

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teori Evolusi dan Pengembangan dalam Arsitektur

2.1.1 Proses Alam dalam Morfogenesis Digital

Morfogenesis adalah fenomena dasar biologis dalam biologi yang didefinisikan oleh dinamika pengorganisasian diri dalam makhluk hidup. Fenomena kompleks ini, mengendalikan pembentukan dan perkembangan bentuk anatomi dan organisasi struktural organisme hidup yang diatur oleh interaksi akibat rangsangan lingkungan dan instruksi genetik. Dari tahap awal perkembangan embrio yang dikenal sebagai embriogenesis hingga perkembangan organ-organ khusus selanjutnya selama organogenesis, morfogenesis mengintegrasikan interaksi evolusi, diferensiasi, transformatif, dan distributif di antara bagian-bagian penyusun suatu organisme (Davis, 2009; Gökmen 2020; Kasyanov, 2020). Kemampuan untuk berkembang dari bentuk yang sederhana menjadi bentuk yang lebih kompleks, terorganisasi, dan terdiferensiasi secara spasial atau morfogenesis merupakan salah satu sifat paling mendasar dari sistem biologi; mulai dari sel individual hingga organisme multiseluler besar hingga populasi menyeluruh (Goryachev et al., 2020). Morfogenesis merupakan salah satu dari proses alamiah, yang mana proses ini meliputi pertumbuhan, perbaikan, adaptasi, dan penuaan (Roudavski, 2009). Morfogenesis menyatukan populasi sel untuk interaksi induktif baru dan menciptakan struktur tiga dimensi yang kompleks seperti jantung, anggota tubuh, paru-paru, dan mata dari lembaran epitel sederhana dan massa sel mesenkimal (Hogan, 1999).

Tujuan utama morfogenesis adalah untuk memperjelas mekanisme dasar yang mengendalikan rangkaian peristiwa molekuler yang terjadi selama perkembangan dan adaptasi dan menghasilkan perubahan morfologi pada organisme (Kasyanov, 2020; Roudavski, 2009). Mekanisme yang mendasari morfogenesis

mendorong pendekatan interdisipliner yang menyatukan banyak bidang studi untuk memajukan penyelidikan ilmiah. Kontribusi Alan Turing pada sistem komputer telah memungkinkan simulasi proses evolusi yang ditemukan di alam untuk diterapkan. Melalui studi hukum organik, kerangka kerja matematika, dan fisika menggunakan algoritma memperjelas perkembangan dan struktur organisme (Goryachev et al., 2020; Kamaoğlu, 2023; Thompson, 1992).

Sebagian besar kemajuan teknologi terhadap proses morfogenesis terjadi secara independen satu sama lain, tetapi integrasi yang cerdas dan kreatif telah meningkatkan potensi masing-masing sekaligus memperluas penggunaannya (Goryachev et al., 2020). Penggunaan metode parametrik dan generatif dalam desain komputasional, bersama dengan kemampuan produksi massal berkualitas tinggi, memungkinkan geometri untuk diperiksa secara menyeluruh. Beberapa penerapannya meliputi metode evolusi, model pertumbuhan perkembangan, mekanisme reaksi-difusi. Karena kemampuan algoritma untuk "tumbuh" dan berubah, metode ini memungkinkan pengembangan konsep desain melalui proses formatif yang mirip dengan produksi entitas biologis (Kamaoğlu, 2023; Senatore 2009; Steadman 2008).

Sejak hipotesis Darwin diajukan 160 tahun yang lalu, dasar-dasar evolusi biologis telah disempurnakan dan ditetapkan. Kesepakatan saat ini mengakui bahwa mekanisme utama yang memandu proses evolusi adalah pergeseran acak, rekombinasi, mutasi, dan seleksi alam (Miikkulainen et al., 2023; Senate, 2009). Alih-alih menggunakan satu solusi tunggal, pendekatan evolusi ini beroperasi dengan mengelola populasi individu. Agar generasi mendatang memiliki sifat yang lebih baik, sistem ini mengintegrasikan representasi genetik individu yang mungkin dan mempertahankannya. Strategi pencarian paralel dengan menerapkan gen sebagai representasi parameter masalah, nilai alel parameter

masalah, dan skor kebugaran yang mengacu pada evolusi menuju domain solusi yang dituju. Mengingat besarnya varian parameter, pemeriksaan serial semua opsi tidak mungkin dilakukan, jika tidak mustahil. Waktu yang dibutuhkan untuk eksplorasi dikurangi secara drastis ke tingkat yang dapat dikelola dengan menggunakan pencarian paralel (Senatore, 2009).

Penerapan dalam bidang arsitektur berakar kuat pada pengembangan morfogenesis digital, suatu sistem komputasi yang terkait erat dengan perannya sebagai kolaborator arsitek dan integrasinya dengan proses alam. Model kerjasama dengan arsitek ini menjabarkan kewenangan dan tanggung jawab dalam menangani berbagai isu termasuk konstruksi, lingkungan, dan aspek finansial, serta juga bidang yang lebih abstrak seperti hunian, estetika, dan pertimbangan program (Davis, 2009; Leach, 2009). Tujuan penggabungan morfogenesis digital dengan proses alami terus menjadi kekuatan pendorong di balik integrasi sifat komputasional dalam desain arsitektur. Meskipun ada tantangan awal, pengembangan alat pemodelan yang memungkinkan input waktu nyata terus dipromosikan. Dievaluasi apakah komputasi evolusioner, khususnya algoritma genetika, dapat menawarkan teknik yang canggih dan fleksibel yang mirip dengan sistem biologis (Kamaoğlu, 2023; Miikkulainen et al., 2023). Oleh karena itu, penambahan komponen pengembangan evolusi semakin memperkaya metodologi penerapan ke desain arsitektur. Dalam hal morfologi, morfogenesis digital lebih menekankan pada formasi dinamis daripada bentuk statis. Metode penelitian morfogenesis digital, termasuk pembelajaran mesin untuk mengekstraksi fitur struktural dari bentuk alami, dan kemudian menggunakan desain parametrik untuk memodelkan fitur alami tersebut (Zeng et al., 2024).

2.1.2 Paradigma Baru menggunakan Morfogenesis Digital

Penerapan morfogenesis dalam arsitektur telah menghasilkan pergeseran paradigma yang dikenal sebagai "Morfogenesis Digital." Arsitek menggunakan simulasi proses pengembangan lintas dimensi mikro hingga makro untuk memahami domain alami dan komputer sebagai ontologi yang berbeda (Leach, 2009). Berawal dari alat komputasi sebagai metode interdisipliner yang menggabungkan ilmu pengetahuan dan teknologi muncul "New Materialism". Perkembangan tersebut memuat mengenai pemodelan topologi dan perubahannya serta algoritma buatan yang muncul (DeLanda, 2004). Selanjutnya, Leach (2009) memperkenalkan penampilan lebih utama daripada performa sebagai respon terhadap postmodernisme yang menerapkan pada proses bawah-atas dalam desain dan menekankan kinerja material dan proses atas representasi. Kritik atas paradigma tersebut oleh Davis (2009), menekankan pada penggunaan algoritma genetika untuk mengganti model parametrik dan algoritma pendakian bukit menjadi pemikiran populasi, arketipe percabangan, dan hasil persaingan manusia yang rutin; Optimasi pareto untuk menyelesaikan masalah multi-objektif dan penyelesaian masalah yang kurang pragmatis (penghuni, estetika dan programatik), serta tanggung jawab arsitek atas desain dan memiliki banyak cara untuk mempengaruhi proses tersebut. Ketika morfogenesis digital diterapkan pada suatu desain, arsitek harus: mendefinisikan masalah, memilih algoritma, dan memverifikasi bahwa outputnya valid.

2.1.3 Morfogenesis Digital pada Arsitektur Evolusioner

Dalam arsitektur evolusioner, konsep arsitektur diekspresikan sebagai kumpulan aturan generatif, yang dapat disimpan secara digital. Skrip instruksi generatif menghasilkan sejumlah besar bentuk prototipe, yang kemudian dievaluasi

berdasarkan kinerjanya dalam lingkungan simulasi (Frazer, 1995). Perancang membangun sistem generatif produksi formal, mengendalikan perilakunya dari waktu ke waktu, dan memilih bentuk-bentuk yang muncul dari operasinya. Hal tersebut dilakukan dengan menentukan sistem pengaruh, hubungan, kendala atau aturan yang didefinisikan terlebih dahulu melalui proses informasi; Definisi suatu sistem pengaruh, hubungan, kendala, atau norma dimulai dengan proses pembentukan; yang kemudian mengalami proses deformasi atau transformasi, didorong oleh hubungan, pengaruh atau aturan yang sama (Kolarevic, 2004).

Beberapa konsep dasar komputasi yang ditekankan pada morfogenesis digital pada penerapan proses komputasi dalam membentuk dan mentransformasi bentuk antara lain (Kolarevic, 2004):

1. Geometri Topologi

Ini adalah proses berbasis komputasi yang mendefinisikan arsitektur digital, menekankan keragaman yang melekat dalam logika asal usul dan transformasi bentuk.

2. Poli Surfaces Isomorfik (blob)

Ini digunakan untuk mengartikulasikan geometri lengkung yang kompleks, mengganti norma statis dengan transformasi dinamis dan variabilitas tak terbatas.

3. Kinematika dan Dinamika Gerak

Konsep ini digunakan untuk secara aktif membentuk bangunan secara dinamis, mirip dengan perangkat lunak animasi, yang memungkinkan arsitektur performatif yang dapat beradaptasi dengan target kinerja.

4. Animasi Key Shape (Metamorfosis)

Proses ini melibatkan transformasi topologi bangunan yang dinamis dan metamorfik, yang memungkinkan berbagai kemungkinan performatif dari kondisi yang tidak dioptimalkan hingga yang dioptimalkan.

5. Desain Parametris

Pendekatan ini melibatkan pendefinisian sistem pengaruh, hubungan, kendala, atau aturan yang mendorong proses pembentukan, deformasi, atau transformasi, yang mengarah ke bentuk yang muncul.

6. Algoritma Genetika:

Ini adalah bagian dari peran generatif teknik digital baru, yang memungkinkan manipulasi konstruksi komputasi untuk terus menyusun kembali wacana desain.

Penerapan secara khusus morfogenesis digital dalam penerapannya arsitektur meliputi: dukungan terhadap kompleksitas yang ekstra; memperkuat imajinasi lingkungan yang aman dan fleksibel untuk eksperimen; Integrasi prosedural dengan simulasi lingkungan evaluasi dan alat desain; kemampuan yang ditingkatkan untuk menyesuaikan desain di berbagai titik rantai prosedural, tanpa mengganggu dan dengan fleksibilitas yang lebih besar; dan penggunaan struktur seluler yang kompleks dan mudah beradaptasi dapat memiliki manfaat struktural dalam arsitektur.

Morfogenesis digital juga menyediakan metode spekulatif dan generatif dalam desain, menggabungkan geometri komputasi, matematika, kinerja material, strategi fabrikasi dan algoritma (Dixit et al., 2023; Gökmen 2020). Morfogenesis sebagai metodologi berorientasi proses dalam penerapan praktis terhadap algoritma dapat dikaitkan dengan beberapa ide:

1. Menemukan bentuk (form-finding)

Teknik desain yang memanfaatkan pengorganisasian diri sistem material, di bawah pengaruh kekuatan eksternal, baik untuk memberikan kesinambungan visual maupun kinerja struktural. (Roudavski, 2009)

2. Kemunculan (emergence)

Selain struktur yang kompleks dan terorganisir, kemunculan juga berurusan dengan desain fleksibel yang terbuka terhadap modifikasi seleksi alam (evolusi) dan kemampuan untuk merakit dirinya sendiri (Roudavski, 2009).

3. Pengorganisasian diri (self-organization)

Hal ini disebut sebagai pengorganisasian diri adaptif karena kemampuannya menerima dan bereaksi terhadap berbagai lapisan umpan balik negatif seperti homeostasis dalam biologi atau keseimbangan (Roudavski, 2009).

2.1.4 Morfogenesis Digital dengan Algoritma Genetik

Dalam bidang kecerdasan komputasional, Komputasi Evolusioner (EC) menggunakan sistem buatan yang memiliki kualitas seperti kehidupan nyata untuk meniru proses evolusi alami. Dalam hal penggunaan Algoritma Evolusioner (EA) untuk memecahkan masalah ilmiah dan teknik, EC mencakup berbagai pendekatan, termasuk Algoritma Genetik (GA), Pemrograman Evolusioner (EP), Strategi Evolusioner (ES), dan Pemrograman Genetik (GP). Algoritma evolusi yang umum untuk mengoptimalkan fungsi objektif dengan ambiguitas, gangguan, dan diskontinuitas adalah Algoritma Genetika (GA). Algoritma genetika (GA) pertama kali dikembangkan oleh Holland pada tahun 1973. Algoritma ini sebagian besar digunakan untuk memecahkan masalah kombinatorial dan menggunakan string biner yang dipengaruhi oleh

kode genetik yang ditemukan pada organisme nyata. Rechenberg (1971) dan Schwefel (1975) menyajikan strategi evolusi (ES), yang terutama dimotivasi oleh kendala teknis, yang mengakibatkan adopsi representasi nilai riil yang lazim. Pada awal 1990-an, Koza (1992b) mengusulkan pemrograman genetika (GP), yang menjadi teknik yang secara khusus ditujukan untuk pengoptimalan program (Bartz-Beielstein et al., 2014). Teknik-teknik ini bekerja dengan menerapkan seleksi, rekombinasi, dan mutasi pada populasi entitas digital secara iteratif untuk menghasilkan solusi yang unik (Miikkulainen et al., 2023; Senatore. 2009).

Algoritma genetik bekerja pada tingkat genotipe, memilih populasi berdasarkan ekspresi fenotip setelah mengubah populasi melalui prosedur mutasi dan persilangan (Baden et al., 2023; Bartz-Beielstein et al., 2014; Harding et al., 2018; Katoch et al., 2020). Sebagai teknik optimasi, GA dimulai dengan sekumpulan kromosom awal yang mewakili solusi potensial. Kemudian sekumpulan kromosom baru dibuat dengan harapan akan berkinerja lebih baik daripada kromosom asli menggunakan operator genetik seperti persilangan, mutasi, dan seleksi. Proses iteratif ini berlanjut hingga persyaratan terminasi terpenuhi, yang biasanya dicapai dengan memperoleh tingkat konvergensi tertentu atau solusi yang memuaskan. Jawaban optimal biasanya diakui sebagai kromosom dengan kinerja tertinggi dari generasi sebelumnya (Baden et al., 2023; El-Shorbagy et al., 2020; Katoch et al., 2020). Akan tetapi, masih ada kecenderungan dalam penerapan algoritma genetika dalam arsitektur untuk memprioritaskan masalah praktis daripada masalah yang kurang praktis, terutama dalam hal permasalahan pemrograman dalam mengembangkan program bangunan. Dengan menerapkan permasalahan yang kurang praktis seperti hunian, estetika, dan pertimbangan program mampu mengembangkan penerapan algoritma genetika untuk dapat menyelesaikan masalah arsitektur dari banyak pertimbangan dan aspek secara bersamaan.

2.1.5 Teori Evolusi dan Pengembangan

Selama pengembangan teori evolusi, muncul disiplin ilmu baru yang membantu menjelaskan proses evolusi berdasarkan perkembangan organisme, yang dikenal sebagai perkembangan evolusi (evo-devo). Evo-devo memperluas kerangka sintesis saat ini dengan memasukkan proses perkembangan yang terjadi antara gen dan fenotipe sebagai subjek studi yang berkaitan dengan kemampuan berevolusi (Craig, 2015; Raff, 2000; Abzhanov, 2017). Selama sepuluh tahun terakhir, beberapa akademisi telah meneliti persimpangan antara algoritma evo-devo dan evolusi dalam desain. Integrasi ini bertujuan untuk mengatasi keterbatasan metode desain tradisional, yang sering kali bergantung pada parameter tetap, sehingga mendorong inovasi dan kompleksitas dalam hasil arsitektur (Mateu & Bermejo, 2019). Teori evo-devo mengkombinasikan dasar pengetahuan ontogeni dan filogeni yang berawal dari teori baik von Baer maupun Haeckel mengenai unsur-unsur kebenaran yaitu evolusi mengarah pada divergensi embrionik dan dalam beberapa garis keturunan. Divergensi tersebut juga mengarah pada perpanjangan lintasan ontogenetik yang mengarah pada fenotipe dewasa yang lebih kompleks dengan jumlah sel yang lebih besar, embrio mereka tetap melewati bentuk-bentuk kuasi-leluhur yang sederhana (Arthur, 2002). Perbedaan bentuk yang ada bisa jadi tidak kentara pada spesies yang berkerabat dekat dan lebih dramatis pada spesies yang mewakili garis keturunan yang lebih berbeda. Hal tersebut, berhubungan pada perubahan dalam perkembangan embrio selama satu generasi berhubungan dengan perubahan evolusi yang terjadi antar generasi (Hall, 2012; Rossa et al., 2021).

Pemahaman menyeluruh tentang setiap proses evolusi yang mampu dijawab melalui evo-devo yaitu mengenai pengetahuan terperinci tentang sifat dan ruang lingkup perubahan morfologi serta mekanisme genetik perkembangan yang memungkinkannya

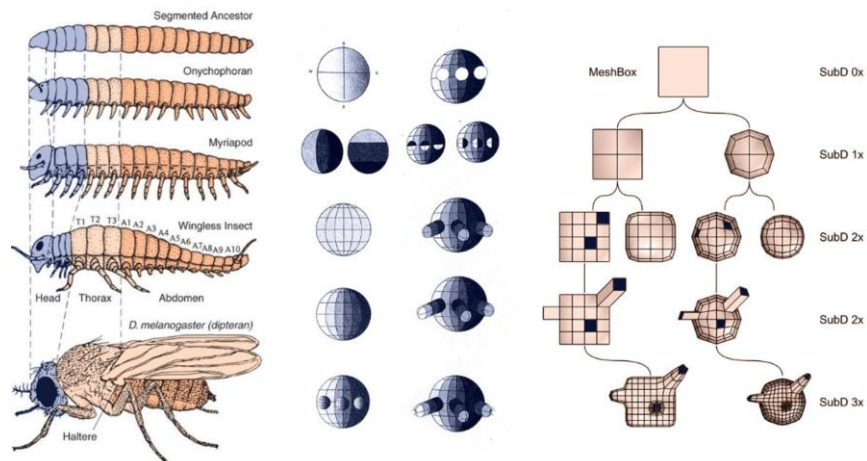
(Mallarino et al., 2012). Hal tersebut mendalami mengenai perubahan gen untuk menjadi fenotipe baru yang menjadi dasar proses pemrograman ulang perkembangan, yaitu perubahan yang didorong oleh mutasi pada sesuatu yang merupakan keadaan perubahan itu sendiri. Seluruh lintasan ontogenetik terdeteksi dengan cara yang terus berubah sebagai respons terhadap kondisi lingkungan dan secara epigenetik (Arthur, 2002). Salah satu metode dalam melakukan analisis evo-devo yaitu dengan analisis morfometrik terhadap perubahan morfologi yang terjadi selama evolusi. Analisis ini sangat diuntungkan oleh kemajuan teknologi pencitraan dan pemrosesan gambar 2D dan 3D (Mallarino et al., 2012). Selain itu, evo-devo sebagian didefinisikan oleh penekanan yang diberikan pada peran penjelasan konsep-konsep biologis seperti kemampuan berevolusi, inovasi, modularitas, dan regulasi.

2.1.6 Referensi Penerapan Gen Homeobox dalam Arsitektur

Gen homeobox yang menjadi basis teoritis dalam evo-devo dimiliki oleh seluruh eukariota yang mana pertama kali ditemukan pada mutan *Drosophila* yang diketahui mempengaruhi segmentasi dan selanjutnya ditemukan pada hampir semua hewan lain, tumbuhan, dan jamur (Holland, 2012; Wilming et al., 2015). Gen homeobox adalah sekelompok gen yang mengkode faktor transkripsi dengan struktur heliks-putar-heliks pengikat DNA yang disebut homeodomain dan yang memainkan peran penting dalam pembentukan pola selama embriogenesis. Banyak gen homeobox terletak dalam kelompok dan beberapa di antaranya, terutama gen HOX, diketahui memiliki gen antisense atau oppo site strand long non-coding RNA (lncRNA) yang memainkan peran regulasi dalam ekspresi gen (Mallo et al., 2010; Holland, 2012; Wilming et al., 2015). Secara biologis, bisa ada hingga 10 sakelar yang mengatur satu gen, yang darinya tumpang tindih fungsional pola dapat disimpulkan. Hal ini kemudian didasarkan pada konsep kemunculan

dan kompleksitas: Tidak ada begitu banyak alat yang kompleks, tetapi cara yang berbeda untuk menggabungkannya (Jacob et al., 1961).

Penerapan homeobox dalam arsitektur ini juga ditambahkan oleh penerapan konsep body plan dan allometry. Gen hox yang merupakan bagian dari gen homeobox telah menjadi pemain yang sangat penting dalam memodifikasi rencana tubuh hewan selama evolusi (Mallo et al., 2010). Richard Owen (1804-1892) tentang ‘Bauplan’ (rencana tubuh) hewan dan ‘homologi’ arketipe dan serialnya menjadi penting bagi kemampuan kita untuk menghubungkan spesies yang berbeda dan sifat-sifat individual mereka satu sama lain (Abzhanov, 2019). Dianggap sebagai abstraksi geometris dari fenotipe, peta untuk mengatur dan mengirimkan transformasi berturut-turut, subdivisi rekursif tempat saklar beroperasi (Mateu & Bermejo, 2019).



Gambar 2.1 (Kiri) Denah Tubuh Cacing. (Tengah) Perbandingan Denah Tubuh Antara Spesies yang Berbeda dan Topologi Subdivisi Embrio (Kanan) Pemodelan Subdivisi Mesh 3D (sumber: Mateu & Bermejo, 2019)

Penerapan homeobox, body plan, dan allometry oleh Mateu & Bermuja (2019) menempatkan konsep tersebut menggunakan visual programming di Grasshopper untuk menjadi alat dalam mendesain, yaitu:

1. Homeobox

Gen-gen ini diperkenalkan untuk mengubah tampilan fenotipe individu. Secara khusus, enam gen homeotik (Node, Anti Sub, Pinch, Hair, Peel, dan Polyp) digunakan untuk mengubah topologi bagian-bagian pada individu. Hal ini memungkinkan variabilitas yang lebih besar dalam desain yang dihasilkan oleh algoritma, meningkatkan pilihan yang tersedia untuk ekspresi fenotipe.

2. Body plan

Rencana tubuh awalnya didefinisikan sebagai struktur sederhana yang terdiri dari empat hingga enam bagian, berdasarkan matriks kubus 2×3 . Algoritma memungkinkan modifikasi pada rencana tubuh ini melalui pengenalan gen dan sakelar baru, yang memastikan bahwa hal ini dapat diterapkan secara bergantian di berbagai bagian. Fleksibilitas dalam rencana tubuh ini memudahkan eksplorasi berbagai konfigurasi dan adaptasi.

3. Allometry

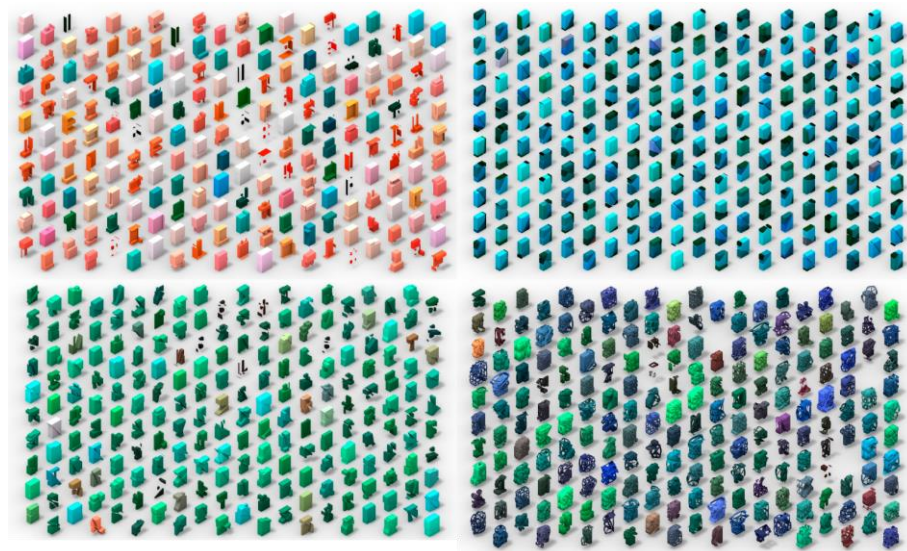
Allometri diterapkan untuk mengelola perubahan ukuran relatif bagian-bagian tubuh dalam korelasi dengan ukuran keseluruhan individu. Gen awal difokuskan pada perubahan skalar di sepanjang sumbu yang berbeda, yang memungkinkan modifikasi ortogonal sederhana (kumpulan gen slider). Seiring berjalannya penelitian, perubahan alometrik yang lebih kompleks diperkenalkan, yang memungkinkan sistem untuk mengembangkan individu dengan beragam bentuk dan ukuran sambil mempertahankan topologi yang konsisten.

4. Booster

Ini adalah daftar data yang meningkatkan fungsionalitas gen. Daftar ini memungkinkan pengenalan modifikasi tambahan pada gen, yang memungkinkan interaksi dan adaptasi yang lebih kompleks dalam rencana tubuh. Booster dapat dianggap sebagai penambah yang memberikan kemampuan ekstra pada gen yang dikaitkan dengannya

5. Switcher

Gen-gen ini bertindak sebagai elemen pengatur yang menentukan kapan dan bagaimana gen diekspresikan. Setiap gen dapat memiliki beberapa tombol yang mengendalikan aktivasinya, sehingga memungkinkan respons yang fleksibel dan dinamis terhadap berbagai kondisi. Meskipun, gen mungkin ada di seluruh tubuh, tetapi gen tersebut hanya akan diekspresikan berdasarkan data sakelar spesifik yang diterapkan



Gambar 2.2 Proses Penerapan Gen Homeobox, Body Plan, Allometry, Booster, dan Switcher (sumber: Mateu & Bermejo, 2019)

Dasar penerapan ini oleh Mateu & Bermuja (2019) adalah kurangnya penerapan perkembangan (bentuk dan perubahan)

sebagai suatu proses yang terkandung dalam pencarian evolusi. Selain itu, menekankan pentingnya evo-devo untuk melanjutkan sintesis teori evolusi melalui embriologi dan mengintegrasikan genetika molekuler dan untuk memfasilitasi pemahaman evolusi melalui drama bentuk, mengilustrasikan perubahan dan keragaman formal. Hal tersebut dapat mendorong pelampauan “optimasi lokal” serta memperluas “ruang desain”. Dalam penerapan oleh Mateu & Bermuja (2019), homeobox beserta dengan body plan dan allometry mampu memberikan manfaat berupa:

1. Integrasi konsep evo-devo

Mengintegrasikan prinsip-prinsip dari biologi perkembangan evolusioner (evo-devo) ke dalam desain arsitektur melalui penggunaan algoritma genetika (GA) dalam lingkungan pemrograman visual seperti Grasshopper.

2. Meningkatkan keragaman desain

Berupaya meningkatkan keragaman geometri dalam desain arsitektur tanpa memerlukan penulisan skrip yang rumit, sehingga memungkinkan solusi desain yang lebih mudah beradaptasi dan muncul.

3. Optimasi parameter desain

Berfokus pada pengoptimalan properti utama seperti luas, volume, dan jumlah muka melalui algoritma genetik multi-objektif, sehingga mengembangkan ruang pencarian yang kaya untuk solusi arsitektur.

4. Kerangka kerja fleksibel dan dinamis

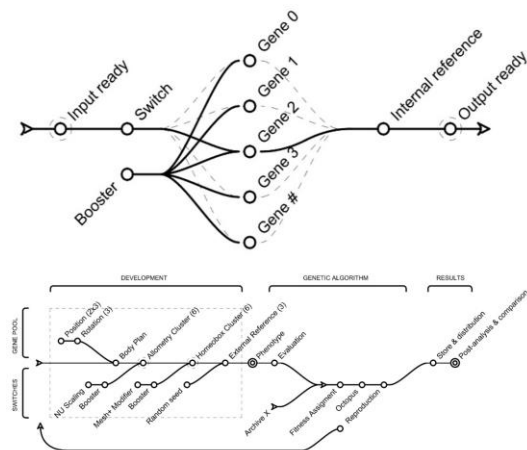
Peralihan dari parameter yang kaku dan telah ditentukan sebelumnya ke kerangka kerja yang lebih fleksibel dan dinamis yang dapat menanggapi faktor lingkungan dan memungkinkan hasil desain yang tidak terduga.

5. Arah penelitian masa depan

Menyarankan arah penelitian masa depan, termasuk integrasi pembelajaran mesin dan Building Information Modeling (BIM) untuk lebih meningkatkan proses desain dan mengurangi beban komputasi.

6. Mengatasi tantangan dalam aliran data

Menyoroti tantangan yang dihadapi dalam mengelola aliran data dan ekspresi gen di berbagai bagian model, mengusulkan penggunaan kluster untuk merangkum komponen genetik secara efektif.



Gambar 2.3 (Atas) Diagram Cluster dan Pemilihan Jalur Melalui Saklar (Bawah) Flow Data dalam Kerangka Programming Visual (sumber: Mateu & Bermejo, 2019)

2.1.7 Referensi Penerapan Modularitas dalam Arsitektur

Modularitas yang menjadi konsep sentral dalam evo-devo menekankan pada suatu sistem bersifat modular jika dapat dibagi menjadi beberapa set bagian yang saling berinteraksi erat dan relatif otonom terhadap satu sama lain. Konsep ini dapat diperluas ke hubungan fungsional dewasa, di mana modul-modul tersebut terdiri dari bagian-bagian yang bertindak bersama-sama dalam menjalankan beberapa fungsi fisiologis (Melo et al., 2016; Sanger et

al., 2011, Hatleberg et al., 2021). Organisasi modular dari struktur biologis dapat dilihat sebagai transisi fase yang melanggar simetri, dengan modularitas sebagai parameter tatanan. Fitur utama yang menghubungkan struktur dan fungsi jaringan (Kadelka et al., 2023). Modularitas ini dibagi menjadi 2 yaitu modularitas pengembangan yang berperan dalam formasi fenotipe dan modularitas variatif yang berperan dalam diversitas fenotipe. Proses perkembangan mungkin penting agar suatu sifat muncul (penyebab suatu fenotipe), tetapi selama proses ini berlangsung secara terus-menerus pada setiap individu, hal ini tidak akan menjadi penyebab munculnya variasi fenotipe pada suatu populasi. Sedangkan, modul variasi adalah serangkaian sifat yang bervariasi secara bersamaan dan agak independen dari modul lainnya. Sering dianggap sebagai akibat dari variasi dalam mekanisme perkembangan yang mendasarinya.

		Floor Area (m2)										
		7,1	13,8	22,9	28,3	40,7				43,0	45,3	50,2
		Group 1			Group 2			Group 3				
Function	Health & Wellness											
	Productivity											
	Sociability											

Gambar 2.4 Model Unit dengan Spesifikasi Jenis Modularitas(sumber:Penulis)

Penerapan modularitas oleh Penulis pada proyek sebelumnya, menempatkan konsep tersebut menggunakan visual programming di Grasshopper untuk menjadi alat dalam mendesain, yaitu:

1. Modularitas

Modularitas adalah konsep menyeluruh yang mengacu pada kemampuan untuk mengatur unit-unit yang berbeda dan independen untuk meningkatkan kemampuan beradaptasi dalam suatu sistem. Dalam konteks percobaan, modularitas diterapkan pada desain ruang kantor dengan

membuat katalog modul furnitur yang dapat dikombinasikan dalam berbagai konfigurasi untuk memenuhi kebutuhan program yang dinamis. Pendekatan ini memungkinkan fleksibilitas dalam pengaturan spasial, yang memungkinkan desain untuk beradaptasi dengan perubahan fungsi dan kebutuhan pengguna.

2. Modularitas pengembangan

Modularitas perkembangan secara khusus berfokus pada penataan dan fungsi elemen furnitur yang lebih kecil dan sering kali lebih umum di dalam ruang kantor. Dalam percobaan tersebut, unit furnitur yang sering digunakan di lingkungan kantor dikategorikan dalam modularitas perkembangan. Studi ini meneliti bagaimana unit-unit ini dapat diatur untuk mengoptimalkan tata letak kantor demi keramahan, produktivitas, dan kesejahteraan. Hasilnya menunjukkan bahwa penataan modul-modul perkembangan ini dapat secara signifikan mempengaruhi fungsionalitas keseluruhan ruang kantor.

3. Modularitas variative

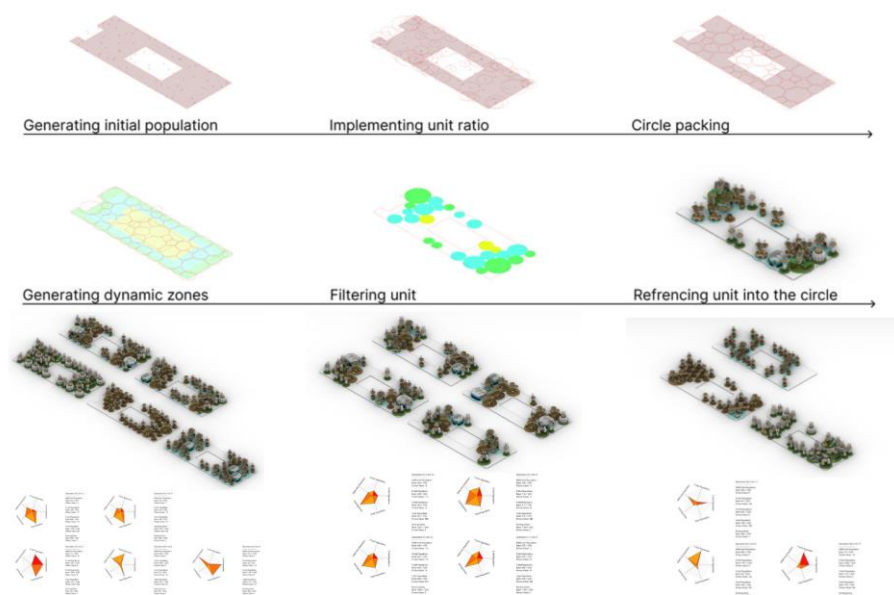
Modularitas variasional melibatkan penggunaan unit furnitur yang lebih besar dan kurang umum yang memiliki tujuan khusus yang biasanya tidak ditemukan di lingkungan kantor standar. Dalam percobaan, modularitas variasional diimplementasikan dengan memperkenalkan unit-unit yang beragam ini ke dalam proses desain, yang memungkinkan berbagai adaptasi fungsional yang lebih luas. Hasilnya menunjukkan bahwa menggabungkan modularitas variasional menghasilkan solusi desain yang lebih inovatif dan efektif, karena mendorong munculnya konfigurasi spasial baru yang dapat mengakomodasi berbagai kebutuhan pengguna dengan lebih baik.

4. Unit modul

Elemen furnitur individual yang dikategorikan dan digunakan dalam kerangka desain modular. Unit-unit ini disusun berdasarkan fungsi, ukuran, dan kategori modularitasnya, sehingga dapat dikombinasikan dalam berbagai konfigurasi untuk menciptakan ruang kantor yang dapat disesuaikan. Unit model berfungsi sebagai blok bangunan fundamental untuk proses desain, yang memfasilitasi optimalisasi pengaturan interior.

5. Domain

Ini mencakup ruang yang tersedia untuk tata letak kantor, fungsi programatik yang harus diakomodasi oleh kantor, dan sifat dinamis pola kerja yang memengaruhi keputusan desain. Domain mendefinisikan parameter dan batasan di mana unit model disusun dan dioptimalkan, memastikan bahwa konfigurasi yang dihasilkan memenuhi kebutuhan khusus lingkungan kantor.



Gambar 2.5 Proses Penerapan Modularitas dan Seleksi Desain (sumber:Penulis)

Dasar penerapan ini oleh Penulis pada proyek sebelumnya adalah menganalisis geometri sebagai tipologi untuk mendefinisikan fungsi spasial dalam program bangunan menghadirkan cara berpikir baru tentang masalah pengoptimalan fenotipik. Arsitek menggunakan simulasi proses pengembangan lintas dimensi mikro hingga makro untuk memahami domain alami dan komputer sebagai ontologi yang berbeda. Sasaran penggabungan morfogenesis digital dengan proses alami terus menjadi kekuatan pendorong di balik integrasi sifat komputasional dalam desain arsitektur. Meskipun ada tantangan awal, pengembangan alat pemodelan yang memungkinkan input waktu nyata terus dipromosikan. Hal tersebut dapat mendorong aspek fungsional pada fenotipe dan proses seleksi fenotipe. Dalam penerapan oleh Penulis pada proyek sebelumnya, modularitas mampu memberikan manfaat berupa:

1. Integrasi konsep evo-devo

Untuk menyoroti pentingnya modularitas dalam desain arsitektur, yang melibatkan pengorganisasian unit-unit yang berbeda dan independen untuk meningkatkan fleksibilitas dan fungsionalitas.

2. Adaptasi desain bangunan perkantoran

Untuk mengeksplorasi bagaimana komputasi evolusioner dan model modularitas dapat digunakan untuk mengadaptasi desain gedung perkantoran terhadap perubahan pola kerja, seperti peningkatan kerja jarak jauh.

3. Optimalisasi penataan interior

Untuk mengoptimalkan penataan objek interior di ruang kantor berdasarkan beberapa tujuan, termasuk keramahan, produktivitas, kesehatan dan kesejahteraan, jumlah populasi yang rendah, dan zona yang ada rendah.

4. Strategi pemilihan untuk solusi desain

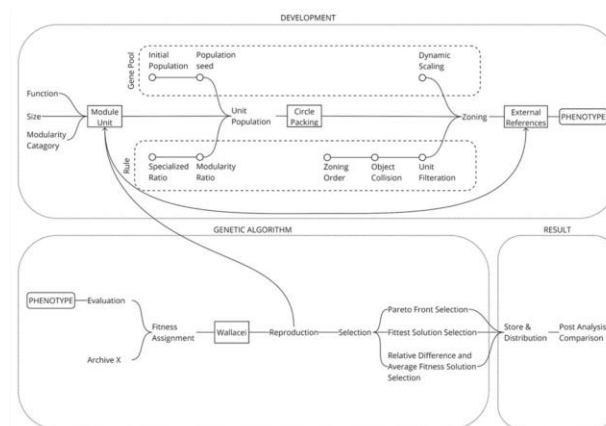
Untuk lebih mengembangkan penerapan algoritma genetik dalam kerangka teori desain evolusi yang lebih luas, memamerkan potensi metode arsitektur berbasis modular untuk solusi desain adaptif.

5. Eksplorasi teori desain

Untuk lebih mengembangkan penerapan algoritma genetik dalam kerangka teori desain evolusi yang lebih luas, memamerkan potensi metode arsitektur berbasis modular untuk solusi desain adaptif

6. Pengembangan Metodologi

Untuk mengembangkan metodologi untuk mengoptimalkan masalah arsitektur yang kompleks, khususnya dalam pemrograman ruang dengan menggunakan prinsip modularitas dan komputasi evolusioner.



Gambar 2.6 Flow Data dalam Kerangka Programming Visual (sumber: Penulis)

2.2 Bio-Inspirasi dalam Arsitektur

2.2.1 Referensi Bio-Inspirasi Visual

Bio-Inspirasi visual merupakan salah satu kategori dari bio-inspirasi yang menarik aspek visual pada sebagai karakteristik

transfer pengetahuan antara biologi ke arsitektur. Beberapa orang menafsirkan motif biologis secara estetis, sebagai ornamen dan dekorasi. Dalam arsitektur, kategori inspirasi visual akan mencakup proyek-proyek yang secara visual atau pahatan menyerupai yang ditemukan di alam (Roudavski, 2009). Secara historis, berbagai bentuk alam digunakan sebagai bagian dari dekorasi arsitektur, sebagai simbol, representasi agama, kepercayaan spiritual, kekuatan politik dan estetika. Biologi “memperkaya” karena arsitektur merupakan hasil dari proses multiskala yang kompleks. Oleh karena itu, biologi juga, dari sudut pandang arsitektur, merupakan masalah simbol dan penampilan. Bisa jadi lebih dari itu, tetapi simbol juga tidak boleh diremehkan (Vitalis et al., 2022).

Referensi arsitektur dalam game Scorn yang didesain oleh seniman konseptual Filip Acovic. Melihat referensi visual dari game menjadi penting karena ruang arsitektur bertujuan untuk menciptakan tempat yang dapat dialami, dan pengalaman tempat tersebut terkait erat dengan konteks budaya tertentu. Dalam permainan, arsitektur terletak dalam konteks lingkungan yang lebih luas (baik geografis maupun budaya) tempat terjadinya peristiwa (Wang, 2023). Secara umum, scorn memberikan gagasan bahwa bangunan sebagai representasi arsitektur dalam cerita menjadi konteks kehidupan yang membentuk lingkungan tertentu dan unik, sehingga dapat memengaruhi kehidupan yang berinteraksi (membentuk mekanisme dengan sekitarnya baik secara aktif maupun pasif) dan hadir dalam menempati lingkungan tersebut. Namun, bangunan yang ada juga tidak dapat menghindari kenyataan bahwa mereka juga ada dan berinteraksi dalam lingkungan yang lebih besar yaitu dalam hal ini merupakan dunia yang membusuk.



Gambar 2.7 Objek Arsitektural pada Scorn (sumber: Filip Acovic)

Arsitektur merupakan salah satu elemen penting dalam desain game, dan segala macam seni arsitektur dalam dunia game memberikan pemainnya tempat dan ruang virtual yang tak terbatas untuk berkhayal (Wang, 2023). Dalam referensi ini, aspek biologisnya kurang rinci, sehingga lebih banyak ditekankan pada representasi visual yang memberi kesan rangka, jaringan, organ yang menyatu sebagai satu kesatuan perangkat biologis. Arsitektur barat yang umum sering didasarkan pada gagasan tentang material yang kokoh dan mampu menahan beban bata atau batu yang dilapisi dan dilapisi dengan cat atau material yang lebih lembut dan lebih menarik secara estetika. Ironisnya, seperti tubuh manusia: struktur rangka tulang yang keras, terbungkus dalam casing yang lebih lembut dan lebih menarik (Pellet, 2022). Arsitekturnya sendiri berkonsep biomechanical yang berciri gothic dan surrealist untuk memberi gagasan bahwa pemain menggunakan segala sesuatu di lingkungan kita sebagai sumber daya, bahkan makhluk hidup.

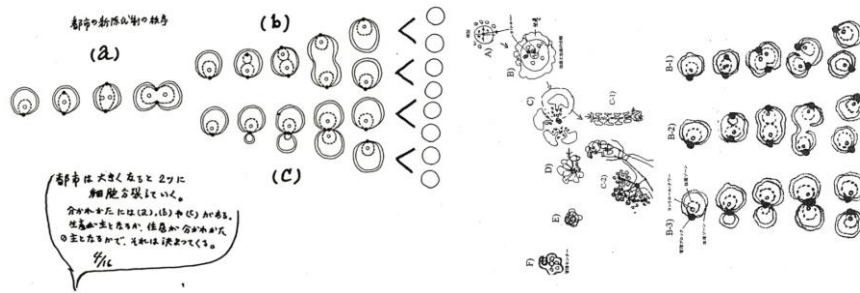
Aspek bio-arsitektur dari game Scorn mendefinisikan ulang penggunaan simbolik/representasional yang dianggap kurang diinginkan dalam desain seperti bionic, biomimikri, atau biomimetic, sebagai alat untuk memahami mekanisme biologis yang bekerja pada objek arsitektur. Seiring dengan berjalannya bio-desain yang berorientasi pada proses dan fungsi, aspek visual bentuk

biologis belum ditinggalkan dan memberikan dimensi yang lebih untuk menunjang praktikalitas dalam objek arsitektur.

2.2.2 Referensi Bio-Inspirasi Konseptual

Bio-Inspirasi konseptual merupakan salah satu kategori dari bio-inspirasi yang menarik aspek konsep pada sebagai karakteristik transfer pengetahuan antara biologi ke arsitektur. Beberapa praktisi memanfaatkan penafsiran simboliknya sebagai landasan filosofis, metaforis, atau spiritual dalam praktik mereka (Roudavski, 2009). Dengan bahasa biologis, para Metabolis menghubungkan model-model tradisional dengan konsep spasial yang ahistoris, berlaku secara universal, dan strukturalis (Schalk, 2014). Gerakan metabolisme menolak gagasan modernis tentang objek mekanis kota dan melihatnya, sebaliknya, sebagai sesuatu yang organik akibat dampak dari Teknologi dan ekonomi berkembang pesat, dan beberapa krisis lingkungan seperti dampak transformasi perkotaan muncul (Eken et al., 2019; Lin 2007; Schalk, 2014).

Metabolisme menggunakan metafora biologis dan mengingatkan pada gambaran tekno saintifik yang, bersama dengan bahasa sehari-hari, membangkitkan gagasan tentang arsitektur genetik yang dapat diciptakan kembali berulang kali (Schalk, 2024). Skema mereka mempromosikan kota sebagai sistem yang mengatur dirinya sendiri, yang memungkinkan untuk mengatasi perubahan tetapi juga terus-menerus mengubah dirinya menjadi adaptasi siklus sesuai dengan kebutuhan masyarakat yang berubah (Pernice, 2014). Sebagai praktik yang menerapkan ilmu pengetahuan alam sebagai metafora, gerakan metabolisme tidak secara langsung membentuk teori ilmiah tentang sistem biologis. Konsep organisme hidup yang dapat tumbuh dan berubah menjadi dasar utama untuk menolak pendekatan statis gerakan modern dengan membentuk fleksibilitas.



Gambar 2.8 Eksplorasi Konsep Metabolisme (sumber: Kenzo Tange)

Dalam proyek Kenzo Tange berjudul “Plan for Tokyo” yang digagas pada tahun 1960, mengkonsepkan pengembangan area kota baru sebagai sebuah proses. Proses ini mempromosikan karakter penting dari mobilitas kontemporer, keterbukaan, dan kemampuan beradaptasi terhadap perubahan dan pertumbuhan. Ini akan memerlukan arsitektur integrasi yang lengkap, serta hubungan baru antara bagian dan keseluruhan, dan elemen permanen dan yang sementara. Beberapa konsep biologis penting lainnya yaitu: Simbol mobilitas dalam penerapan anti-zonasi dan sistem generatif 3D; simbol struktur terbuka dalam penerapan poros sipil; dan simbol pertumbuhan dan organisasi dalam penerapan siklus metabolisme, unsur jangka panjang (permanen), dan jangka pendek (sementara). Dari proyek tata kota karya Metabolis, paralel dengan pengetahuan biologi dijelaskan melalui simbolisme dan metafora sang desainer untuk membenarkan rancangannya. Idenya kurang mendalam tentang bagaimana proses biologi terbentuk dan hanya berfokus pada gambaran besar proses dinamisnya. Selain itu, dalam bentuknya sendiri tidak terlalu terlihat aspek biologisnya, sehingga lebih berada di ranah desain filosofis yang membentuk ide dan konsep yang secara universal lebih mudah diterima.



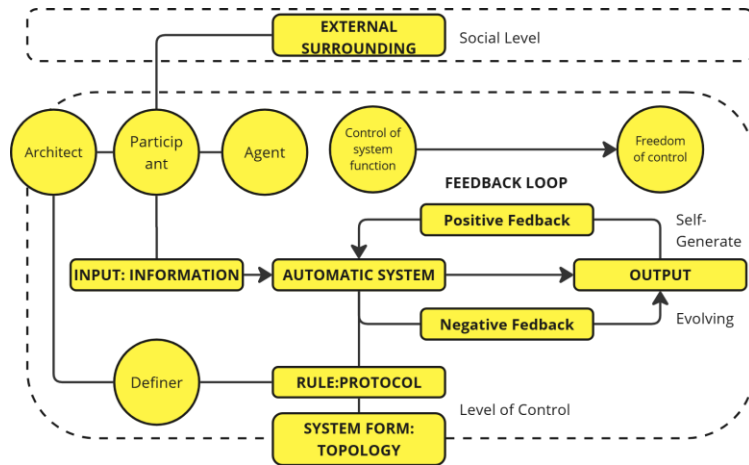
Gambar 2.9 Site Plan pada Plan for Tokyo (sumber: Kenzo Tange)

Dampak dari gerakan metabolisme dituangkan dari ide-ide alternatif dasar tentang keberlanjutan, ketahanan, dan urbanisasi dalam kaitannya dengan hubungan dengan alam dan proses-proses di dalamnya. Dari bangunan yang dibangun menjadi cikal bakal praktik prefabrikasi dan modular yang saat ini dapat dieksekusi dengan teknologi yang lebih maju dan efisien

2.2.3 Referensi Bio-Inspirasi Komputasional

Bio-Inspirasi komputasional merupakan salah satu kategori dari bio-inspirasi yang menarik aspek komputasional pada sebagai karakteristik transfer pengetahuan antara biologi ke arsitektur. Inspirasi komputasional (atau mungkin lebih baik lagi – inspirasi generatif) akan merujuk kepada mekanisme komputasional yang terinspirasi oleh mekanisme yang diamati di alam. Mekanisme ini, seperti komputasi evolusioner atau automata seluler, dapat mensimulasikan kemunculan bentuk-bentuk dalam lingkungan komputasional yang memungkinkan adaptasi terhadap tujuan-tujuan tertentu (Roudavski, 2009). Menjadikan makhluk hidup menjadi mesin dan menjadikan makhluk hidup sebagai mesin. Dasar arsitektur sibernetika merupakan penerapan autopoietik & konsep entropi yang mana berupa lingkaran pesan internal di mana pesan yang berasal dari dalam sistem juga mempengaruhi pengoperasian

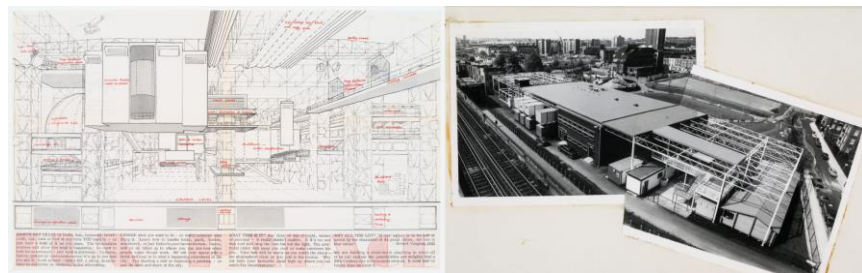
sistem. Hal ini menghasilkan perubahan yang dinamis, dan sebagai hasilnya, sistem menggunakan umpan balik untuk mengurangi ketidakseimbangan dan mengejar homeostasis (Torisson, 2017).



Gambar 2.10 Diagram Pola Lingkaran Umpan Balik (sumber:Penulis)

Arsitektur sibernetika merupakan awal mula dari penerapan komputasi dalam arsitektur dan secara umum gerakan sibernetika menjadi pelopor dalam merancang mesin yang dapat berpikir atau berperilaku seperti manusia atau hewan (kemunculan, pengorganisasian diri, dan pola pertumbuhan bentuk organik) oleh Alan Turing (Kaya, 2022). Hal tersebut dikarenakan Sibernetika dikembangkan di luar bidang arsitektur tetapi pertama kali dihubungkan dengan arsitektur melalui Fun Palace oleh Cedric Place di tahun 1962 (Hou, 2023; Medici, 2022; Torisson, 2017). Komputasi dalam arsitektur sibernetik masih tergolong dasar dan hanya merupakan konsep yang terinspirasi dari sistem biologis. Secara teori, penekanan lebih banyak diberikan pada cara kerja sistem sibernetik dan hubungannya dengan arsitektur sebagai pembuat aturan dan bagian dari sistem. Dalam hal ini, penerapan komputasi dalam bidang ilmu komputer adalah yang pertama agar dapat berhasil menciptakan sistem yang terinspirasi dari sistem biologis.

Landasan informasi dan umpan balik dalam sistem sibernetika, dan menunjukkan bahwa sistem komunikasi selalu dapat mengirimkan informasi dengan konten ideologis yang berbeda sesuai dengan kebutuhan orang, dan sistem kontrol otomatis harus menyesuaikan dirinya sendiri sesuai dengan perubahan lingkungan sekitarnya 1962 (Hou, 2023; Medici, 2022; Torisson, 2017). Hal tersebut yang dinamakan sebagai lingkaran umpan balik yang dalam penerapannya oleh Cederic Place pada Fun Palace (1961) serta Inter-Action Centre (1970) belum dapat sepenuhnya terwujud. Walaupun begitu, terdapat penerapan basis mengenai penerapan masukan informasi yang menjadi dasar perubahan ruang untuk mewujudkan ruang variabel yang fleksibel dan mandiri (Herdt, 2021). Penerapan sibernetika dalam arsitektur pada saat itu tidak terlalu terkait dengan proses komputasional yang terinspirasi oleh biologi. Melainkan lebih mengacu pada konsep sistem bangunan dalam mengubah program spasial dan cara manusia menghuni bangunan, sehingga ruang sosial dan ruang lingkungan menjadi penting. Pada tahap ini, penerapannya masih bereksperimen dengan struktur yang dapat diganti seperti modular, tetapi lebih berfokus pada bagaimana informasi sebagai input dapat diproses secara organik.



Gambar 2.11 (Kiri) Fun Palace (Kanan) Inter-action Centre (sumber: Cederic Place)

Arsitektur sibernetik telah menjadi dasar penerapan komputasi biologis ke dalam arsitektur, meskipun masih dalam bentuk konsepsi komputasional yang berbasis pada sistem umpan balik. Dalam penerapannya, pendekatan multidisiplin sosial,

antropologis, ekologis, dan ekonomis mengenai umpan balik pengguna dan sistem yang reaktif dan adaptif harus dilibatkan.

2.2.4 Bio-Inspirasi pada Morfogenesis Digital

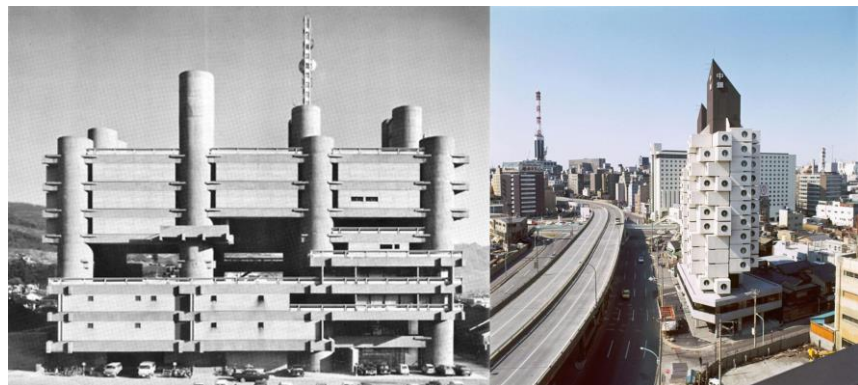
Mekanika morfogenesis digital memungkinkan inspirasi biologi untuk dapat diterapkan lintas jenis: pada visual menghasilkan dekorasi yang kaya, serba guna, dan menggugah; untuk konseptual dapat merapatkan kembali gagasan struktur hierarkis dan kontrol dinamis; dan pada komputasi mampu membuat proses adaptif otomatis yang lebih terintegrasi, berkelanjutan kecuali jika ditentukan dan lebih fleksibel untuk dikendalikan (Roudavski, 2009).

Berdasarkan referensi bio-inspirasi visual mendapat penekanan mengenai signifikansi bentuk dan tampilan terhadap fungsionalitas yang memiliki mekanisme biologis baik secara konsep maupun komputasi sedang terjadi dan membentuk konteks dalam objek arsitektur itu sendiri. Oleh karena itu, arsitektur dalam Scorn lebih dapat dipahami sebagai organisme hidup walaupun mekanisme biologisnya tidak terlalu jelas, tetapi inspirasi biologisnya lebih tersampaikan. Pemahaman tersebut juga dapat diaplikasikan terhadap beberapa karya arsitektur biomimikri yang dapat dilihat inspirasi dari alam melalui penampilannya yang meniru bentuk dari alam.



Gambar 2.12 Serpentine Pavilion oleh Cecil Balmond and Toyo Ito (sumber: Archdaily)

Untuk referensi bio-inspirasi konseptual penekanan ada pada bahasa biologis yang dapat disimbolkan melalui konsep untuk menghubungkan antar komponen dalam membentuk mekanisme konsep. Hal tersebut membuat penerapan arsitektur metabolisme lebih dekat sebagai sebuah mesin hidup yang memiliki mekanisme biologis, karena konsep tersebut hanya menganggap suatu mekanisme sebagai sebuah proses yang hidup.



Gambar 2.13 Dua Bangunan Metabolisme yang Terbangun (Kiri) Yamanashi Broadcasting and Press Centre (sumber: Kenzo Tange) (Kanan) Nakagin Tower (sumber: Kisho Kurokawa)

Berdasarkan referensi bio-inspirasi komputasional mendapat penekanan mengenai sistem lingkaran umpan balik yang erat

kaitannya terhadap lingkungan sosial dan alam sebagai sebuah konteks. Walaupun sistem tersebut masih diterapkan secara konsesional, dengan perkembangan penerapan komputasi masa kini dapat mengadopsi sistem tersebut kedalam penerapan arsitektur secara penuh. Oleh karena itu, arsitektur sibernetika lebih dapat dipahami sebagai mesin hidup yang mana sistem biologis nya tersembunyi dan muncul pada konsep praktis dalam penerapan program ruang yang mampu beradaptasi.



Gambar 2.14 Dua Bangunan Terinspirasi dari Arsitektur Sibernetika yang Terbangun (Kiri) Autonomous House (sumber: Alexander Pike) (Kanan) Center Pompidou (sumber: Renzo Piano & Richard Rogers)

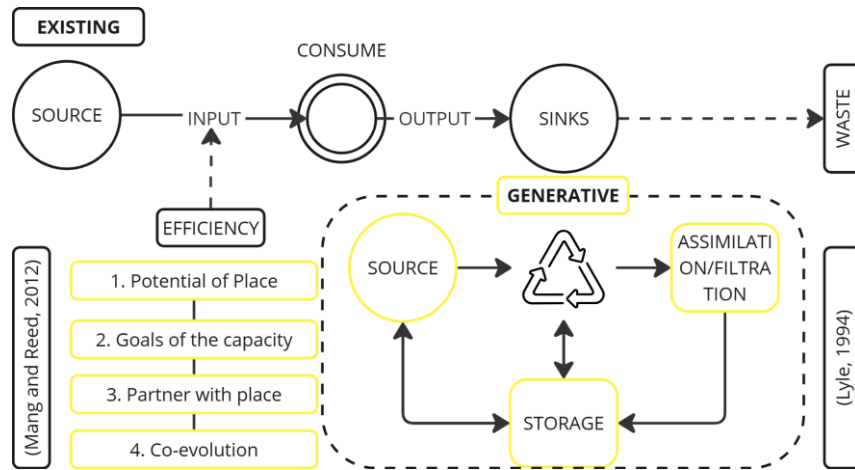
2.3 Sistem Regenerasi pada Tipologi Bangunan

2.3.1 Teori Sistem Regenerasi

Sistem Regenerasi merupakan pandangan alternatif netralitas karbon terhadap darurat iklim di era antroposen dengan mengembangkan perangkat dan strategi berdasarkan pilihan sosial-ekologis kritis yang merangsang budaya bangunan yang peka terhadap ekosistem, menggunakan desain ekologi lokal dan praktik rekayasa inovatif (Armstrong, 2023; Wang, 2024). Sistem regeneratif menempatkan masyarakat atau keadaan dunia masa depan di mana sistem dan proses dirancang dan dioperasikan dengan cara yang memiliki unsur-unsur utopis mendasar yang menunjukkan lintasan yang secara signifikan lebih baik daripada masa kini

(Graves et al., 2019). Hal tersebut bertujuan untuk memulihkan kesehatan lingkungan, membangun kembali sumber daya, dan menciptakan pondasi lingkungan binaan yang tangguh, mandiri, dan produktif yang memberi lebih banyak kepada alam daripada yang diambilnya melalui pemukiman manusia (Armstrong, 2023). Permukiman manusia merupakan simulasi kehidupan dalam sistem yang terjadi terutama difokuskan pada aktivitas yang dapat bertahan sendiri. Ini akan menjadi wawasan yang berguna tentang bagaimana aspek penghambatan terkait erat dengan penggunaan praktis program pembangunan dalam sistem regeneratif.

Lyle (1994) menguraikan pendekatan terhadap desain sistem yang berfokus pada peniruan fungsi sistem hidup atau sistem regeneratif. Ia mengusulkan sistem loop tertutup yang memanfaatkan penyimpanan sumber daya dan energi serta regenerasi dan daur ulang keluaran. Empat premis kunci untuk memandu desain regeneratif dan pengembangan situs: memahami potensi suatu tempat, menentukan tujuan untuk mengembangkan kapasitas, “bermitra” dengan tempat tersebut, dan ko-evolusi (Mang and Reed, 2013). Dalam pendekatan sosial-ekologis, berbagai skenario desain dievaluasi terhadap keadaan masa depan yang diinginkan dengan menggunakan berbagai layanan ekosistem dan indikator kesejahteraan sosial. Hal tersebut menempatkan kebutuhan sosial dasar (air, energi, makanan dan struktur sipil) dan jasa lingkungan hidup (pohon jalanan, taman kota, kebun komunitas, habitat pesisir) saling berkaitan dalam produksi pangan, pasokan dan kualitas air, kesempatan rekreasi, identitas budaya, atau manfaat lainnya (Graves et al., 2019).



Gambar 2.15 Diagram Perbandingan Sistem Eksisting dan Generatif (sumber: Penulis)

Sistem regeneratif membentuk konteks radikal berupa architectural cyborg yang mana ditempa oleh proses penciptaan yang mengundang kita untuk berhubungan dengan “makhluk” yang dibangun, arsitektur regeneratif dapat muncul sebagai entitas “hidup” yang dibantu keberadaannya oleh manusia (Armstrong, 2023). Sebagai suatu sistem yang terkait erat dengan sistem alam, desain regeneratif juga mencoba mengeksplorasi ide dengan konsep dan penerapan sistem pada organisme sebagai dasar pengembangan. Selain itu, Penting untuk memetakan hubungan timbal balik untuk mengembangkan fondasi keadaan keseimbangan sistem dengan lebih baik dan juga mencatat perubahan penting yang terjadi dalam sistem.


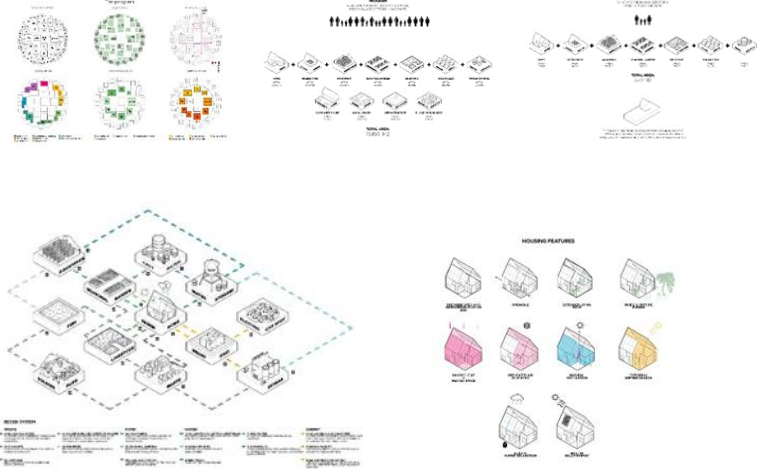
2.3.2 Pendekatan Sosial-Ekologi

Pendekatan sosial-ekologi menggantikan sistem teknik sosial yang menawarkan batasan pertumbuhan bagi planet yang dilihat sebagai kumpulan sumber daya yang terbatas dan populasi yang terus berkembang menjadi sistem yang berdasarkan hipotesis Gaia menganggap planet sebagai organisme yang mengatur dirinya sendiri, sementara gagasan R. Buckminster Fuller tentang Spaceship Earth menganggap planet sebagai sistem aliran material, energi, dan

informasi yang tertutup (Armstrong, 2023; Graves et al., 2019). Hal tersebut menerapkan sistem sosial dan ekologi saling berhubungan dan berkembang bersamaan dalam berbagai skala (Petrosillo et al., 2015).

Dalam pengembangan lokasi terdapat perubahan lanskap dalam penggunaan lahan yang mengacu pada cara manusia memanfaatkan lahan untuk berbagai kegiatan seperti fungsi sosial ekonomi serta jasa ekosistem, dan penutup lahan yaitu berupa bahan fisik dan biologis yang ada di permukaan tanah baik yang sifatnya natural atau buatan. Hal tersebut menekankan tidak ada sistem sosial tanpa alam, dan sedikit ekosistem tanpa manusia, seperti beberapa kawasan hutan belantara yang luas, yang dikenal karena keutuhannya dan kepadatan populasinya sangat rendah (Petrosillo et al., 2015). Selain itu, terdapat pemicu stress yang merupakan kondisi external seperti perubahan iklim, polusi, dan degradasi habitat yang mampu merubah kondisi lanskap. Untuk dapat meningkatkan potensi lahan, yaitu dengan meningkatkan kesejahteraan manusia (berkelanjutan, adil, sehat) dengan meningkatkan layanan ekosistem dan meminimalkan eksternalitas lingkungan berdasarkan ekosistem lokal dan kebutuhan sosial. Pada ekosistem lokal terjadi adaptasi berdasarkan ekologi seperti pengaturan iklim dan pemurnian udara, menyediakan habitat, mendaur ulang nutrisi, serta menyediakan air tawar, bahan bakar, dan makanan. Sedangkan kebutuhan sosial berbentuk jasa ekosistem budaya (tak berwujud) seperti kesehatan fisik dan mental, rekreasi, praktik spiritual dan budaya, keindahan pemandangan, kohesi sosial, dan rasa memiliki (Graves et al., 2019).

2.3.3 Preseden Penerapan Sistem Regenerasi dalam Arsitektur

<p>ReGen Village</p> <p>Housing model oleh:</p> <p>EFFEKT</p> <p>Tujuan Sistem:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Model baru ini memfasilitasi lingkungan komunal mandiri yang tidak terhubung jaringan dan dapat disebar di seluruh dunia. ● Setengah dari populasi global saat ini tinggal di kota, efisiensi sistem ReGen dapat mengurangi ketergantungan rumah tangga pada kehidupan perkotaan frekuensi tinggi. 	
<p>Sistem Regeneratif</p>	
	

Tabel 2.1 Preseden Penerapan Sistem Generatif

2.4.4 Preseden Pendekatan Sosial-Ekologi dalam Arsitektur

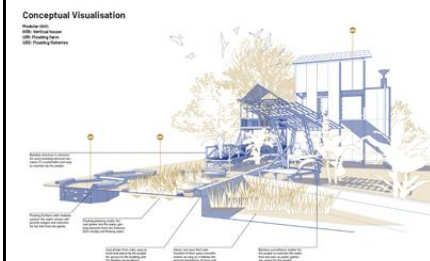
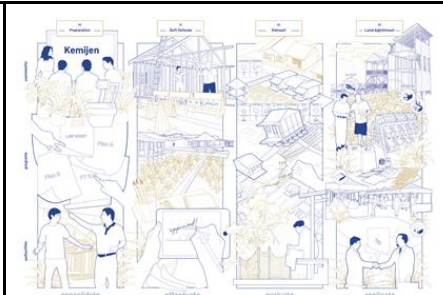
A Strategic Framework for Semarang City: An Exploration of the Local Adaptive Mechanism in Urban Mitigation Planning

Katalog model konseptual oleh:

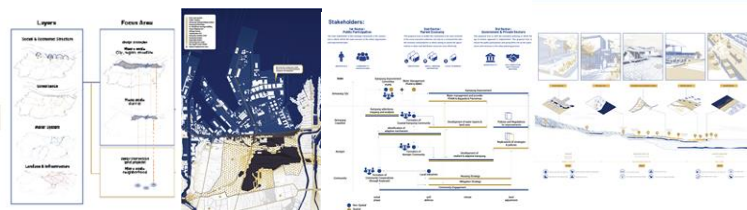
Widasari Yunida Putri

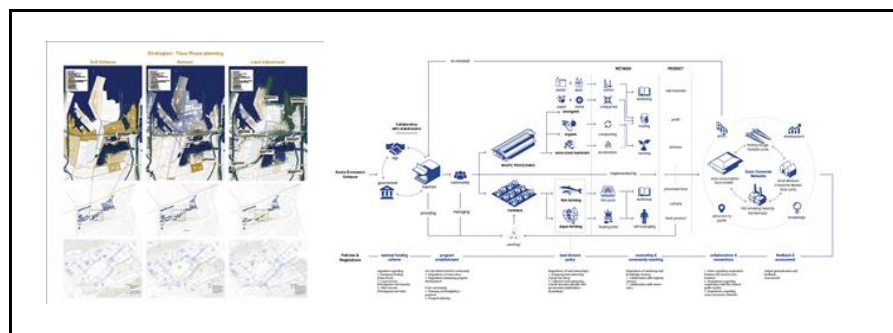
Tujuan Katalog:

Katalog ini ditujukan untuk membantu masyarakat di Semarang dalam meningkatkan lingkungan tempat tinggal mereka sesuai dengan pengetahuan lokal mereka dan menyelesaikannya dengan strategi umum pada skala kota terkait perencanaan mitigasi perkotaan dan bagi mereka yang tertarik untuk mengelola diri sendiri dan membuat perubahan pada lingkungan mereka yang mungkin mendorong inisiatif untuk proyek peningkatan.



Skenario Konseptual





Tabel 2.2 Preseden Penerapan Pendekatan Sosio-ekologi

2.4.5 Inkubator dan Tipologi Fasilitas Inkubasi

Inkubator adalah tempat komunikasi dan sinergi, yang membuatnya efektif di berbagai lingkungan. Inkubator memungkinkan pemangku kepentingan publik dan swasta untuk berkumpul bersama demi kepentingan bersama. Inkubator sering kali berada di persimpangan jaringan penting. Inkubator juga merupakan tempat pembelajaran kolektif, tidak hanya bagi para wirausahawan, tetapi juga bagi pemangku kepentingan eksternal yang lebih menghargai realitas kewirausahaan (Bayhan, 2006; Vincent dan Zakkariya, 2019). Pada PP NO.7/2021 BAB VIII Pasal 132 tujuan inkubasi yaitu:

1. Menciptakan usaha baru
2. Memperkuat dan mengembangkan kualitas Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah yang mempunyai nilai ekonomi dan daya saing tinggi; dan
3. Mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya manusia terdidik dalam menggerakkan perekonomian dengan memanfaatkan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Pada PP NO.7/2021 BAB VIII Pasal 132 aspek layanan lembaga inkubator yaitu:

1. Produksi
2. Pemasaran
3. Sumber daya manusia dan manajemen

4. Pembiayaan; dan/atau
5. Teknologi dan desain

Inkubator Bisnis didefinisikan sebagai lokasi di mana wirausahawan dapat menerima dukungan proaktif dan bernilai tambah, serta akses ke alat-alat penting, informasi, pendidikan, kontak, sumber daya, dan modal yang mungkin tidak terjangkau, tidak dapat diakses, atau tidak dikenal (Costello, 2016). Inkubator bisnis menyediakan sewa ruang kantor/ruang kerja untuk melakukan layanan bantuan dan dukungan. Pada PP NO.7/2021 BAB VIII Pasal 132 aktivitas lembaga inkubator yaitu:

1. Pembinaan, pelatihan, dari pendampingan kepada calon pelaku usaha; dan/atau
2. Pengembangan pelaku usaha pemula yang inovatif dan produktif.

Jumlah dan pentingnya inkubator terus meningkat sepanjang tahun 1990-an. (2015) terdapat 23 inkubator yang didirikan oleh universitas (72%), sektor swasta (21%) dan pemerintah (7%) di Indonesia. Banyak usaha berkembang dalam interaksi yang erat satu sama lain dan dengan faktor lingkungan seperti infrastruktur, lembaga publik, dan perusahaan yang dapat bekerja sama dalam sistem produksi yang maju (Faraz et al., 2021). Proses inkubasi terdiri dari masa pertumbuhan (pra inkubasi), pengembangan (inkubasi), dan dewasa (pasca inkubasi) (Darmawan, 2019). Pada PP NO.7/2021 BAB VIII Pasal 132 penyelenggara inkubasi yaitu:

1. Penyelenggaraan Inkubasi dilakukan oleh Pemerintah Pusat, Pemerintah Daerah, lembaga pendidikan, badan hukum dan bukan badan hukum, dan/atau masyarakat.
2. Penyelenggaraan Inkubasi sebagaimana dimaksud dilakukan oleh lembaga inkubator dalam jangka waktu paling lama 3 (tiga) tahun.

Dalam biologi, inkubasi merupakan proses inkubasi telur, sel, bakteri, suatu penyakit, dll yang mana komponen pentingnya merupakan incubator dan masa inkubasi. Hal tersebut terjadi di alam sebagai faktor eksternal yang mempengaruhi keberhasilan perkembangan suatu organisme seperti pada kondisi lingkungan tertentu. Dengan mengambil maknanya dari biologi, inkubasi dalam bisnis tampaknya memiliki paralel dalam hal menumbuhkan sesuatu dengan mengatur lingkungan yang dibutuhkannya untuk berkembang dengan sukses.

Tipologi fasilitas inkubasi masih tergolong baru di ranah publik. Biasanya bergerak di sektor ekonomi, di mana kegiatan seperti bisnis/penelitian & pengembangan (teknologi, kreatif & inovasi) berlangsung. Adapun yang berkaitan terhadap aspek sosial-ekologi dengan berdasarkan jenis kewirausahaan yaitu sosial dan lingkungan. Kewirausahaan sosial merupakan fenomena sosial yang mampu menghasilkan perubahan sosial dan lingkungan bagi wilayah dan populasi di dasar piramida di negara berkembang dan negara maju. Mengembangkan proyek dan ide sosial, dan dapat berupa merupakan asosiasi nirlaba. Tujuan utamanya adalah memperluas aksi dan jangkauan usaha sosial, lebih dekat ke berbagai bidang seperti perumahan, inklusi, olahraga, kesehatan, seni, lingkungan, dan pekerjaan (Al-Kahfi, 2020; Nascimento et al., 2020). Sedangkan, Pengusaha lingkungan adalah orang perseorangan dan badan hukum yang menyediakan jasa lingkungan, atau menghasilkan produk lingkungan, atau mengembangkan perusahaan dan mengelolanya berdasarkan prinsip-prinsip lingkungan. Inkubator inovasi, dengan tujuan memperkuat pengelolaan habitat ini untuk memanfaatkan pengembangan teknologi baru yang terkait dengan eko-inovasi (Filatova, 2020; Carvalho et al., 2018).

Terdapat aspek sosial-ekologis terkait perspektif bisnis dimana perusahaan sosial & lingkungan yang berfokus pada pemberdayaan dan pelestarian. Perusahaan ini dapat menjadi agen

yang kuat terhadap pembangunan kawasan sebagai agen aktif/faktor eksternal yang dapat mempengaruhi ruang sosial & lingkungan dalam konteks sekitarnya. Sebagai wadah inkubasi, usaha tersebut akan berkembang dalam lingkungan yang memiliki berbagai permasalahan sosial-ekologis, di mana pelakunya adalah masyarakat (yang menempati konteks tertentu) sehingga pengembangan usaha difokuskan pada permasalahan tersebut, sedangkan masyarakat akan memperoleh manfaat sesuai dengan kegiatannya.

2.4.6 Preseden Fasilitas Inkubasi

<p>Container Park</p> <p>Projek oleh: ATÖLYE</p> <p>Kontekstual: iDEEGE Technopark A.Ş. menghubungi Atolye Labs terkait fasilitas untuk mendorong kolaborasi interdisipliner dan menjadi jangkar technopark yang sedang berkembang di jantung kota Izmir, kosmopolis yang ramai di Turki Barat.</p> <p>Program:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Kantor 2. Lab 3. Hackerspace 4. Showroom 5. Restaurant 6. Café 7. Exhibition Space 8. Service (WC) <p>Fokus pada fasilitas R & D independen dari perusahaan-</p>	
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

<p>perusahaan besar Turki dan Internasional yang berfokus pada penelitian bioteknologi, energi, material dan perangkat lunak</p>	
<p>Denah Program, Kontekstual, dan Skenario</p>	

Tabel 2.3 Preseden Penerapan Preseden Fasilitas Inkubasi Unit

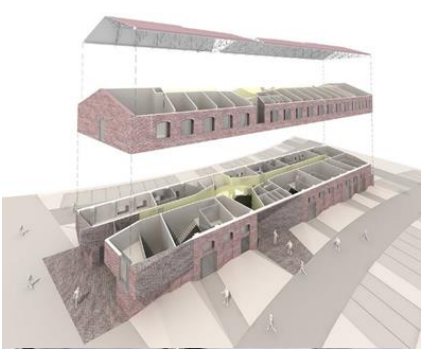
<p>Refurbishment of an Old Factory into a business Incubator and Training Center</p> <p>Projek oleh: H2O architects</p> <p>Kontekstual: EPF Normandie dan komune Pont-Audemer ingin mengubah lokasi industri pabrik kertas kuno menjadi</p>	
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

kantor/bengkel untuk berbagai perusahaan.

Program:

- 1. Kantor
- 2. Studio
- 3. Ruang pertemuan
- 4. Ruang servis

proyek difokuskan pada ruang bersama pusat yang menghubungkan berbagai bengkel, kantor, dan ruang pertemuan. Ruang ini dirancang sebagai ruang yang mampu memfasilitasi pertukaran informasi antara berbagai perusahaan muda yang sedang berkembang.



Site Plan dan Denah Program



Tabel 2.4 Preseden Penerapan Preseden Fasilitas Inkubasi Adaptive Reuse

Turbosealtech

Projek oleh:

New Wave Architecture

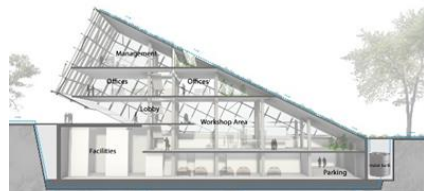
Kontekstual:

Projek ini berlokasi di Pardis Technology Park, di pinggiran kota Teheran, yang bertujuan untuk menyediakan platform bagi orang-orang untuk melakukan penelitian dan berinovasi.

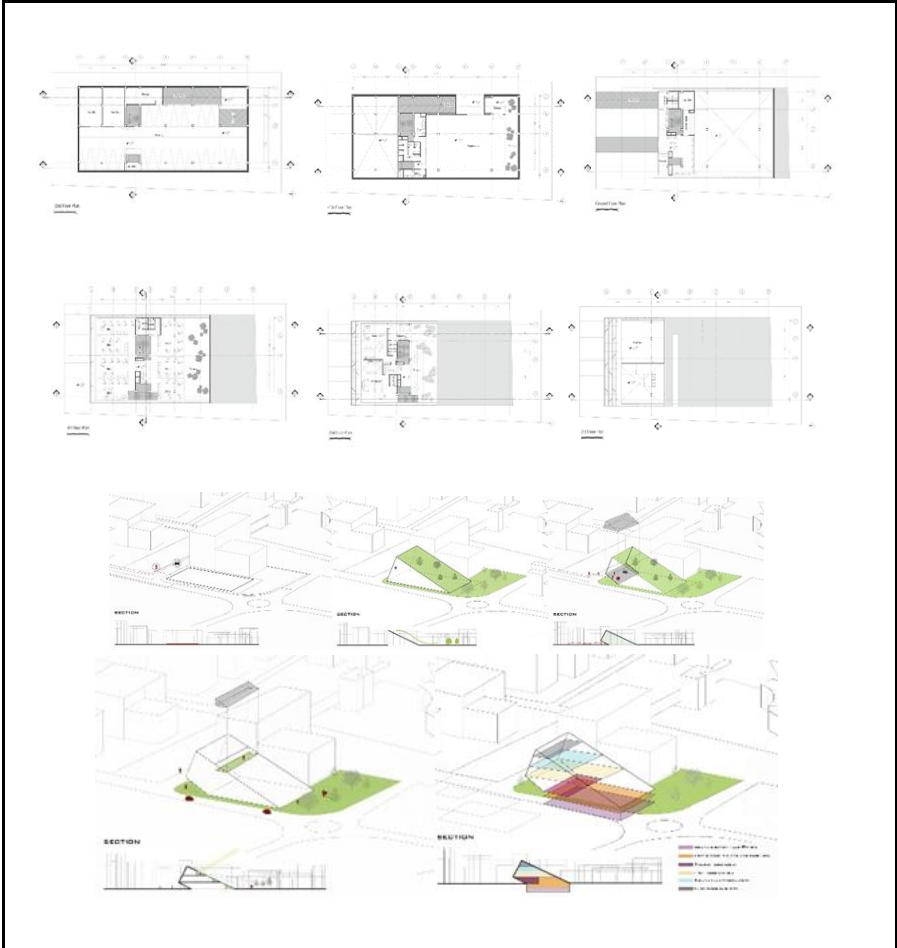
Program:

Area umum, area parkir, gudang, dapur, ruang loker, ruang staff, workhouse, lobi, resepsionis, ruang kontrol, kantor, restroom, ruang tidur, ruang tamu, ruang konferensi, ruang manajemen

Pendekatan desain difokuskan pada interaksi antara teknologi, lokasi, fungsi, dan lanskap. Kantor-kantor terletak di lantai atas dan ruang kerja terbuka dirancang dalam penutup transparan di lantai bawah yang memberi kesempatan kepada pengunjung untuk mengamati produksi perusahaan.

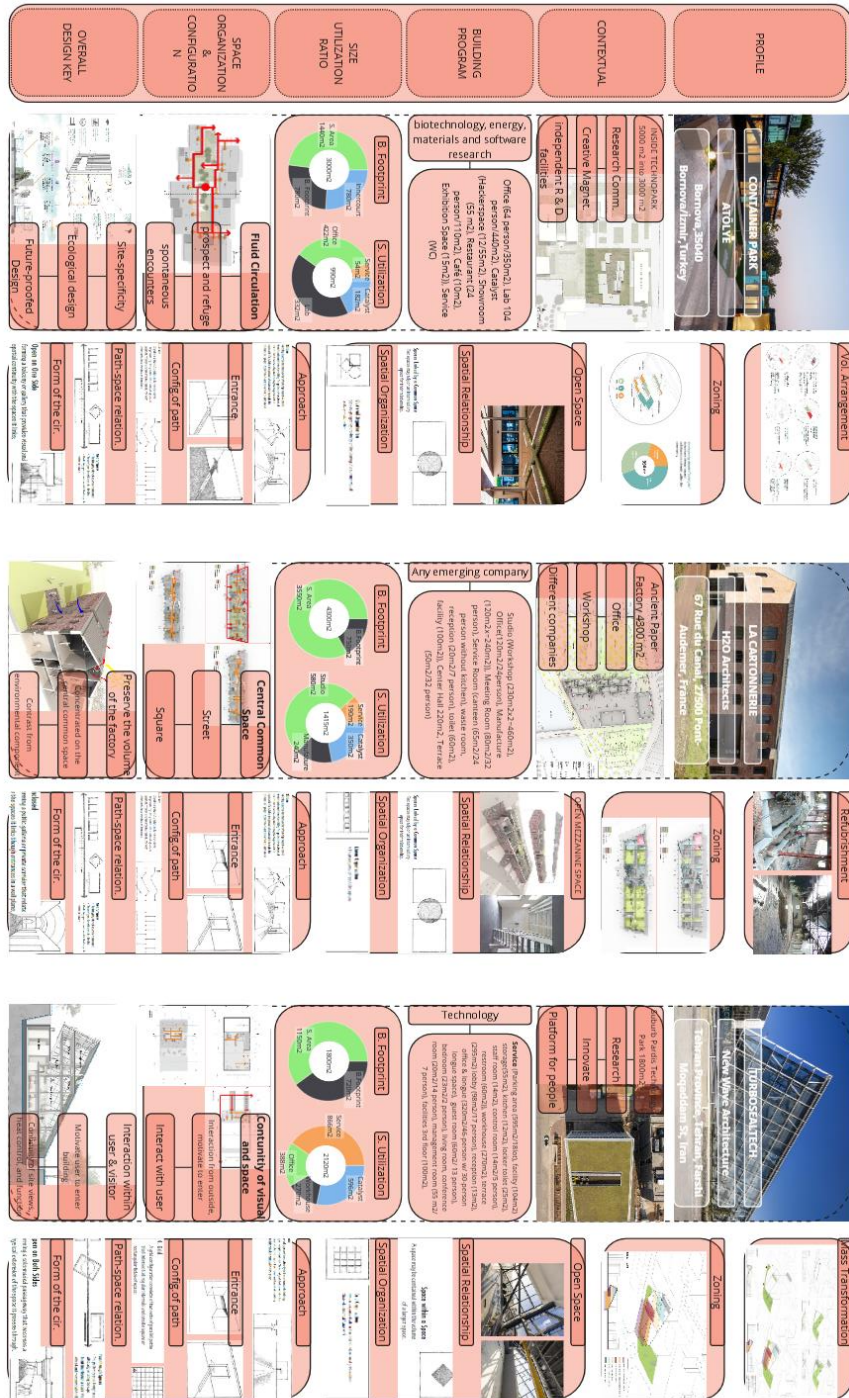


Site Plan dan Denah Program



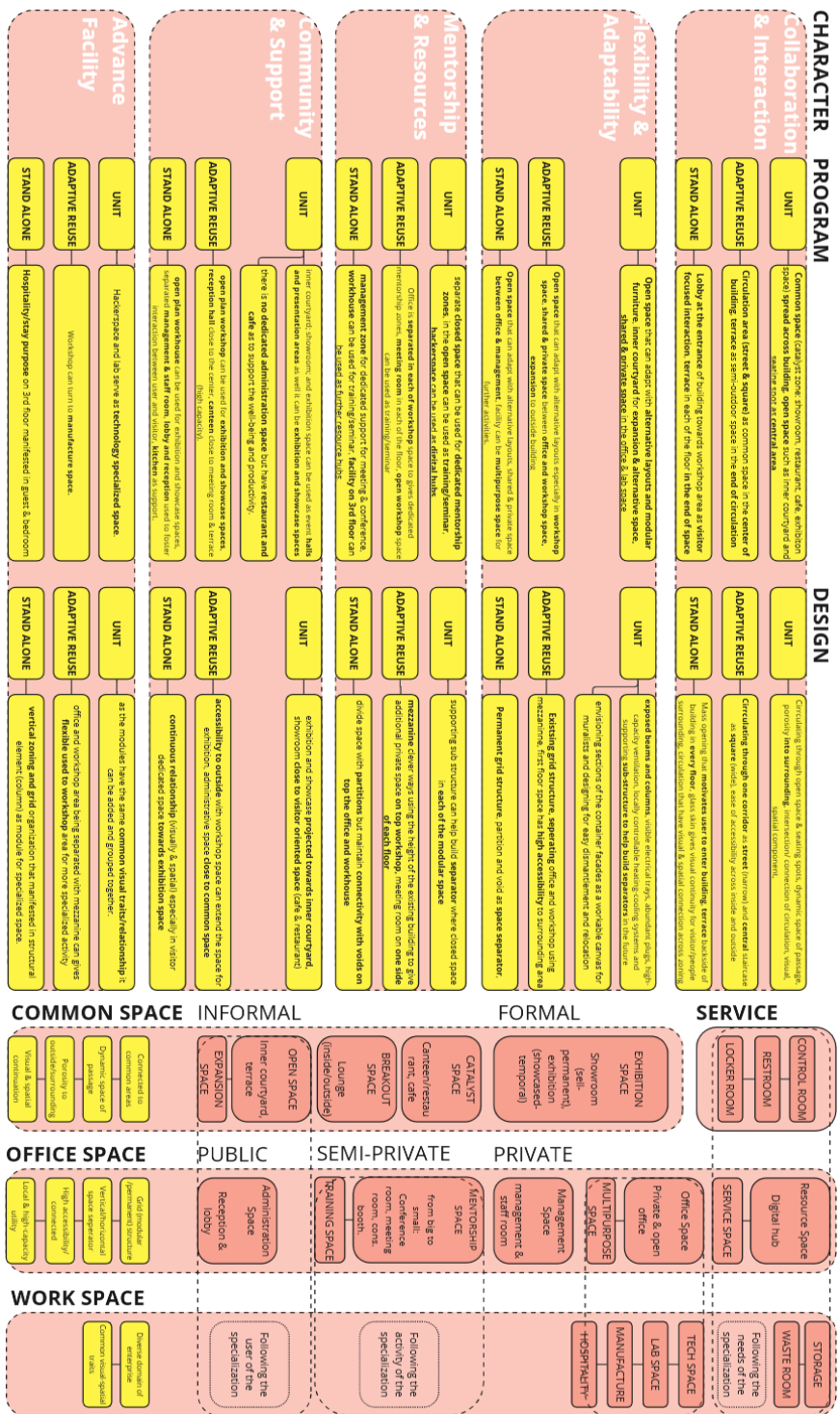
Tabel 2.5 Preseden Penerapan Preseden Fasilitas Inkubasi Variasi Program

2.4.6 Analisis Preseden Fasilitas Inkubasi



Gambar 2.16 Diagram Analisis Preseden Fasilitas Inkubasi (sumber: Penulis)

Setelah dilakukan analisis preseden fasilitas inkubasi ditemukan beberapa karakteristik yang berperan dalam pengaturan program maupun aplikasi desain. Karakteristik tersebut yaitu:



Gambar 2.17 Diagram Karakteristik Preseden Fasilitas Inkubasi (sumber: Penulis)