

Desain *Skyfarming*: Area Produksi Pertanian Futuristik pada Lahan Produktif yang Terindustrialisasi

Devi Novita Sari dan Fenty Ratna Indarti

Departemen Arsitektur, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: fenty.ratna@arch.its.ac.id

Abstrak— Sektor industri kini menjadi sektor andalan negara untuk mendongkrak kegiatan perekonomian yang berpengaruh besar terhadap tingkat kemakmuran rakyatnya. Industrialisasi merupakan fenomena yang umum terjadi dalam prosesnya, pembukaan lahan baru untuk pembangunan infrastruktur industri kini mulai marak dijalankan. Parahnya, konversi lahan mulai merambah pada alih fungsi lahan produktif, hal ini akan menimbulkan permasalahan baru yakni penurunan kuantitas hasil pangan yang rentan mempengaruhi ketahanan pangan. Selain itu dampak lain dari kehadiran industri di area pertanian adalah adanya polutan yang dilepaskan ke lingkungan sekitarnya sehingga berdampak buruk bagi kesehatan warga sekaligus menurunkan kualitas tanaman pangan. Dengan menggunakan *scenario based design* dan pendekatan *dystopia*, penulis merancang sebuah gagasan baru mengenai bentuk pertanian di masa mendatang menanggapi isu industrialisasi. Berbasis *Shared Socioeconomic Pathway* (SSP) dengan titik acuan waktu pada tahun 2100, rancangan menjadikan skenario tersebut menjadi *threats* yang harus dihadapi oleh pertanian dan berperan dalam proses *developing concept*. Rancangan *skyfarming* merujuk pada prinsip-prinsip fisika, kinerja benda sekitar seperti xylem dan floem, preseden-preseden baik terbangun maupun belum terbangun, sekaligus teknologi yang mungkin diwujudkan di masa mendatang. Rancangan ini menjadi salah satu contoh bagaimana arsitektur mampu melahirkan bentuk baru dari pertanian melalui respon skenario *dystopia* di masa depan.

Kata Kunci— *Dystopia*, Industrialisasi, Pertanian, Skenario, *Skyfarming*.

I. PENDAHULUAN

KEMAMPUAN sektor industri dalam mengolah suatu input bahan baku mentah menjadi memiliki nilai tambah lebih dan kemampuannya dalam menyerap tenaga kerja dalam jumlah yang besar, menjadikan posisi sektor industri semakin dikedepankan dan tak jarang menggeser pengembangan sektor primer lain. Eksternalitas sering terjadi dalam sektor industri, mengakibatkan pihak luar seperti masyarakat tidak sepenuhnya terlibat dalam pengambilan keputusan yang berdampak besar terhadap kesehatan. Pada konteks tapak, seperti yang bisa dilihat pada Gambar 1 tapak dikepung oleh area industri. Jenis industri secara spesifik adalah industri produksi hasil tembakau khususnya rokok. Karena industri tembakau khususnya produk rokok. Berkontribusi besar terhadap penerimaan cukai yakni sekitar 97 persen perkembangannya industri di sekitar area pertanian (tapak) menjadi sangat masif, mencapai 2080% dalam kurun waktu kurang dari 50 tahun Gambar 1. Selain kondisinya yang terancam masalah industrialisasi, tapak juga menerima dampak lain dari industri yang ada

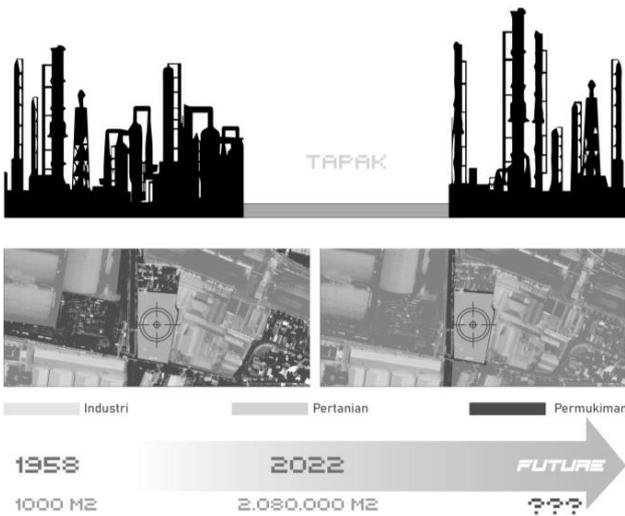
disebelahnya, berbagai polutan dan limbah mencemari sumber daya yang harusnya dibutuhkan oleh tanaman dalam prosesnya sebelum dipanen. Dari segi sumber daya air, didapati warga ada mengeluhkan jika musim penghujan datang beberapa titik sungai akan meluap dan, cemarannya dapat merusak lahan pertanian (namun luapan ini tidak terjadi pada area tapak), dapat diindikasikan bahwa air sungai mengandung zat yang kurang baik dampaknya bagi tanaman. Dari segi ketersediaan udara bersih, pengolahan tembakau berpeluang menghasilkan residu yang mengandung bahan berbahaya misalnya B-a-P (benzo-a-pyrene), TSNA (tobacco specific nitrosamine), abu sisa pembakaran, serta debu tembakau. Ditambah lagi jika proses pengolahan masih melibatkan penggunaan batu bara pada tungku pembakaran jenis gasifikasi maka udara akan tercemar zat SO₂ yang dilepas bersama asap dari cerobong pabrik dan berakibat terjadinya hujan asam, juga gas CO, NO₂, NO, dan lain-lain yang dihasilkan meracuni lingkungan [1] Dampak-dampak tersebut memantik munculnya permasalahan desain baru mengenai bagaimana arsitektur mampu menjadi katalis untuk mempertahankan fungsi pertanian ditengah industrialisasi yang semakin liar namun dengan tetap berorientasi pada keberlanjutannya di masa mendatang melalui keterlibatan skenario konteks yang telah diprediksi akan terjadi.

II. METODE DESAIN

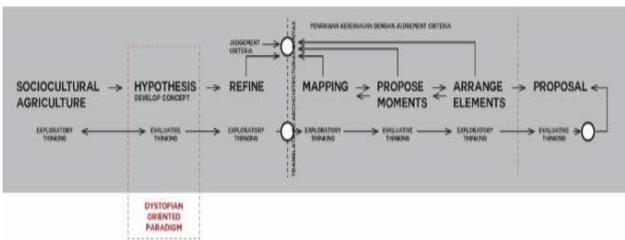
Proses perancangan menggunakan salah satu kerangka berpikir desain dalam buku *Revealing Architecture Design, Methods, and Framework* yakni *concept-based framework* [2]. Pemilihan *framework* tersebut karena didasarkan pada fokus rancangan dengan *framing* isu pertanian yang kemudian di *breakdown* bagaimana *hypothesis* yang akan terjadi, kondisi yang sedang dan akan terjadi pada tapak dijadikan sebagai alat bantu dalam membangun konsep rancangan menanggapi *hypothesis* yang diperkirakan. Selanjutnya proses desain dilakukan dengan pendekatan *dystopia* dan *scenario based design* menentukan konsep desain spesifik yang akan dibahas pada sub bahasan poin selanjutnya.

A. *Dystopian Approach*

Dystopia erat kaitannya dengan pesimisme masa depan, karena kondisi mendatang yang sangat bergantung pada fenomena yang saat ini terjadi [3]. Dalam perancangan ini dikaitkan dengan pemikiran bagaimana isu desain tidak segera ditangani, maka kondisi di masa depan dapat diprediksi kian memburuk. *Dystopia* diposisikan dalam membantu menyusun skenario setting dari arsitektur yang



Gambar 1. Konteks Tapak pada Rancangan dan Isu Industrialisasi yang Dihadapi oleh tapak.



Gambar 2. Concept-based Framework sebagai Kerangka Rancang yang Digunakan dan Posisi Pendekatan Distopia pada Kerangka Rancang.

akan dirancang, sehingga memunculkan *hipotesis* yang akan mendevelope sebagian besar konsep rancangan sesuai skema pada Gambar 2.

B. Scenario Based Design

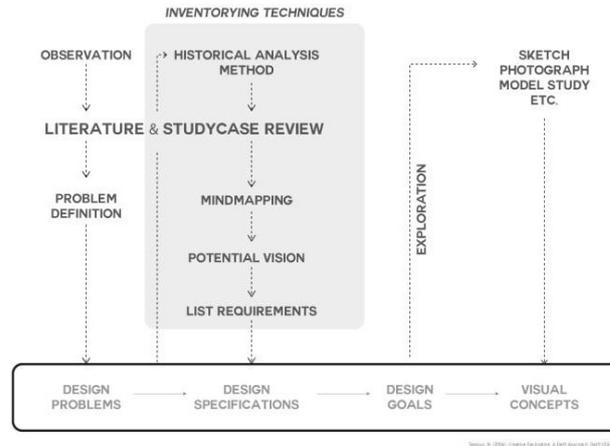
Salah satu cara untuk membantu desainer membayangkan masa depan berlangsung, fungsi dan kinerja apa yang terbentuk dari sebuah bangunan adalah dengan menetapkan berbagai skenario kunci untuk penggunaan bangunan di masa mendatang sepanjang siklus hidup yang dikehendaki [4]. Pada perancangan, skenario yang digunakan berasal dari dua konteks waktu, konteks waktu sekarang dan konteks waktu masa depan Gambar 3. Skenario dalam konteks waktu sekarang berasal dari analisis pada tapak dan ditemukan beberapa skenario yang harus dihadapi diantaranya industri yang invasif dan lahan pertanian produktif yang semakin habis. Sementara itu pada konteks waktu masa mendatang, perancang mendasarkan pada *shared socioeconomic pathway* (SSP) yang dirumuskan oleh tim ilmuwan iklim internasional, ekonom, dan pemodel sistem energi. SSP yang digunakan adalah SSP 1-2.6 dimana terdapat beberapa masalah iklim global seperti kenaikan suhu global 1.8 derajat celsius, pekatnya pencemaran udara, hingga masalah yang erat kaitannya dengan pertanian seperti tidak terprediksinya musim penghujan dan kemarau serta langkanya air bersih seperti pada Gambar 3.

C. Rationalist Approach: Performance Form and Precedent: Transformation Of Specific Model.

Rancangan dikembangkan melalui studi lebih lanjut mengenai cara kerja mendetail beberapa objek dan hal lain yang berkaitan dengan konsep rancangan, serta tinjauan



Gambar 3. Proyeksi Isu yang Dihadapi Tapak Berdasar Kondisi Eksisting dan Skenario Prediksi SSP.



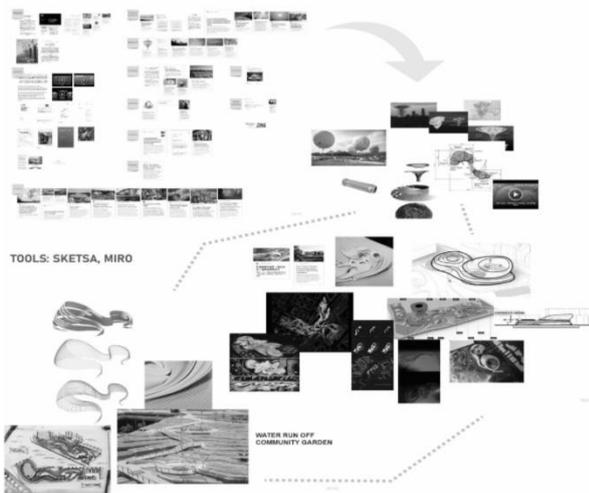
Gambar 4. Skema Proses Desain.

terhadap studi preseden yang memiliki konteks menyerupai rancangan hal ini sesuai salah satu metode desain *performance form and precedent* [5]. Pada Gambar 4 disajikan skema proses desain perancang yang menggunakan *inventorying technique* dengan *mindmapping* preseden serta literatur dengan konteks serupa untuk mencari kriteria rancang dari desain. Setelah melakukan *mindmapping* seperti yang tertera pada Gambar 5, didapatkan 3 poin kriteria yang harus terpenuhi dalam desain: mengenai *microclimate*, memaksimalkan penerimaan sinar matahari, dan pengoptimalan area tanam, lebih detailnya bisa dibaca pada Tabel 1.

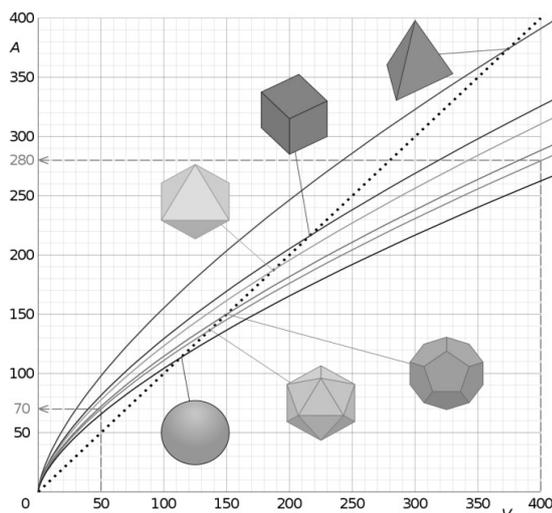
III. HASIL DAN EKSPLORASI

A. Geometri dan Form

Berdasarkan kriteria desain bentuk yang dicari untuk area tanam adalah bentuk yang memiliki volume besar dengan luas permukaan yang lebih kecil untuk memaksimalkan ruang dan mengurangi beban struktur untuk menopang permukaan. Pencarian geometri dilakukan dengan mencari data mengenai *volume to surface ratio* Gambar 6. Pada bangun ruang, dan didapat bentuk bola *spherical* memiliki volume ruang yang sebanding dengan bangun ruang lain namun dengan luas permukaan yang kecil [6]. Seperti diagram pada Gambar 7, Bentuk *spherical* juga mampu menerima cahaya matahari dengan lebih merata karena tidak memiliki sudut sekaligus mampu mengalirkan air hujan sehingga tidak menggenang. Pada awal kriteria desain juga menginisiasi ide bahwa area tanam bisa diletakkan di ketinggian yang lebih tinggi dari area sekitar untuk dapat



Gambar 5. Proses Mindmapping dan Review Literatur Preseden.



Gambar 6. Grafik Platonik Perbandingan Volume dengan Luas Permukaan pada Beberapa Geometri Dasar.

meminimalkan paparan polutan yang datang dari cerobong asap pabrik yang tepat berada di sebelah lahan seperti ilustrasi ide awal pada Gambar 8.

B. Sistem Kerja

Ide awal *skyfarming* yang mampu melayang kemudian perancang adaptasikan dengan prinsip kerja balon udara sebagai studi preseden. Balon udara menggunakan perbedaan massa jenis gas didalamnya untuk membuatnya bisa mengapung di udara. Hal ini akan jauh lebih sederhana daripada menggunakan rekayasa mekanik untuk mengangkat massa ke udara, untuk itu selanjutnya dilakukan studi mengenai jenis gas yang dapat digunakan sebagai gas pengisi *skyfarming*. Dari hasil eksplorasi pada tabel 2, didapati gas yang paling optimal dari segi keamanan, keselamatan pengguna, dan tidak merusak tanaman ialah gas Helium, gas inilah yang dipilih sebagai gas pengisi oleh perancang. Ketika masa tanam, *skyfarming* akan dalam mode melayang seperti pada ilustrasi di Gambar 8, sementara ketika masa panen dan *maintenance skyfarming* akan mendarat pada struktur *dock* penyangganya.

C. Struktur dan Material Skyfarming

Sesuai dengan kriteria rancang, material yang digunakan harus mampu mentransmisikan cahaya matahari sebaik mungkin untuk keperluan fotosintesis tanaman sekaligus

Tabel 1. Proses Kriteria Desain dan Penerapannya pada Rancangan *Skyfarming*.
Kriteria Aplikasi Konsep

K1	Mampu mengatur microclimate secara mandiri untuk mempertahankan kondisi yang dibutuhkan tanaman untuk tumbuh.	Adanya barrier terutama area tanam untuk melindungi dari iklim luar yang ekstrim. Menerapkan smart farming.
K2	Mampu menangkap sinar matahari semaksimal mungkin dan menyebar pada areatanam untuk membantu fotosintesis tanaman, sinar matahari sekaligus untuk dikonversikan sebagai electricity.	Pada area tanam menggunakan material yang dapat ditembus oleh sinar matahari. Form area tanam memiliki volume yang besar dengan permukaan minimum untuk memaksimalkan ruang dan mengurangi beban struktur untuk menopang permukaan Area tanam berada di ketinggian yang lebih tinggi dari area sekitar dan arah datang asap pabrik.
K3	Pemaksimalan area tanam sehingga mampu meningkatkan hasil produksi pertanian.	Penaatan bentuk massa memprioritaskan pada fungsi plant production namun berpusat pada sistem. Semiminal mungkin dalam penggunaan sumber daya air dan tanah melalui sistem pertanian soil-less yang dipilih.

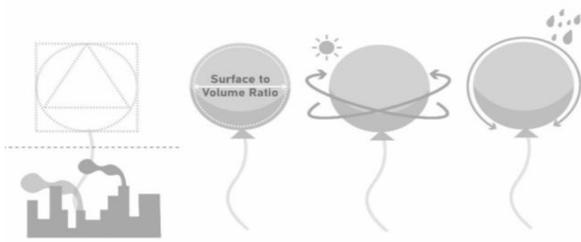
Tabel 2. Daftar Opsi Gas Pengisi dan Karakternya.

Gas	Karakter	Massa Jenis
Hidrogen	Reaktif terhadap api, mudah meledak, kesediannya melimpah, berpengaruh terhadap pH	0.009kg/m3
Helium	Non-reaktif Valensi kimia=0, tidak reaktif dalam kondisi normal, tidak berpengaruh terhadap sifat kimia makanan, mahal, butuh prosedur keselamatan kerja khusus agar tidak terhirup	0.1785kg/m3 matahari.
Kalsium Karbida	Rentan Api	1.1kg/m3 (asitilena)

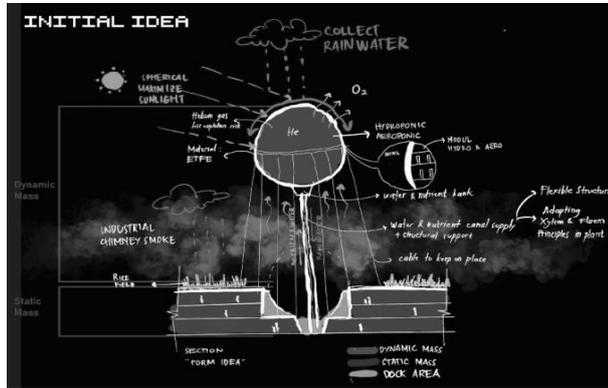
digunakan sebagai sumber daya alternatif elektrikal rancangan. Sifat yang dimiliki material harus ringan untuk mengurangi beban struktural yang harus diangkat oleh gas Helium. Dari hasil eksplorasi, perancang memilih menggunakan *Ethylene Tetrafluoroethylene (ETFE)* seperti pada Gambar 9. Alasan utama pemilihan material ETFE dibandingkan kaca adalah karena beratnya yang jauh lebih ringan, memiliki ketahanan suhu yang baik dengan titik leleh yang tinggi sekitar 270 derajat celsius, recyclable, tahan cuaca, memiliki usia pakai yang panjang >30 tahun, mengkonsumsi energi lebih rendah daripada kaca. ETFE digunakan sebagai material selubung rangka *skyfarming*.

D. Struktur dan Material Penyangga

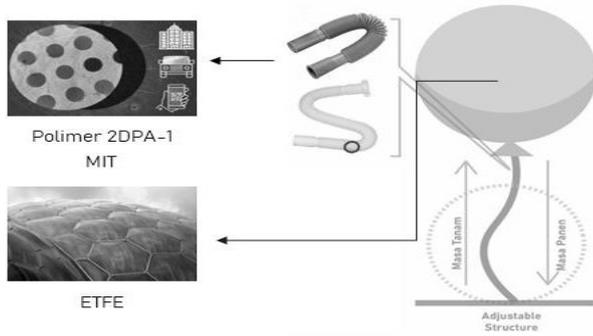
Struktur yang menopang *skyfarming* dikategorikan menjadi dua jenis yakni struktur *fix* yang berfungsi untuk menghubungkan *skyfarming* ke dasar tanah dan struktur *adjustable*. Struktur *fix* merupakan struktur yang berfungsi sebagai *dock* pendaratan *skyfarming* yang sekaligus berfungsi untuk menyangga dan menyalurkan pembebanan ke pondasi, memberi ruang untuk *vertical transportation*, dan sekaligus saluran *plumbing*. Struktur *fix* menggunakan sistem *shear wall* dan *core* Gambar 10. berongga yang biasa digunakan dalam bangunan gedung bertingkat dengan material utama beton komposit. Sementara itu struktur *adjustable* berfungsi



Gambar 7. Diagram Form Terpilih.



Gambar 8. Ilustrasi Ide Awal Skyfarming.



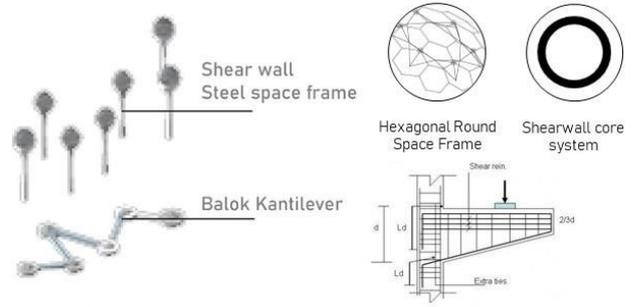
Gambar 9. Material pada Skyfarming.

layaknya saluran *xylem* dan *floem* pada tanaman yakni untuk menyalurkan nutrient dan air ke sprayer yang ada di dalam *skyfarming* dan juga sebagai pipa *supply* helium. Material yang digunakan adalah Polimer 2DPA-1, material yang saat ini masih dalam tahap pengembangan yang memiliki karakter sekokoh baja namun seringan plastik Gambar 9.

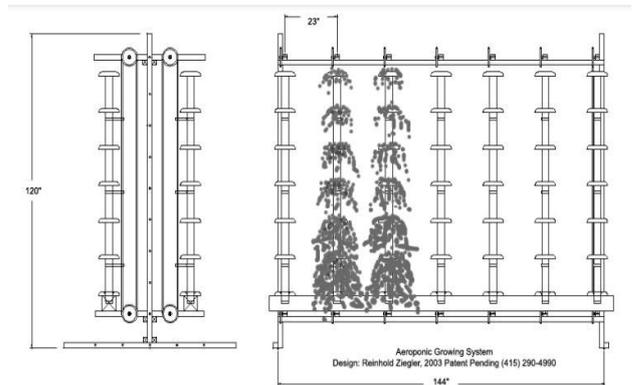
E. Metode Penanaman Jenis Tanaman

Mempertimbangkan pembebanan pada *skyfarming* sekaligus memenuhi kriteria desain poin 3 dimana *skyfarming* menggunakan seminimal mungkin air, sistem pertanian yang dipilih adalah *soil-less system*. Selain itu keuntungan dari *soil-less system* adalah hasil jauh lebih tinggi 3-20x lipat dibandingkan dengan sistem konvensional, konsumsi air hanya sekitar 10% dari kebutuhan sistem konvensional, tanaman lebih sehat dan hampir bebas penyakit serta tumbuh 30-50% lebih cepat. Metode pertanian yang digunakan dalam *skyfarming* adalah metode aeroponik dengan pertimbangan utama instalasi yang lebih ringan karena nutrisi tidak dialirkan dengan air namun menggunakan *droplet/mist* yang disemprotkan, sehingga berdampak pada instalasi yang lebih ringan.

Aeroponik juga memiliki keuntungan lain seperti tanaman yang dihasilkan 30 lebih besar daripada tanaman hidroponik, penyerapan makronutrien yang lebih optimum, dan 95% hemat air, 85% hemat fertilizer dibanding kandungan metode



Gambar 10. Struktur pada Skyfarming.



Gambar 11. Konsep Aeroponik Vertikal.

Masa Panen	Balon suhu dingin (19 C, hum 80%)	Balon suhu hangat (25 C, hum 60%)
4-6 minggu		
>8 minggu		

Gambar 12. Kategorisasi Tanaman yang Akan Ditanam pada Skyfarming.

penanaman konvensional. Rak-rak aeroponik disusun dari pipa berjajar dalam posisi vertikal yang dirangkai menjadi satu modul, satu unit pipa mampu menampung beberapa tanaman seperti pada Gambar 11.

F. Jenis Tanaman

Jenis tanaman yang dipilih merupakan tanaman yang bisa dikembangkan dengan metode aeroponik. Pengkategorian tanaman didasarkan pada tiga aspek yakni masa tanam, kebutuhan temperatur, dan kebutuhan kelembaban (lebih jelasnya ada pada Gambar 12). Hal tersebut ditujukan untuk mempermudah pengaturan *microclimate* di dalam *skyfarming* dan mempermudah menentukan penjadwalan *maintenance*.

G. Ketinggian Maksimum

Kalkulasi ketinggian *skyfarm* dihitung menggunakan rumus yang merelasikan ketinggian dengan suhu dan kelembaban udara. Bertujuan untuk memperkirakan ketinggian maksimum *skyfarm* yang masih bisa ditoleransi oleh tanaman yang berada di dalamnya.

H. Aplikasi Holistik Pada Rancangan

Pertanian yang diterapkan pada rancangan dapat dikategorikan sebagai *controlled environment agriculture* (CEA) yang memadukan tiga unsur di Gambar 14 yakni



Relasi Ketinggian, Suhu, dan Kelembaban Udara

T = T0 - 0,6 (h/100)

Diketahui:
 h Kediri = 67 mdpt
 Suhu rata rata = 28 C (2021)
 = 29,8 (2100)

Kalkulasi
 T = 29,8 - 0,6 (67/100)
 = 29,8 - 0,6 . 0,67
 = 29,8 - 0,402
 = **29,398 c**

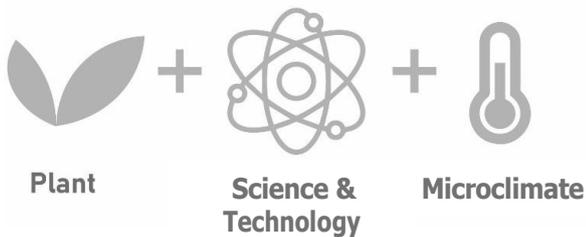
Perkiraan temperatur rata-rata site

Suhu yang dibutuhkan

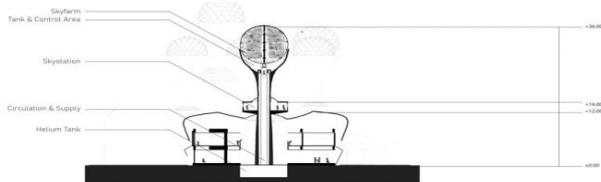
Balon suhu dingin: 19 C
 19 = 29,398 - 0,6 (h/100)
 0,6(h/100) = 29,398 - 19
 = 10,398
 h/100 = 10,398 : 0,6
 h/100 = 17,3
 h = 17,3 x 100
 h = 1730 m
 (maksimum ketinggian tanpa bantuan cooler)

Balon suhu hangat: 25 C
 25 = 29,398 - 0,6 (h/100)
 0,6(h/100) = 29,398 - 25
 = 4,398
 h/100 = 4,398 : 0,6
 h/100 = 7,33
 h = 7,33 x 100
 h = 733 m
 (maksimum ketinggian tanpa bantuan cooler)

Gambar 13. Kalkulasi Ketinggian Maksimum skyfarm.



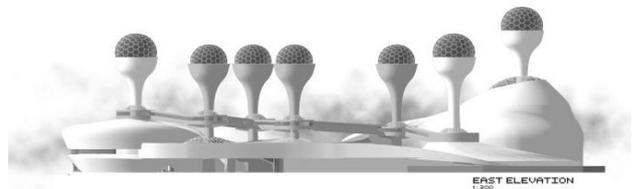
Gambar 14. Konsep Controlled Environment Agriculture.



Gambar 15. Gambar Potongan Rancangan.

tanaman, teknologi, dan *microclimate* sebagai sesuatu yang direkayasa. Kelebihan dari *CEA* adalah tingkat pertumbuhan dan hasil tanam yang bisa diprediksi, mengurangi ketergantungan pada bahan kimia, dan hemat sumber daya (70%-95% lebih hemat air daripada sistem biasa). Seluruh tanaman diletakkan pada bagian bola *skyfarming* yang rapat susunan rangka dan selubungnya untuk menghalangi pengaruh dari lingkungan luar Gambar 15. Material ETFE yang menyelubungi berfungsi menransmisikan cahaya matahari sebagai kebutuhan utama tumbuhan dalam berfotosintesis. Perlengkapan yang diperlukan untuk mengontrol iklim mikro didalam *skyfarming* diantaranya *LED Grow lights*, *heater*, *dehumidifier*, *humidifier*, *CO2 enrichment*, dan *air cooler* yang diletakkan di dalam bola *skyfarming*. Perlengkapan penunjang lain seperti tangki air, tangki nutrien, dan pompa diletakkan didalam *docking* yang didukung dengan ruang utilitas.

Dapat dilihat massa *skyfarming* memungkinkann untuk di *overlapping* dengan bentuk arsitektural lain di lantai dasarnya asal memiliki akses yang baik untuk sirkulasi dan perpipaan lihat Gambar 16. Antar *skyfarming* dengan *skyfarming* lain juga dapat dihubungkan dengan jalur sirkulasi untuk



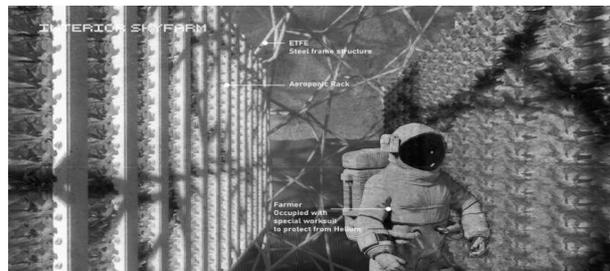
Gambar 16. Gambar Tampak Rancangan.



Gambar 17. Visualisasi Skyfarm dengan Neighborhood.



Gambar 18. Gambar Perspektif dan Deetail Maaterial.



Gambar 19. Visualisasi Interior Skyfarm.

mempermudah perpindahan pengguna.

Hasil akhir rancangan *skyfarming* dan kedudukannya dengan area industri di sekitarnya dapat dilihat pada Gambar 17. Kemudian penerapan material serta teknologi penunjang dapat dilihat pada Gambar 18. Terakhir pada Gambar 19 disajikan interior *skyfarming* yang menampilkan petani dengan pakaian khusus, hal itu memang diperlukan ketika operasional untuk melindungi petani dari paparan gas helium yang tidak baik bagi saluran pernafasan manusia.

IV. KESIMPULAN

Melalui permasalahan yang telah dirumuskan, yaitu bagaimana kejenuhan masyarakat dalam melakukan rutinitas sehari-hari, terutama di kota metropolitan seperti Jakarta yang memiliki tingkat stress masyarakat urban yang tinggi, maka hal tersebut bisa direspon secara arsitektural dengan penyediaan kualitas spasial yang baik serta menimbulkan dampak psikologis yang positif bagi penggunanya.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat berbagai macam cara untuk menghadirkan kualitas spasial yang positif dengan mulai untuk memahami sudut pandang

pengguna, apa yang mereka inginkan dan rasakan, serta melalui serangkaian uji coba terhadap perilaku dan pergerakan masyarakat pada ruang publik. Objek rancang mencoba untuk mengintegrasinya dengan konteks wilayah di Kota Jakarta yang memiliki pertumbuhan ekonomi yang tinggi, kehidupan urban yang terus berkembang, dan memanfaatkan kepadatan dan ritme masyarakat dalam beraktivitas dan berpindah tempat.

Melalui tahapan desain *force base framework*, berbagai macam permasalahan ini ditranslasi dalam bentuk *force* yang dapat berupa tantangan yang harus diselesaikan (*constraint*) dan *force* yang berupa informasi atau nilai plus yang bisa dimanfaatkan dalam perancangan selanjutnya (*asset*), juga dibantu oleh pendekatan dan teori pendukung yang membentuk prinsip desain yang kuat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Tirtosastro and D. A. S. Murdiyati, "Pengolahan Daun Tembakau dan Dampaknya Terhadap Lingkungan," *Buletin Tanaman Tembakau, Serat & Minyak Industri*, vol. 3, no. 2, pp. 80–88, 2011.
- [2] P. D. Plowright, *Revealing Architectural Design Methods, Frameworks and Tools*. Newyork: Routledge, 2014.
- [3] E. Comino, M. Molari, and L. Dominici, "La Città che invita La Natura. Progettare in collaborazione con il verde verticale," *AGATHÓN-International Journal of Architecture*, pp. 112–123, 2021, doi: 10.19229/2464-9309/9112021.
- [4] B. Eilouti, "Scenario-based design: New applications in metamorphic architecture," *Frontiers of Architectural Research*, vol. 7, no. 4, pp. 530–543, Dec. 2018, doi: 10.1016/j.foar.2018.07.003.
- [5] K. Jormakka, Oliver Schürer, and Dörte Kuhlmann, *Basics Design Methods*. Berlin, Boston: Birkhäuser, 2014. doi: doi:10.1515/9783035612387.
- [6] David K, "Graphical relationship of Surface Area against Volume with Platonic solids," Aug. 30, 2019. <https://math.stackexchange.com/q/3338745>