

INOVASI ARSITEKTUR DALAM BENTUK FASAD CERDAS BANGUNAN UNTUK MENGATASI POLUSI UDARA JAKARTA

Architectural Innovation in the form of smart Building Facades to overcome Jakarta Air pollution

Aryani Widyakusuma

Program Studi Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Borobudur
aryaniwidyakusuma@borobudur.ac.id

ABSTRAK

Selama beberapa tahun terakhir, kualitas udara di Jakarta semakin buruk seiring pesatnya perkembangan kota. Namun, tidak menutup kemungkinan bagi Jakarta mempertahankan pertumbuhan sekaligus meningkatkan kualitas udara. Cara pengendalian polusi udara di kota melalui bidang Arsitektur, di antaranya adalah Arsitektur membantu membatasi atau mengurangi jumlah energi yang digunakan dalam bangunan dan meningkatkan kualitas udara di dalam dan luar gedung. Fasad bangunan tidak hanya berfungsi sebagai elemen bangunan tapi juga memberi tampilan menarik secara estetika dan memiliki fungsi dinamis dalam merespon kondisi lingkungan sekitar, mulai dari cahaya matahari hingga udara kotor dari perkotaan. Secara teknis, fasad cerdas atau amplop bangunan dapat menyesuaikan kondisi lingkungan. Arsitektur sebagai salah satu bentuk strategi mengurangi polusi udara juga mempertimbangkan bagaimana fasad bangunan dapat membantu dalam memerangi polusi udara dengan melihat potensi dalam menggunakan berbagai jenis fasad termasuk misalnya fasad berbasis air, ganggang, atau tumbuhan hijau untuk membantu menyaring udara di sekitar bangunan. Penelitian ini bertujuan mengkaji dari ketiga jenis basis fasad tersebut mengapa fasad berbasis ganggang atau mikroalga lebih efektif dalam mengatasi masalah polusi udara Jakarta. Fasad atau tampak muka bangunan merupakan hal penting dalam perancangan arsitektur. Biasanya tampak bangunan terbuat dari bahan konvensional, seperti kaca (bidang transparan) atau dinding (bidang solid) atau variasi keduanya. Namun bagaimana jika alga dimanfaatkan sebagai elemen arsitektur pada bangunan sebagai bentuk implementasi perancangan bangunan berbasis energi terbarukan. Penelitian ini mengadopsi pendekatan penelitian kualitatif dan menggunakan tinjauan literatur relevan tentang polusi udara dan pengendalian dampak lingkungan diikuti perbandingan pandangan yang berbeda terkait potensi penggunaan berbagai jenis fasad cerdas bangunan dalam upaya mengatasi polusi udara Jakarta.

Kata kunci: Inovasi, Arsitektur, Fasad, Polusi, Udara

ABSTRACT

Over the last few years, air quality in Jakarta has gotten worse due to the rapid development of the city. However, it does not rule out the possibility for Jakarta to maintain growth while improving air quality. Ways to control air pollution in cities through the field of architecture, including architecture, help limit or reduce the amount of energy used in buildings and improve air quality inside and outside buildings. Building facades not only function as building elements but also provide an aesthetically attractive appearance and have a dynamic function in responding to surrounding environmental conditions, from sunlight to dirty urban air. Technically, a smart facade or building envelope can adapt to environmental conditions. Architecture as a form of strategy to reduce air pollution also considers how building facades can help in fighting air pollution by looking at the potential in using various types of facades including for example water-based facades, algae or green plants to help filter the air around the building. This research aims to examine the three types of facade bases, why algae or microalgae-based facades are more effective in overcoming Jakarta's air pollution problem. The facade or appearance of a building is an important thing in architectural design. It usually appears that buildings are made of conventional materials, such as glass (transparent area) or walls (solid area) or variations of both. But what if algae were used as an architectural element in buildings as a form of implementing renewable energy-based building design. This research adopts a qualitative research approach and uses a review of relevant literature on air pollution and environmental impact control followed by a comparison of different views regarding the potential use of various types of smart building facades in an effort to address Jakarta's air pollution.

Keywords: Innovation, Architecture, Façade, Pollution, Air

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Polusi udara memberi resiko terbesar bagi kesehatan lingkungan, sekaligus merupakan peringkat kelima di antara semua faktor resiko kesehatan paling berpengaruh secara global pada kematian karena

mengakibatkan hingga hampir 5 juta kematian tiap tahun. Paling berkontribusi dari penyebab kematian ini menurut para peneliti epidemiologi disebabkan oleh paparan halus PM2.5. Pencemaran udara menyebabkan gangguan kesehatan seperti stroke, penyakit jantung, diabetes dan kanker paru-paru, dan penyakit pernapasan kronis dan akut, termasuk asma. Polusi udara terdiri dari partikel dan gas, yang masing-masing menyebabkan kerusakan lingkungan dan kesehatan. Akan tetapi partikel dengan diameter 2,5 mikrometer atau kurang (PM2.5) paling membahayakan kesehatan manusia. Satu partikel PM2.5 adalah 3% ketebalan rambut manusia dan tidak terlihat dengan mata telanjang. Ukuran partikel yang kecil memungkinkan untuk menembus jauh ke dalam paru-paru manusia dan partikel ini dibawa ke sistem tubuh yang lain (misalnya, sistem kardiovaskular dan sistem saraf pusat), dimana hal ini dapat menyebabkan kerusakan oksidatif dan inflamasi sistemik.

Jakarta sedang menghadapi tantangan besar. Harus mempertahankan pertumbuhan perekonomian stabil sekaligus menjadikan kota ini layak huni bagi warganya. Polusi udara merupakan salah satu permasalahan yang perlu ditangani oleh Jakarta karena dampaknya yang sangat berpengaruh bagi kesehatan dan produktivitas warganya. Polusi Udara, khususnya polusi PM2.5, mempunyai dampak kesehatan jangka panjang yang berujung pada prematuritas, bahkan kematian dan mempengaruhi kesejahteraan generasi masa depan. Masalah polusi udara merupakan masalah klasik yang terus dihadapi kota-kota besar di dunia, termasuk Jakarta. Berdasarkan catatan Air Quality Index (AQI), Jakarta menduduki posisi pertama sebagai kota dengan udara terkotor di dunia pada angka 156, pada hari Kamis 10 agustus 2023.

Kota-kota metropolitan di negara berkembang pesat seperti Jakarta misalnya kerap mengalami pesatnya pembangunan infrastruktur dan sektor industri. Hal ini memicu tingginya urbanisasi, dimana banyak orang akan pindah ke kota, dan tentunya berdampak pada kualitas udaranya. PM2.5 lebih berbahaya bagi kesehatan dan mempengaruhi indikator risiko kesehatan dibandingkan PM10 (partikulat materi dengan diameter aerodinamis 10 mikrometer atau kurang) karena semakin kecil partikelnya, maka semakin dalam dapat disimpan ke paru-paru, dan perjalanan ke organ lain (jantung, otak, plasenta). Masalah partikel dengan 2.5 mikrometer atau diameter lebih kecil (PM2.5) menyebabkan kerugian terbesar untuk kesehatan manusia karena paling banyak menyebabkan penyakit serius dan kematian akibat penyakit kardiovaskular dan pernapasan, kanker dan diabetes, yang termasuk dalam perkiraan beban penyakit global, serta hasil kelahiran cacat hingga mengakibatkan kesehatan anak menjadi buruk, bahkan berpotensi mengganggu kesejahteraan dan produktivitas di seluruh rentang hidup masyarakat.

Menurut hasil dari lima stasiun pemantau kualitas udara (ISPU), rata-rata konsentrasi PM2.5 tahunan di DKI Jakarta telah melebihi Baku Mutu Udara Ambien (BMUA) yang berada di atas 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Selain itu ada 51% (ISPU 2017) dan 48% (ISPU 2019) hari-hari tidak sehat dalam kualitas udara di kota yang menjadi tantangan bagi Pemprov Jakarta dan seluruh pemangku kepentingan dalam upaya memperbaiki kualitas udara. Pemerintah Provinsi Jakarta melalui Badan Lingkungan Hidup telah menyiapkan dokumen manajemen mutu dan Aksi Udara Bersih untuk Jakarta. Dokumen bertujuan memaparkan tantangan yang dihadapi Jakarta dalam perbaikan kualitas udara di kota serta menawarkan solusi yang melibatkan partisipasi antar Pemerintah Provinsi Jakarta, pemerintah pusat, sektor publik, organisasi non-pemerintah, dan warga.

Mempertahankan udara bersih akan membutuhkan investasi juga dalam energi bersih, infrastruktur hijau dan pengelolaan lingkungan yang lebih baik, dan akan membutuhkan kerja terus mengumpulkan bukti terbaik yang tersedia dalam menangani sumber lokal dan regional polusi untuk mencapai tujuan bersama yang diinginkan Masyarakat sebagai penduduk Jakarta yaitu udara kota yang bersih.

Studi yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya sudah memperkirakan bahwa polusi udara secara langsung bertanggung jawab terhadap hampir lima juta kematian dini per tahun yang menjadikan polusi udara sebagai penyebab utama kematian dan penyakit yang sebetulnya dapat dicegah secara global. Bloomberg Philanthropies misalnya organisasi yang bekerja untuk mengatasi tantangan ini dengan mempromosikan pendekatan berbasis data dan sains untuk mengenali masalah, mengidentifikasi sumbernya, dan mempromosikan solusi. Pada saat ini masyarakat memiliki tanggung jawab bersama untuk mengatasi kerusakan lingkungan dan kesehatan masyarakat yang disebabkan oleh masalah polusi udara.

Seiring dengan percepatan urbanisasi di dunia, kota-kota di seluruh dunia sudah menghadapi krisis yang bisa menjadi lebih buruk tanpa tindakan penanggulangan yang cepat. Sekarang adalah waktu yang tepat untuk bekerja sama mengukur polusi udara dengan lebih baik, mengidentifikasi aspek yang paling penting dan sumber yang dapat ditindaklanjuti, menginformasikan kepada publik, dan mempromosikan solusi yang bertahan lama untuk mewujudkan hak universal atas udara bersih dengan membantu menginformasikan upaya pemerintah dan LSM untuk menerapkan solusi terbaik melalui inisiatif dalam mengurangi emisi dari kendaraan dan industri, aktif mempromosikan angkutan massal dan transportasi publik, mendukung inisiatif kebijakan, atau meningkatkan kesadaran publik.

Meningkatkan kualitas udara akan membantu Indonesia mewujudkan komitmennya untuk mengurangi emisi karbon dan membantu mencegah ancaman eksistensial dari perubahan iklim. Indonesia adalah negara yang luar biasa dengan populasi yang sangat beragam, memiliki semangat budaya tinggi, dan ekonomi baru yang berkembang pesat sehingga komitmen kota untuk masa depan dengan udara yang

bersih sangat dibutuhkan untuk dapat mengatasi masalah ini. Polusi udara adalah salah satu penyebab utama kematian dan kecacatan yang dapat dicegah di seluruh dunia. Setiap peningkatan kualitas udara, meskipun kecil dampaknya akan mengurangi jumlah kematian dan meningkatkan kesehatan dan kesejahteraan penduduk. Investasi dalam solusi udara bersih nantinya akan menghasilkan banyak keuntungan bagi sektor industri, pemerintah dan masyarakat.

1.2. Permasalahan

Pencemaran udara dan efek pencemar udara terhadap manusia dan atmosfer secara umum saat ini merupakan masalah yang sangat memprihatinkan bagi para peneliti secara global. Hak atas lingkungan hidup yang baik dan sehat adalah hak dasar manusia yang harus dipenuhi pemerintah, termasuk hak atas udara yang sehat. Akibatnya, diperlukan cara untuk memperkenalkan strategi yang efisien untuk lingkungan dan yang paling penting adalah bagi kesehatan manusia jangka panjang. Untuk mengatasi masalah ini, penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki cara yang dapat membantu mengendalikan polusi udara dan polutan udara di atmosfer melalui strategi inovasi dalam bidang desain arsitektur yang berkelanjutan dalam lingkungan binaan. Arsitektur sudah diketahui dapat membantu meningkatkan kualitas udara di gedung seperti melalui penanaman pohon, pemanfaatan fasad berbasis bio, pengumpul siklon, dan strategi lainnya.

1.3. Tujuan

Arsitektur sebagai salah satu bentuk strategi mengurangi polusi udara di lingkungan binaan khususnya di wilayah kota juga mempertimbangkan bagaimana fasad bangunan dapat membantu dalam memerangi polusi udara dengan melihat potensi dalam menggunakan berbagai jenis fasad termasuk misalnya "fasad berbasis air", "fasad berbasis ganggang", "fasad berbasis tumbuhan hijau dan hidup" untuk membantu menyaring udara di sekitar bangunan. Penelitian ini juga bertujuan menelaah dan mengkaji di antara ketiga jenis basis fasad tersebut mengapa fasad berbasis ganggang atau yang dikenal mikroalga akan lebih efektif dalam mengatasi masalah polusi udara di lingkungan binaan kota Jakarta. Fasad atau tampak (muka) pada sebuah bangunan merupakan hal penting dalam perancangan arsitektur. Biasanya tampak bangunan terbuat dari bahan konvensional, seperti kaca (bidang transparan) atau bidang solid (dinding) atau variasi keduanya. Namun bagaimana jika alga dimanfaatkan sebagai salah satu elemen dalam arsitektur atau bangunan terkait kelayakan penggunaan alga sebagai implementasi perancangan bangunan berbasis energi terbarukan.

Dengan mengatasi dampak negatif dari polusi udara perkotaan bagi kesehatan, ada keuntungan tambahan yang bisa didapat yaitu akan mengatasi masalah perubahan iklim, karena keduanya sering berbagi sumber emisi yang sama. Solusi dan pendekatan ini diharapkan akan menjadi langkah awal merumuskan kebijakan pengendalian pencemaran udara terukur di DKI Jakarta berbasis dari bukti ilmiah. Selain itu, penelitian ini juga akan memberikan wawasan bagi masyarakat mengenai upaya Pemerintah Provinsi DKI Jakarta untuk mengendalikan pencemaran udara.

1.4. Ruang Lingkup

Untuk ruang lingkup materi dibahas teori yang berkaitan dengan penyebab dan dampak dari polusi udara. Arsitektur sebagai bentuk strategi mengurangi polusi udara di lingkungan binaan khususnya pada wilayah perkotaan juga mempertimbangkan bagaimana fasad bangunan dapat membantu dalam memerangi polusi udara dengan melihat potensi berbagai jenis fasad misalnya "fasad berbasis air", "fasad berbasis ganggang", "fasad berbasis tumbuhan hijau dan hidup" untuk membantu menyaring udara di sekitar bangunan sebagai bentuk inovasi teknologi arsitektur dalam menyerap karbon. Mikroalga adalah mikroorganisme hidup yang mampu melakukan fotosintesis dan menyerap polutan tinggi dari udara dalam waktu tercepat. Mikroalga memiliki kemampuan menyerap gas CO₂ sebagai bahan baku proses fotosintesis dan dapat mengubahnya menjadi suatu biomassa. Kemampuan ini menjadi salah satu daya tarik mikroalga untuk digunakan sebagai penangkap karbon dalam skala sangat besar yang dapat membantu mengurangi polusi udara. Mengintegrasikan mikroalga dengan fasad bangunan dalam pelat yang disebut bioreaktor dapat memberi peluang khusus mengubah fasad menjadi permukaan fotosintesis. Arsitektur dapat meningkatkan popularitas dari fasad bioreaktor dengan bertindak sebagai kolaborasi yang terbaik antara ilmu teknis dan teknik desain.

Untuk ruang lingkup lokasi, penelitian ini berada di wilayah Jakarta Timur dimana tingkat polusi tertinggi sempat terjadi di bulan oktober tahun 2023 berdasarkan data Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) KLHK.

II. METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini difokuskan pada penyelidikan kemungkinan cara melalui perspektif arsitektur yang dapat membantu mengurangi polusi udara dan pencemar udara di atmosfer melalui langkah inovatif, sejalan dengan fakta bahwa penelitian ini juga bersifat interdisipliner, sehingga membutuhkan kombinasi metode. Oleh karena itu, penelitian ini mengadopsi pendekatan penelitian kualitatif dan menggunakan tinjauan literatur yang relevan tentang polusi udara dan pengendalian dampak lingkungan. Data sekunder untuk gagasan penelitian ini bersumber terutama dari jurnal terindeks. Data dianalisis dan diringkas secara

kritis. Sejalan dengan itu, data dari badan dan lembaga terkait yang mengatur studi masalah lingkungan dan kesehatan dunia diharapkan dapat memberi dukungan bukti yang kuat. Setelah pengumpulan data, studi individu dilakukan dan ditetapkan, diikuti dengan perbandingan antara pandangan yang berbeda terkait potensi dalam menggunakan berbagai jenis fasad termasuk misalnya "fasad berbasis air", "fasad berbasis ganggang", "fasad berbasis tumbuhan hijau dan hidup" untuk membantu menyaring udara di sekitar bangunan sebagai bentuk inovasi teknologi arsitektur penyerap karbon untuk mengatasi polusi udara kota.

III. HASIL PENELITIAN

Jakarta adalah kota yang luar biasa dengan segala ciri khasnya, Arsitektur, dan adat istiadatnya menawarkan perpaduan yang unik antara identitas kuno dan modernitas. Kota ini adalah tempat berpeluang, dan memiliki tantangan. Seperti banyak kota global lainnya, Jakarta berkembang pesat, dan pertumbuhan penduduk dipengaruhi oleh sumber daya alam dan infrastrukturnya. Dampak pertumbuhan terhadap kualitas udaranya juga cukup besar. Ada komitmen baru di pemerintah dan pemangku kepentingan non-pemerintah untuk membersihkan udara kota. Penerbitan Surat Instruksi Gubernur Nomor 66 Tahun 2019 yang mengatur tentang tujuh tindakan untuk mengatasi pencemaran udara, menandai sebuah peluang mempercepat Jakarta mendapat udara yang lebih sehat dan bersih. Upaya memahami dan menanggapi sumber emisi pencemar utama dibutuhkan dalam menyediakan komunikasi, pembangunan kapasitas dan teknis keahlian yang menginformasikan kebijakan untuk kesehatan masyarakat. Panduan Inovasi dan tindakan akan membantu kota lain mengikuti langkah pendekatan mempercepat kemajuan udara bersih, dengan fokus pada empat bidang prioritas kritis tindakan: pemantauan kualitas udara; menilai emisi dan sumbernya; memperluas data akses dan penggunaan; dan pengorganisasian untuk tindakan. Memahami tingkat polusi udara saat ini, menilai pemantauan kualitas udara sebagai upaya yang dilakukan, mengkaji bagaimana Jakarta dan pemangku kepentingan udara bersih dapat mengidentifikasi sumber utama polusi udara Jakarta, dan mengidentifikasi langkah menuju lingkungan yang lebih bersih serta kota Jakarta lebih sehat.

Mengenai Publikasi Data Kualitas Udara, Kementerian Lingkungan Hidup & Kehutanan mengamanatkan pemerintah daerah untuk menerbitkan data kualitas udara secara publik. Data kualitas udara di Jakarta tersedia untuk umum melalui Aplikasi Jakarta Kini (Jaki) di aplikasi Google Play Store. Selain itu, DLH Jakarta menerbitkan ringkasan bulanan data kualitas udaranya di Website (<https://lingkunganhidup.jakarta.go.id/>) (<https://ispu.menlhk.go.id/>) ISPU (Indeks Standar Pencemar Udara) atau (<https://Jakarta.go.id>) bekerja sama dengan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan untuk menyajikan data dari situs website mereka. Data kualitas udara dari stasiun pemantauan kualitas udara kedutaan Amerika Serikat juga tersedia untuk umum di situs AirNow International (<https://airnow.gov/international>).



Gambar 1. Langit kota Jakarta tertutup polusi dari lantai 28 Proyek Menara Syariah Pantai Indah Kapuk 2
Sumber : dokumentasi pribadi, 2023

Ketika polusi udara memburuk di DKI Jakarta, Pemerintah Provinsi DKI Jakarta merumuskan rencana aksi yang telah didiskusikan dengan pemangku kepentingan melalui lokakarya yang dikerjakan agar tercapai udara yang lebih bersih di Jakarta pada tahun 2030. Selain itu, Pemerintah Provinsi DKI Jakarta melalui Instruksi Gubernur Nomor 66 Tahun 2019 telah menetapkan tujuh rencana aksi yang harus dilakukan untuk menyelesaikan masalah polusi udara yaitu dengan meningkatkan pengumpulan data dan mengatasi tiga sumber polusi utama (transportasi, industri, dan pembangkit listrik). Rencana aksinya adalah: 1) perbaikan pemantauan kualitas udara; 2) rencana aksi untuk sektor transportasi; 3) rencana aksi untuk sektor industri dan pembangkit listrik; 4) penyediaan kawasan ruang terbuka hijau; dan 5) meningkatkan partisipasi masyarakat dan menciptakan kesadaran masyarakat.

Mengidentifikasi secara akurat sumber utama polusi udara merupakan langkah penting untuk dirumuskan dengan kebijakan yang kuat, diikuti oleh kebijakan berbasis data dan evaluasi kebijakan berbasis bukti yang ingin dicapai untuk mendapat hasil terbaik dalam pengendalian dan pengurangan polusi udara.

Fakta umum bahwa hutan dunia menyerap sepertiga emisi global dunia setiap tahun. Oleh karena itu, tumbuhan dan tanaman merupakan alat paling efektif yang mudah tersedia bagi manusia untuk dapat mengatasi polusi udara. Pohon menyerap polutan dan gas di atmosfer melalui daun, yaitu stomata dan

pori-pori pohon yang membantu menyaring bahan kimia dan partikel dari lingkungan secara efisien. Pepohonan membantu mengurangi dampak gas rumah kaca dengan mengurangi tingkat panas, ozon di permukaan tanah dan mengembalikan oksigen kepada lingkungan. Faktanya adalah bahwa di sebagian besar perkotaan, sulit menemukan atau mempunyai ruang untuk menanam pohon sehingga diperlukan upaya untuk memaksimalkan lahan tersedia. Gagasan penelitian ini berusaha untuk mempertimbangkan alternatif lain mengenai bidang arsitektur yang dapat berfungsi membantu dalam memerangi polusi udara.

Penelitian sebelumnya yang ada sudah mengusulkan beberapa cara biotik untuk membantu penyerapan polutan udara dari atmosfer. Beberapa dari proses tersebut belum sepenuhnya dapat diterima dan diintegrasikan ke proses desain. Sebagian besar negara maju telah mencoba beberapa dari cara ini terutama di Asia, dan terbukti efektif akan tetapi membutuhkan penganggaran biaya dan keahlian khusus untuk dapat melaksanakannya. Teknologi penangkapan karbon dengan mikroalga merupakan salah satu teknologi yang memiliki potensi untuk digunakan dalam upaya penurunan emisi Gas Rumah Kaca. Teknologi penangkapan karbon dengan mikroalga bekerja dengan cara menangkap karbon yang dihasilkan dari suatu proses industri kemudian disimpan dan dimanfaatkan untuk proses produksi lainnya.



Gambar 2. Infografis keadaan Polusi Udara Kota Jakarta semakin memprihatinkan bagi kelompok rentan
Sumber : www.google.com, 2023

Mikroalga memiliki kemampuan menyerap gas CO2 melalui proses fotosintesis yang berlangsung di dalam organel sel mikroalga yang disebut dengan kloroplas dan mengubahnya menjadi biomassa. Kemampuan ini menjadi salah satu daya tarik mikroalga untuk digunakan sebagai penangkap karbon skala besar, khususnya yang diemisikan dari cerobong industri. Letak Indonesia di daerah tropis dengan sinar matahari yang tersedia sepanjang tahun dan biodiversitas mikroalga yang berlimpah merupakan nilai tambah untuk pengembangan teknologi ini di Indonesia. Oleh karena itu, Indonesia diharapkan menjadi pemain aktif dalam pengembangan teknologi ini dan tidak hanya menjadi pasar teknologi sejenis yang dikembangkan di luar negeri saja.

IV. PEMBAHASAN

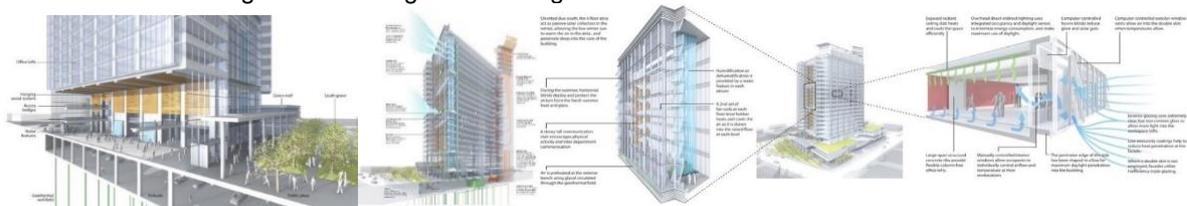
Bukti dalam tinjauan literatur mengungkapkan bahwa polusi udara adalah salah satu masalah utama yang dihadapi manusia akibat tingginya tingkat industrialisasi dan banyaknya aktivitas manusia lainnya,

dengan sebagian besar penelitian membahas mengenai bagaimana polutan dihasilkan tetapi hanya beberapa penelitian saja yang membahas tentang bagaimana praktik arsitektur dan konstruksi berkontribusi terhadap polusi udara dan kemungkinan cara untuk mengurangi efek polusi udara dan polutan udara ke atmosfer melalui desain yang inovatif sehingga gagasan ini memainkan peran utama dalam mengisi kesenjangan tersebut (*novelty*). Temuan dalam penelitian awal untuk gagasan ini memastikan bahwa semua tahapan proyek pembangunan gedung dari awal proyek hingga dekonstruksi akan melepaskan polutan ke atmosfer. Dapat disimpulkan bahwa cara yang paling efektif untuk dapat mengendalikan polusi udara dalam lingkungan binaan adalah melalui penggunaan prinsip arsitektur hijau (misalnya bio fasad) dan mengadopsi sistem desain yang berkelanjutan. Penelitian ini akan membantu menginformasikan kepada badan lingkungan, pemerintah, arsitek, perencana kota, pembangun atau kontraktor, dan semua pemangku kepentingan lainnya di lingkungan binaan tentang cara berkelanjutan untuk mengatasi polusi udara di daerah perkotaan yang sebagian besar terutama disebabkan karena semakin berkurangnya lahan di wilayah perkotaan untuk dapat sekedar menanam pohon dan tumbuhan lain yang dapat berkontribusi baik pada tingkat polusi udara di kota.

Kesimpulan dari penelitian terdahulu telah menunjukkan bahwa ada banyak cara untuk menyerap polutan dari atmosfer. Semua metode ini termasuk dalam abiotik (penggunaan fisik atau cara kimia) atau cara Biotik (penggunaan cara alami). Ide fasad berbasis arsitektur untuk mengendalikan polusi udara sangat penting pada saat ini dimana ancaman kesehatan hampir tidak dapat dihindari dalam lingkungan binaan. Arsitektur dalam sifatnya yang unik dapat dengan mudah mengadopsi pendekatan biotik seperti melalui desain yang mengandung komponen alami yang diperlukan untuk penyerapan polutan udara dari lingkungan yaitu vegetasi. Tercatat bahwa konsep baru ini meskipun menyerap polutan dengan cara agak lambat tapi juga membantu menjaga lingkungan tetap sejuk, dan membantu mengatur kenyamanan termal di dalam ruang.

Cara pengendalian polusi udara kota melalui bidang Arsitektur, di antaranya adalah Arsitektur membantu membatasi atau mengurangi jumlah energi yang digunakan dalam bangunan dan juga membantu meningkatkan kualitas udara di dalam dan luar gedung. Dengan melihat beberapa cara Arsitektur membantu meningkatkan kualitas udara di gedung seperti melalui penanaman pohon, pemanfaatan fasad berbasis bio, pengumpul siklon, dan strategi lainnya maka perlu pembahasan lanjutan. Menggunakan alam sebagai sarana untuk menyelesaikan masalah manusia terbukti berhasil dan masalah lingkungan ini dapat diatasi dengan menggunakan Arsitektur. Kelangsungan hidup manusia dan lingkungan selalu bergantung pada kelestarian lingkungan dan juga keseimbangan di dalam lingkungan. Arsitektur sebagai salah satu bentuk strategi mengurangi polusi udara di lingkungan binaan khususnya wilayah perkotaan juga mempertimbangkan bagaimana fasad bangunan dapat membantu dalam memerangi polusi udara dengan melihat potensi menggunakan berbagai jenis fasad termasuk misalnya "fasad berbasis air", "fasad berbasis ganggang", "fasad berbasis tumbuhan hijau dan hidup" untuk membantu menyaring udara di sekitar bangunan.

1. **Pemanfaatan air pada fasad bangunan.** Ide dibalik penggunaan lapisan air pada fasad bangunan dipinjam dari konsep curah hujan. Curah hujan berfungsi sebagai pembersih udara alami, setiap kali hujan, tetes hujan menjebak polutan di atmosfer dan pada saat yang sama akan menjadi gas polutan yang diserap ke dalam air hujan lalu akan turun sebagai tetesan hujan. Ada dua ide mengenai bagaimana menggunakan air di fasad bangunan untuk dapat mengendalikan polusi udara akan dianalisis. Penyemprotan air pada fasad bangunan dan material selubung bangunan berbahan dasar air. (1) Penyemprotan air pada fasad telah dicoba di beberapa negara seperti India, dan terbukti efektif. Proses sederhana idenya adalah memercikkan air pada fasad bangunan secara berkala menggunakan alat penyiram mekanis, yaitu tetesan air akan dengan mudah menjebak polutan udara di sekitar gedung dan mengirimkannya ke bawah. Tujuan dari teknik ini hanya untuk menjebak partikel bermuatan debu menggunakan tetesan hujan yang mirip seperti hujan alami. Selain itu, bahan kimia lain dapat ditambahkan ke penyemprotan air untuk tujuan lain. (2) fasad selubung bangunan berbahan dasar air; Ini adalah cara alternatif sederhana untuk menyemprotkan air ke gedung. Di sini terbentuk lapisan air sebagai tembok kedua atau tembok palsu di bagian depan selubung bangunan utama. Air menjebak polutan saat mengalir, dan hal baik mengenai teknik ini adalah bahwa air didaur ulang dan digunakan kembali, membentuk siklus berkelanjutan. Hal ini sudah diterapkan di beberapa kota, seperti yang terlihat pada gedung Hydro Place di Manitoba Kanada dengan sertifikasi green building dari LEED Canada.



Gambar 3. Pemanfaatan Air Pada Fasad Bangunan Hydro Place Manitoba Kanada

Sumber : archdaily, 2023

2. **Penggunaan Fasad Hijau** - Tumbuhan sangat membantu meningkatkan kualitas udara lingkungan. PBB Program Lingkungan (UNEP) mencatat bahwa penghijauan dapat berfungsi sebagai solusi untuk tercapainya prinsip berkelanjutan di kota. Menanam pohon di kota berpenduduk bukan merupakan tugas mudah karena lahan sedikit. Fasad hijau bisa menjadi alternatif tepat dan menyediakan ruang hijau yang diperlukan untuk mencapai keberlanjutan di ruang perkotaan. Fasad hijau dapat berfungsi sebagai sarana yang baik untuk menciptakan lingkungan bebas polusi. Dinding hijau ini dapat menyaring gas beracun dan partikel yang tersuspensi di udara dan banyak polutan lainnya di udara melalui daun pada tumbuhan. Daun dapat menyerap partikel debu dan bahkan menyaring gas beracun di lingkungannya.

Fasad Hijau: Dampak Pemanfaatan Tanaman pada Bagian Fasad Bangunan

Pemanfaatan tumbuhan dalam skala kecil maupun besar dapat memberikan dampak yang signifikan terhadap polusi udara. Namun, menanam pohon di kota padat penduduk tidak selalu memungkinkan. Oleh karena itu, penggunaan fasad hijau adalah salah satu cara yang paling populer dan umum untuk menyerap polusi udara di perkotaan karena dapat ditambahkan ke bangunan yang sudah ada atau yang sedang dibangun dan sesuai dengan ruang yang terbatas. Selain menyerap polutan dari udara, sistem ini memiliki keunggulan lainnya. Misalnya, dapat meningkatkan kinerja termal bangunan dengan isolasi (mengurangi biaya energi), kualitas udara, ekosistem perkotaan, menjaga tinggi permukaan air kota, produksi makanan, estetika lansekap kota, kesehatan masyarakat, rasa kepuasan dan kenyamanan. Hal ini juga dapat mengurangi efek gas rumah kaca, *heat island*, polusi suara. Meskipun banyak kinerja yang dapat diterima tapi sistem ini juga tetap memiliki beberapa kekurangan lainnya [9]. Misalnya, ada batasan untuk memilih spesies tanaman yang sesuai dengan iklim di wilayah tersebut. Ada kemungkinan pertumbuhan tanaman yang tidak terkendali dan kerusakan dinding. Biaya instalasi, operasi, dan pemeliharaan tinggi. Memasok air di ketinggian adalah masalah lainnya. Ada ruang terbatas untuk pertumbuhan akar tanaman. Bobot sistem yang tinggi memberikan beban tambahan pada badan bangunan. Material dari sistem ini dapat mempengaruhi lingkungan secara negatif dan menciptakan lingkungan yang cocok untuk pertumbuhan dan sarang bagi beberapa serangga dan hama.

Mengatasi masalah dan keterbatasan dari dua sistem yang sudah ditinjau sebelumnya (pemanfaatan air pada fasad dan fasad hijau), dirasa perlu menemukan solusi baru yang dapat memanfaatkan air, tanaman, dan selubung hijau bangunan. Salah satu solusi paling modern yaitu penggunaan mikroorganisme penyerap udara pada dinding bangunan. Salah satu organisme yang paling umum dan efisien adalah mikroalga fotosintetik, yang memiliki efisiensi sangat tinggi dibanding tanaman biasa. Penggunaan mikroalga pada fasad bangunan merupakan solusi memanfaatkan kombinasi dari sistem sebelumnya yaitu air dan tumbuhan.

3. **Penggunaan Fasad ganggang atau alga.** Dalam arsitektur kontemporer bangunan perkotaan, ruang dalam fasad kaca sangat populer dan masih dinilai tinggi karena nilai estetikanya. Namun efek lingkungan dari penggunaan fasad kaca membawa banyak kekhawatiran karena jumlah panas yang dipindahkan ke dalam gedung dan cuaca panas yang tidak diinginkan meningkat. Sistem hidup ganggang diusulkan sebagai cara alternatif berkelanjutan yang dapat mensintesis bioreaktor ganggang dalam fasad kaca. Fasad ganggang dapat memberikan transmisi cahaya dan sebagai dinding *porter*, sehingga dapat menggantikan sistem kaca saat ini dengan fungsi termal dan struktural yang tepat. Fasad ganggang dirancang untuk meningkatkan kualitas udara di lingkungan dengan memproduksi oksigen dan menyerap CO₂ melalui fotosintesis alga. Sistem bioreaktor ditempatkan di antara dua akrilik dan ganggang tumbuh dalam cairan penuh nutrisi. Wadah ini dirancang sedemikian rupa sehingga bisa menyajikan energi dan fungsi struktural yang baik. Melalui fasad ini, ada kemungkinan untuk mengamati pencahayaan dan ventilasi hariannya.

Fasad Mikroalga, bioreaktor baru berbasis alga, dapat menelan karbon dioksida 400 kali lebih cepat dari pohon biasa sebagai alternatif solusi polusi udara selain penyediaan taman kota. Mikroalga adalah bentuk tanaman yang paling sederhana (tanpa akar, batang, daun, dan organ tanaman lainnya). Spesies mikroorganisme hidup ini sebagian besar bersel tunggal. Karena rasio permukaan terhadap volume yang tinggi, dibandingkan dengan spesies tanaman organik, mereka memiliki kemampuan yang sangat tinggi dalam menyerap dan mengurangi karbon dioksida. Mikroalga menghasilkan sekitar 60 hingga 75 persen oksigen yang dibutuhkan oleh manusia dan hewan melalui penyerapan karbon dioksida dari udara atau air selama fotosintesis (lebih dari semua hutan dan tanaman hijau di Bumi). Dalam proses menyerap karbondioksida dan mengeluarkan oksigen, mikroalga menghasilkan sejenis biomassa hijau dan protein bergizi. Mikroalga juga 10 kali lebih banyak berfotosintesis jika dibandingkan pohon dan rumput dewasa. Untuk menghasilkan 1 kg biomassa mikroalga, mereka perlu menyerap sekitar 1,8 kg karbon dioksida.

Organisme mikroalga ini tidak membutuhkan air bersih dan dapat tumbuh di semua habitat perairan seperti air payau, air limbah, dan air ledeng. Air limbah merupakan lingkungan terbaik untuk budidaya mikroalga karena mereka akan mendapatkan sebagian besar nutrisinya dari air limbah. Karena dinding bangunan terdiri dari permukaan besar yang terpapar udara tercemar maka mengintegrasikan mikroalga

dengan fasad bangunan dalam bentuk fasad biologis dapat mengubah dinding menjadi permukaan fotosintesis. Dengan begitu, mereka dapat meningkatkan kinerja termal pasif bangunan sebagai respons terhadap perubahan iklim dan mengubah bangunan biasa menjadi bangunan yang sehat dan bersemangat. Mikroalga juga bisa mengubah dinding bangunan menjadi pembangkit listrik.

Mengintegrasikan mikroalga dengan fasad bangunan membutuhkan tangki penyimpanan air dan budidaya. Oleh karena itu penting untuk memeriksa kelayakan mengintegrasikan spesies mikroalga yang cocok dengan sistem budidaya, dan mengevaluasi kemampuan keterikatan mereka pada fasad bangunan. Mikroalga telah dibudidayakan dalam skala kecil sebagai sumber makanan di Afrika, Asia, dan Amerika Utara dan Tengah selama bertahun-tahun tetapi untuk memproduksi mikroalga dalam jumlah besar membutuhkan sistem yang sesuai. Saat ini bioreaktor adalah sistem paling umum dan optimal untuk kultivasi mikroalga. Ada dua jenis bioreaktor untuk produksi mikroalga: sistem 1-terbuka (kolam) dan sistem 2-secara tertutup. Sistem terbuka atau kolam adalah metode budidaya mikroalga paling umum yang diterapkan di seluruh dunia.

Meskipun saat produksi biomassa dalam volume besar memerlukan biaya yang rendah dalam pembangunan sistem dan kemudahan pengoperasian sistem, namun efisiensinya sangat rendah. Masalah dari sistem ini meliputi pendudukan lahan yang berskala besar, risiko kontaminasi media kultur mikroalga oleh udara tercemar, atau logam berat yang terkontaminasi dan berbahaya, parasit, larva, serangga, dan spesies mikroalga yang tidak diinginkan.



Gambar 4. Pembudidayaan alga pada kolam terbuka dan tertutup
Sumber : kompasiana.com, 2023

Masalah lainnya adalah hilangnya sebagian besar air kolam melalui penguapan, keterbatasan infiltrasi cahaya ke dalam kolam dan kurangnya distribusi cahaya merata, kesulitan dalam mengontrol dan melindungi media kultur. Oleh karena masalah tersebut, jenis sistem ini tidak dapat diintegrasikan dengan bangunan. Selain itu, proses pertumbuhan mikroalga dan perubahan yang mereka buat pada tampilan media kultur dan fasad bangunan menjadi salah satu perhatian bagi daerah perkotaan nantinya. Masalah ini dapat menyebabkan variabilitas dan dinamisme dalam lansekap perkotaan. Oleh karena itu, untuk mengatasi kelemahan tersebut maka sistem tertutup dapat digunakan untuk mengontrol parameter dan kondisi lingkungan mikroalga secara akurat.

Fotobioreaktor mikroalga tertutup adalah sistem yang digunakan untuk mengatasi permasalahan dari sistem yang terbuka. Sejauh ini berbagai metode dan pendekatan telah diusulkan untuk dapat produksi mikroalga, namun sangat sedikit yang dapat diproduksi massal dan diindustrialisasikan. Dalam sistem tertutup, rasio permukaan terhadap volume adalah prinsip terpenting untuk produksi mikroalga dalam jumlah besar. Rasio yang tepat tergantung pada distribusi sinar matahari yang seragam dan optimal melalui media kultur. Fitur ini dapat meningkatkan proses fotosintesis. Oleh karena itu, bentuk dan geometri bioreaktor berpengaruh signifikan terhadap distribusi cahaya dan efisiensi sistem. Gagasan ini mencoba menyediakan solusi biofasad yang sesuai dan dapat dengan mudah dipasang ke fasad bangunan. Sistem pelat bioreaktor dengan geometri yang sesuai dan rasio permukaan ke volume yang tinggi dapat memenuhi tujuan ini dan digunakan untuk industri konstruksi.

Pelat bioreaktor mikroalga biasanya terbuat dari kaca transparan bening, plexiglass, polikarbonat, atau polietilen. Menurut studi yang sudah ada sebelumnya ketebalan 15 mm cocok untuk reaktor karena membiarkan cahaya melewati kultur mikroalga dan mencakup spektrum yang luas; oleh karena itu, tidak ada area yang tetap dalam kegelapan. Ketebalan optimal untuk bioreaktor diperkirakan 5 sampai 6 cm. Selain cahaya, laju pertumbuhan mikroalga secara langsung bergantung pada campuran media kultur. Karena pelat bioreaktor dapat berkontribusi pada komposisi alami media kultur dengan mengeluarkan gelembung udara di bagian bawah panel dan mencegah akumulasi oksigen terlarut, maka bioreaktor memiliki kinerja yang baik.

Struktur pelat bioreaktor tidak mampu menahan tekanan tinggi karena banyak volume cairan dalam panel. Pertumbuhan mikroalga dipengaruhi oleh peningkatan tekanan sehingga ada beberapa batasan dalam menaikkan skala sistem ini. Namun jika diperlukan, bioreaktor ini dapat dibuat dalam ukuran yang lebih besar dengan menggunakan material khusus dan diperkuat kaca laminasi (*reinforced glass*).

Orientasi sinar matahari dalam sistem ini merupakan salah satu faktor penting untuk penyerapannya. Untuk optimalisasi sistem, direkomendasikan orientasi timur-barat untuk tempat-tempat dengan garis lintang di atas 35 derajat dan orientasi utara-selatan untuk garis lintang yang berada di bawah 35 derajat. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Slegres di Universitas Wageningen yang berlokasi di Belanda pada

tahun 2014, rasio orientasi pelat bioreaktor pada garis lintang yang lebih tinggi (timur-barat) dengan orientasi pada garis lintang yang lebih rendah (utara-selatan) menghasilkan perbedaan sebesar 50% pada luaran hasil. Hal ini berarti bahwa pada garis lintang tinggi, orientasi selatan dan barat daya adalah sumbu terbaik dimana pelat biofasad dapat diintegrasikan ke fasad bangunan. Dibandingkan dengan pelat bioreaktor datar, biofasad miring memiliki efisiensi energi lebih tinggi karena sudut panel dapat disesuaikan secara tepat dengan sinar matahari. Terlepas dari efisiensinya, biofasad miring harganya cukup mahal. Terdapat prinsip-prinsip desain khusus untuk dapat mengintegrasikan pelat bioreaktor ke fasad bangunan. Prinsip tersebut meliputi orientasi, ketebalan panel, bahan yang dibutuhkan, suhu, cahaya, karbon dioksida, nutrisi yang dibutuhkan oleh mikroalga, dan air.

Alga adalah salah satu mesin alami paling efisien untuk konsumsi karbon dioksida. Alga membutuhkan tiga elemen kunci untuk tumbuh: karbon dioksida, cahaya, dan air. Penelitian mengarahkan untuk memanfaatkan ganggang dan AI untuk menciptakan Eos Bioreactor, bioreaktor prototipe yang secara substansial dapat mengungguli pohon hingga 400 kali. Setiap bagian dari proses pertumbuhan dikontrol dengan ketat dan dioptimalkan dengan kecerdasan mesin untuk memaksimalkan konsumsi CO₂. AI memantau cahaya, panas, pertumbuhan, kecepatan air, pH, CO₂, output oksigen dan banyak lagi untuk memastikan kondisi pertumbuhan optimal.

Tabel 1. Prinsip Perancangan Pelat Bioreaktor Mikroalga Pada Fasad Bangunan

Prinsip perancangan pelat bioreaktor	
Orientasi	Pemilihan orientasi bergantung pada sudut matahari pada garis lintang yang berbeda. Namun orientasi ke selatan cocok untuk integrasi bioreaktor dengan fasad bangunan
Ketebalan Panel	Ketebalan panel tidak boleh melebihi 5 sampai 6 cm
Material yang dibutuhkan	Berbagai jenis model kaca dan plastik (kaca laminasi, Plexiglas, polietilen, akrilik bening, polikarbonat bening, dan ETFE)
Temperatur	Suhu optimum untuk pertumbuhan dan perkembangan mikroalga adalah 20 hingga 30 derajat Celcius. Pertumbuhan mikroalga berhenti pada suhu di bawah 5°C dan di atas 35°C
Pencahayaannya	Cahaya merupakan salah satu faktor penting yang berkontribusi terhadap pertumbuhan dan perkembangan mikroalga. Jika tidak ada cahaya alami, serat optik dan lampu LED dapat digunakan di dalam media kultur untuk menyediakan akses terhadap cahaya
Karbon dioksida	Untuk menghasilkan 1 kg biomassa mikroalga dibutuhkan sekitar 1,8 kg karbon dioksida. Banyak sumber yang dapat digunakan untuk memasok karbon dioksida
Nutrisi yang dibutuhkan mikroalga	Nitrogen dan fosfor sangat penting untuk pertumbuhan dan perkembangan mikroalga. Unsur hara tersebut dapat diperoleh dari pupuk kimia, kolam ikan, atau air limbah (air limbah bangunan, air limbah hewan, air limbah pabrik dan industri)
Air	Habitat perairan apa pun dapat digunakan untuk menumbuhkan mikroalga, termasuk air laut. Untuk memproduksi satu liter biofuel melalui budidaya mikroalga dibutuhkan sekitar 0,75 liter air

Sumber : https://www.che.utah.edu/teaching_module/algae-photobioreactor/, 2023

Keuntungan penggunaan bioreaktor pada fasad bangunan yaitu: a) menghasilkan sebagian energi yang dibutuhkan bangunan melalui biomassa, b) mengontrol jumlah cahaya masuk ke dalam ruangan, c) mengontrol parameter penglihatan dan pandangan, d) menyediakan panas dan insulasi suara, e) meningkatkan kelestarian lingkungan, f) mengurangi biaya keseluruhan bangunan dan keindahannya.

ALGAECTURE

Di Milan Design Week 2014, *Urban Algae Canopy* dan *Urban Algae Façade* menampilkan *Algaecture*: sebuah proyek fotosintesis mikro-alga untuk menghasilkan jumlah oksigen yang sama dengan empat hektar hutan. Prinsip fungsi prototipe ini didasarkan pada sifat luar biasa organisme mikro-alga, yang merupakan mesin fotosintesis sepuluh kali lebih efisien dibandingkan dengan pohon besar dan rumput menurut Carlo Ratti, Direktur MIT *Senseable City Lab*. Proyek *Algaecture* bertujuan mengembangkan ekologi alami buatan manusia dan mengeksplorasi penggunaan alga sebagai pelapis arsitektur terpadu dan sistem pertanian perkotaan. Alga mewakili bagian penting dalam menciptakan planet sehat dan layak huni. Memberikan kehidupan pada taman kota, alga dapat digunakan sebagai sistem inovatif produksi energi dan pangan kota.

Mikro-alga melakukan aktivitas fotosintesis penting dengan menyerap sejumlah besar karbon dioksida, menghasilkan oksigen dan tumbuh menjadi biomassa, yang dapat diproses untuk pasar energi, kosmetik, farmasi dan *nutraceutical*. Mikro-alga membuka potensi luar biasa untuk sumber energi baru terbarukan, dan harapan untuk masa depan yang lebih hijau. Bangunan dan permukaan arsitektur merupakan sumber daya ruang yang luar biasa. Fasad dan atap perkotaan mewakili miliaran meter persegi yang seharusnya bukan hanya terbuat dari bahan mati seperti beton, namun bisa menjadi permukaan fotosintesis cerdas yang merespons keadaan iklim pemanasan global pada saat ini. Mikro-alga dapat menambah sistem hijau perkotaan yang sudah ada, mengintensifkan aktivitas fiksasi karbon dioksida dan bertindak sebagai pelapis bangunan, sehingga dapat meningkatkan kinerja pasifnya.

Kanopi Alga Perkotaan, berdasarkan sistem "HORTUS" dari ecoLogicStudio yang dipresentasikan di Milan Design Week 2014 dengan prototipe skala 1:1 dari kanopi bio-digital merupakan yang pertama di

dunia dalam mengintegrasikan kultur mikro-alga dan protokol budidaya digital real-time melalui cara unik sistem arsitektur. Potensi mikro-alga telah diintegrasikan dalam sistem kelongsong ETFE empat lapis yang dirancang khusus, sementara aliran energi, air, dan CO₂ dikendalikan dan diatur secara *real-time* dan dibuat untuk merespons dan menyesuaikan pola cuaca dan pergerakan pengunjung. Setelah selesai dibangun, Kanopi Alga Perkotaan akan menghasilkan jumlah oksigen yang sama dengan empat hektar hutan, dan hingga 150 kg biomassa per hari – 60% di antaranya merupakan protein nabati alami.

Kanopi alga perkotaan merupakan terobosan baru menghasilkan oksigen sebanyak empat hektar hutan. Kanopi perkotaan yang terbuat dari alga telah membuat warga dunia membicarakan hubungan antara teknologi dan lingkungan. Struktur *bio-digital* memompa cairan dengan mikroalga di sekitar tempat berlindung transparan, yang pada gilirannya menghasilkan keteduhan, energi dalam bentuk biomassa, dan sejumlah besar oksigen yang setara dengan empat hektar hutan.



Gambar 5. Griffa Desain Biolamp, yang dibuat oleh desainer Hongaria Peter Horvath

Sumber : www.icimod.org, 2023

Fasad Alga Perkotaan berdasarkan sistem "*WaterLilly 2.0*" oleh peneliti Cesare Griffa, sebuah proyek pertanian vertikal mikro-alga yang akan diimplementasikan sebagai kulit arsitektural. Tujuannya adalah dengan mengintegrasikan ke dalam sistem hijau perkotaan, mikro-alga dapat membantu menyerap karbon dioksida dan memproduksi oksigen sekaligus bertindak sebagai lapisan kedua bangunan, meningkatkan pendinginan pasif dan naungan pada bagian fasad. Dalam hal fotosintesis, organisme mikroalga bisa sepuluh kali lebih efisien jika dibandingkan pohon besar dan rumput. Bangunan dan permukaan arsitektural merupakan ruang efisien untuk memanfaatkan teknologi ini. Alga juga sudah digunakan dalam proyek ramah lingkungan lainnya. Desain Biolamp, yang dibuat oleh seorang desainer bernama Hongaria Peter Horvath, adalah ruangan ramping yang berisi air dan ganggang. Alga tersebut memakan CO₂ dari lingkungan, yang kemudian disedot ke dalam ruangan melalui pompa.



Gambar 6. Prototipe Kanopi Alga Perkotaan EcoLogicStudio di Milan Design Week 2014

Sumber : <https://www.alicat.com/algae-bioreactors-photobioreactors/>, 2023

Transparansi, warna, dan potensi naungan pada kanopi perkotaan akan menjadi akibat langsung dari keterkaitan antara iklim, alga, dan pengunjung yang datang. Misalnya, ketika matahari bersinar terik, alga akan berfotosintesis dan tumbuh, yang selanjutnya akan mengurangi transparansi kanopi dan memberikan keteduhan. Bagi *EcoLogicStudio*, prototipe ini merupakan langkah menuju sesuatu yang jauh lebih besar. Ada harapan untuk penggunaan teknologi ini pada bangunan saat ini dan masa depan, serta visi yang lebih besar untuk memperkuat hubungan antara sistem organik dan teknologi tinggi. Mengintegrasikan sistem organik dan buatan membuka kemungkinan berkelanjutan untuk segala hal mulai dari pengendalian suhu hingga metode pembangkit listrik dengan memanfaatkan komponen alami dan digital. Untuk saat ini, kanopi akan tetap berupa prototipe dan bukti konsep kerja memungkinkan untuk dilakukannya eksperimen .

Setelah alga jenuh dengan CO₂, maka ia akan menjadi biomassa, yang kemudian didorong ke bawah tanah menuju stasiun pengisi. Struktur bio-digital memompa cairan dengan mikroalga di sekitar tempat berlindung transparan, yang selanjutnya menghasilkan keteduhan, energi dalam bentuk biomassa, dan jumlah oksigen yang sangat banyak. Jadi lampu ini tidak hanya berfungsi mengurangi kabut asap

perkotaan, namun juga dapat memanfaatkan biomassa untuk menggerakkan mobil ramah lingkungan berbahan bakar biomassa.

Desain baru ini menunjukkan perlunya mengakhiri segregasi antara teknologi dan alam, dan mengeksplorasi hubungan positif antara keduanya. Ada harapan untuk penggunaan kanopi alga pada bangunan saat ini dan masa depan. Hal ini merupakan bagian dari visi yang lebih besar untuk memperkuat hubungan sistem organik dan teknologi tinggi. Mengintegrasikan sistem organik dan buatan membuka kemungkinan berkelanjutan segala hal mulai dari pengendalian suhu hingga metode pembangkit listrik dengan memanfaatkan keunggulan komponen alami dan digital.

Polusi Udara Kota Jakarta Dapat Diatasi dengan Aplikasi Bioreaktor Mikroalga pada Fasad Bangunan

Selama beberapa tahun terakhir kualitas udara di Jakarta semakin buruk seiring dengan pesatnya perkembangan kota. Namun, tidak menutup kemungkinan bagi Jakarta untuk mempertahankan pertumbuhan sekaligus meningkatkan kualitas udaranya. Pemerintah Jakarta telah merumuskan rencana aksi meningkatkan kualitas udara di kota melalui dukungan berbagai pemangku kepentingan dengan mencari sumber utama polusi dari sektor transportasi dan industri.

Masalah polusi udara merupakan masalah klasik yang terus dihadapi kota-kota besar di dunia, termasuk Jakarta. Berdasarkan catatan Air Quality Index (AQI), Jakarta menduduki posisi pertama sebagai kota dengan udara terkotor di dunia pada angka 156, pada hari Kamis 10 agustus 2023. Kepala Bidang Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan Lingkungan, Dinas Lingkungan Hidup Provinsi Jakarta, mengatakan Pemprov Jakarta kini mempunyai lima Stasiun Pemantau Kualitas Udara (SPKU), baik *fix station* dan *mobile station*. Masyarakat dapat melihat pantauan kualitas udara di Jakarta melalui aplikasi JAKI. Berdasarkan analisa dari Dinas Lingkungan Hidup Provinsi Jakarta, penyebab utama memburuknya kualitas udara di Jakarta dipengaruhi sektor transportasi sebesar 44 %, industri energi 31%, perumahan 14%, manufaktur 10%, dan komersial 1%.

Pemerintah Provinsi Jakarta telah melakukan berbagai upaya mengatasi pencemaran udara. Di antaranya mengeluarkan berbagai peraturan pengendalian kualitas udara, uji emisi, hingga pedoman angkutan berbasis listrik. Yang terbaru, Pemprov tengah menyusun *grand* desain pengendalian pencemaran udara berbentuk pergub atau peraturan gubernur. Dirjen PPKL (Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan Lingkungan) KLHK RI, mengatakan masalah pencemaran udara merupakan *wicked problem* yang tidak bisa dipecahkan atau diberi solusi sektoral. KLHK terus berkolaborasi dengan seluruh stakeholder mengupayakan aksi agar kualitas udara membaik. KLHK juga membentuk Satgas Pengendalian Pencemaran Udara sebagai langkah konkret mengawasi PLTU dan industri yang menjadi sumber pencemaran udara.

Penggunaan Alga sebagai Sistem Fasad Bangunan

Sebuah fasad yang tidak hanya sebagai elemen dari sebuah bangunan yang memberikan tampilan menarik secara estetika tapi juga memiliki fungsional yang dinamis dalam merespon kondisi lingkungan di sekitarnya, mulai dari cahaya matahari hingga udara kotor dari perkotaan. Secara teknis, fasad cerdas atau amplop bangunan yang menyesuaikan dengan kondisi lingkungan. Namun, gagasan kontemporer tentang fasad cerdas hanya ada beberapa dekade yang lalu, dibantu kemajuan ilmu kimia dan material belakangan ini. Ada juga yang mengembangkan teknik yang sudah lama seperti *mashrabiya* dari tradisi Islam.

Fasad atau tampak (muka) pada sebuah bangunan merupakan hal penting dalam perancangan arsitektur. Biasanya tampak bangunan terbuat dari bahan konvensional, seperti kaca (bidang transparan) atau bidang solid (dinding) atau variasi keduanya. Namun bagaimana jika alga dimanfaatkan sebagai salah satu elemen dalam arsitektur atau bangunan. Hal ini sudah diteliti oleh Prof. Dr.-Ing. Ir. Widjaja Martokusumo beserta tim dalam penelitian sebelumnya yang menjadi referensi bagi penelitian ini tentang Kelayakan Penggunaan Alga sebagai Implementasi Perancangan Bangunan Berbasis Energi Terbarukan.

Alga atau ganggang merupakan mikro organisme yang dapat berfotosintesis dan berkembang dalam waktu yang sangat cepat. Mereka dapat tumbuh di air, toleran terhadap berbagai macam salinitas (kadar garam) dan suhu. Pada penelitian tersebut, jenis alga yang dipilih ialah alga *chlorella* atau alga hijau. Mikro organisme ini juga berfungsi untuk mengangkat karbon dioksida dan mengeluarkan oksigen. Dengan sifat dan manfaat alga tersebut, maka akan dicobakan pada fasad bangunan.

Menurut Prof. Widjaja, penelitian tersebut diimplementasikan pada kasus nyata perancangan bangunan ITB Innovation Park di Jalan Ganesha Bandung. Rencananya, pada lokasi tersebut akan dibangun bangunan baru berlantai empat yang disisipkan kedalam kawasan Cagar Budaya. Pendekatan desain juxtaposisi dengan tampilan visual berbeda (sederhana) dipilih untuk menghindari replikasi atau pengulangan/peniruan pola-pola tampilan visual bangunan eksisting. Sikap "kontras" bangunan baru ini, dalam wacana desain kontekstual, membuka kesempatan agar bangunan Cagar Budaya yang ada tetap menonjol.



Application of algae photobioreactor on the west side of ITB Innovation Park

Gambar 7. Rencana aplikasi photobioreaktor alga di sisi barat fasad gedung inovasi kampus ITB Bandung
 Sumber : <https://www.itb.ac.id/news/read/57124/home/penggunaan-alga-sebagai-sistem-fasad-bangunan>

Bangunan baru ini berbatasan langsung dengan bangunan Cagar Budaya (Kantor LPiK). Inspirasi rancangan bangunan ITB Innovation Park ini muncul ketika peneliti menemukan artikel tentang penggunaan material hidup (bio-material) untuk bangunan apartemen di Hamburg, Jerman. Fasad bangunan tersebut memakai secondary skin algae-photobioreactor. Selama ini selalu terbiasa dalam merancang bangunan memakai bahan-bahan konvensional. Karena batasan lahan perencanaan, bangunan ITB Innovation Park memiliki muka bangunan yang menghadap ke timur dan barat. Dengan posisi geografis Indonesia pada ekuator sisi barat dan timur bangunan jika ada bukaan (jendela) paling bermasalah karena sun exposure. Penggunaan Algae-photobioreactor bukan sekedar elemen estetika, tetapi sekaligus secara fungsional menjadi solusi untuk mengurangi terpaan panas matahari langsung ke fasad bangunan.

Atas dasar tersebut Prof. Widjaja beserta tim membuat sebuah riset untuk meyakinkan bahwa alga bisa dipakai untuk sistem fasad bangunan. Dalam riset tersebut, ada dua sistem fasad yang dipakai sebagai pembanding, yaitu fasad dari *brise-soleil*, dan *horizontal shading device* (sirip horisontal) yang diuji coba melalui simulasi komputer (*open studio and energy plus programs*). Setelah disimulasikan, kedua alternatif sistem fasad memberi hasil berbeda, khususnya bila dikaitkan dengan kemampuan meredam panas. Hasil simulasi menunjukkan bahwa, penggunaan *brise-soleil* menghasilkan perbedaan temperatur luar dan dalam bangunan sebesar 3,412 oC, dan untuk penggunaan horizontal shading device menghasilkan 3,52 oC.

Namun dalam pengujian model sederhana sistem fasad yang menggunakan alga dengan cara disinari langsung matahari lalu diukur hasil temperaturnya menunjukkan perbedaan paling signifikan, yaitu 6,447 oC. Dengan demikian, terdapat perbedaan suhu yang signifikan, sehingga penggunaan energi untuk mendinginkan ruangan menjadi kecil jika memakai alga sebagai fasad. Adapun rencana sistem instalasi fasad alga akan dilakukan pada muka bagian barat bangunan. Di lantai semi basemen telah disiapkan ruang khusus untuk laboratorium mikro alga. Desain awal *algae-photobioreactor* pada fasad bangunan pada awalnya dirancang dalam bentuk bidang persegi-panjang sebagai secondary skin sisi barat bangunan. Saat ini desain *algae-photobioreactor* sedang dikembangkan dalam bentuk tabung silinder.

Riset mengenai sistem fasad dari alga sendiri dimulai pada tahun 2017, dengan dana riset P3MI ITB. Hasil riset diseminarkan dan dipublikasikan pada *Journal Architecture and Urbanism* (Q2). Penggunaan alga sebagai bagian dari sistem fasad bangunan merupakan suatu terobosan baru dan pertama kali di Indonesia bahkan Asia Tenggara. Harapannya bangunan-bangunan baru di ITB memiliki sesuatu yang khas, yang mencerminkan teknologi, ilmu pengetahuan dan ramah terhadap lingkungan. Dan yang tidak kalah penting, dengan kemampuan alga ini menghasilkan oksigen dan menangkap CO₂, maka oksigen sebagai hasil foto sintesis direncanakan akan disalurkan ke ruang dalam bangunan, sehingga terjadi proses purifikasi udara.

Manfaat lain dari alga ini jika dipanen secara serius, bio-massa bisa diolah menjadi kosmetika, bahan makanan, dan lebih lanjut melalui proses khusus bisa diolah menjadi sumber energi listrik. Dalam prakteknya, pembangunan gedung ITB Innovation Park ini, selain memanfaatkan alga, juga akan menggunakan sel surya (photovoltaics) untuk konversi cahaya matahari menjadi energi listrik yang akan digunakan untuk sebagian operasi bangunan. Oleh karenanya, aplikasi riset alga ini dipastikan akan melibatkan sejumlah ahli dari berbagai disiplin. Harapannya hasil riset ini bisa dikenal masyarakat dan juga dekat dengan lingkungan kampus artinya bisa dipakai untuk kehidupan sehari-hari khususnya dalam pembelajaran di kampus ITB.

Aspek estetika pada desain fasad bangunan dengan bioreaktor mikroalga

Integrasi mikroorganisme hidup ke dalam dinding bangunan secara tidak langsung meningkatkan aspek estetikanya. Kedinamisan struktur fisik dan fungsi kimiawi mikroalga dapat membuat dinding bangunan yang kusam menjadi tampak semarak. Menekankan pada aspek estetika, bioreaktor dapat menciptakan tampilan yang menarik dan dinamis yang dengan mudah menarik perhatian dan meminimalkan biaya konstruksi dan operasi sistem [9]. Kombinasi teknik dan desain yang indah dapat menghasilkan bioreaktor

yang menarik dan dinamis. Ini menunjukkan bahwa arsitektur dapat meningkatkan popularitas dari fasad bioreaktor dengan bertindak sebagai kolaborasi yang terbaik antara ilmu teknis dan teknik desainnya [4].



Gambar 8. Desain prototipe pelat bioreaktor mikroalga untuk diaplikasikan pada bagian fasad bangunan
Sumber : Thermal and Energy Performance of Algae Bioreactive Façades, Journal of Building Engineering

Menghitung biaya dan manfaat kebijakan di masa depan dapat membantu pengambil kebijakan untuk memprioritaskan dan menyusun strategi implementasi kebijakan. Tentu saja pemerintah DKI Jakarta tidak bisa sendirian dalam mencari solusinya untuk meningkatkan kualitas udara ini. Kota seharusnya berkolaborasi dengan pemangku kepentingan lain seperti akademisi, masyarakat sipil, ahli internasional, pemerintah pusat, dan daerah maupun pemerintahan di kota yang berdekatan. Kolaborasi dengan pemangku kepentingan dapat mengisi kesenjangan yang ada karena Jakarta tidak dapat menyediakannya sendiri.

Pada gedung tinggi kontemporer di perkotaan, popularitas fasad kaca semakin meningkat untuk estetika inovatif. Namun, dampak lingkungan dari fasad kaca semakin meningkatkan kekhawatiran karena timbul kehilangan panas yang tinggi dan perolehan panas yang tidak diinginkan. Sebagai alternatif yang berkelanjutan, kami mengusulkan sistem fasad alga yang mengintegrasikan bioreaktor alga dalam fasad kaca. Fasad ganggang memberikan transmisi siang hari yang baik dan kemampuan peneduh, bekerja secara efisien sebagai sistem fasad penahan beban, dan dapat menggantikan sistem kaca saat ini dengan solusi termal dan struktural yang memadai. Fasad alga dirancang untuk meningkatkan kualitas udara dalam ruangan melalui produksi O₂ dan penyerapan CO₂ sebagai hasil fotosintesis alga.

Selain itu, fasad mikroalga menyediakan elemen desain biofilik (*biophilic design*) dengan menawarkan hubungan biologis yang lebih kuat dibandingkan fasad tradisional. Desain biofilik (*biophilic design*) bertujuan menghubungkan manusia dan alam dalam sebuah lingkungan binaan. Penelitian sebelumnya menunjukkan peningkatan kinerja kognitif dan emosi yang lebih positif saat berada di dalam ruangan yang menerapkan *biophilic design* [4]. Oleh karena itu, fasad mikroalga berpotensi meningkatkan pengalaman para penghuni ruang dalam gedung dengan meningkatkan kualitas udara dan menyediakan koneksi lebih kuat dengan alam.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Meningkatnya polusi udara dan kontribusinya terhadap pemanasan global dan perubahan iklim telah menghasilkan pengenalan metode terinspirasi alam yang biotik, tepat, dan optimal. Meskipun tingkat penyerapan dan pengendalian polutan rendah dalam metode biotik, metode murah ini memiliki banyak keuntungan. Metode ini dapat berguna untuk proses lingkungan lainnya, misalnya tidak membahayakan kesehatan manusia dan tidak memerlukan teknologi khusus dalam penerapannya.

Di antara metode biotik yang diusulkan, mikroalga adalah mikroorganisme hidup yang mampu melakukan fotosintesis dan menyerap polutan tinggi dari udara dalam waktu tercepat. Mikroalga memiliki kemampuan menyerap gas CO₂ sebagai bahan baku proses fotosintesis dan dapat mengubahnya menjadi suatu biomassa. Kemampuan ini menjadi salah satu daya tarik mikroalga untuk digunakan sebagai penangkap karbon dalam skala yang sangat besar, khususnya yang diemisikan dari cerobong industri. Mengintegrasikan mikroalga dengan fasad bangunan dalam pelat yang disebut bioreaktor dapat memberi peluang khusus mengubah fasad menjadi permukaan fotosintesis. Bioreaktor yang terintegrasi dengan fasad dapat merespons perubahan iklim, meningkatkan kinerja termal bangunan yang tidak aktif, mengubah bangunan biasa menjadi bangunan sehat dan lebih bersemangat, bahkan dapat mengubah dindingnya menjadi pembangkit energi. Pada akhirnya, bioreaktor dapat mengubah dinding bangunan menjadi pembangkit listrik.

Menurut hasil penelitian, meskipun metode ini masih baru dan tidak hemat biaya, integrasinya dengan fasad bangunan dapat memastikan sumber energi yang berkelanjutan di tingkat nasional, menjamin investasi keuangan untuk berkontribusi pada iklim bersih dan sehat, dan dapat mempromosikan nilai simbolis masyarakat. Fasad mikroalga dapat digunakan sebagai jenis bio fasad sesuai, yang dapat memfasilitasi penyerapan karbon dioksida di daerah perkotaan terkait dampak negatif yang diakibatkan oleh polusi udara.

Selain itu saran yang dapat diberikan adalah merancang lingkungan dalam ruang yang sehat sangat penting bagi arsitek karena masyarakat pengguna ruang saat ini menghabiskan sebagian besar waktu

dalam ruang. Kualitas lingkungan dalam ruang mempengaruhi kesehatan fisik dan mental manusia yaitu sindrom akibat terlalu sering bekerja dalam ruang menyebabkan penurunan kinerja dan produktivitas melalui gejala seperti kesulitan berkonsentrasi, pikiran kacau, kelelahan mental, dan kantuk. Bangunan sehat yang menggabungkan prinsip desain dan material berkelanjutan akan memberi efek positif pada kesejahteraan, kepuasan, dan produktivitas penghuni. Fasad mikroalga sebagai solusi desain mengatasi masalah lingkungan serta kesehatan dan kesejahteraan penghuni. Sejumlah penelitian telah selidiki kinerja lingkungan dan teknis fasad mikroalga. Fasad mikroalga dapat meningkatkan kualitas udara di dalam dan luar ruang.

DAFTAR PUSTAKA

- Arroyo, C.A., Contreras, J.L., Zeifert, B., Ramírez, C.C., 2019. CO2 capture of the gas emission, using a catalytic converter and airlift bioreactors with the microalga *Scenedesmus dimorphus*. *Appl. Sci.* 9.
- Azmoode M, Heydari Sh, 2014 Quantitative measurement of absorption rate of pollutants from vehicles by Green Walls. *J Environ Sci Tech.* 2014;16(1)361–370.
- Bastanfard M, Nazar B, Ahmadi F, 2018 Controlling Air Pollution with the Use of Bio Facades (A solution to Control Air Pollution in Tehran) *The Scientific Journal of NAZAR research center (Nrc) for Art, Architecture & Urbanism* 15 (65):29-44. DOI: 10.22034/bagh.2018.74077.
- Bogias P. 2014 *Algae textile: a lightweight photobioreactor for urban buildings* [Master Thesis]. Ontario: School of Architecture. University of Waterloo; 2014.
- Bujar B, Jerliu F, 2016 Challenges of Architectural design in relation to environmental and air pollution. A case study: Pristina's first public parking garage *Cengage, Journal of Science and Humanities*, 3(7),
- Cervera-Sardá R, Gómez-Pioz J, Ruiz-de-Elvira A. 2014 *Architecture as an Energy Factory: Pushing the Envelope*, in *Construction and Building Research*. Dordrecht: Springer; 2014. p. 209–217.
- Daneshvar, E., Wicker, R.J., Show, P.L., Bhatnagar, A., 2022. Biologically mediated carbon capture and utilization by microalgae towards sustainable CO2 biofixation and biomass valorization – A review. *Chem. Eng. J.* 427, 130884. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.130884>
- De Godos, I., Mendoza, J.L., Acién, F.G., Molina, E., Banks, C.J., 2014. Evaluation of carbon dioxide mass transfer in raceway reactors for microalgae culture using flue gases. *Bioresour. Technol.* 153, 307–314.
- Decker M, Hahn G, Harris L. 2016. *Bio-enabled façade systems managing complexity of life through emergent technologies*. *Proceedings of the 34th eCAADe Conference on Complexity & Simplicity*; Finland.
- Duan Y, Shi F. 2014 *Chapter 2-Bioreactor design for algal growth as a sustainable energy source*. Shi Fan, editor *Reactor and Process Design in Sustainable Energy Technology*. Elsevier; 2014. p. 27–60.
- Elliot S. 2016 *Cohousing in the Flower City: A Carbon Capture Design*. Rochester Institute of Technology: Golisano Institute for Sustainability. Department of Architecture; 2016.
- Elnokaly A, Keeling I. 2016 An empirical study investigating the impact of micro-algal technologies and their application within intelligent building fabrics. *Procedia Soc Behav Sci.* 2016; 216:712–723.