaan air perkotaan modern diarahkan pada prinsip keberlanjutan, ketahanan, dan efisiensi melalui *Nature-Based Solutions (NbS)*, *Ecodrainage*, dan *Smart Water Management (SWM)*. *Nature-Based Solutions (NbS)* menekankan pemanfaatan proses ekologis untuk mengatasi tantangan lingkungan perkotaan, termasuk banjir. Konsep ini diwujudkan melalui *eco-drainage* yang memanfaatkan kolam retensi, biopori, sumur resapan, serta vegetasi sebagai media infiltrasi. *Smart Water Management (SWM)* berperan sebagai pendekatan inovatif dalam merancang sistem pengelolaan air perkotaan yang lebih terintegrasi, efisien, dan adaptif (Dash et al., 2020).

Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi merupakan tahapan penting dalam perencanaan infrastruktur air terkait pengendalian banjir dan perancangan kapasitas drainase. Banjir terjadi ketika debit aliran permukaan melampaui kapasitas saluran sehingga menimbulkan genangan. Faktor pemicu utama meliputi curah hujan dengan intensitas tinggi, perubahan tata guna lahan, serta kapasitas saluran yang terbatas (Suripin & Kurniani, 2016). Analisis ini mencakup analisis frekuensi curah hujan, uji sebaran distribusi, perhitungan intensitas curah hujan, serta penentuan karakteristik daerah tangkapan air.

Analisis Frekuensi Curah Hujan

Analisis frekuensi merupakan pendekatan probabilistik untuk memperkirakan kemungkinan terjadinya kejadian hidrologi seperti curah hujan ekstrem atau debit puncak dan menjadi dasar penting dalam perencanaan hidrologi (Irawan et al., 2020). Distribusi

probabilitas yang digunakan meliputi distribusi Gumbel, Log-Normal, dan Normal (Pujiastuti et al., 2016).

Uji Sebaran Distribusi

Uji kecocokan (*goodness of fit test*) digunakan untuk menilai kesesuaian fungsi distribusi peluang dalam merepresentasikan data curah hujan. Metode yang digunakan antara lain Uji Chi-Square dan Uji Kolmogorov-Smirnov sebagai pendekatan statistik umum dalam analisis frekuensi hidrologi (Subhy, 2021).

Intensitas Curah Hujan

Intensitas hujan merupakan jumlah curah hujan dalam periode waktu tertentu dan sangat krusial dalam menentukan debit banjir rencana (Febriani et al., 2019). Apabila data yang tersedia berupa data harian, maka konversi ke intensitas hujan berdurasi lebih singkat dapat dilakukan menggunakan rumus Mononobe.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif kuantitatif dengan pendekatan studi kasus yang berfokus pada inovasi penerapan SEMAR-SUDs di Kawasan Polder Tawang, Kota Semarang. Penelitian dilaksanakan selama kurang lebih tiga bulan, yaitu dari Agustus 2025 hingga Oktober 2025, dengan kegiatan pendukung berupa studi literatur dan validasi hasil bersama dosen pembimbing di Politeknik Negeri Semarang. Data penelitian mencakup teori dan kajian terkait komponen SEMAR-SUDs yang meliputi *Self Closing Flood Barrier (SCFB)*, *Debris Separate Baffle Box (DSBB)*, dan *ArborFlow*, serta data kuantitatif hasil analisis efektivitas inovasi tersebut. Sumber data diperoleh dari dokumentasi ilmiah, laporan studi pendahuluan, dan literatur yang relevan dengan kondisi eksisting sistem drainase di Kawasan Polder Tawang. Instrumen penelitian berupa dokumen, arsip, dan hasil perhitungan numerik berbasis analisis hidrologi. Teknik pengumpulan data dilakukan melalui telaah pustaka, analisis dokumen, serta penerapan rumus hidrologi untuk mengidentifikasi karakteristik curah hujan dan efektivitas sistem, dengan validitas data diperkuat melalui perhitungan kuantitatif yang saling melengkapi (Waruwu et al., 2025). Teknik analisis data menggunakan Model Analisis Jalinan yang meliputi tahapan pengumpulan data, reduksi data, penyajian data secara kuantitatif berdasarkan kajian teori dan empiris, serta penarikan simpulan terkait efektivitas inovasi SEMAR-SUDs sebagai sistem mitigasi banjir perkotaan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Lokasi Percontohan dan Pengembangan *SEMAR-SUDs*

Kawasan Polder Tawang Semarang, yang berlokasi di area Kota Lama Semarang (*Little Netherland*), dipilih sebagai lokasi implementasi inovasi *SEMAR-SUDs*. Fokus pengembangan diarahkan pada area pedestrian di sekitar Polder Tawang serta saluran drainase di sepanjang Jalan Merak yang kerap menjadi tempat “langganan banjir” sekaligus titik awal terjadinya banjir di Kota Lama Semarang.



Gambar 1. Lokasi Percontohan dan Pengembangan *SEMAR-SUDs*.

Sumber: Dokumentasi Tim

Pemilihan lokasi ini didasarkan pada fungsi strategis Polder Tawang sebagai kolam retensi yang berperan penting dalam sistem pengendalian banjir di wilayah Kota Lama. Namun, efektivitas fungsinya mengalami penurunan seiring dengan keterbatasan kapasitas tampung terhadap volume limpasan yang masuk, serta degradasi performa sistem akibat sedimentasi, keterbatasan perawatan, dan penurunan kapasitas tampung (Utami & Hidayat, 2020). Oleh karena itu, diperlukan pendekatan inovatif berbasis revitalisasi sistem drainase yang mampu mengoptimalkan kembali fungsi Polder Tawang sebagai kolam retensi dalam mengendalikan banjir dan menampung limpasan permukaan secara berkelanjutan.

Konsep Inovasi *SEMAR-SUDs* sebagai Sistem Drainase Cerdas dan Berkelanjutan

SEMAR-SUDs (Semarang–Sustainable Urban Drainage Systems) merupakan rancangan sistem drainase perkotaan inovatif yang memadukan prinsip *sustainable urban drainage systems (SUDs)*, *Nature-Based Solutions (NbS)*, dan *Smart Water Management* untuk mewujudkan infrastruktur air yang adaptif, efisien, dan ramah lingkungan. Inovasi ini dirancang untuk menjawab tantangan utama di kawasan Polder Tawang Semarang, yaitu keterbatasan kapasitas saluran, sedimentasi, dan meningkatnya limpasan permukaan. *SEMAR-SUDs* mengintegrasikan tiga komponen utama dalam satu kesatuan sistem drainase cerdas dan berkelanjutan.



Gambar 2. Konsep Inovasi SEMAR-SUDs.

Sumber: Dokumentasi Tim

Pertama, sistem ini diawali dengan penerapan *Debris Separating Baffle Box (DSBB)* yang berfungsi sebagai tahap filtrasi awal yang memisahkan material padat, sedimen, serta minyak dari air hujan melalui proses pemisahan hidrodinamis di dalam ruang baffle (Contech Engineered Solutions, 2020). *DSBB* berperan sebagai *first line of defense* dalam menjaga efisiensi sistem drainase. Kedua, air hujan akan dialirkan menuju *ArborFlow*, sebuah sistem *Eco-drainage* berbasis vegetasi yang berfungsi sebagai media infiltrasi dan retensi. *ArborFlow* berperan dalam menurunkan debit puncak limpasan, mengurangi potensi genangan, serta memperbaiki kualitas air melalui filtrasi alami (GreenBlue Urban, 2021). Ketiga, sistem *Self-Closing Flood Barrier (SCFB)* yang terintegrasi dengan *Internet of Things (IoT)* berfungsi sebagai sistem perlindungan adaptif terhadap banjir yang mampu bekerja secara otomatis (Panior et al., 2025). Integrasi teknologi *IoT* memungkinkan proses pemantauan muka air dilakukan secara real-time serta memberikan peringatan dini kepada pengelola kawasan.

Ketiga komponen tersebut bekerja secara sinergis dalam satu rangkaian sistem cerdas yang mengelola air hujan mulai dari penyaringan, infiltrasi, hingga perlindungan terhadap banjir. Selain fungsi teknis, inovasi *SEMAR-SUDs* mengedepankan aspek keberlanjutan lingkungan dan sosial. Penerapan *Eco-drainage* melalui vegetasi perkotaan meningkatkan kualitas udara, memperbaiki estetika kawasan heritage, serta menciptakan ruang publik yang lebih nyaman. Sementara itu, pemanfaatan teknologi *IoT* mendorong partisipasi masyarakat dalam pemantauan kondisi lingkungan secara digital, sehingga tercipta sistem drainase partisipatif berbasis data.

Analisis Hidrologi

Curah Hujan Rata-Rata

Data curah hujan yang digunakan dalam penelitian diperoleh dari Stasiun Curah Hujan di wilayah Kota Semarang, Jawa Tengah melalui publikasi Dinas Pekerjaan Umum (DPU) Kota Semarang yang tercantum pada Lampiran 3.

Analisis Frekuensi

Analisis terhadap curah hujan rencana dalam penelitian ini dilakukan menggunakan tiga pendekatan distribusi statistik, yaitu *Gumbel*, *Log-Normal*, dan *Normal*. Berdasarkan hasil uji kesesuaian distribusi dengan metode *Chi-Square* dan *Smirnov-Kolmogorov*, distribusi Gumbel menunjukkan hasil paling sesuai, dengan nilai curah hujan rencana sebesar 171,19 mm.

Intensitas Hujan Rencana				Uji Smirnov-Kolmogorof			
Analisis Frekuensi Curah Hujan				D Hitung	0,118	0,150	0,136
Period (Tahun)	Gumbel	Log Normal	Normal	D Kritis	0,294	0,294	0,294
2	123,80	535,89	127,75	Kesimpulan	Represent	Represent	Represent
5	152,31	670,02	150,21	Distribusi Pilihan			
10	171,19	753,18	161,97	Cs Requisite	1,14	3	0
20	189,30	828,85	171,60	Cs Calculation	0,608	0,276	0,608
50	212,74	924,34	182,56	Ck Requisite	5,4	5,383	3
100	230,31	995,79	190,05	Ck Calculation	0,742	0,638	0,742
Uji Kesesuaian Distribusi				Kesimpulan	Dari uji kesesuaian distribusi <i>Chi-Square</i> dan <i>Smirnov-Kolmogorof</i> diterima. Untuk perencanaan curah hujan terencana terbesar, sehingga desain rencana dapat mengantisipasi curah hujan lebat di masa depan dan mewakili statistik data yang dianalisis		
Uji Chi-Square							
X ² Hitung	1,5	1,5	1,5				
X ² Kritis	7,815	7,815	7,815				
Kesimpulan	Represent	Represent	Represent				

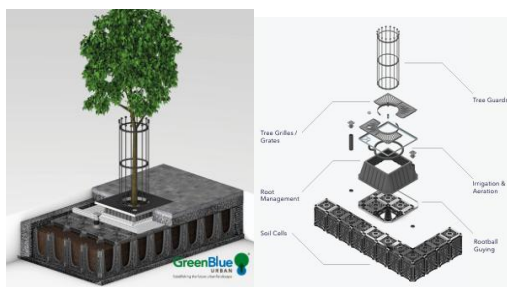
Gambar 3. Kesimpulan Uji Distribusi dan Kesesuaian Distribusi.

Sumber: Dokumentasi Tim

Perhitungan debit rencana memerlukan pertimbangan terhadap intensitas curah hujan. Dalam studi ini, analisis frekuensi curah hujan dilakukan untuk periode ulang 2, 5, 10, 20, 50, dan 100 tahun. Untuk daerah tangkapan air dengan luas kurang dari 10 hektar, digunakan periode ulang 2 tahun dengan durasi hujan selama 2 jam, yang menghasilkan intensitas curah hujan sebesar 42,918 mm/jam.

Peran *ArborFlow* dalam Sistem *SEMAR-SUDS*

Salah satu teknologi *SUDS* yang berkembang adalah *ArborFlow tree pit system*, yaitu modul infrastruktur hijau yang dirancang untuk menampung dan mengatur air hujan sekaligus mendukung pertumbuhan pohon perkotaan (Markey & GreenBlue Urban, 2019). Sejumlah penelitian telah menunjukkan bahwa pohon perkotaan dapat menghasilkan manfaat ekonomi yang signifikan karena mampu mewujudkan penghematan energi melalui naungan (mengurangi biaya pendinginan hingga 50% dalam beberapa kasus), peningkatan nilai properti (hingga 7–15% untuk rumah yang terletak di dekat pohon yang terawat baik) (Liu et al., 2023; McPherson, 2016), peningkatan kualitas udara (menghilangkan hingga 1,4 ton polutan per pohon setiap tahunnya) (Zhou, 2012) dan pengurangan limpasan air hujan (Shi et al., 2024).



Gambar 4. Bentuk ArborFlow.

Sumber : GreenBlue Urban, 2020

Dari perspektif hidrologis, *ArborFlow* memberikan manfaat utama berupa pengurangan beban debit puncak serta pengendalian laju limpasan, sehingga kapasitas sistem drainase kota tidak terbebani secara berlebihan pada saat hujan lebat. Fungsi ini sejalan dengan tujuan mitigasi banjir perkotaan yang sering kali dipicu oleh peningkatan permukaan kedap air di wilayah padat aktivitas. Sementara itu, dari sisi ekologis, *ArborFlow* menghadirkan teknologi *root cell* yang memungkinkan perkembangan sistem perakaran pohon secara optimal tanpa merusak lapisan perkerasan di atasnya. Hal ini berimplikasi pada peningkatan serapan karbon, perbaikan kualitas udara, serta terciptanya zona hijau yang mampu menurunkan suhu mikro dan memperkuat kenyamanan lingkungan perkotaan. Dengan kata lain, sistem ini tidak hanya menanggulangi persoalan hidrologi jangka pendek, tetapi juga mengintegrasikan dimensi keberlanjutan ekologis yang mendukung terwujudnya infrastruktur kota hijau (*green infrastructure*) secara menyeluruh (Cotterill et al., 2020).

Mekanisme Kerja *ArborFlow* Dalam Mendukung Vitalitas Pohon Perkotaan

Mekanisme kerja *ArborFlow* dapat dipahami sebagai kombinasi fungsi ekologis pohon dan fungsi teknis sistem drainase modular. Air hujan yang jatuh di permukaan kedap, seperti jalan dan trotoar, diarahkan menuju *tree pit* melalui saluran masuk di tepi atau kerb. Limpasan tersebut kemudian masuk ke dalam ruang akar (*root chamber*) yang dilengkapi dengan media penyimpanan dan penyaring. Di tahap ini, air sebagian tertahan di dalam modul untuk sementara, lalu diserap oleh akar pohon atau meresap ke media tanah. Sistem ini juga dilengkapi ventilasi akar yang menjaga ketersediaan oksigen, sehingga mencegah kondisi anaerobik yang dapat merusak jaringan akar. Ketika volume air melebihi kapasitas media simpan, kelebihan limpasan akan dialirkan keluar melalui saluran luapan (*overflow outlet*) sehingga akar tetap terlindungi dari genangan berlebih (GreenLeaf, 2023).

Mekanisme ini tidak hanya mengurangi risiko genangan, tetapi juga menciptakan **pola** aliran yang lebih terkendali. Selama periode penahanan, sebagian air akan mengalami infiltrasi ke lapisan tanah di bawahnya atau diserap langsung oleh akar pohon yang ditanam di atas

modul. Dengan demikian, *ArborFlow* tidak sekadar berfungsi sebagai komponen infrastruktur drainase perkotaan, melainkan juga memberikan kontribusi terhadap peningkatan kualitas ekosistem kota melalui dukungan terhadap siklus hidrologi alami, pengayaan vegetasi, serta pengendalian suhu mikro di kawasan sekitarnya (Cotterill et al., 2020). Kombinasi ini menjadikan *ArborFlow* relevan sebagai bagian dari *blue-green infrastructure* karena mampu mengurangi limpasan permukaan, menyaring polutan sekaligus meningkatkan kesehatan vegetasi di lingkungan padat bangunan (Lim et al., 2021; Siering & Nils, 2023).

Analisis Kapasitas *ArborFlow*

Hasil uji lapangan di Inggris memperlihatkan bahwa sistem *ArborFlow* mampu menurunkan kandungan polutan secara signifikan. Misalnya, konsentrasi *Total Suspended Solids (TSS)* turun sekitar 50%, sementara fosfat, seng (Zn), dan timbal (Pb) berkurang sekitar 70%, serta kromium (Cr) hingga 80% (GreenBlue Urban, 2024). Selain itu, dalam percobaan di area parkir, volume aliran keluar berkurang hingga 88% dibandingkan area tanpa *ArborFlow* yang menunjukkan efektivitasnya dalam mengurangi debit limpasan sekaligus meningkatkan kualitas air (Supérieure, 2016). Temuan tersebut mengindikasikan bahwa desain *tree pit ArborFlow* tidak hanya berfungsi sebagai penahan dan pereduksi limpasan, tetapi juga sebagai sistem penyaring polutan yang efektif.

PERHITUNGAN ARBORFLOW				Perhitungan Volume Air yang Dapat Diserap <i>Arborflow</i>			
Analisis Debit Limpasan				Vserap = Vpenyimpanan * Jumlah unit			
Diketahui :				Vserap	=	9.216	m ³
Intensitas Curah Hujan (I)	=	42,918	mm/jam	=	0,0429	m/jam	
Luas Daerah Pengaliran (A)	=	284414,2	m ²	Perhitungan waktu pengisian (tfill) jika tidak ada outflow sama sekali			
Koefisien Limpasan (C)	=	0,7		tfill	=	Vserap / Qlimpasan	
Qlimpasan = C * I * A					=	3,8829	s
Qlimpasan	=	0,7 * 0,042918 * 284414,2		Qserap	=	2,3735	m ³ /s
	=	8544,542	m ³ /jam	Jadi, <i>Arborflow</i> dapat menyerap air sebanyak 2,3735 m ³ /s.			
	=	2,3735	m ³ /s	Perhitungan Debit Outflow pada head maksimum			
Analisis Kebutuhan <i>Arborflow</i>				untuk debit outflow per unit (dia pipa = 0,2 m)			
Diketahui : Spesifikasi <i>Arborflow 300 series (GBUABF300A)</i>	(GreenBlue Urban , 2020)			Cd	=	0,62	(Rahmawati, 2019)
Dimensi Unit	=	(1,75 * 1,75)	m	$A_0 = \frac{\pi d^2}{4}$	=	0,0314	m ²
Volume Penyimpanan	=	0,384	m ³	$Q = C_d A_0 \sqrt{2gh}$	=	0,0306	m ³ /s
Diameter Pipa Maks	=	0,2	m	Total debit outflow (24 unit)			
Aliran Puncak (Qunit)	=	0,857	m ³ /s		=	0,7335	m ³ /s
Rencana Pemasangan	=	24	unit	Perbandingan Qlimpasan dengan Qinfiltrasi			
Kedalaman Penuh per unit (head)	=	0,1254	m	Qlimpasan : Qinfiltrasi	=	30,91%	

Gambar 5. Analisis Kapasitas *ArborFlow*.

Sumber : Dokumentasi Tim

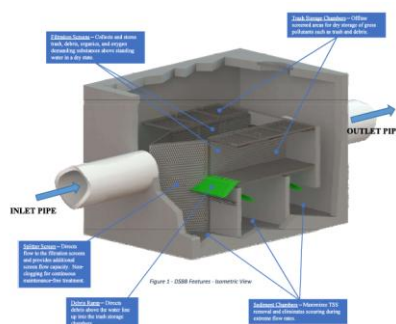
Berdasarkan analisis pada Tabel 2, dapat disimpulkan bahwa sistem *ArborFlow* mampu mengurangi limpasan permukaan secara signifikan melalui kombinasi proses penyimpanan sementara dan infiltrasi ke dalam media. Analisis kebutuhan unit menunjukkan jumlah unit *ArborFlow* yang direncanakan sebanding dengan debit limpasan yang terjadi, sehingga potensi genangan atau aliran berlebih dapat ditekan.

DSBB sebagai Solusi Efisien Penyaring Material dalam Sistem Drainase

Debris Separating Baffle Box (DSBB) merupakan salah satu perangkat pengendali pencemaran air hujan (*stormwater treatment device*) yang dirancang dengan sistem pemisah hidrodinamis dua tahap (BioClean, 2018). Teknologi ini bekerja dengan prinsip memperlambat

aliran dan menciptakan zona pemisahan di dalam kotak *baffle* sehingga sampah padat, sedimen, serta minyak dapat terperangkap lebih dahulu sebelum air dialirkan ke sistem drainase utama. BioClean Enviromental (2018) menjelaskan bahwa *DSBB* bekerja dengan prinsip pemisahan aliran menggunakan *baffle* dan saringan terangkat sehingga polutan dapat ditangkap sebelum masuk ke badan air penerima. Setelah itu, air melewati deflektor turbulensi yang berfungsi memperlambat aliran agar sedimen halus mengendap. Polutan terlarut seperti minyak dan hidrokarbon ditangani melalui *oil skimmer* yang dilengkapi boom polimer penyerap minyak. Dengan sistem berlapis ini, *DSBB* mampu menurunkan *Total Suspended Solid (TSS)* serta mencegah masuknya polutan ke badan air penerima, sejalan dengan hasil riset Sansalone & Cristina (2004) mengenai efektivitas sistem prasedimentasi dalam mengendalikan pencemar limpasan hujan.

Komponen utama *DSBB* terdiri atas sistem penyaringan, ruang sedimen, *oil skimmer* dengan boom hidrokarbon, serta akses pemeliharaan. Sistem penyaringan yang dibuat dari baja tahan karat berfungsi menangkap sampah terapung seperti plastik, daun, dan material organik dalam keadaan kering di atas permukaan air, sehingga sampah tidak menimbulkan bau, tidak mengalami pencucian *nutrien*, dan lebih mudah diangkat. Selanjutnya, ruang sedimen yang terbagi menjadi beberapa *chamber* dengan dinding *baffle* dari beton berkekuatan tinggi berfungsi untuk memperlambat aliran air, sehingga partikel padat dapat mengendap dengan baik tanpa ikut terbawa keluar. Pada tahap berikutnya, *oil skimmer* yang dilengkapi boom hidrokarbon bekerja mengikat minyak dan oli, sehingga mencegah pencemaran organik dan kimia yang umum terjadi di perkotaan (Goonetilleke et al., 2005).



Gambar 6. Komponen DSBB.

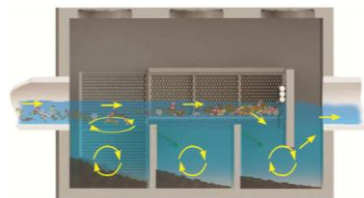
Sumber : (BioClean, 2018)

Mekanisme Kerja *DSBB*

Debris Separating Baffle Box (DSBB) bekerja secara gravitasi dan memanfaatkan perubahan arah aliran untuk menciptakan turbulensi terkendali. Saat air masuk melalui saluran inlet, sampah makro seperti plastik, daun, dan potongan kayu tertahan pada keranjang saringan

(*screen basket*). Sampah terapung kemudian tertahan oleh sistem saringan, sementara aliran yang melambat di ruang sedimen memungkinkan partikel padat mengendap di dasar *chamber*. Deflektor turbulensi membantu mencegah terjadinya pengadukan ulang endapan, sehingga polutan tetap tertahan di tempatnya.

Pada tahap akhir, air yang masih mengandung hidrokarbon melewati *oil skimmer*, di mana *boom* polimer menyerap minyak dan oli. Air yang telah tersaring sebagian kemudian dialirkan ke ruang pemisah di mana kecepatan aliran melambat, memungkinkan partikel sedimen yang lebih berat mengendap ke dasar *chamber* (United States Environmental Protection Agency, 2021). Dengan demikian, air yang keluar melalui *outlet* relatif lebih bersih dan aman dialirkan ke saluran drainase maupun badan air penerima (United States Environmental Protection Agency, 2021). Sampah padat yang terperangkap kemudian diangkut ke Tempat Pembuangan Sementara (TPS), sedangkan sedimen dibersihkan dengan pompa penyedot dan dikelola sesuai dengan karakteristik materialnya (BioClean, 2018).



Gambar 7. Proses Pemisahan dan Penyaringan Polutan pada DSBB.

Sumber: BioClean (2018)

Analisis Kapasitas DSBB

Kapasitas *DSBB* bervariasi sesuai dengan model dan ukuran unit. Hasil uji lapangan menunjukkan bahwa *DSBB* mampu menurunkan kandungan *gross pollutants* dengan efisiensi hingga 100% untuk ukuran $\geq 4,7$ mm, serta berkontribusi dalam mengurangi beban *total suspended solids (TSS)* pada aliran drainase perkotaan (Porter et al., 2022).

PERHITUNGAN DEBRIS SEPARATING BAFFLE BOX (DSBBB)				Analisis Kebutuhan Debris Separating Baffle Box (DSBB)				
Analisis Debit Limpasan				Diketahui : Spesifikasi DSBB (model uji DSBB-5-10) (NJCAT, 2019)				
Diketahui :				Dimensi Unit	=	3,048*1,524 m		
Intensitas Curah Hujan (I)	=	42,918 mm/jam	=	0,0429 m/jam	Volume Penyimpanan	=	2,942 m ³	
Luas Daerah Pengaliran (A)	=	284414,2 m ²		Diameter Pipa Maks	=	0,762 m		
Koefisien Limpasan (C)	=	0,7		Aliran Puncak (Qunit)	=	0,857 m ³ /s		
Qlimpasan = C*I*A				Perhitungan Kebutuhan DSBB				
Qlimpasan	=	0,7 * 0,042918 * 284414,2		Total Kebutuhan DSBB	=	Qlimpasan/Quinit		
	=	8544,542 m ³ /jam	=	2,3735 m ³ /s	=	2,7695 unit	=	3 unit
				Jadi, diperlukan 3 unit DSBB-5-10 untuk menampung debit limpasan.				

Gambar 8. Analisis Kinerja DSBB.

Sumber : Dokumentasi Tim

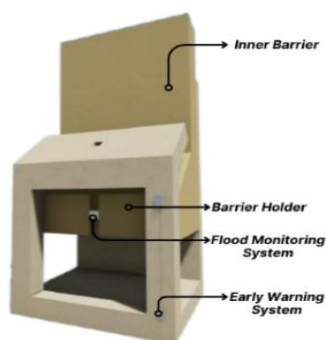
Berdasarkan analisis debit limpasan yang dilakukan, diperoleh debit puncak sebesar 2,3735 m³/detik. Dari hasil perhitungan, kapasitas per unit *DSBB* sebesar 0,857 m³/detik, sehingga untuk dapat mengakomodasi total debit limpasan yang masuk dibutuhkan 3 unit *DSBB*. Secara teknis, penggunaan tiga unit ini tidak hanya cukup untuk mengurangi beban

sampah padat dan sedimen, tetapi juga memberikan faktor keamanan agar sistem tetap berfungsi optimal meskipun terjadi peningkatan debit pada kondisi hujan ekstrem.

Peran *Self Closing Flood Barrier* sebagai Inovasi Perlindungan Banjir

Self Closing Flood Barrier (SCFB) merupakan sistem penghalang vertikal buatan untuk perlindungan banjir adaptif yang bekerja secara mandiri dengan memanfaatkan daya apung (Panior et al., 2025). Mekanisme ini memungkinkan penghalang banjir naik secara otomatis ketika tinggi muka air melampaui ambang batas tertentu, sehingga dapat memberikan perlindungan instan tanpa memerlukan intervensi manual ataupun suplai energi eksternal (Mugesh et al., 2015). Prinsip kerja *SCFB* telah dijelaskan dalam penelitian oleh Krishnan et al. (2018). Seluruh komponen operasional *Self Closing Flood Barrier (SCFB)* akan tersembunyi di dalam cekungan tanah ketika kondisi normal tanpa banjir sehingga tidak terlihat di permukaan. Saat ketinggian air mulai naik di bawah ambang banjir, cekungan tertutup yang menampung *barrier* akan mulai terisi melalui saluran *inlet*. Seiring bertambahnya volume air, *barrier* akan terdorong ke atas dan perlahan mencapai posisi vertikal hingga membentuk struktur kedap air sehingga banjir dapat terus meninggi tanpa melimpas ke area yang dilindungi. Tekanan hidrostatik berperan memastikan dinding tetap berada di tempat hingga kondisi banjir benar-benar surut dan mereda. (Panior et al., 2025)

Desain *SCFB* memiliki dua bagian utama, yaitu penghalang bagian dalam dan penahan penghalang seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.6. Fitur utama *SCFB* adalah modularitasnya. Konstruksi modular memberikan solusi fleksibel untuk berbagai skenario banjir sehingga dapat diadaptasi di berbagai lingkungan (Su & Yuan, 2022). Bagian dalam *SCFB* terbuat dari *Polyethylene terephthalate (PET)* karena sifatnya yang ringan, tahan korosi, serta memiliki ketahanan tinggi terhadap kelembapan, alkohol, dan pelarut. Sifat-sifat *PET* membuatnya ideal untuk digunakan dalam kondisi lingkungan di mana paparan jangka panjang terhadap air (Luo et al., 2024).



Gambar 9. Komponen SCFB.

Sumber :Dokumentasi Tim

Analisis Tekanan Hidrostatik pada Self Closing Flood Barrier

Analisis Tekanan Hidrostatik Self Closing Flood Barrier				Maka :			
Diketahui :				a) Tekanan Hidrostatik pada dasar bagian dalam barrier			
Massa pada bagian dalam barrier	=	4.5 kg	(Panior et al., 2025)	W	=	m x g	= 4.5 x 9.81 = 44.15 N
Luas Area bagian dalam barrier	=	710.45 cm ²	(Panior et al., 2025)	P	=	$\frac{W}{A}$	$\frac{44.145}{0.071} = 621.37$ N/m ²
Rumus Tekanan Hidrostatik							
$P = \rho \times g \times h$				b) Tingkat Ketinggian Air			
Dimana :				hw	=	$\frac{P}{\rho \times g}$	= $\frac{621.37}{1000 \times 9.8} = 0.0633$ m
P = Tekanan Hidrostatik (N/m ²)							
ρ = Massa Jenis fluida (dalam kasus ini adalah air) (kg/m ³)							
g = Percepatan Gravitasi = 9,81 m/s ²							
h = Kedalaman (m)							

Gambar 10. Analisis Tekanan Hidrostatik SCFB.

Sumber : Dokumentasi Tim

Berdasarkan analisis data pada Tabel 4, dapat disimpulkan bahwa tekanan hidrostatik pada dasar bagian dalam barrier mencapai 621.37 N/m² saat gaya angkat mulai seimbang dengan berat struktur. Selain itu, dapat diketahui bahwa barrier mulai terangkat ketika ketinggian banjir mencapai 0.0633 m atau sekitar 6.3 cm. Setelah itu, dinding penghalang akan naik dan berfungsi menahan aliran banjir agar tidak melimpas ke area yang di lindungi.

Analisis Kinerja Self Closing Flood Barrier

Analisis Debit Saluran Drainase Terbuka				Analisis Kapasitas Tampungan Self Closing Flood Barrier			
Diketahui :				Diketahui :			
Koefisien Limpasan (C)	=	0.7		Panjang komponen	=	2000 mm	(Hyflo, 2021)
Intensitas Curah Hujan (I)	=	42.918 mm/jam		Tinggi Komponen	=	1400 mm	(Hyflo, 2021)
Luas daerah Pengaliran (A)	=	0.284 km ²		Lebar Komponen	=	300 mm	(Hyflo, 2021)
Rumus Debit Maksimum Metode Rasional				Perhitungan Volume Kapasitas SCFB per komponen			
$Q = C \times I \times A$				$V = L \times H \times W$			
Q =	0.7 x 42.918 x 0.284			V =	2000 x 1400		
Q =	8.545	m ³ /jam		V =	840000000	mm ³	
Perhitungan Volume Air pada Saluran Drainase per jam				V =	0.84	m ³	
$V = Q \times t$				Jadi, untuk dapat menahan air ketika terjadi banjir dengan kondisi debit maksimum diperlukan SCFB sepanjang:			
V =	2.375 x 1			Total Kebutuhan =	Volume Saluran Drainase		
V =	8.545	m ³		Total Kebutuhan =	Volume Kapasitas SCFB		
					8.545		
				Total Kebutuhan =	0.84		
				Total Kebutuhan =	10.172074	≈	11 buah

Gambar 11. Analisis Kinerja SCFB.

Sumber : Dokumentasi Tim

Berdasarkan data oleh Hyflo (2021), Self-Closing Flood Barrier (SCFB) yang digunakan dalam perhitungan memiliki dimensi 2000 × 1400 × 300 mm dengan kapasitas tampung per komponen mencapai 0,84 m³ per unit. Dari hasil kalkulasi kinerja SCFB pada tabel 4.5, diketahui bahwa pada saat terjadi banjir dengan debit maksimum, volume limpasan yang harus dikendalikan mencapai sekitar 8,545 m³. Dengan mempertimbangkan kapasitas tampung per

unit, maka jumlah *SCFB* yang dibutuhkan untuk mengatasi kondisi banjir pada area sekitar Polder Tawang kurang lebih 11 unit.

Pemanfaatan *Internet of Things (IoT)* dalam Optimalisasi Kinerja *Self-Closing Flood Barrier*

Integrasi sistem *Internet of Things (IoT)* dengan *Self-Closing Flood Barrier (SCFB)* menghadirkan solusi perlindungan banjir yang lebih adaptif, cerdas, dan responsif terhadap kondisi nyata di lapangan. Melalui integrasi ini, *SCFB* tidak hanya berfungsi sebagai struktur pasif, tetapi juga menjadi bagian dari sistem perlindungan banjir aktif yang memungkinkan pemantauan kondisi secara real time, memberikan peringatan dini, serta memastikan kinerja *SCFB* tetap optimal.

Penerapan sistem deteksi banjir berbasis *Internet of Things (IoT)* menjadi esensial untuk memastikan respons yang tepat waktu dan berbasis data. Melalui integrasi teknologi ini, pengguna dapat memperoleh notifikasi secara langsung pada *smartphone* ketika banjir terdeteksi, sekaligus melakukan pemantauan elevasi muka air secara berkelanjutan secara *real-time* (Hadi et al., 2020). Integrasi *IoT* pada *SCFB* diwujudkan melalui dua subsistem utama, yakni sistem peringatan dini (*early warning system*) dan sistem pemantauan banjir

Sistem peringatan dini bekerja dengan memanfaatkan sensor pendeteksi air banjir kemudian memicu pengiriman informasi ke mikrokontroler. Sensor air yang mendeteksi genangan banjir akan memicu bel untuk membunyikan alarm. Sebuah *microchip ESP8266* dengan WiFi akan membentuk konektivitas internet yang berfungsi sebagai sistem kendali jarak jauh. Kemudian melalui instruksi *mikrokontroler*, *Whatabot* sebagai layanan pesan otomatis mengirimkan notifikasi melalui *WhatsApp* kepada pengguna yang berisi pemberitahuan agar segera dilakukan aktivasi *SCFB* setelah potensi banjir terdeteksi.

Di sisi lain, sistem pemantauan banjir memanfaatkan sensor *ultrasonic* berfungsi dengan cara mengubah gelombang suara menjadi sinyal listrik yang selanjutnya diolah menjadi data jarak dengan tingkat akurasi tinggi untuk menentukan elevasi muka air. Pemasangan sensor ini pada *Self-Closing Flood Barrier (SCFB)* memungkinkan proses pemantauan kondisi hidrologis dilakukan secara *real-time* dan berkesinambungan. Sistem pemantauan ini diintegrasikan dengan *Blynk* yaitu platform yang mampu menyajikan informasi ketinggian air secara langsung kepada pengguna. Dengan demikian, sistem peringatan dini berperan sebagai instrumen prediksi potensi banjir, sedangkan sistem pemantauan banjir berfungsi sebagai instrumen verifikasi kondisi aktual di lapangan. Konfigurasi sistem *IoT* ditunjukkan pada Lampiran 11, dengan *user-interface* peringatan dini melalui *WhatsApp* serta pemantauan banjir melalui *Blynk*.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa inovasi *SEMAR-SUDS* (Semarang–*Sustainable Urban Drainage Systems*) merupakan hasil integrasi tiga komponen utama, yaitu *Debris Separate Baffle Box (DSBB)*, *ArborFlow*, dan *Self-Closing Flood Barrier (SCFB)* terintegrasi *Internet of Things (IoT)* yang secara sinergis berkontribusi terhadap pengembangan sistem drainase cerdas, adaptif, dan berkelanjutan di kawasan Polder Tawang Semarang.

Penerapan *DSBB* berfungsi sebagai sistem filtrasi awal yang efektif memisahkan sampah padat, sedimen, dan minyak sebelum air masuk ke saluran utama, sehingga dapat menurunkan kandungan *Total Suspended Solid (TSS)* hingga 100% untuk ukuran $\geq 4,7$ mm dan menjaga kualitas air limpasan. Selanjutnya, *ArborFlow* berbasis *Eco-drainage* berperan dalam menurunkan debit limpasan hingga 30,91% meningkatkan infiltrasi air hujan, serta memperbaiki kualitas udara dan estetika kawasan perkotaan melalui vegetasi hijau multifungsi. Sementara itu, *Self-Closing Flood Barrier (SCFB)* yang terintegrasi *IoT* bekerja otomatis mengikuti kenaikan muka air dengan tekanan hidrostatis sebesar $621,37 \text{ N/m}^2$ yang mampu menahan debit banjir hingga $8,545 \text{ m}^3$. Integrasi sensor dan sistem peringatan dini (*early warning system*) berbasis *Blynk* dan *WhatsApp* memungkinkan pemantauan ketinggian air secara real-time dan respons cepat terhadap potensi banjir.

Keunggulan utama *SEMAR-SUDS* dibandingkan sistem drainase konvensional terletak pada pendekatannya yang holistik, adaptif, dan berwawasan ekologis. Sistem drainase konvensional cenderung hanya berfungsi menyalurkan air tanpa mempertimbangkan aspek filtrasi, retensi, atau penyimpanan sehingga rentan terhadap penyumbatan dan genangan. Sebaliknya, *SEMAR-SUDS* menawarkan pendekatan revolusioner yang tidak hanya sekadar mengalirkan, tetapi juga menyaring, menyerap, dan mengatur aliran air hujan dalam sebuah sistem yang lebih efisien dalam mengurangi limpasan permukaan sekaligus meningkatkan daya tahan infrastruktur. Secara teknis, efisiensinya mencapai lebih dari 80% dalam mengurangi potensi genangan, sementara secara ekonomis, sistem ini menekan biaya pemeliharaan jangka panjang karena operasionalnya bersifat otomatis dan minim intervensi manusia.

Secara keseluruhan, *SEMAR-SUDS* merupakan solusi inovatif yang sangat layak diterapkan sebagai prototipe sistem drainase cerdas perkotaan yang menggabungkan prinsip *Nature-Based Solutions* dengan teknologi digital berbasis *Smart Water Management*. Inovasi ini tidak hanya meningkatkan ketahanan infrastruktur terhadap bencana banjir, tetapi juga mendukung implementasi Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (*SDGs*), khususnya poin ke-9

(infrastruktur berkelanjutan), poin ke-11 (kota tangguh dan berkelanjutan), serta poin ke-13 (aksi terhadap perubahan iklim).

Saran

Implementasi *SEMAR-SUDs* sebagai sistem drainase cerdas dan berkelanjutan memerlukan strategi pengembangan yang terencana, kolaboratif, dan berbasis ilmiah agar potensinya dapat dioptimalkan secara komprehensif. Salah satu langkah strategis yang dapat dilakukan adalah analisis biaya yang mendalam dan berorientasi efisiensi sumber daya untuk memperkuat kelayakan ekonomi serta memastikan keseimbangan antara investasi infrastruktur dan manfaat ekologis yang dihasilkan. Analisis ini juga berfungsi sebagai dasar bagi pengambilan keputusan dalam replikasi *SEMAR-SUDs* di kawasan perkotaan lain yang memiliki karakteristik hidrologis serupa. Selain itu, pengembangan berkelanjutan melalui penelitian lanjutan yang sistematis menjadi langkah penting dalam memperkaya basis data empiris dan mengevaluasi performa sistem dalam jangka panjang, terutama terhadap efektivitas penurunan limpasan, kapasitas infiltrasi, dan ketahanan terhadap curah hujan ekstrem. Penelitian tersebut diharapkan menghasilkan *evidence-based design* yang memperkuat validitas ilmiah sekaligus membuka peluang inovasi lanjutan di bidang *Smart Water Management*.

Keberhasilan implementasi *SEMAR-SUDs* juga dapat diwujudkan melalui kolaborasi lintas sektor dengan pendekatan *Pentahelix*, yang melibatkan pemerintah sebagai pembuat kebijakan dan penyedia regulasi, akademisi sebagai pengembang riset dan inovasi, industri sebagai mitra teknologi dan investasi, masyarakat sebagai penggerak partisipatif, serta media sebagai sarana edukasi dan advokasi publik. Kolaborasi ini akan membentuk ekosistem inovasi drainase yang inklusif, partisipatif, dan berkelanjutan.

Dengan sinergi antara riset ilmiah, efisiensi biaya, dan kerja sama multipihak yang berkesinambungan, *SEMAR-SUDs* memiliki potensi besar untuk menjadi pionir nasional dalam mewujudkan kota tangguh air (*water-resilient city*) di Indonesia sekaligus sebagai simbol transformasi sistem drainase perkotaan, menciptakan kota yang lebih tangguh, efisien, hijau, dan adaptif terhadap perubahan iklim serta menjadi inspirasi bagi pembangunan infrastruktur berkelanjutan di masa depan

DAFTAR REFERENSI

- Bio Clean Environmental Services. (2019). *Technology verification database*.
- Candra Partarini, N. M., & Wirastri, M. V. (2024). Community-based flood resilience: Upaya mitigasi banjir kawasan semi-perkotaan berbasis nature-based solution. *Jurnal Atma Inovasia*, 4(2), 52–59. <https://doi.org/10.24002/jai.v4i2.8692>
- Cities, W. R. (2020). *Case studies on tree-pit SuDS systems: ArborFlow implementation in UK cities*. University of Exeter.
- Contech Engineered Solutions. (2020). *Debris separating baffle box (DSBB): Product and system overview*.
- Dash, S. S., Lakshmi, C., Das, S., & Panigrahi, B. K. (2020). *Artificial intelligence and evolutionary computations in engineering systems*. Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-15-0199-9>
- Edy, D., & Woro, M. T. (2018). The vary functions of polder at heritage area of "Kota Lama Semarang, Indonesia." *International Journal of Scientific and Research Publications*, 8(8). <https://doi.org/10.29322/IJSRP.8.8.2018.p8028>
- GreenBlue Urban. (2021). *ArborFlow tree pit system: Performance and applications*.
- GreenBlue Urban. (2024). *Research data proves ArborFlow tree pit efficacy*.
- Hadi, M. I., Yakub, F., Fakhurradzi, A., Hui, C. X., Najiha, A., Fakharulrazi, N. A., Harun, A. N., Rahim, Z. A., & Azizan, A. (2020). Designing early warning flood detection and monitoring system via IoT. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 479(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/479/1/012016>
- Krishnan, L., Muges, A., Pradeep Kumar, S., & Manivannan, R. (2018). Analytical study on self-closing flood barrier using ANSYS. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 3(16), 1–4.
- Kumar, R. L., Khan, F., Kadry, S., & Rho, S. (2022). A survey on blockchain for industrial Internet of Things. *Alexandria Engineering Journal*, 61(8), 6001–6022. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.11.023>
- Lim, F. Y., Neo, T. H., Guo, H., Goh, S. Z., Ong, S. L., Hu, J., Lee, B. C. Y., Ong, G. S., & Liou, C. X. (2021). Pilot and field studies of modular bioretention tree system with *Talipariti tiliaceum* and engineered soil filter media in the tropics.
- Liu, H., Huang, B., Cheng, X., Yin, M., Shang, C., Luo, Y., & He, B.-J. (2023). Sensing-based park cooling performance observation and assessment: A review. *Building and Environment*, 245. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.109643>
- Luo, X., Liu, X., Wang, Y., Chen, M., Zhao, M., Wang, Y., & Zhang, Q. (2024). Thermoresponsive membrane based on UCST-type organoboron polymer for smart gating and self-cleaning. *Journal of Membrane Science*, 693, 122343. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2023.122343>
- Markey, K., & GreenBlue Urban. (2019). ArborFlow tree pit systems for sustainable urban drainage.
- McPherson, E. G. (2016). Energy conservation potential of urban tree planting.
- Muges, A., Krishnan, L., & Pradeep Kumar, S. (2015). Self-closing flood barrier: A preventive system to defend extreme high flood events. *International Journal of Engineering Research and Technology (IJERT)*, 4(1), 602–604.

- Panior, K. N., Ithnin, Z., Jihin, R. M., Nazri, A. A., Zakaria, S. H. J., & Zulkipli, M. Z. (2025). Design concept and stress analysis of a self-activated flood barrier. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1444(1), 012027. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1444/1/012027>
- Peng, J., Cao, Y., Rippy, M., Afrooz, A., & Grant, S. (2016). Indicator and pathogen removal by low impact development best management practices. *Water*, 8(12), 600. <https://doi.org/10.3390/w8120600>
- Pramono, A. N., & Saputro, P. T. (2021). Efektivitas kolam retensi terhadap pengendalian banjir. *G-Smart*, 4(2), 94. <https://doi.org/10.24167/gsmart.v4i2.2331>
- Rima, B., Hejazi, F., Rashid, R. S. M., & Rahmatian, A. (2025). Development of a self-rising floodwall system using ultra high-performance fibre reinforced concrete. *Structures*, 80, 109911. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2025.109911>
- Samosir, A. Y., Sitompul, S. S., Musa, M., & Hidayatullah, S. (2023). Peningkatan pemahaman konsep hukum Archimedes berbasis pembelajaran model kooperatif tipe two stay two stray. *Jurnal Inovasi Penelitian dan Pembelajaran Fisika*, 4(2), 78–85. <https://doi.org/10.26418/jippf>
- Shi, F., Meng, Q., Pan, L., & Wang, J. (2024). Key factors influencing street tree root conflicts with planting pits and sidewalks in old Guangzhou, China. *Urban Forestry & Urban Greening*, 101, 128538. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2024.128538>
- Solutions, C. E. (2020). *Debris separating baffle box (DSBB) product brochure*. Contech.
- Su, C., & Yuan, Z. (2022). Research on design of extensible mobile flood control wall in underground. *Mathematical Problems in Engineering*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/9173769>
- Supérieure, É. (2016). Effective pollutant mitigation of stormwater run-off using ArborFlow.
- Suripin, S., & Kurniani, D. (2016). Pengaruh perubahan iklim terhadap hidrograf banjir di kanal banjir timur Kota Semarang. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 22(2), 119. <https://doi.org/10.14710/mkts.v22i2.12881>
- Tenda, E., Alfonsius, E., Lumembang, M. M., & Ketaren, E. (2023). Early warning system untuk potensi bencana longsor di Kota Manado berbasis Internet of Things. *Jurnal TIMES*, 12(2), 64–70. <https://doi.org/10.51351/jtm.12.2.2023710>
- United States Environmental Protection Agency. (2021). *Stormwater best management practices (BMPs) for urban runoff*. Washington, DC.
- Utami, S. R. L., & Hidayat, A. W. (2020). Analisis banjir rob sistem polder Tawang Kota Lama Semarang Utara. *Jurnal Kajian Teknik Sipil*, 5(1), 14–27. <https://doi.org/10.52447/jkts.v5i1.4110>
- Zhou. (2012). Study on ecological benefits of street trees in districts of Harbin, based on i-Tree model. *Advanced Materials Research*, 518–523.