

Lembar Fakta Pemodelan – Panduan mengembangkan skenario adaptasi infrastruktur untuk transisi ramah air di Bogor

Skenario Pemodelan untuk membentuk Perencanaan Perkotaan

Agar Bogor Raya dapat melakukan leapfrog menuju Kota Ramah Air, tantangan utamanya adalah mengatasi pola pikir tradisional (business-as-usual) pada manajemen air, dan memahami efek domino dari pertumbuhan penduduk dan tekanan perubahan iklim pada praktik tradisional.

Lembar fakta ini menjelaskan peran pemodelan skenario infrastruktur dalam proses perencanaan dan bagaimana kebijakan dalam investasi pembangunan infrastruktur kota dapat didukung dengan perhatian lebih pada kualitas data dan pemodelan. Jika digunakan secara efektif, pendekatan pemodelan dapat mengarahkan pada pemahaman yang lebih dalam dari hubungan antara sistem perairan, penggunaan lahan, desain perkotaan, dan teknologi. Selain itu, penelitian kami menemukan bahwa mengikutsertakan stakeholder lebih awal dalam proses pemodelan dapat meningkatkan kualitas pilihan yang tersedia, meningkatkan melek pengetahuan tentang air, dan sangat berpengaruh pada kesuksesan proyek manajemen sumber perairan.

Skenario Masa Depan: Dampak pertumbuhan penduduk dan urbanisasi terhadap sistem perairan di Bogor Raya

Dampak pada sistem perairan	Contoh penyebab
Meningkatnya kecenderungan banjir karena:	<ul style="list-style-type: none"> Hilangnya situ (danau) & pengurangan kapasitas sistem ini untuk menahan air yang meluap Peningkatan volume aliran air hujan karena permukaan yang semakin tidak tembus air Meningkatnya tingkat sampah yang menyumbat saluran drainase dan sungai Saluran irigasi dan drainase yang didesain untuk tujuan pertanian berkinerja buruk sebagai jaringan saluran drainase bagi air hujan
Meningkatnya polusi pada sistem air serta peningkatan risiko paparan kronis patogen dan racun karena:	<ul style="list-style-type: none"> Pembuangan limbah dapur dan buangan kamar mandi ke saluran terbuka sungai drainase & jalan air lokal Kebocoran tanki septik & jadwal penyedotan tinja yang tidak menentu menyebabkan limbah merembes menuju tanah dan air tanah di sekitarnya, dan kemudian menuju sungai, situ, dan sebagainya. Debit aliran permukaan yang tinggi, mengumpulkan pencemar dari berbagai sumber
Berkurangnya kapasitas untuk memenuhi permintaan persediaan air karena:	<ul style="list-style-type: none"> Peningkatan luas permukaan yang kedap air sehingga menyebabkan berkurangnya debit pengisian air tanah
Meningkatnya kerusakan lingkungan karena:	<ul style="list-style-type: none"> Peningkatan aliran air permukaan di kota berkontribusi kepada peningkatan erosi aliran dan debit aliran permukaan Pengurangan lahan penghijauan dan perairan dan ekosistem dan keberagaman hayati

Gambar 1 Permasalahan utama dalam strategi leapfrogging Bogor dari sebuah sudut pandang adaptasi infrastruktur



Peluang 1: Mendirikan Platform Data yang Tangguh

Seorang perancang pembangunan kota membutuhkan akses pada platform data yang tangguh serta standar dan pedoman berkualitas yang layak secara lokal untuk menghadapi perubahan iklim dan pertumbuhan penduduk. Di seluruh Indonesia, Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) bertanggung jawab atas pengumpulan, kontrol kualitas (quality control), dan penyimpanan data meteorologis dan klimatologis. Pemerintah daerah dan badan riset juga mengumpulkan dan memegang kumpulan data lokal. Untuk Bogor Raya, sebuah pendekatan terkoordinasi untuk pengumpulan data, kontrol kualitas, interpretasi, penyimpanan, dan diseminasi akan menjadi informasi yang lebih baik untuk kebijakan perairan, pembangunan kota dan desain sistem, serta sangat penting bagi transisi Bogor menuju Kota Layak Air. Secara khusus, penelitian kami menunjukkan bahwa mendirikan pemahaman mendetil tentang pemantauan jaringan drainase, selokan, dan perairan serta kinerja mereka di bawah tekanan perubahan iklim dan pertumbuhan penduduk, dapat diraih melalui bimbingan dari sebuah satuan tugas pemerintah-industri-akademis yang disebut "Water Champions". Selain itu, meningkatnya kemampuan gawai saat ini memberikan sebuah peluang →crowd-sourcing data untuk Bogor Raya. Contohnya, memantau ketinggian permukaan air sungai dari foto, menghitung debit aliran melalui video, menentukan jangkauan dan kedalaman banjir secara real-time lewat foto geo-lokasi, serta memantau curah hujan lewat interferensi sinyal dari tower telepon genggam.



Peluang 2: Perbaikan berbasis data pada Kesadaran Air dan Modal Masyarakat

Pengetahuan tentang air adalah ukuran di mana masyarakat, profesional perairan, dan stakeholder pemerintah memahami hubungan antara air, perubahan iklim dan pertumbuhan penduduk, serta permasalahan lain yang berkaitan dengan air. Akses menuju data tentang kekeringan, banjir, sampah, dan dukungan keamanan air mendukung kesadaran air dan membantu stakeholder membuat keputusan berdasarkan informasi untuk meningkatkan kesiapan dan cepat tanggap akan kondisi cuaca yang buruk dan kejadian ekstrem. Mengembangkan kesadaran air tentang kontaminasi limbah padat dan cair domestik pada aset-aset perairan penting, akan membantu meringankan biaya pemeliharaan, meningkatkan efektivitas dan efisiensi dari aset-aset perairan penting, dan meningkatkan kapasitas sistem drainase untuk mengalirkan air. Mengembangkan pemahaman yang lebih baik akan hubungan antara pembangunan kota, perubahan iklim, dan implementasi efektif dari Desain Perkotaan Ramah Air (WSUD), juga dapat membantu mengatasi permasalahan sanitasi, peningkatan banjir perkotaan, degradasi lingkungan, tekanan pada sumber air, dan kehilangan kenyamanan hidup di kota.



Gambar 3: Limbah padat mencemari dan menyumbat jalan air



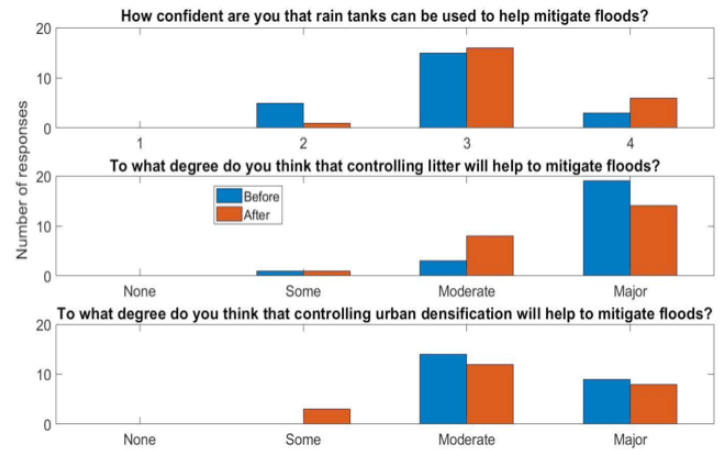
Fig. 4: An unhealthy Ciliwung River near Pulo Geulis, (Photo:Raul Marino)

Pemodelan tingkat penerimaan masyarakat akan implementasi infrastruktur hijau

Dengan menanyakan pertanyaan tentang pandangan anggota masyarakat terhadap permasalahan utama tentang air, peneliti dapat membuat persepsi tentang bagaimana sampah, penadahan air hujan, dan pengendalian kepadatan kota dapat berkontribusi pada strategi mitigasi banjir, serta pandangan mereka tentang kemampuan teknologi atau kebijakan untuk berkontribusi pada mitigasi banjir. Dengan memakai sarana interaktif, partisipan dapat memvisualisasikan dampak banjir dalam skenario cuaca dan intensitas badai yang berbeda. Dengan menguji serangkaian skenario persentase sampah dan adopsi tangki tadah hujan, partisipan menunjukkan perubahan pikiran mereka tentang strategi mitigasi potensi banjir, dan beberapa menunjukkan tingginya tingkat kesadaran air dengan menyatakan bahwa "sebuah solusi terintegrasi yang memperhitungkan sampah, penadahan air hujan, dan pengelolaan kepadatan kota akan memberikan solusi terbaik".

Pemodelan Tingkat Penerimaan

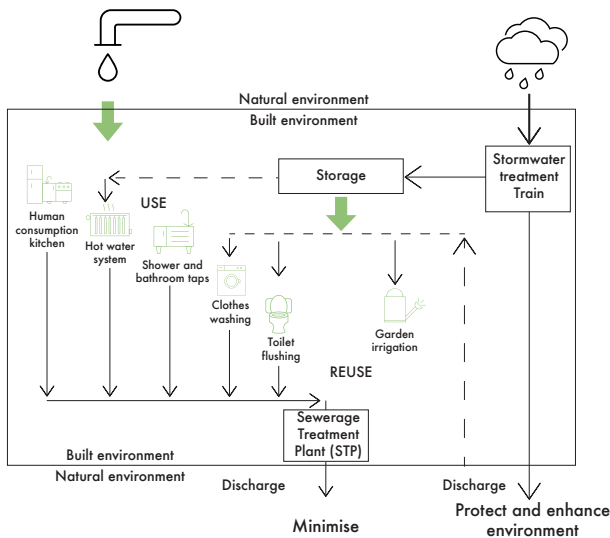
Melalui lokakarya pemodelan tingkat penerimaan dan forum lainnya, partisipan menunjukkan perhatian mereka tentang penggunaan tangki tadah hujan untuk memanen air hujan. Pandangan masyarakat adalah penghalang utama pada implementasi solusi tangki tadah hujan, dan meningkatkan pemahaman akan solusi yang memungkinkan akan membantu meningkatkan tingkat penerimaan dan penggunaan.



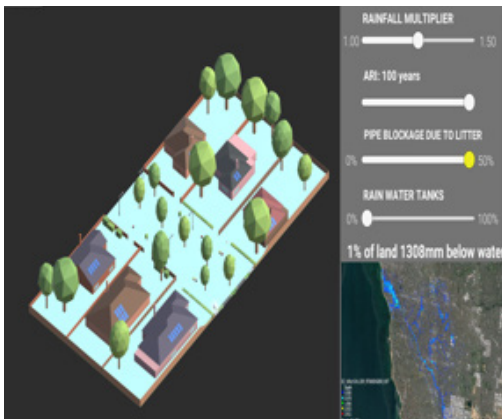
Gambar 5: Sudut pandang stakeholder terhadap pilihan-pilihan mitigasi banjir sebelum dan sesudah berinteraksi dengan visualisasi

Perhatian	Solusi
Tempat bertelur bagi nyamuk.	Bilas lapisan jala pada pemakaian pertama. Bilas kembali setiap 2 atau 3 tahun.
Atap itu kotor dan rumah bagi hewan, akankah airnya juga menjadi kotor?	Pemisah pembilasan pertama akan menghilangkan material organik. Namun memang tidak semua tipe atap cocok digunakan sebagai penadah hujan.
Mengapa memakai air hujan saat kita dapat menggunakan air tanah?	Mengurangi tekanan pada sistem penyediaan air kota dan akuifer lokal. Jika diterapkan dengan benar, kualitasnya akan lebih baik dari air tanah.
Menggunakan lahan terlalu banyak.	Pemodelan neraca air telah menunjukkan bahwa untuk tipe rumah tertentu, tangki kecil berukuran 400 liter dapat membuat berdampak besar.
Hujan Asam.	Air hujan tidak akan diusulkan sebagai air minum. Air ini baik untuk menyiram toilet.

Peluang 3: Memodelkan kinerja dari intervensi Infrastruktur Hijau



Gambar 6: Representasi sistem penyediaan air sesuai-kebutuhan, hak cipta pada (T. Wong, 2006)



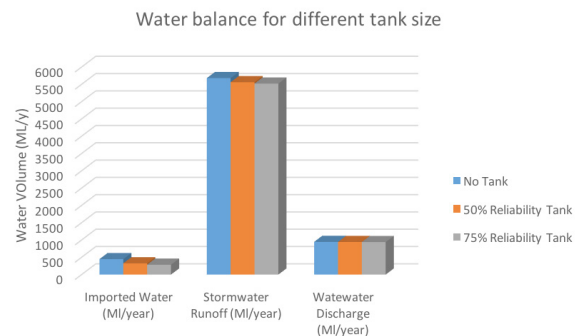
Gambar 7: Tampilan interaktif dari pilihan-pilihan mitigasi banjir dalam berbagai skenario

Keamanan persediaan air Bogor Raya mendapat tantangan dari berkurangnya kualitas air dan meningkatnya permintaan. Untuk merancang pilihan infrastruktur yang tangguh menghadapi berbagai skenario perubahan iklim dan urbanisasi, Bogor memiliki kesempatan untuk menggalakkan infrastruktur adaptif ramah air dengan memodelkan berbagai skenario tak tentu dan menguji cara-cara adaptasi yang memungkinkan saat elemen-elemen infrastruktur multi-fungsi terintegrasi telah dipasang. Sebagai contoh, untuk mengurangi tekanan pada pipa saluran air kota, mengadopsi pendekatan penggunaan air sesuai-kebutuhan direkomendasikan, di mana kualitas air yang dialirkan untuk permintaan tertentu tidak hanya mencukupi kebutuhan kualitas minimal untuk tujuan tersebut (Gambar 2). Sebagai contoh air yang tidak bisa diminum yang bersumber dari greywater cocok untuk digunakan sebagai penyiram toilet.

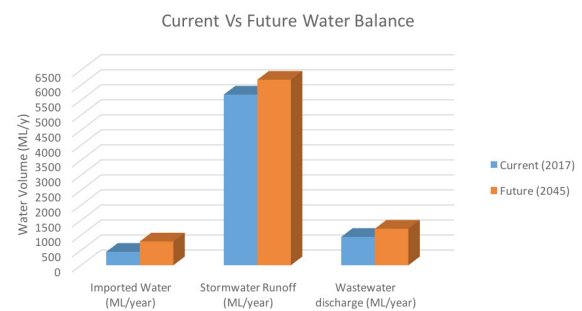
Intervensi infrastruktur hijau seperti tangki tadah hujan, lahan basah, dan kolam retensi juga dapat digunakan untuk mengimbangi perluasan permukaan tahan air dan beradaptasi terhadap perubahan tipe aliran air. Penelitian pemodelan kami menunjukkan bahwa banjir dapat dimitigasi melalui implementasi teknologi infrastruktur hijau dan strategi manajemen penangkapan air yang sesuai (lihat kotak informasi).

Pemodelan Neraca Air

Untuk mengembangkan desain perkotaan dan rekomendasi lokasi studi kasus yang dipilih, peneliti kami menggunakan sebuah model neraca air, atau WBM, untuk menilai siklus air pada setiap lokasi, dan menkuantifikasi permintaan air minum dan sanitasi saat ini, dengan memperhitungkan pertumbuhan penduduk dan intervensi tangki tadah hujan. Dengan menganggap peningkatan curah hujan sebesar 25% dan populasi kota naik lebih dari dua kali lipat dengan 12.258 pada 2018 menuju 26.631 pada 2045, pemodelan neraca air di Situ Front City Cibinong menunjukkan bahwa pemasangan setiap bangunan hunian dengan tangki tadah hujan kecil berukuran 400 liter (yang akan mengumpulkan air hujan yang cukup untuk menyiram toilet selama 9 bulan per tahun) dapat mengurangi permintaan penyediaan air rumah tangga sebesar 35%. Strategi ini akan mengurangi tekanan pada penyediaan perairan kota dan akuifer air tanah lokal secara signifikan. Pemodelan neraca air juga menunjukkan bahwa antara 2018 dan 2045 Bogor Raya akan menghadapi peningkatan signifikan dalam pasokan air, aliran air hujan, dan pengeluaran air limbah akibat dampak dari perubahan iklim dan pemadatan penduduk kota. Sebagai akibatnya, strategi untuk mengimbangi tekanan-tekanan tersebut harus dikembangkan.



Gambar 8: Neraca air untuk ukuran tangki yang berbeda pada model siklus air Cibinong, Situ Front City



Gambar 9: Perbandingan neraca air saat ini dan masa depan di Cibinong. Situ Front City



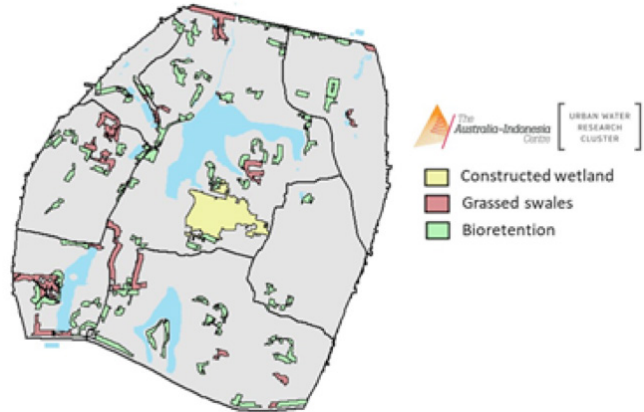
Gambar 11: Pemecahan area model siklus air Cibinong, Situ Front City

Sarana Pemodelan untuk menilai kinerja infrastruktur hijau serta mengoptimalkan desain dan lokasinya.

Peneliti kami telah mengembangkan sarana berbasis GIS bernama 'Alat Infrastruktur Hijau Berdasarkan Analisis Lokasi' (Green Infrastructure Tool Based on Location Analysis) atau disingkat GITBoLA, yang menggunakan analisa keputusan multi-kriteria spasial pada beberapa variabel untuk menentukan penempatan yang cocok dari infrastruktur hijau dalam suatu area tangkap. Data yang dibutuhkan pada alat ini di antaranya adalah model elevasi digital, penggunaan lahan, lapisan penutup tahan air, kepemilikan lahan, jaringan sungai, jenis tanah, dan kedalaman air tanah. GITBoLA telah digunakan para peneliti UWC untuk memodelkan lokasi ideal bagi lahan basah, sistem bioretensi, dan atap hijau untuk master plan Situ Front City (lihat gambar).

Model Manajemen Air Hujan atau Storm Water Management Model (SWMM), yang dikembangkan oleh EPA Amerika Serikat, juga telah digunakan untuk menilai efektivitas infrastruktur hijau yang terpilih dalam mengelola dan mengendalikan air hujan perkotaan. Dengan menggunakan beberapa skenario curah hujan, SWMM mensimulasikan skenario air hujan di Cibinong, Situ Front City, dan menunjukkan bahwa:

- » Lahan basah buatan memiliki kapasitas paling banyak untuk mengurangi aliran permukaan air hujan
- » Sengkedan berumput juga dapat mengurangi aliran permukaan air hujan namun merupakan teknologi yang paling kurang efektif dalam analisis ini
- » Sistem bioretensi, yang tersebar di seluruh area tangkap, mengurangi aliran permukaan air hujan paling efektif per meter persegi

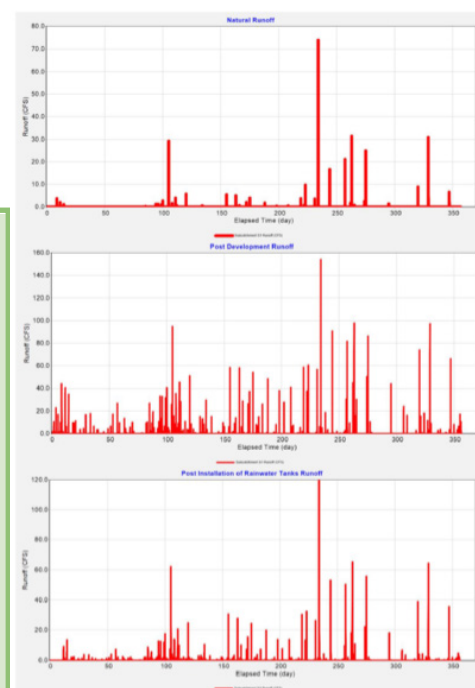


Gambar 10: Peta keluaran GITBoLA dari Lahan Basah Terkonstruksi, Bioretensi, dan sengkedan berumput pada Cibinong, Situ Front City

Peluang 4: Pemodelan Skenarion untuk menginformasikan pembangunan, perencanaan, dan perancangan kota

Memodelkan beberapa cara adaptasi dalam berbagai jenis skenario perubahan iklim, pertumbuhan penduduk, dan urbanisasi memungkinkan perancang perkotaan untuk mengembangkan rencana kontingensi untuk masa depan yang tak pasti dan menyarankan para pembuat kebijakan dalam bagaimana mengatur pembangunan baru untuk memastikan sebuah pendekatan ramah air telah digunakan. Pemodelan dapat juga digunakan untuk menilai tingkat keamanan persediaan air yang aman dan terjamin, pada suatu jenis skenario permintaan dan penawaran. Mempertimbangkan masukan stakeholder dalam proses perencanaan, pemodelan, dan perancangan meningkatkan kesadaran air dan hubungan penting masyarakat terhadap air.

Gambar 9: Aliran permukaan tahunan dari suatu daerah tangkap di Cibinong (a) Sebelum pembangunan apapun, (b) Pasca-pembangunan, dan (c) Pasca-pembangunan dan penggunaan tangki tadah hujan



Teknologi Infrastruktur Hijau Berdasarkan Alat Analisis Lokasi

Untuk menilai dan memahami dampak penggunaan lahan terhadap sistem air, penelitian kami telah menyesuaikan model DAnCE4Water, yang dikembangkan oleh CRCWSC, ke dalam budaya Bogor. Berdasarkan data terbuka dan berbagai alat, DAnCE4Water memungkinkan stakeholder menilai dampak dari keputusan perencanaan di suatu daerah dan mengidentifikasi pilihan-pilihan adaptasi yang memungkinkan. Dengan menggunakan pemodelan DAnCE4Water untuk menunjukkan dampak pembangunan kota pada daerah Cibinong dan Bogor Raya, para peneliti menyadari adanya kenaikan pada permintaan air di masa depan dan meluasnya permukaan tahan air di beberapa titik sebagai akibat dari pertumbuhan penduduk. Jika dihubungkan dengan peningkatan frekuensi curah hujan dan dampak dari meningkatnya tingkat aliran permukaan, model pembangunan kota menunjukkan sebuah kemungkinan yang tinggi akan banjir di Bogor. Dengan memasang setiap rumah dengan tangki tadah hujan, model DAnCE4Water menunjukkan bahwa puncak kecepatan dan frekuensi aliran air dapat dikurangi melalui intervensi infrastruktur ini.