

Implementasi Konsep Kota Spons dalam Pengelolaan Air Perkotaan: Evaluasi Efektivitas Melalui Studi Literatur pada Beberapa Kota di Cina

Dhea Ananda Putri¹, Danindra Atharikusuma²

^{1,2}Sekolah Arsitektur, Perencanaan, dan Pengembangan Kebijakan, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia

Email: dhea.ndph@gmail.com¹, danindra1996@yahoo.com²

Received 25 Januari 2024 / Revised 23 Februari 2024 / Accepted 23 Maret 2024

ABSTRAK

Banjir perkotaan merupakan permasalahan utama di seluruh dunia. Urbanisasi di Cina meningkatkan intensitas hujan dan efek pulau panas perkotaan, yang mengubah hidrologi regional dan meningkatkan risiko banjir. Pada 2013, Cina meluncurkan program 30 Kota Spons untuk mengurangi genangan air, memanfaatkan air hujan, mengendalikan aliran air, dan meningkatkan lingkungan air perkotaan. Konsep Kota Spons menekankan konservasi, restorasi, dan rehabilitasi ekosistem, menciptakan kota yang tangguh dan mampu mempertahankan hidrologi alami. Penelitian ini mengevaluasi efektivitas manajemen air hujan perkotaan dengan menggunakan indeks Kota Spons di Cina berdasarkan studi literatur. Hasilnya menunjukkan keberhasilan signifikan Kota Spons dalam penanganan air hujan, menghilangkan polutan, dan meredakan efek pulau panas perkotaan. Selain itu, artikel ini memberikan wawasan tentang tantangan, regulasi, serta skema pembiayaan yang digunakan di Cina untuk mengeksplorasi kemungkinan kebijakan masa depan yang dapat diadopsi oleh kota-kota di Indonesia. Dengan menerapkan konsep Kota Spons, diharapkan dapat mengurangi risiko banjir dan meningkatkan ketahanan air di kota-kota Indonesia.

Kata kunci: Kota Spons, pengelolaan limpasan air, infrastruktur hijau

ABSTRACT

Urban flooding is a major issue worldwide. Urbanization in China has increased the intensity of rainfall and the urban heat island effect, altering regional hydrology and increasing flood risks. In 2013, China launched the Sponge City program to reduce waterlogging, utilize rainwater, control runoff, and improve urban water environments. The Sponge City concept emphasizes the conservation, restoration, and rehabilitation of ecosystems, creating resilient cities capable of maintaining natural hydrology. This research evaluates the effectiveness of urban rainwater management in China using the Sponge City index based on literature studies. The results show the significant success of Sponge Cities in managing rainwater, removing pollutants, and alleviating the urban heat island effect. Additionally, this article provides insights into the challenges, regulations, and financing schemes used in China to explore future policy possibilities that could be adopted by cities in Indonesia. By implementing the Sponge City concept, it is hoped that flood risks can be reduced and water resilience can be improved in Indonesian cities.

Keywords: Sponge City, water runoff management, green infrastructure

1. PENDAHULUAN

Semua negara untuk mencapai modernisasi ekonomi dan sosial melakukan pembangunan perkotaan. Pada tahun 2018, 55% dari populasi dunia dicatat tinggal di daerah perkotaan, proporsi yang diperkirakan akan meningkat menjadi 68% pada tahun 2050. Proyeksi menunjukkan pertumbuhan populasi diperkirakan akan sangat terkonsentrasi di perkotaan terutama pada beberapa negara, seperti Cina, India, dan Indonesia [1][2]. Dampak terjadinya urbanisasi mengarah pada peningkatan jumlah dan intensitas hujan oleh efek pulau panas perkotaan, mengubah kondisi hidrologi regional dan mengurangi stabilitas lereng, meningkatkan tingkat keparahan dan frekuensi bencana alam[2]. Cina telah mengalami permasalahan banjir selama 15 tahun terakhir. Salah satu fenomena banjir parah terjadi di Beijing pada 21 juli 2012, menyebabkan banyak korban jiwa dan kerugian ekonomi. Pada tahun 2010, Cina mengalami kerugian total lebih dari 350 miliar yuan. Pada tahun 2011-2014 kerugian finansial yang dicapai 100 miliar yuan dengan 62% kota terdampak, pada tahun 2015 banjir menyebabkan kerugian sebesar 160 miliar yuan dengan hampir 150 kota terdampak dan pada tahun 2016 total kota yang mengalami banjir sekitar 98% yaitu 641/654 kota [3]. Namun, selain banjir, Cina juga mengalami krisis keruangan air. Pada tahun 2020 sumber daya air per kapita yang tersedia pada Cina hanya seperempat dari rata-rata dunia. Lebih dari 60 juta orang mengalami kekurangan air bersih pada tahun 2019 karena pertambangan batu bara [4].

Pembangunan perkotaan di Cina mencapai prestasi signifikan, tetapi menyebabkan banyak permasalahan genangan air ketika hujan lebat. Sehingga, pemerintah Cina membutuhkan solusi inovatif untuk mengatasi drainase dan genangan air. Konsep Kota Spons bertujuan mencegah penumpukan air saat hujan ringan dan mengurangi genangan saat hujan lebat. Pendekatan ini memungkinkan pemanfaatan optimal air hujan, mengendalikan aliran air hujan, serta meningkatkan lingkungan air dan konservasi sumber daya air perkotaan. Kota Spons dapat menyerap serta menggunakan air hujan secara langsung melalui peningkatan permeabilitas permukaan jalan, kapasitas penyimpanan air, penyaringan air, dan pemanfaatan air di Kawasan Hijau Rendah dan taman hujan [5], serta memberikan berbagai layanan ekosistem untuk tujuan lingkungan, sosial, dan ekonomi. Fokus utamanya untuk memulihkan siklus air alami dan fungsi ekologis dengan kombinasi infrastruktur hijau dan abu-abu [6]. Berbagai negara memiliki konsep serupa dalam mengelola limpasan permukaan seperti praktik manajemen terbaik (*Best Management Practices*) di Swedia dan pengembangan berdampak rendah (*Low-impact development*) di Amerika Serikat, *Sustainable Urban Drainage System* (SUDS) di Inggris, *Water Sensitive Urban Design* (WSUD) di Australia, dan *Active, Beautiful, Clean* (ABC) water di Singapura [7].

Banyak literatur di seluruh dunia yang telah menilai dan mengevaluasi efektivitas Kota Spons [7][8]. Selain itu, beberapa penelitian juga telah membahas tantangan dan hambatan implementasi Kota Spons [3][9]. Terdapat banyak penelitian yang telah mengkaji dampak pengelolaan air hujan dengan Konsep Kota Spons [6][10][11][12]. Selanjutnya, ada juga penelitian yang mendiskusikan performa dan kebijakan Kota Spons [7][13]. Meskipun demikian, diskusi terkait penerapan, efektivitas, tantangan, serta regulasi penerapan Kota Spons masih sangat minim di Indonesia. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi konsep dan meninjau perencanaan Kota Spons di Cina. Selanjutnya, penelitian ini bertujuan untuk menggali efektivitas Kota Spons dengan membandingkan indeks Kota Spons berdasarkan regulasi pemerintah Cina. Selain itu, penelitian ini juga membahas tantangan teknis yang mungkin dihadapi dalam mengadopsi Konsep Kota Spons. Penelitian ini tidak hanya berfokus pada evaluasi efektivitas, tetapi juga memberikan wawasan tambahan mengenai pendanaan Kota

Spons. Tujuannya adalah memberikan pandangan yang bagi pemerintah Indonesia dalam menerapkan Konsep Kota Spons.

2. METODOLOGI

Artikel ini mengeksplorasi makalah dan publikasi yang berkaitan dengan manajemen air dan upaya mitigasi limpasan air dengan menerapkan konsep Kota Spons di Cina. Sumber informasi utama yang digunakan dalam penulisan ini bersumber dari beberapa artikel sebanyak 22 artikel atau penelitian terdahulu selama periode penelitian selama 5 tahun, dimulai dari tahun 2017 sampai 2023 yang berkaitan dengan topik implementasi konsep Kota Spons dalam pengelolaan air perkotaan di Cina. Kemudian, dilakukan proses tinjauan, analisis, dan ringkasan dalam artikel ini sehingga dapat menyajikan informasi yang relevan dan diinginkan oleh pembaca. Banyak penelitian telah dilakukan untuk mengevaluasi kinerja Kota Spons dalam mengurangi polutan dan mengelola air hujan [14]. Tinjauan ini mengacu pada kinerja Kota Spons dalam mengurangi volume aliran permukaan dan mengelola air hujan serta polutan, dengan membandingkan indikator kinerja Kota Spons. Pembahasan ini juga mencakup manfaat penerapan konsep Kota Spons dalam mengatasi tantangan perkotaan, seperti mencegah banjir perkotaan, peningkatan kualitas ekosistem, sosial dan ekonomi. Fokus utama pada bagian awal artikel adalah membahas penerapan konsep Kota Spons, melibatkan tujuan, indikator, dan kebutuhan yang muncul dalam berbagai konteks perkotaan. Pembahasan ini juga mencakup keuntungan penerapan konsep Kota Spons dalam mengatasi permasalahan perkotaan. Selain itu, bagian ini juga mencakup pembahasan mengenai indikator yang diterapkan dalam Kota Spons untuk meningkatkan ekologi air, keamanan air, serta aspek lingkungan dan sumber daya air perkotaan. Tinjauan studi ini memberikan pemahaman tentang bagaimana konsep Kota Spons dapat memberikan dampak positif terhadap kehidupan perkotaan. Bagian selanjutnya dalam artikel ini adalah membahas penilaian kinerja Kota Spons berdasarkan pedoman yang diterapkan di Cina. Pedoman ini memiliki delapan belas indeks dan terbagi menjadi empat kategori yang digunakan untuk menilai efektivitas konstruksi Kota Spons. Dimana indeks indikator yang dimiliki tidak terbatas dan selalu dilakukan pembaharuan setiap tahunnya agar dapat mengikuti perkembangan dan kebutuhan kota. Pada bagian akhir pembahasan dalam artikel ini adalah menyajikan pembahasan mengenai skema pembiayaan saat ini yang diterapkan di Cina untuk mengatasi masalah tingginya biaya pembangunan dan operasional. Selain itu, akan dibahas terkait tantangan yang dihadapi dalam penerapan konsep Kota Spons. Selanjutnya, artikel ini akan memberikan usulan terkait orientasi kebijakan masa depan yang dapat diterapkan oleh kota-kota di Indonesia berdasarkan pembelajaran dari pengalaman Cina dalam menghadapi isu-isu terkait manajemen air hujan dan limpasan air.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kota Spons dikembangkan pada tahun 2013 sebagai terobosan untuk mengelola air perkotaan di Cina. Terdapat empat prinsip utama dalam Kota Spons. Pertama, membuat kota mampu menyerap, menyimpan, memurnikan air hujan dengan konsep hidrologi secara alami dan melepaskan air ketika terjadi kekeringan sehingga menjaga sumber daya air tanah menjadi stabil [15]. Prinsip yang kedua adalah pengelolaan air melalui filtrasi alami yang dilakukan oleh vegetasi dengan menyediakan desain yang ramah lingkungan. Ketiga, berikatan dengan penerapan infrastruktur hijau untuk mengolah limpasan air hujan untuk dimurnikan, dipulihkan, dan digunakan kembali untuk menghindari pencemaran tanah, selain itu dapat mengurangi efek "Pulau Panas Perkotaan" dan keempat yaitu

pembangunan jalan perkotaan dengan perkerasan permeabel. Berikut ini merupakan tabel yang membandingkan konsep Kota Spons berdasarkan studi literatur:

Tabel 1. Perbandingan konsep Kota Spons

Referensi	Publikasi	Definisi
Kementerian Keuangan, bersama dengan Kementerian Perumahan dan Pembangunan Kota (MOHURD)	2014	Kota ini dibangun menyerupai spons, memiliki "ketangguhan" yang baik dalam menyesuaikan diri terhadap perubahan lingkungan dan mengatasi bencana alam. Kota ini mampu menyerap, menyimpan, meresap, dan membersihkan air selama hujan. Sistem ini siap digunakan dan memiliki dampak lingkungan yang minim.
[16]	2015	Infrastruktur "abu-abu" dan "hijau" perlu dibangun sebagai infrastruktur yang tahan terhadap air hujan. Dengan cara ini, air dapat dimanfaatkan secara efisien. Kota dapat menghadapi tantangan perubahan iklim, serta menjaga keseimbangan ekosistem perkotaan
Kementerian Keuangan, bersama dengan Kementerian Perumahan dan Pembangunan Kota (MOHURD)	2015	Pembangunan Kota Spons perlu menerapkan tindakan "infiltrasi, detensi, retensi, penyaringan, pemanfaatan, dan pembuangan" agar dapat mengurangi dampak dari pembangunan dan aktivitas konstruksi perkotaan.
[9]	2017	Sebagai konsep dan model konstruksi perkotaan yang baru, Kota Spons menjadi bagian dari upaya perbaikan menyeluruh terhadap sumber daya air dan lingkungan air perkotaan, dengan pemberian fokus pada penanganan banjir perkotaan serta peningkatan kondisi lingkungan air perkotaan
Kementerian Keuangan, bersama dengan Kementerian Perumahan dan Pembangunan Kota (MOHURD) serta Kementerian Sumber Daya Air Republik Rakyat Cina	2021	Kota Spons mengoordinasikan pembangunan fasilitas pengendalian banjir dan drainase, perbaikan lingkungan air perkotaan, restorasi ekosistem perkotaan, dan pengembangan ruang hijau.

Sumber: [17]

Implementasi Kota Spons dapat diterapkan pada skala makro hingga mikro. Pada skala makro fokus utamanya dengan implementasi desain dengan taman hujan, bio-retensi, bioswale, dan pengolahan lahan basah. Pada skala mikro fokus utamanya implementasi desain pada tingkat lokal dengan atap hijau untuk menangkap air hujan. Manfaat yang didapatkan dengan menerapkan Kota Spons yaitu dapat mengurangi kerugian akibat banjir, meningkatkan kota menjadi lebih layak huni dan meningkatkan investasi pembangunan infrastruktur berbasis keberlanjutan [12]. Intinya, konsep ini mempromosikan ketahanan air, pembangunan berdampak rendah (*Low-impact development*) dan konservasi beserta rehabilitasi ekosistem. Untuk pengelolaan air hujan konsep Kota Spons mengkombinasikan infrastruktur hijau dengan abu-abu sehingga dapat meningkatkan infiltrasi ke dalam tanah, pengelolaan limpasan air hujan ini dapat menangani berbagai permasalahan kota termasuk kelangkaan air, polusi air dan degradasi

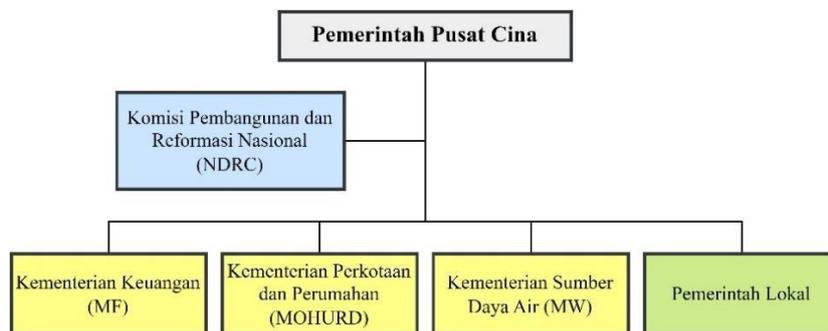
lingkungan. Konsep Kota Spons dikembangkan berdasarkan respon realitas terhadap peningkatan banjir perkotaan, dengan konsep yang lebih mampu menangani pengelolaan air perkotaan. Konsep Kota Spons menekankan pada konservasi, restorasi dan rehabilitasi ekosistem untuk membangun kota yang *resilience*. Kesuksesan implementasi Kota Spons dapat dimaksimalkan dengan mengkombinasikan infrastruktur hijau dan abu-abu [18].

3.1 Penerapan Kota Spons

Kota Spons di Cina memiliki tujuan utama yang padu untuk mengatasi berbagai tantangan lingkungan perkotaan. Salah satunya adalah mengurangi dampak banjir dan limpasan air perkotaan yang semakin meningkat. Melalui penerapan konsep Kota Spons, upaya dilakukan untuk memperlambat laju pertumbuhan kota yang kedap air dengan memanfaatkan infrastruktur hijau dan sistem jaringan drainase. Selain itu, Kota Spons juga bertujuan meningkatkan kualitas air perkotaan dengan mengurangi polusi melalui langkah-langkah non struktural dan struktural, termasuk penerapan Infrastruktur Hijau yang dapat menghilangkan polusi air. Proses urbanisasi yang telah mengubah permukaan ekologis juga menjadi perhatian, dan konsep Kota Spons berusaha mengembalikan fungsi ekologis air perkotaan dengan beradaptasi dengan alam, menggunakan tanah, tanaman, dan mikroorganisme sebagai alat untuk memurnikan air secara biologis. Selain itu, Kota Spons juga berfokus pada pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan dengan memanfaatkan air hujan sebagai sumber daya alternatif. Akselerasi populasi perkotaan dan kebutuhan air yang terus meningkat menjadi tantangan, dan dengan pemanenan air hujan dari atap dan permukaan bangunan, Kota Spons berusaha mengurangi permintaan air dan limpasan, serta memberikan kontribusi positif terhadap aspek ekonomi dan sosial. Terakhir, upaya Kota Spons juga mencakup perbaikan iklim mikro di lingkungan perkotaan dengan pendekatan seperti lanskap air perkotaan dan infrastruktur hijau untuk menciptakan lingkungan yang lebih nyaman dan berkelanjutan bagi penduduk perkotaan [19][17].

Dalam upaya mengatasi kompleksitas persoalan air di perkotaan, strategi Kota Spons yang diusulkan oleh Cina mencerminkan pendekatan yang padu. Konsep *resilience* menjadi inti dalam beradaptasi dengan perubahan lingkungan, di mana infrastruktur spons berperan sebagai solusi multifungsi [6]. Saat terjadi kelebihan air, infrastruktur ini menyerap dan menyimpannya, mengurangi limpasan perkotaan. Sebaliknya, pada masa kekeringan, air yang disimpan dilepaskan untuk mengisi ulang sumber air tanah dan sungai [20]. Pendekatan sistematis dan komprehensif tercermin dalam berbagai tindakan pengelolaan air, seperti pengerukan sungai, revitalisasi, dan pemanfaatan air hujan. Meskipun upaya ini telah dilakukan, strategi Kota Spons diarahkan untuk mengatasi semua aspek permasalahan air perkotaan. Aspek ramah lingkungan juga ditekankan, dengan penekanan pada konsep hidrologi alami, perlindungan alam, pelestarian ekologi setempat, dan penerapan pendekatan konsep alam sebagai bagian integral dari manajemen air yang berkelanjutan [3]. Dalam demonstrasi Kota Spons Implementasi yang berfokus pada berbagai skala. Terdapat 4 objek tujuan yang ini diselesaikan dalam implementasi Kota Spons berupa mitigasi banjir, perbaikan lingkungan air, pemanfaatan sumber daya air, dan pemulihan ekologi air [10][19].

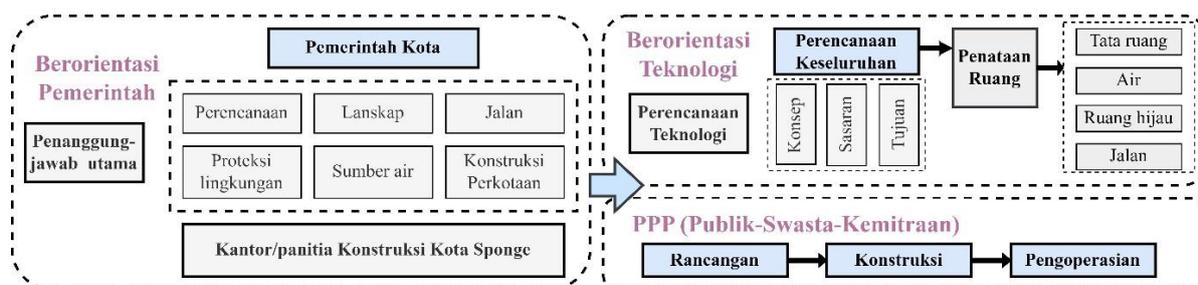
3.2 Tinjauan Konsep Perencanaan



Gambar 1. Badan Pemerintah Pusat Cina yang terlibat dalam implementasi Kota Spons

Sumber: [12]

Program Kota Spons diusulkan oleh pejabat, Kementerian Perumahan dan Konstruksi Perkotaan-Pedesaan (MOHURD) dan Kementerian Sumber Daya Air (MWR) pada Desember 2013 [21]. Implementasi Kota Spons menjadi tanggung jawab utama pemerintah. Pemerintah pusat berperan sebagai promotor penyelenggaraan Kota Spons dan pemerintah setempat yang menyelenggarakan keseluruhan pembangunan dan pengelolaan. Selanjutnya akan dibentuk komite konstruksi Kota Spons yang terdiri dari fungsionaris kota pada bidang perencanaan kota, konstruksi lanskap, transportasi, dan perlindungan sumber daya dan air. Komite ini bertugas mengatur permasalahan terkait konstruksi dan manajemen dalam implementasi Kota Spons. Konsep, target dan strategi dalam perencanaan kota secara menyeluruh dimasukkan ke dalam perencanaan. Pada proses perencanaan, semua tingkat perencanaan diorientasikan oleh teknologi. Skema yang sesuai dengan penerapan tujuan Kota Spons diusulkan pada penerapan infrastruktur, pengelolaan air, ruang hijau dan sistem jalan. Kemitraan Pemerintah-Swasta didorong dalam pembiayaan dan tanggung jawab pada desain pada tahap desain, konstruksi dan operasi [19].



Gambar 2. Implementasi Cina dari Konstruksi Percontohan Kota Spons

Sumber: [19]

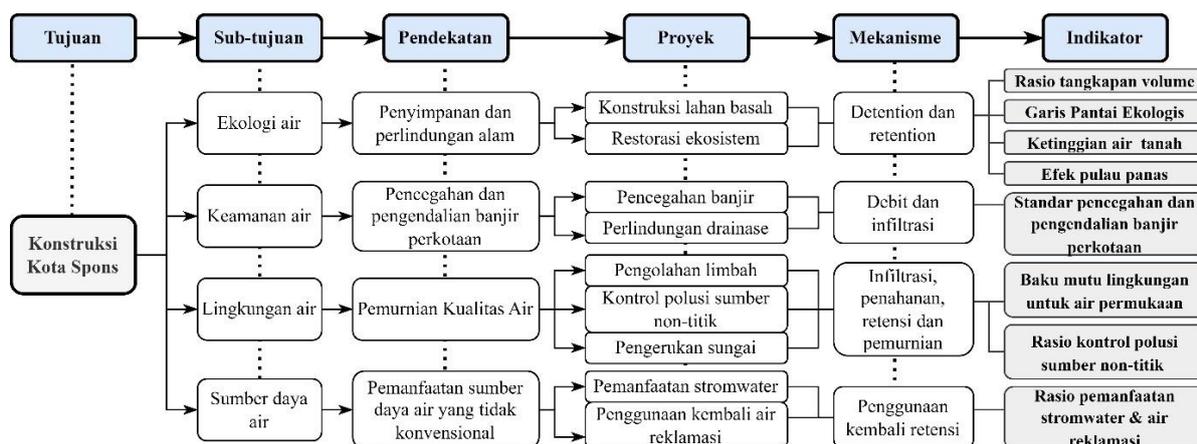
Pemerintah kota dianjurkan menerapkan standar Kota Spons dan menetapkan standar kerja dengan mengikuti pedoman yang dipandu oleh Kementerian Perumahan dan Pembangunan Perkotaan-Pedesaan (MOHURD) dan Kementerian Keuangan dan Kementerian Sumber Daya Air. Pedoman Nasional Kota Spons Berupa: Mematuhi ekologi dan siklus alam, berpegang teguh pada pembinaan dan pembangunan melalui perencanaan, dan Mematuhi bimbingan pemerintah dan partisipasi sosial. Hal ini bertujuan untuk meminimalisir dampak pembangunan perkotaan terhadap lingkungan [18]. Kementerian Perumahan dan Pembangunan Perkotaan-Pedesaan, Kementerian Keuangan, Kementerian Sumberdaya Air setiap tahunnya menilai kinerja Kota Spons. Kementerian Keuangan akan

memberikan dana berdasarkan hasil evaluasi. Indeks Evaluasi Kota Spons terbagi menjadi 4 kelas, kota dengan nilai "sangat baik" akan dialokasikan dana penuh dengan bonus sebesar 10%, kota dengan nilai "baik" akan diberikan dana penuh, kota dengan nilai "memenuhi syarat" akan ditunda sebesar 30% untuk alokasi dana tahun berikutnya, dan kota dengan indeks "tidak memenuhi syarat" diterapkan penarikan semua dana dan ditunda pada tahun selanjutnya. Pembangunan Kota Spons sesuai dengan rencana induk perkotaan oleh pemerintah kota. Departemen perencanaan kota berkolaborasi dengan departemen konstruksi, administrasi departemen air dan pertamanan, selain itu juga menerima pendapat dari departemen terkait dan pakar masyarakat, setelah disetujui semua pihak rencana Kota Spons akan diterbitkan pemerintah kota [18].

Terdapat 6 target yang diterapkan pada Kota Spons yaitu infiltrasi, retensi, penyimpanan, pemurnian, pemanfaatan pada limpasan air hujan. Pembangunan ini ditekankan untuk konservasi, restorasi dan rehabilitasi lingkungan perkotaan dengan melestarikan alam untuk mempertahankan hidrologi alami [18]. Implementasi Kota Spons terdiri dari 4 fase, pada fase pertama yaitu dengan menganalisis permasalahan air dan pengelolaan air untuk identifikasi kebutuhan dalam implementasi. Tahap kedua yaitu dengan pengembangan skenario berdasarkan iklim, pertumbuhan penduduk dan kebutuhan air. Tahap ke 3 yaitu dengan melakukan pemilihan dan pengembangan permodalan untuk simulasi Kota Spons dan pada tahap akhir berupa tahap perencanaan. Dalam perencanaan Kota Spons pemilihan kota harus memenuhi syarat dengan identifikasi masalah dalam pengelolaan air. Selanjutnya setiap kota harus memiliki alasan yang kuat untuk pembangunan infrastruktur spons ditambah kota menentukan potensi dengan tujuan jangka pendek dan panjang pada area yang akan dibangun sehingga pembangunan berorientasi pada target [22].

3.3 Penilaian Kinerja Kota Spons

Indeks evaluasi konstruksi Kota Spons di Cina juga terus diperbarui. Pedoman yang dikeluarkan oleh Kementerian Perumahan dan Urusan perkotaan dan pedesaan (MOHURD) pada tahun 2015 di mana delapan belas indeks terbagi dalam empat kategori yang mencakup ekologi air, keamanan air, lingkungan air serta sumber daya air. Prosedur ini digunakan untuk secara sistematis menilai efektivitas konstruksi Kota Spons. Namun, manajemen air hujan perkotaan dinilai berdasarkan rasio tangkapan volume limpasan tahunan total, pemanfaatan sumber daya air hujan, dan pengendalian banjir air hujan perkotaan. Perubahan dalam indeks evaluasi menunjukkan bahwa konstruksi Kota Spons di Cina tidak terbatas pada pengembangan rendah dampak, dan lebih menekankan pada peningkatan fungsi perkotaan secara keseluruhan [17]. Penelitian ini membandingkan kinerja Kota Spons dalam manajemen air hujan perkotaan di beberapa kota di Cina.



Gambar 3. Pendekatan Sistematis Konsep Kota Spons

Sumber: [12]

3.4 Rasio Tangkapan Volume

Kontrol limpasan dan mitigasi banjir merupakan dua fokus utama konsep Kota Spons. Rasio tangkapan volume merupakan ambang batas minimum yang tertera dalam peta zonasi untuk rasio tangkapan volume curah hujan tahunan yang khusus untuk wilayah proyek Kota Spons. Hal ini didasari karena perbedaan distribusi curah hujan, intensitas dan volume limpasan dapat bervariasi sesuai dengan karakteristik tata air yang berbeda sehingga diperlukan ambang batas minimum untuk mengevaluasi efektivitas konsep Kota Spons [7]. Rasio tangkapan volume dapat dihitung dengan berbagai jenis skenario untuk mengetahui kemampuan konsep Kota Spons dalam menangkap dan mengelola curah hujan dengan setidaknya curah hujan harian 24 jam selama setidaknya 30 tahun. penafsiran Rasio tangkapan volume memungkinkan perhitungan volume penyimpanan yang efisien, namun tidak mempertimbangkan infiltrasi spesifik daerah tangkapan, evapotranspirasi, durasi periode kering antar-peristiwa, dan distribusi peristiwa hujan sepanjang tahun [23]. Pada Tabel 1 ditunjukkan bahwa studi-studi global saat ini menggunakan beragam model untuk mensimulasikan atau mengukur penurunan aliran air dengan periode pengembalian suatu wilayah, dan juga selektivitas setelah menerapkan Konsep Kota Spons [11].

Tabel 2. Efektivitas Penurunan Aliran Perkotaan

Referensi	Area	Luas Area (km ²)	Model Simulasi	Periode Pengembalian (tahun)	Penurunan Aliran (%)	Efektivitas
[17]	Shenzen	1,986 km ²	-	10 tahun	70%	Implementasi ini mengendalikan aliran air hujan sehingga mencegah banjir selama hujan lebat
[24]	Qian'an	2.94 km ²	Model SWMM	-	-	Penerapan ini mampu mengendalikan aliran puncak serta meredakan banjir perkotaan secara bertahap. Serta berdasarkan analisis skenario menunjukkan bahwa tingkat pengurangan aliran permukaan berkurang seiring meningkatnya periode penggunaan.

Referensi	Area	Luas Area (km ²)	Model Simulasi	Periode Pengembalian (tahun)	Penurunan Aliran (%)	Efektivitas
[7]	Beijing	16,411 km ²	Model SWMM	50 tahun	55%	Reduksi tingkat aliran air menurun sejalan dengan meningkatnya periode pengembalian dari badai desain. Disarankan untuk menggabungkan infrastruktur hijau dengan infrastruktur abu-abu guna mencapai mitigasi banjir yang optimal saat terjadi hujan ekstrem
[7]	Guangzhou	7,434 km ²	Model SWMM	10 tahun	76.10%	Simulasi dilakukan untuk peristiwa durasi hujan selama 6 jam tanpa henti. Hasilnya menunjukkan kinerja yang sangat baik dalam mengurangi aliran awal serta mitigasi aliran puncak. Efisiensi cenderung berkurang seiring dengan meningkatnya periode pengembalian dari kondisi badai.
[6]	Baicheng	25,683 km ²	-	-	56.4%	Sebelum penerapan konsep Kota Spons sebanyak 93% dari sistem saluran air hujan tidak memenuhi standar sehingga menyebabkan genangan pada 14 lokasi seluas 140,9 ha. Setelah penerapan konsep Kota Spons, sistem saluran air hujan memenuhi standar dan mengalami peningkatan sebesar 60%.
[21]	Pusat olahraga, Guangxi	0.64 km ²	Model SWMM, AHP	-	>75%	Simulasi dijalankan untuk durasi hujan selama 90 menit, dengan rata-rata hujan sebesar 36 mm. Penerapan fasilitas skala mikro seperti bioretensi dapat mengontrol dan mengelola aliran hujan.
[17][18]	Wuhan		-	50-100 tahun	60%–85%	Program ini telah mencapai kesuksesan besar dan menunjukkan kemampuan luar biasa dalam mencegah genangan air secara signifikan.

3.5 Pemanfaatan Sumber Daya Air Hujan

Salah satu fokus utama dalam pembangunan Kota Spons adalah peningkatan kualitas air. Diketahui bahwa aliran permukaan perkotaan, termasuk banjir, membawa polusi dari sumber non-titik ke dalam badan air penerima, menyebabkan dampak negatif pada lingkungan. Efektivitas penerapan konsep Kota Spons di Cina dapat dinilai melalui evaluasi Pengembangan Berdampak Rendah (LID) dalam mengurangi aliran air dan menghilangkan polutan selama siklus hidupnya. Sebagai ilustrasi, penggunaan permukaan permeabel mampu mengurangi aliran air hujan lebih dari 55% dan

menghilangkan sebagian besar polutan umum dalam aliran air hujan seperti *Total Suspended Solids* (TSS), total nitrogen (TN), *total phosphorous* (TP), dan logam berat, mencapai tingkat penghilangan hingga 89.6% [6]. Beton permeabel (PC) tanpa penyumbatan menunjukkan kinerja terbaik dalam mengatasi banjir dan menghilangkan polutan, sementara *paver* beton *interlocking permeabel* (PICP) paling tidak rentan terhadap penyumbatan [25]. Fasilitas *Green Roof* (GR), yang dianggap sebagai fasilitas berbasis infiltrasi yang mendorong penghilangan polutan, juga memiliki dampak yang signifikan [7], serta dapat mengurangi rata-rata aliran permukaan hingga 70% [26]. Se jauh ini sebagian besar proyek di Cina difokuskan pada pengurangan aliran air hujan dan mitigasi polusi air hujan, belum ada analisis yang koheren mengenai penggunaan air hujan, seperti untuk toilet dan irigasi ruang hijau publik. Hingga saat ini baru dilakukan pengumpulan air hujan oleh tangki air atau *cistern*. Bagaimana penggunaan air setelah terkumpul belum disimulasikan oleh model manajemen air hujan saat ini [27].

Tabel 3. Fungsi Fasilitas Kota Spons

Fasilitas	Fungsi					Tingkat penghilangan polutan (%)	Fitur dan Penerapan Fasilitas
	Infiltrasi	Penahanan	Penyimpanan	Pemurnian	Pemanenan		
Permukaan Permeabel	✓					80-90%	Menurunkan aliran air secara signifikan sehingga mengurangi efek aliran air hujan pada jalan perkotaan.
Atap Hijau (Green Roof)	✓	✓	✓			70-80%	Mengurangi aliran air hujan dari atap, meningkatkan penghijauan perkotaan, dan meredakan efek pulau panas perkotaan dengan mengurangi konsumsi energi bangunan
Bioretensi	✓	✓	✓	✓		50-80%	Menggunakan efek perangkap oleh tanaman dan media tanah untuk menahan sebagian aliran air hujan, sambil menambahkan ruang hijau untuk memperindah kota.
Tong Hujan (Rain Barrel)					✓	-	Menyimpan limpasan air dari atap dan kemudian menggunakan air tersebut setelah melalui proses penyaringan untuk efisiensi penggunaan sumber daya air.
Kolam Penahanan (Detention Pond)		✓	✓		✓	70-95%	Sebagai fasilitas penahanan air hujan, kolam ini dapat menahan puncak aliran limpasan air hujan selama periode sementara. Setelah aliran maksimum menurun, air hujan akan secara perlahan dilepaskan.

Sumber: [9][11][18][28]

3.6 Pengendalian Banjir Air Hujan Perkotaan

Setelah penyelesaian proyek pembangunan konsep Kota Spons, berbagai jenis infrastruktur pengelolaan air hujan terkait dengan LID akan mulai dioperasikan. Secara khusus, fasilitas-fasilitas ini dirancang untuk mengelola aliran air dan mengurangi pencemaran langsung dari sumbernya, umumnya fokus yang dapat ditangani pada hujan dengan intensitas ringan atau sedang, kemampuan untuk menangani badai

besar masih perlu ditingkatkan [11]. Berdasarkan hasil analisis dibawah pola hujan chi-squared, kemampuan fasilitas LID untuk mengontrol puncak banjir dan volume air lebih lemah. Kemampuan fasilitas LID untuk mengontrol puncak banjir dan volume air secara progresif melemah seiring dengan peningkatan rata-rata puncak gelombang [9].

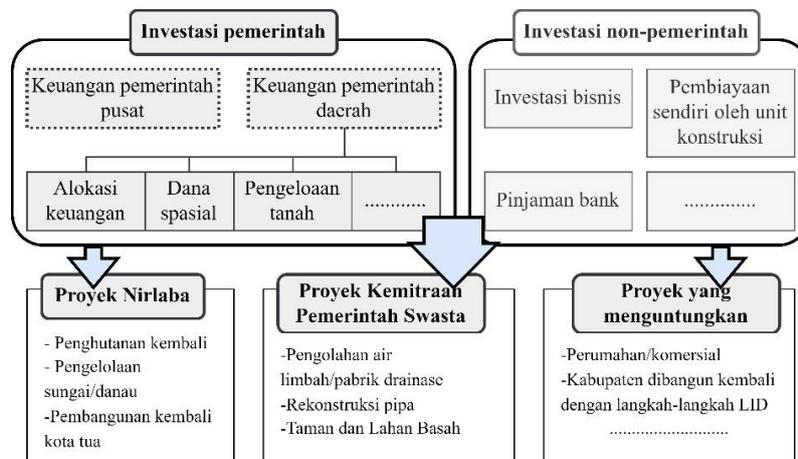
Tabel 4. Hasil penerapan Konsep Kota Spons di beberapa kota di Cina

Referensi	Area	Luas Area Penelitian (km ²)	Hasil Implementasi	Deskripsi
[26]	Chaohu	7.4 km ²	Implementasi LID mengurangi risiko banjir hingga sejumlah batas tertentu.	Praktik LID dapat menahan sebagian volume aliran, sehingga membantu mengurangi beban pada sistem drainase. Meskipun demikian, efektivitas pengurangan banjir pada badai dengan intensitas yang lebih tinggi dan durasi yang lebih lama tidak begitu signifikan karena kapasitas LID yang terbatas.
[17][29]	Shenzen	37.68 km ²	Sebanyak 35% dari wilayah tersebut menjadi terbebas dari banjir perkotaan setelah penerapan LID	Masalah terkait dengan banjir perkotaan tidak dapat diatasi hanya dengan membangun proyek LID.
[30]	Jinan	39 km ²	Fasilitas Pengembangan LID membuktikan dapat mengurangi risiko banjir di daerah tangkapan air perkotaan.	LID mendistribusikan dan menghambat air, dan peningkatan sistem drainase meningkatkan debit air.
[25]	Nanjing	54.3 km ²	Penerapan Praktik LID membuktikan kinerja yang positif dalam mengatasi risiko banjir di wilayah perkotaan, terutama dalam mengurangi area yang memiliki tingkat risiko banjir yang tinggi.	Berbagai situasi penerapan LID mengurangi luas area tergenang dalam rentang 2% hingga 17% dan area dengan tingkat risiko bahaya banjir tinggi dalam kisaran 6% hingga 80%. Selain itu, terjadi penurunan maksimum kedalaman tergenang sebesar 0,02 hingga 0,07 meter.
[8]	Fenghuang	18.5 km ²	Kota Spons dapat mengurangi masalah genangan air ketika peristiwa hujan ekstrem.	Kapasitas infiltrasi dan penyimpanan pad LID bersifat terbatas, dan biasanya volumenya hanya dapat digunakan sekali dalam 24 jam.

3.7 Pembiayaan Kota Spons

Pemerintah baik secara nasional ataupun provinsi berperan sebagai koordinasi dan mengatur implementasi dari pembangunan Kota Spons, sektor non-pemerintah berperan sebagai investor dengan berbagai cara kerja sama. MOHURD merupakan kementerian yang bertanggung jawab dalam merancang dan menerbitkan pedoman standar, Kementerian Keuangan mengelola investasi yang diperkirakan invitasi sekitar 100 hingga 150 juta yuan per km² dan Komisi Pembangunan dan Reformasi

Nasional bertanggung jawab untuk evaluasi semua perkembangan Kota Spons. Panduan Konstruksi berupa pendekatan desain, standar teknik, manajemen risiko dan pemeliharaan [22].



Gambar 4. Sumber Pendanaan untuk Pembangunan Kota Spons

Sumber: [13]

Dengan total investasi sebesar 111 miliar yuan pemerintah pusat menyumbang 18,6%, pemerintah lokal 36,9% dan investasi non-pemerintahan sebesar 43,1% [13]. Pemerintah Pusat menawarkan dana untuk 3 kota percontohan dengan waktu 3 tahun: sebesar 400 juta yuan per tahun untuk setiap kota, 500 juta yuan untuk ibukota provinsi, dan 600 juta yuan untuk kota madya. Pemerintah kota didorong untuk membangun mekanisme kolaboratif dengan sosial-kapital (perusahaan swasta dan perusahaan milik negara). Kemitraan publik-swasta (KPS) dan waralaba merupakan cara untuk mendorong modal sosial untuk berpartisipasi dalam investasi, pembangunan dan pengelolaan Kota Spons, selain itu modal sosial memiliki syarat kemitraan dengan bertanggung jawab atas desain, penggalangan dana, konstruksi dan pengoperasian proyek [18]. Investasi pemerintah berasal dari pendapatan fisik negara, sedangkan dana investasi non-pemerintah berasal dari investasi bisnis, pinjaman *bank* atau *property*. Sebagian besar proyek mengadopsi kerjasama publik-swasta, dengan sistem ini investasi mencapai 50,4 miliar dengan metode operasi yang diadopsi yaitu *Build-Finance-Operate* (DBFO), *Build-Operate-Transfer* (BOT), *Build-Own-Operate* (BOO), *Transfer-Operate-Transfer* (TOT), dan *Rehabilitation-Operate-Transfer* (ROT) [13].

3.8 Tantangan Terhadap Adopsi Teknis Kota Spons

Dalam implementasi konsep ini, Cina mengalami tantangan teknis dalam menerapkan Kota Spons. Terdapat tantangan teknologi terutama pada negara berkembang, kurangnya keahlian dan keterampilan untuk implementasi sistem atap hijau atau bioretensi menjadi tantangan terbesar dalam mengaplikasikan konsep ini secara mandiri. Kesenjangan teknis yang ada pada negara berkembang dikarenakan pada negara berkembang sulit menerapkan teknologi baru. Sedangkan pada negara maju seperti Jerman, Inggris, dan AS telah memiliki industri yang menyediakan berbagai bahan untuk pembangunan infrastruktur hijau. Pada negara berkembang sebagian besar bahan untuk implementasi Kota Spons seperti alat penahan dan pemantauan air limpasan masih belum tersedia secara luas dan berasal dari luar negeri yang belum tentu cocok dengan kondisi lokal. Tidak tersedianya sistem taman hujan, atap hijau, resapan bawah tanah, dan pemantauan limpasan air perkotaan dapat menghambat implementasi secara besar besaran Kota Spons [5].

Pembangunan Kota Spons sebagian besar bergantung pada pedoman pelaksanaan dari provinsi dan nasional. Pedoman yang digunakan dalam pembangunan ini berdasarkan konsep LID yang berada di AS, sehingga pada praktik pengelolaan terdapat kendala dalam kurangnya pelatihan teknis, kondisi iklim dan tanah yang berbeda dengan yang ada di Cina. Permasalahan ini berkontribusi pada kegagalan Kota Spons karena strategi yang kurang relevan terhadap berbagai kondisi wilayah yang ada. Oleh karenanya, setiap daerah perkotaan harus mengidentifikasi masing-masing mengenai langkah-langkah penerapan konsep Kota Spons berdasarkan kondisi dan lingkungan. Selain itu, tidak semua yang terlibat dalam pembangunan Kota Spons memiliki pengetahuan mengenai tujuan dan penerapan Kota Spons. Minimnya ahli (Perencanaan kota, rancang kota, arsitek, ahli hidrologi, dll.) menyebabkan pendekatan yang tidak tepat pada Kota Spons. Model simulasi yang ada saat ini masih cukup ketinggalan zaman dengan kinerja yang tidak memadai untuk perencanaan teknis. Pemodelan konsep Kota Spons tidak boleh disamaratakan, setiap negara memiliki kondisi geografis, iklim, dan tanah yang berbeda, sehingga penerapan strategi desain pada setiap tempat harus berbeda sesuai dengan kondisi wilayah. Pemodelan komputasi dapat menstimulasi desain, kebijakan dan strategi yang digunakan, pemodelan ini dapat mempertimbangkan berbagai skenario lingkungan [5].

Implementasi Kota Spons sangat rumit karena memiliki banyak variabel yang harus dipertimbangkan: hidrologi, tata guna lahan, pembangunan perkotaan dan keanekaragaman hayati. Semua aspek ini perlu diteliti dengan bukti yang nyata. Data yang terbatas sulit untuk implementasi Kota Spons, hal ini karena hasil dari konsep ini tidak bisa hanya diramalkan, melainkan dengan memberikan data secara akurat mengenai hasil dari implementasi ini. Dengan meningkatnya bukti nyata dampak penerapan ini akan meningkatkan partisipasi dari publik dan kemitraan swasta untuk mendukung konsep ini. Selain itu implementasi Kota Spons membutuhkan investasi yang sangat besar. Biaya yang dikeluarkan untuk pembangunan proyek Kota Spons sulit dibandingkan dengan manfaat yang diperoleh dari proyek ini. Akibatnya sektor swasta sulit untuk mau investasi implementasi dalam proyek Kota Spons karena pendapatannya lebih rendah dibandingkan pembiayaannya. Dengan itu siklus harus diartikulasikan secara jelas mengenai kesejahteraan sosial, laba dan investasi, kemitraan dan pernah organisasi lokal atau regional. Selain itu salah satu tantangan terbesar adopsi Kota Spons yaitu penerimaan masyarakat terhadap konsep ini. Karena pembangunan dengan biaya yang tinggi dan berjangka waktu panjang, subsidi pemerintah tidak mencukupi untuk memenuhi kebutuhan pembangunan. Sehingga, sangat penting untuk perencanaan mobilisasi sumber keuangan non-pemerintah untuk merencanakan Kota Spons, selain itu karena konsep ini masih sangat baru sangat sedikit informasi mengenai kemauan masyarakat untuk membayar proyek ini [5].

Pemodelan kinerja Kota Spons merupakan suatu proses yang kompleks dan memerlukan pendekatan yang detail untuk mencapai tingkat akurasi yang tinggi. Serta pada pemodelan Kota Spons membutuhkan evaluasi yang cermat karena kompleksitasnya. Dalam melakukan pemodelan ini, aspek yang harus dipertimbangkan melibatkan interaksi antara infrastruktur air perkotaan, kerentanan air perkotaan, dampak perubahan iklim, dan implementasi teknologi manajemen air perkotaan [7]. Adapun beberapa tantangan yang muncul dalam pemodelan Kota Spons mencakup berbagai bidang, seperti:

Tabel 5. Berbagai Model Integrasi dan Tantangan untuk Penilaian Kota Spons

Referensi	Area	Deskripsi Penerapan	Hasil	Tantangan
[21]	Guangxi	Penerapan bio-retention, saluran rumput, ruang hijau yang tenggelam, permeabel, tangki penyimpanan dalam program Kota Spons.	Keuntungan praktik-praktik ini telah diukur secara lingkungan, ekonomi, dan sosial.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Kelemahan penilaian terhadap manfaat jangka panjang dan kinerja praktik Kota Spons. ✓ Kelemahan pada penilaian terhadap pengaruh iklim terhadap pengukuran praktik Kota Spons. ✓ Kelemahan pada evaluasi menyeluruh terhadap layanan ekosistem dari praktik Kota Spons.
[12]	Shenzen	Pemilihan lokasi yang tepat untuk pembangunan Kota Spons.	Penentuan lokasi penerapan Kota Spons didasarkan pada tingkat aliran air, pencemaran air, dan pelepasan panas.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Keterbatasan dalam mengumpulkan data citra satelit secara akurat ✓ Potensi penyimpangan dan kesalahan dari sub-model-model
[14]	Yinchuan	Simulasi proses ekologi air hujan dari berbagai fasilitas kota spons	Mensimulasikan limpasan air, lanskap termal, proses penyucian pengukuran Kota Spons	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Kendala dalam mensimulasikan dengan data deret waktu yang panjang, seperti data curah hujan ✓ Tingkat kepresisian data masukan, seperti data DEM dan jaringan pipa, harus ditingkatkan
[31]	Yuelai	Model sistem manajemen air hujan terpadu untuk mengevaluasi seluruh fasilitas dalam program Kota Spons	Konstruksi sistem jaringan air hujan, desain, dan optimasi fasilitas Kota Spons	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Memerlukan jumlah data yang besar untuk kalibrasi, seperti data iklim jangka panjang, koefisien infiltrasi tanah ✓ Kurangnya evaluasi terhadap kelayakan ekonomi, sosial, dan layanan ekologi dari infrastruktur hijau di Kota Spons.
[10]	Liangshuihe	Evaluasi terpadu terhadap infrastruktur hijau untuk mitigasi banjir sebagai dukungan implementasi Kota Spons	Mengevaluasi kinerja hidrologi dari praktik infrastruktur hijau pada Kota Spons	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Keterbatasan data eksperimental untuk kalibrasi sistem evaluasi terpadu yang menimbulkan ketidakpastian pada model ✓ Tidak dilakukannya evaluasi terhadap manfaat jangka panjang dari praktik Infrastruktur Hijau pada Kota Spons

3.9 Evaluasi Kota Spons

Sejumlah data mengenai kinerja Kota Spons telah terkumpul dalam beberapa tahun terakhir. Namun, data tersebut memiliki kualitas yang tidak merata karena format yang beragam. Oleh karenanya penelitian Yin membangun basis data yang berasal dari 1066 parameter fasilitas kontrol untuk mengontrol kinerja Kota Spons. Hasil menunjukkan tingkat penghilangan polutan rata-rata dari pengolahan limpasan perkotaan menunjukkan kinerja yang baik. Dalam implementasi percontohan 30 Kota Spons di Cina telah lulus evaluasi oleh Kementerian pembangunan perumahan dan perkotaan-

pedesaan (MHURD), Menteri Keuangan (MF), dan Kementerian Sumber Daya Air (MW). Percontohan yang diterapkan pada 30 kota ini telah mencapai tujuan dengan meningkatkan lingkungan dan sumber daya air. Evaluasi yang dilakukan di berbagai kota membuat kemajuan positif dalam mengelola sumber daya air dan memberikan manfaat ekonomi lokal [19].

Dalam mempromosikan dan mengimplementasikan Kota Spons secara berkelanjutan dibutuhkan peningkatan kualitas keahlian dengan memasukan bahan ajar mulai dari tingkat sekolah hingga perkuliahan. Misalnya saat ini terdapat tambahan bahan ajar (versi sekolah dasar) misalnya Spons *castle Adventure* dan Kota Spons *Exploration* merupakan (versi sekolah menengah). Kementerian Pendidikan merilis buku "Merancang Komunitas Spons" untuk menjadi panduan pembelajaran Kota Spons untuk membantu siswa memberikan pemahaman yang komprehensif. Pembangunan proyek Kota Spons merupakan pekerjaan lintas disiplin yang melibatkan berbagai jurusan terutama teknik pengelolaan air, lingkungan, perencanaan kota, lanskap, ekologi dan transportasi. Sehingga dibutuhkan kolaborasi dan diskusi untuk meningkatkan efisiensi implementasi yang akan datang. Pendapat publik terkait efektifitas pembangunan Kota Spons cukup tidak realistis terhadap efek pembangunan Kota Spons, masyarakat beranggapan dengan menyelesaikan pembangunan ini semua permasalahan air akan terselesaikan. Tentunya hal ini dikarenakan publisitas awal proyek Kota Spons melebih-lebihkan efektifitas keberhasilan proyek. Pada beberapa proyek masyarakat telah mengkritik beberapa teknik dan kualitas yang buruk pada pembangunan Kota Spons. Implementasi Kota Spons dapat dipromosikan secara sistematis apabila sudah meningkatkan kesejahteraan warga dengan mengatasi permasalahan air dan lingkungan perkotaan, namun masih sedikit penelitian yang membahas tingkat kesejahteraan masyarakat setelah implementasi Kota Spons [19].

4. KESIMPULAN

Konsep Kota Spons merupakan strategi untuk mengatasi masalah genangan air saat hujan lebat dan mengurangi efek pulau panas di perkotaan. Tujuannya adalah mencegah penumpukan air pada hujan ringan dan mengurangi genangan pada hujan lebat, dengan memungkinkan pemanfaatan optimal air hujan, mengendalikan aliran air, serta meningkatkan lingkungan air dan konservasi sumber daya air perkotaan. Konsep ini dapat diimplementasikan secara makro melalui taman hujan, bio retensi, bioswale, dan pengelolaan lahan basah, serta secara mikro melalui atap hijau. Implementasi Kota Spons di berbagai kota di Cina dalam manajemen air hujan, hasil menunjukkan keberhasilan yang sangat signifikan dalam menangani aliran air hujan saat hujan lebat, sehingga dapat mengurangi risiko banjir bandang. Selain itu, hasil perbandingan tingkat efektivitas fasilitas Kota Spons menunjukkan bahwa sebagian besar fasilitas memiliki kemampuan untuk menghilangkan polutan, mengurangi limpasan, dan meredakan efek pulau panas perkotaan.

Pemerintah memainkan peran kunci dalam implementasi konsep ini, dengan pemerintah pusat sebagai promotor penyelenggara dan pemerintah setempat sebagai penyelenggara keseluruhan pembangunan dan pengelolaannya. Kerjasama antara pemerintah dan swasta diperlukan dalam pembiayaan, desain, konstruksi, dan operasi. Meskipun demikian, penerapan Kota Spons dihadapkan pada sejumlah tantangan, seperti keterbatasan teknologi, kurangnya ahli, ketidakrelevanan pedoman pembangunan di beberapa wilayah, model simulasi yang

ketinggalan zaman, dan sulitnya membandingkan biaya pembangunan dengan manfaat yang diperoleh. Ini mengakibatkan kesulitan dalam investasi sektor swasta, karena pendapatan yang rendah dibandingkan dengan biaya pembangunan, dan subsidi pemerintah yang tidak mencukupi untuk kebutuhan pembangunan yang mahal dan berjangka waktu panjang. Dalam menghadapi sejumlah tantangan yang dihadapi oleh penerapan Konsep Kota Spons, kerjasama antara pemerintah dan swasta menjadi semakin penting. Dengan sinergi ini, diharapkan upaya bersama dalam pembiayaan, desain, konstruksi, dan operasi dapat mengatasi kendala-kendala tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Busari, E. Rochaida, Z. Hasid, and A. Erwin Kurniawan, "Population and Economic Growth Nexus: Evidence from Indonesia," *Econ. Altern.*, vol. 28, no. 4, pp. 697–710, 2022, doi: 10.37075/EA.2022.4.08.
- [2] Y. Zhao, J. Xia, Z. Xu, L. Zou, Y. Qiao, and P. Li, "Impact of urban expansion on rain island effect in jinan city, north china," *Remote Sens.*, vol. 13, no. 15, pp. 1–16, 2021, doi: 10.3390/rs13152989.
- [3] Y. Jiang, C. Zevenbergen, and Y. Ma, "Urban pluvial flooding and stormwater management: A contemporary review of China's challenges and 'sponge cities' strategy," *Environ. Sci. Policy*, vol. 80, no. September 2017, pp. 132–143, 2018, doi: 10.1016/j.envsci.2017.11.016.
- [4] J. Yan, R. Li, and R. Ran, "When Collaborative Water Governance Meets Authoritarian Environmentalism: The Dilemma of Safe Water Supply Project in Coal Mining Villages of China's Shanxi Province," *Sustain.*, vol. 14, no. 3, 2022, doi: 10.3390/su14031277.
- [5] Y. Wang, Z. Jiang, and L. Zhang, "Sponge City Policy and Sustainable City Development: The Case of Shenzhen," *Front. Environ. Sci.*, vol. 9, no. January, pp. 1–5, 2022, doi: 10.3389/fenvs.2021.772490.
- [6] S. Wang and E. Palazzo, "Sponge City and social equity: Impact assessment of urban stormwater management in Baicheng City, China," *Urban Clim.*, vol. 37, no. April, p. 100829, 2021, doi: 10.1016/j.uclim.2021.100829.
- [7] F. Chikhi, C. Li, Q. Ji, and X. Zhou, "Review of Sponge City implementation in China: performance and policy," *Water Sci. Technol.*, vol. 88, no. 10, pp. 2499–2520, 2023, doi: 10.2166/wst.2023.312.
- [8] J. Zhou *et al.*, "Effective evaluation of infiltration and storage measures in sponge city construction: A case study of Fenghuang City," *Water (Switzerland)*, vol. 10, no. 7, 2018, doi: 10.3390/w10070937.
- [9] H. Li, L. Ding, M. Ren, C. Li, and H. Wang, "Sponge city construction in China: A survey of the challenges and opportunities," *Water (Switzerland)*, vol. 9, no. 9, pp. 1–17, 2017, doi: 10.3390/w9090594.
- [10] C. Mei, J. Liu, H. Wang, Z. Yang, X. Ding, and W. Shao, "Integrated assessments of green infrastructure for flood mitigation to support robust decision-making for sponge city construction in an urbanized watershed," *Sci. Total Environ.*, vol. 639, pp. 1394–1407, 2018, doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.05.199.
- [11] D. Yin *et al.*, "Sponge city practice in China: A review of construction, assessment, operational and maintenance," *J. Clean. Prod.*, vol. 280, p. 124963, 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.124963.
- [12] T. T. Nguyen, H. H. Ngo, W. Guo, and X. C. Wang, "A new model framework for sponge city

- implementation: Emerging challenges and future developments,” *J. Environ. Manage.*, vol. 253, no. October 2019, p. 109689, 2020, doi: 10.1016/j.jenvman.2019.109689.
- [13] C. Xiang, J. Liu, W. Shao, C. Mei, and J. Zhou, “Sponge city construction in China: Policy and implementation experiences,” *Water Policy*, vol. 21, no. 1, pp. 19–37, 2019, doi: 10.2166/wp.2018.021.
- [14] J. Hou, H. Mao, J. Li, and S. Sun, “Spatial simulation of the ecological processes of stormwater for sponge cities,” *J. Environ. Manage.*, vol. 232, no. 539, pp. 574–583, 2019, doi: 10.1016/j.jenvman.2018.11.111.
- [15] Y. S. Zhang, “Sponge City Theory and its Application in Landscape,” *World Constr.*, vol. 6, no. 1, p. 29, 2017, doi: 10.18686/wc.v6i1.84.
- [16] X. Li, J. Li, X. Fang, Y. Gong, and W. Wang, “Case Studies of the Sponge City Program in China,” *World Environ. Water Resour. Congr. 2016 Watershed Manag. Irrig. Drainage, Water Resour. Plan. Manag. - Pap. from Sess. Proc. 2016 World Environ. Water Resour. Congr.*, no. October 2017, pp. 295–308, 2016, doi: 10.1061/9780784479858.031.
- [17] S. Shang, L. Wang, Y. Wang, X. Su, L. Li, and X. Xia, “Exploration of sponge city construction in China from the perspective of typical cases,” *Front. Earth Sci.*, vol. 11, no. July, 2023, doi: 10.3389/feart.2023.1238203.
- [18] Y. Peng and K. Reily, “Using Nature to Reshape Cities and Live with Water: An Overview of the Chinese Sponge City Programme and Its Implementation in Wuhan,” no. January, pp. 1–43, 2021.
- [19] D. Yin *et al.*, “Sponge City Practices in China: From Pilot Exploration to Systemic Demonstration,” *Water (Switzerland)*, vol. 14, no. 10, 2022, doi: 10.3390/w14101531.
- [20] R. L. Hermaputi and C. Hua, “Creating Urban Water Resilience: Review of China’s Development Strategies ‘Sponge City’ Concept and Practices,” *Indones. J. Plan. Dev.*, vol. 2, no. 1, p. 1, 2017, doi: 10.14710/ijpd.2.1.1-10.
- [21] Q. Li, F. Wang, Y. Yu, Z. Huang, M. Li, and Y. Guan, “Comprehensive performance evaluation of LID practices for the sponge city construction: A case study in Guangxi, China,” *J. Environ. Manage.*, vol. 231, no. October 2018, pp. 10–20, 2019, doi: 10.1016/j.jenvman.2018.10.024.
- [22] J. Griffiths, F. K. Shun Chan, M. Shao, F. Zhu, and D. L. Higgitt, “Interpretation and application of Sponge City guidelines in China,” *Philos. Trans. R. Soc. A Math. Phys. Eng. Sci.*, vol. 378, no. 2168, 2020, doi: 10.1098/rsta.2019.0222.
- [23] M. Randall, F. Sun, Y. Zhang, and M. B. Jensen, “Evaluating Sponge City volume capture ratio at the catchment scale using SWMM,” *J. Environ. Manage.*, vol. 246, no. May, pp. 745–757, 2019, doi: 10.1016/j.jenvman.2019.05.134.
- [24] M. Wang, X. Wang, C. Yi, and X. Ge, “Cost-Effectiveness Analysis of a Sponge City Construction Based on the Life Cycle Cost Theory—A Case Study of the Yanshan South Road Area of Qian’an City, China,” *Water (Switzerland)*, vol. 14, no. 17, 2022, doi: 10.3390/w14172647.
- [25] M. Hu, T. Sayama, X. Zhang, K. Tanaka, K. Takara, and H. Yang, “Evaluation of low impact development approach for mitigating flood inundation at a watershed scale in China,” *J. Environ. Manage.*, vol. 193, pp. 430–438, 2017, doi: 10.1016/j.jenvman.2017.02.020.
- [26] P. Hua *et al.*, “Evaluating the effect of urban flooding reduction strategies in response to design rainfall and low impact development,” *J. Clean. Prod.*, vol. 242, p. 118515, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.118515.
- [27] Q. Liu, W. Cui, Z. Tian, Y. Tang, M. Tillotson, and J. Liu, “Stormwater Management

- Modeling in ‘Sponge City’ Construction: Current State and Future Directions,” *Front. Environ. Sci.*, vol. 9, no. January, pp. 1–16, 2022, doi: 10.3389/fenvs.2021.816093.
- [28] H. Wang, C. Mei, J. H. Liu, and W. W. Shao, “A new strategy for integrated urban water management in China: Sponge city,” *Sci. China Technol. Sci.*, vol. 61, no. 3, pp. 317–329, 2018, doi: 10.1007/s11431-017-9170-5.
- [29] J. Song, R. Yang, Z. Chang, W. Li, and J. Wu, “Adaptation as an indicator of measuring low-impact-development effectiveness in urban flooding risk mitigation,” *Sci. Total Environ.*, vol. 696, p. 133764, 2019, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.133764.
- [30] T. Cheng, B. Huang, Z. Yang, J. Qiu, B. Zhao, and Z. Xu, “On the effects of flood reduction for green and grey sponge city measures and their synergistic relationship—Case study in Jinan sponge city pilot area,” *Urban Clim.*, vol. 42, no. August 2021, p. 101058, 2022, doi: 10.1016/j.uclim.2021.101058.
- [31] S. Deng, X. Zhang, Z. Shao, W. Yan, H. Chai, and Q. He, “An integrated urban stormwater model system supporting the whole life cycle of sponge city construction programs in China,” *J. Water Clim. Chang.*, vol. 10, no. 2, pp. 298–312, 2019, doi: 10.2166/wcc.2018.197.