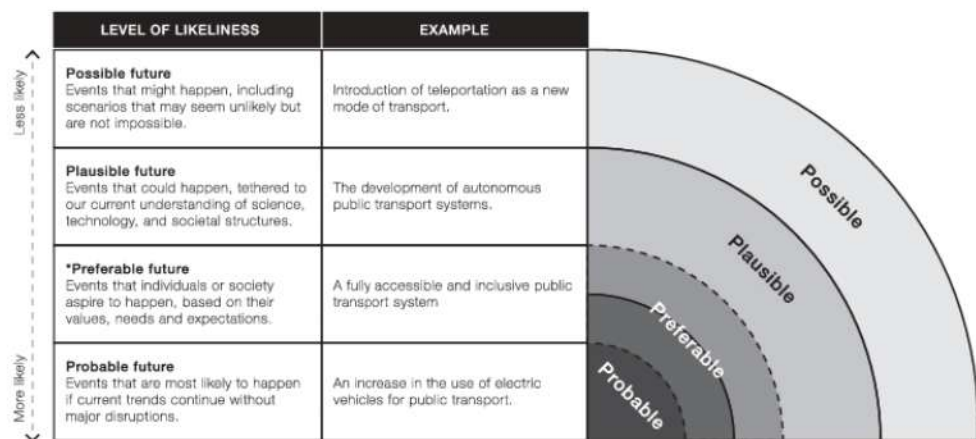


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pendekatan Spekulatif dalam Perancangan Kota

Dalam konteks arsitektur dan perancangan kota, pendekatan *speculative design* berkembang sebagai respons terhadap keterbatasan desain konvensional yang cenderung berfokus pada pemecahan masalah secara langsung. Secara konseptual, *speculative design* berakar pada kemampuan imajinasi untuk membayangkan kondisi yang berbeda secara radikal dari realitas saat ini. Imajinasi tersebut tidak hanya berperan sebagai aktivitas kreatif, tetapi juga sebagai sarana untuk membangun keyakinan bahwa perubahan menuju kondisi alternatif tersebut memungkinkan untuk dicapai.



Gambar 2. Adaptation from Dunne & Raby's Cones of possibilities, 2013.

Sumber: Cardenas Cordova, Kelly, & Rezayan, 2025

Oleh karena itu, pendekatan ini menekankan pentingnya eksplorasi berbagai kemungkinan (*possible future*), dimana realitas tidak dipahami sebagai satu-satunya kondisi yang ada, melainkan sebagai bagian dari spektrum kemungkinan yang lebih luas (Dunne & Raby, 2013). Desain konseptual tidak hanya menghasilkan ide, tetapi juga ideal yang dapat digunakan untuk mengukur sejauh mana realitas saat ini mampu memenuhi harapan tersebut. Berdasarkan berbagai pemaparan tersebut, *speculative design* dapat dipahami melalui tiga komponen utama, yaitu imajinasi, metode, dan visi.

Hal ini sejalan dengan pandangan Dunne dan Raby (2013) yang menyatakan bahwa “*probably the purest form of fictional world is the utopia (and its opposite, the dystopia)*” Utopia berfungsi sebagai pembanding yang memungkinkan realitas dievaluasi berdasarkan ideal-ideal tertentu, sehingga mendorong munculnya kesadaran akan perlunya perubahan. Lebih lanjut, dalam tradisi literatur, utopia dipahami sebagai gagasan kota ideal yang menekankan keteraturan, integrasi, dan kontrol sistem. Sejak pemikiran klasik seperti pulau Utopia karya Thomas More hingga konsep polis dalam pemikiran Plato, kota utopis sering digambarkan sebagai sistem yang terisolasi, terorganisasi secara simetris, serta memiliki aturan yang mengatur kehidupan masyarakat secara menyeluruh (Morrison & Rubin, 2016). Keteraturan spasial dan sosial ini mencerminkan upaya untuk mencapai kondisi ideal melalui homogenitas dan pengendalian terhadap berbagai aspek kehidupan. Dalam hal ini, utopia berfungsi sebagai dorongan untuk menantang *status quo* melalui pembentukan sistem yang terkontrol dan teratur. Karakteristik seperti isolasi, homogenitas, serta pengaturan yang ketat terhadap kehidupan sosial menunjukkan bahwa utopia dapat dipahami sebagai upaya untuk mencapai keteraturan melalui kontrol sistem.

Dalam upaya mewujudkan gagasan *speculative design* dan utopia ke dalam konteks yang lebih aplikatif, diperlukan suatu jembatan konseptual yang menghubungkan antara imajinasi dan realitas. Auger (2016) menyebut hal ini sebagai *perceptual bridge*, yaitu pendekatan yang memungkinkan spekulasi tetap berakar pada kondisi yang dapat dipahami. Lebih lanjut, ia menyatakan bahwa pendekatan tersebut dapat dipahami sebagai suatu konteks terhadap desain spekulatif (“*This could be described as an ecological approach to speculative design*”).

Maka dari itu, pendekatan spekulatif menjadi jembatan konseptual untuk mengintegrasikan perkembangan sistem distribusi pangan dengan perancangan tata kota masa depan. Kerangka ini membuka potensi perancangan kota utopia berbasis sensitivitas konteks dan pengetahuan terkait distribusi pangan.

2.2. Perancangan Kota Berbasis Ekologi

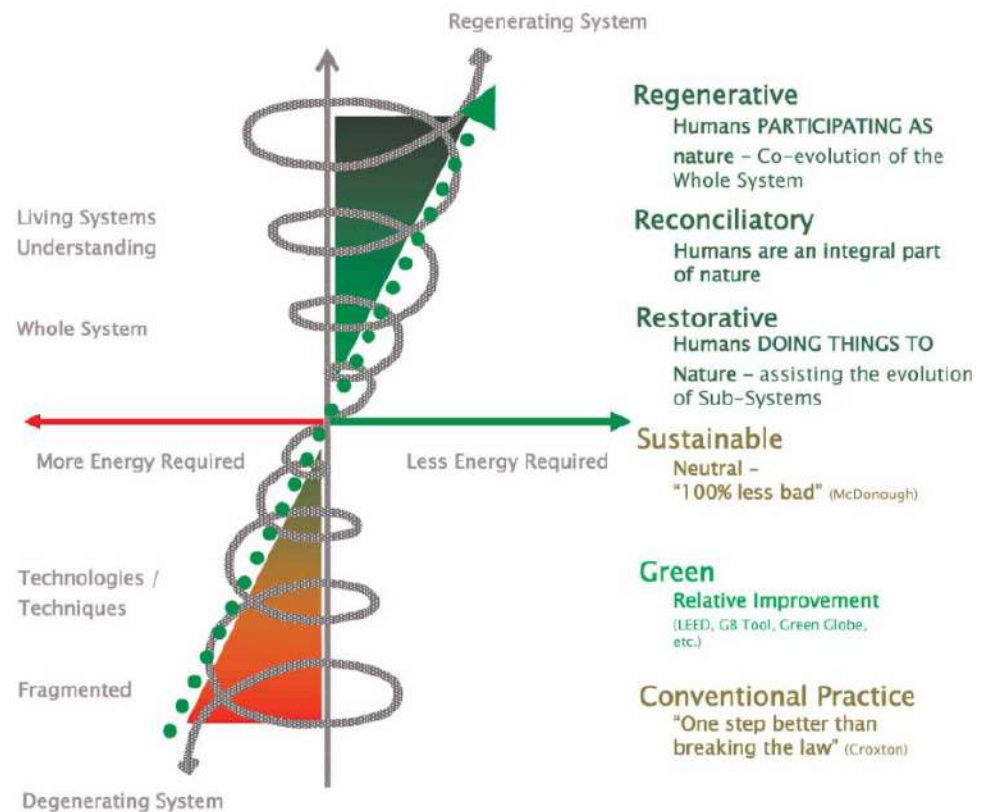
Dalam konteks global, peran ekologi perkotaan (*urban ecology*) menjadi semakin signifikan seiring dengan meningkatnya urbanisasi, di mana mayoritas populasi dunia kini tinggal di kota. Kondisi ini menjadikan kota sebagai representasi utama dari sistem ekologis manusia, sekaligus sebagai ruang dimana interaksi antara aktivitas manusia dan lingkungan terjadi secara intensif (Grimm et al., 2008). Oleh karena itu, pemahaman terhadap kota tidak lagi dapat dipisahkan dari pendekatan ekologi yang melihatnya sebagai suatu sistem yang kompleks dan saling terhubung.

Salah satu pendekatan utama dalam memahami urban ekologi adalah melalui konsep *urban metabolisme*, yang memandang kota sebagai sistem aliran energi dan material, serupa dengan organisme hidup. Gagasan ini telah berkembang sejak pemikiran awal Karl Marx dan kemudian diperluas oleh Kurokawa, yang melihat kota sebagai sistem yang memiliki siklus perkembangan layaknya makhluk hidup. Dalam perspektif ini, keberlanjutan kota bergantung pada kemampuannya untuk mempertahankan siklus tersebut tanpa menghabiskan seluruh sumber daya yang dimiliki. Oleh karena itu, pergeseran dari sistem linear menuju sistem sirkular menjadi penting, di mana output dari suatu proses dapat kembali menjadi input dalam sistem yang sama (Girardet, 2008).

Lebih lanjut, pendekatan ekologi juga berkembang melalui konsep sistem regeneratif dan sistem tertutup (*closed ecological systems*), yang menekankan pentingnya siklus internal dalam menjaga keberlangsungan kehidupan. Studi mengenai sistem tertutup, baik dalam konteks rekayasa lingkungan maupun eksplorasi luar angkasa, menunjukkan adanya paralel yang kuat dengan sistem ekologis bumi, di mana keseimbangan antara komponen biologis, fisik, dan manusia menjadi kunci utama. Sistem ini berupaya meminimalkan limbah, meningkatkan efisiensi, serta mengoptimalkan proses daur ulang material dan energi dalam satu siklus yang terintegrasi.

Dalam kerangka *systems ecology*, fokus utama terletak pada bagaimana proses organisasi diri (*self-organization*) dan siklus biogeokimia bekerja dalam menjaga keseimbangan suatu ekosistem. Interaksi antara faktor-faktor seperti energi matahari, fotosintesis, respirasi, dan siklus

material menjadi dasar dalam memahami bagaimana suatu sistem dapat bertahan dan berkembang secara berkelanjutan. Pendekatan ini menegaskan bahwa keberlangsungan suatu sistem sangat bergantung pada kemampuannya dalam mengelola siklus internal secara efisien dan adaptif.



Gambar 3. Lintasan Desain yang Bertanggung Jawab terhadap Lingkungan

Sumber: Reed (2007:675)

Berdasarkan paparan tersebut, urban ekologi dapat dipahami sebagai suatu sistem siklus yang mengintegrasikan aliran material, energi, dan aktivitas manusia dalam satu kesatuan yang dinamis. Dalam konteks ini, konsep *pragmatic utopia* menjadi relevan sebagai pendekatan yang menggabungkan imajinasi utopis dengan dasar ilmiah dan objektif. Pendekatan ini menuntut desainer untuk mempertimbangkan kondisi lingkungan dan konteks aktual dalam mengembangkan skenario masa depan, sehingga spekulasi tidak terlepas dari realitas ekologis yang ada.

Lebih lanjut, dalam skala perkotaan, ekologi dapat dipahami melalui tiga prinsip utama, yaitu metabolisme, resiliensi, dan regenerasi.

Peningkatan populasi manusia yang melampaui kapasitas ekologi menuntut adanya sistem yang mampu mengelola sumber daya secara berkelanjutan. Oleh karena itu, penerapan sistem regeneratif dan *closed-loop* dalam kota menjadi penting untuk memastikan bahwa penggunaan sumber daya tetap berada dalam batas daya dukung lingkungan. Sistem tertutup ini juga berpotensi menciptakan kondisi yang lebih resilien, di mana seluruh proses berada dalam kendali siklus yang terintegrasi, serupa dengan konsep keteraturan dalam kota utopis.

Dengan demikian, urban ekologi tidak hanya dipahami sebagai kajian lingkungan dalam kota, tetapi sebagai pendekatan sistemik yang melihat kota sebagai suatu siklus kehidupan. Pendekatan ini menjadi landasan penting dalam menghubungkan spekulasi, utopia, dan realitas, serta dalam merumuskan kemungkinan desain arsitektur dan perkotaan yang lebih adaptif, terintegrasi, dan berkelanjutan

2.3. Konsep dan Sistem Ketahanan Pangan

2.3.1. Sistem Ketahanan Pangan Perkotaan

Ketahanan pangan merupakan tantangan multidimensional yang berkaitan erat dengan urbanisasi, kemiskinan, dan perubahan lingkungan. *Food and Agriculture Organization* (FAO, 2006) mendefinisikan ketahanan pangan melalui empat dimensi utama, yaitu ketersediaan (*availability*), aksesibilitas (*accessibility*), pemanfaatan (*utilization*), dan stabilitas (*stability*). Di banyak kawasan perkotaan, masyarakat yang tidak terjangkau oleh jaringan distribusi formal sering kali bergantung pada pasar informal dan produksi pangan mandiri yang cenderung tidak stabil serta lebih rentan terhadap guncangan ekonomi (Fox-Kamper et al., 2023).

Kondisi kepemilikan lahan yang tidak pasti juga menghambat praktik produksi pangan jangka panjang sehingga meningkatkan ketergantungan terhadap sumber pangan eksternal (Nchanji et al., 2023). Selain itu, kualitas air yang tercemar, sanitasi yang tidak memadai, serta pengelolaan limbah yang tidak terkontrol menimbulkan risiko serius terhadap keamanan pangan dan dapat menyebabkan malnutrisi maupun penyakit akibat pangan yang

terkontaminasi (Vågsholm et al., 2020; Fernandez-Mena et al., 2016). Keterbatasan daya beli masyarakat turut mempengaruhi pola konsumsi, sehingga meningkatkan ketergantungan terhadap makanan olahan rendah nutrisi dan memperbesar risiko penyakit tidak menular seperti obesitas dan diabetes (FAO, 2023).

Seiring berkembangnya kota, sistem agro-pangan sirkular dipandang sebagai strategi berkelanjutan untuk meningkatkan ketahanan pangan sekaligus mengurangi konsumsi sumber daya dan produksi limbah (Caputo et al., 2021). Sistem ini mengintegrasikan daur ulang nutrisi, pengurangan limbah, dan produksi pangan terdesentralisasi guna menciptakan jaringan pangan perkotaan yang lebih efisien dan resilien (Bahers et al., 2020).

Meskipun berbagai inisiatif pengurangan limbah pangan telah dilakukan, permasalahan utama bukan terletak pada kelangkaan pangan, melainkan pada distribusi sumber daya yang belum merata dan adil. Sistem Distribusi pangan merupakan salah satu aspek paling krusial dalam rantai pasok dari area produksi, seperti pertanian atau pabrik, hingga mencapai tujuan akhir distribusi produk pangan. Selain kemasan, terdapat berbagai faktor dan pertimbangan lingkungan yang harus diperhatikan dalam proses pengembangan sistem distribusi pangan.

Dengan demikian, pertanian perkotaan (*urban agriculture*) memegang peranan penting karena mampu memperpendek rantai distribusi, mengurangi ketergantungan pada pasar eksternal, dan menghadirkan sumber pangan yang lebih lokal (Orsini et al., 2014).

2.3.2. Sistem Distribusi Pangan Tertutup

Penulisan ini berangkat dari pemahaman bahwa transisi menuju sistem pangan sirkular regeneratif berarti beralih menuju siklus produksi pertanian dan pangan yang tertutup, di mana material input dan output yang berlebih dapat dihilangkan. Dalam sistem tersebut, produk sampingan hasil pengolahan dapat dimanfaatkan kembali, limbah residu ditekan dan diberi nilai guna

baru, serta sumber daya manusia tidak dieksploitasi (Wensing et al., 2023).

Namun, dalam konteks perkotaan, sebagian besar nutrisi justru keluar dari sistem kota melalui jaringan pembuangan dan metabolisme manusia (Baccini dan Brunner, 2023). Oleh karena itu, sistem pangan yang sepenuhnya sirkular hanya dapat diwujudkan dengan menutup siklus antara produksi pertanian regeneratif, kebutuhan pangan kota, dan limbah berbasis biologis perkotaan, termasuk nutrisi yang terkandung dalam sistem limbah dan saluran pembuangan, pada berbagai skala spasial.

Jika ditinjau lebih jauh pada praktik pangan perkotaan, beberapa penelitian menunjukkan bahwa pola konsumsi pangan di kota memiliki dinamika tersendiri. Dinamika tersebut juga bersifat sensitif terhadap konteks dan menunjukkan perbedaan pada setiap wilayah geografis. Masyarakat perkotaan diketahui mengonsumsi kalori dan produk pangan hewani dalam jumlah lebih tinggi dibandingkan masyarakat pedesaan (Willett et al., 2019; Wiskerke, 2015; Garnett, 2011). Namun, penelitian lain menunjukkan bahwa rumah tangga perkotaan justru mengalokasikan proporsi pendapatan yang lebih kecil untuk konsumsi daging dan daging olahan dibandingkan rumah tangga pedesaan, meskipun secara umum memiliki tingkat pendapatan yang lebih tinggi (Dangerfield et al., 2021).

Sebagai kesimpulan, penghubungan perspektif ilmu sosial dengan sistem pangan perkotaan tertutup memerlukan pendekatan multidimensional yang sensitif terhadap konteks. Pendekatan tersebut perlu memahami keterkaitan antar sistem, membangun kembali relasi yang ada, serta mengintegrasikan aspek sosial ke dalam kerangka tata kelola bersamaan dengan perubahan teknologi dan infrastruktur. Dengan mengatasi hambatan inovasi kebijakan serta memanfaatkan faktor pendorong sosial dan budaya, kota dapat mendorong transisi menuju sistem pangan tertutup yang lebih inklusif dan berkelanjutan secara sosial.

2.3.3. Peran Sensitivitas Konteks dalam Distribusi Pangan

Dampak urbanisasi tidak hanya terbatas pada pertumbuhan wilayah secara geografis, tetapi juga mempengaruhi perubahan penggunaan lahan dari area pertanian menjadi kawasan perkotaan yang mengubah sifat biotik dan fisik ekosistem, termasuk kondisi tanah. Mengingat sebagian besar kota berkembang di atas lahan subur, perubahan fungsi lahan pertanian menjadi kawasan urban telah menyebabkan hilangnya tanah berkualitas tinggi secara luas (Janku et al., 2016; Ferrara et al., 2014; Zambon et al., 2018). Akibatnya, ekspansi perkotaan kini dianggap sebagai salah satu ancaman utama terhadap keamanan tanah dan ketahanan pangan global (Friedrich, 2014; Huang et al., 2020; Evangelista et al., 2023).

Dalam mengestimasi hilangnya fungsi tanah, penelitian Malucelli et al. (2014) menggunakan produktivitas tanah sebagai indikator kehilangan fungsi ekologis yang diukur melalui konsep *biocapacity*. Konsep ini berasal dari pendekatan jejak ekologis (*ecological footprint*) dan didefinisikan sebagai kapasitas ekosistem dalam menghasilkan material biologis yang bermanfaat (Kitzes et al., 2007; Rees dan Wackernagel, 2008). Seperti halnya jejak ekologis, *biocapacity* umumnya dinyatakan dalam satuan *global hectares* (GHA), yaitu ukuran potensi hasil dari area biologis produktif berdasarkan rata-rata produktivitas global pada tahun tertentu (Wackernagel et al., 2002). Dengan demikian, *biocapacity* memungkinkan estimasi terhadap potensi pasokan lingkungan untuk setiap jenis sumber daya (Monfreda et al., 2004), sekaligus menghasilkan data yang sederhana, terstandarisasi, dan dapat dibandingkan dengan berbagai wilayah lain di dunia (Rees dan Wackernagel, 2008).

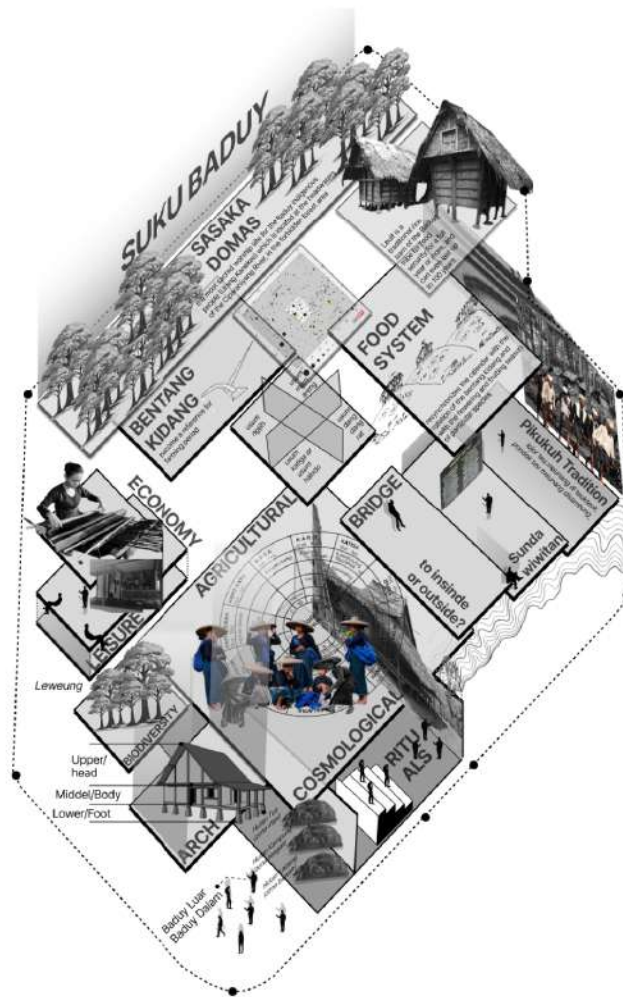
Oleh karena itu, tugas akhir ini menekankan pentingnya integrasi keamanan tanah (*soil security*) dalam perencanaan kota guna menjamin keberlanjutan sistem pangan, baik pada skala lokal maupun global. Penilaian terhadap fungsi tanah, seperti yang dipaparkan dalam studi ini, dapat menjadi alat penting bagi pengambil keputusan untuk menentukan strategi penggunaan lahan

yang mampu meminimalkan hilangnya tanah subur secara permanen. Serta diperlukan sistem distribusi pangan yang komprehensif untuk menyeimbangkan kepentingan pertanian dengan kebutuhan menjaga ketersediaan pangan lokal. Distribusi pangan dapat dilakukan melalui berbagai cara, seperti udara, laut, maupun darat, dengan jalur distribusi yang beragam dari lokasi produksi hingga titik konsumsi akhir. Perancangan sistem distribusi pangan tersebut dapat berbeda-beda bergantung pada jenis pangan yang didistribusikan serta jarak tempuh distribusi yang diperlukan.

2.4. Studi Banding Kondisi Nyata

Pemahaman ekologi sebagai sistem tertutup saat ini dapat dipahami melalui analisis praktik pengelolaan ekosistem pada Suku Baduy, Suku Kajang, Kampung Naga, serta eksperimen ilmiah Biosphere 2. Keempat objek tersebut merepresentasikan pendekatan berbeda, baik berbasis kearifan lokal maupun rekayasa teknologi dalam mengelola siklus sumber daya secara terintegrasi. Temuan dari studi ini kemudian ditransformasikan dan diperluas ke dalam skala perkotaan melalui pendekatan *speculative design*, guna mengeksplorasi kemungkinan penerapan sistem ekologi tertutup sebagai dasar perancangan kota yang regeneratif dan berkelanjutan.

2.4.1.1. Suku Baduy, Banten



Gambar 4. Pembedahan Studi Preseden Suku Baduy

Sumber: Olah Data Pribadi

Masyarakat Baduy yang tinggal di Pegunungan Kendeng, Banten, dikenal karena mempertahankan gaya hidup tradisional berbasis kepercayaan Sunda Wiwitan. Kepercayaan ini menekankan harmoni antara manusia, alam, dan leluhur, yang diwujudkan melalui aturan adat (*pikukuh*) dalam menjaga hutan, tanah, dan air sebagai entitas sakral. Prinsip hidup seperti “lojor teu meunang dipotong, pendek teu meunang disambung” mencerminkan upaya menjaga keseimbangan alam tanpa intervensi berlebihan.

Salah satu karakter utama masyarakat Baduy adalah sikap isolatif terhadap dunia luar, terutama pada kelompok Baduy Dalam yang menjaga kemurnian adat secara ketat. Secara sosial, komunitas ini terbagi menjadi Baduy Dalam, Baduy Luar, dan Baduy Ujung

dengan tingkat keterbukaan berbeda. Struktur sosial ini berkaitan erat dengan sistem pengaturan ruang yang tidak hanya bersifat fisik, tetapi juga mengandung dimensi kosmologis dan etika ekologis.

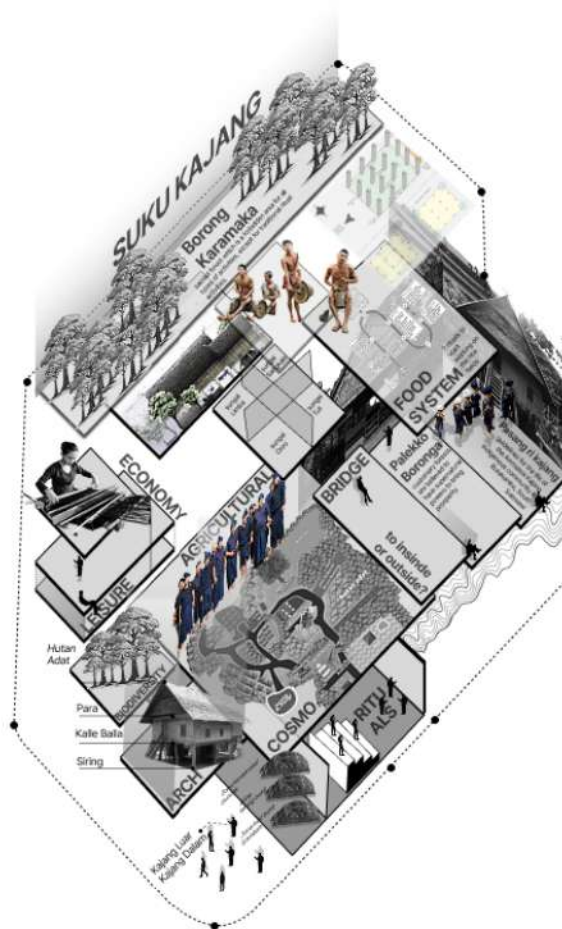
Secara spasial, wilayah Baduy tersusun dalam zonasi berlapis yang terdiri dari kawasan permukiman, lahan pertanian (*huma*), serta hutan larangan (*leurweung kolot*). Sistem ini mencerminkan pengelolaan lanskap berbasis siklus ekologis melalui praktik rotasi lahan seperti *reuma ngora* dan *reuma kolot*. Dominasi kawasan hutan menunjukkan bahwa ruang tidak dimanfaatkan secara maksimal untuk manusia, melainkan dijaga sebagai sistem ekologis yang seimbang dan berkelanjutan.

Dalam perspektif bioregional, pembagian ruang di Baduy tidak didasarkan pada batas administratif, melainkan pada fungsi ekologis seperti daerah aliran sungai, topografi, dan struktur hutan. Pada skala mikro, pola pemukiman mengikuti kontur dan aliran air, menunjukkan integrasi antara sistem sosial dan lingkungan. Hal ini memperlihatkan bahwa tata ruang Baduy merupakan sistem sosial-ekologis yang mengatur pemanfaatan sumber daya agar tetap berada dalam batas daya dukung lingkungan.

Dalam sistem Suku Baduy, pelaku dan aktivitas tidak dipisahkan secara sektoral, melainkan terintegrasi dalam satu kesatuan sosial-ekologis berbasis adat (*pikukuh*). Masyarakat berperan sekaligus sebagai penghuni, petani, dan penjaga lingkungan dengan aktivitas utama seperti bertani (*ngahuma*), panen, penyimpanan pangan, serta menjalankan ritual adat, sementara pemimpin adat mengatur keseimbangan melalui pengendalian ruang dan eksploitasi sumber daya. Kapasitas dan okupansi kawasan dijaga tetap rendah dan terkendali, di mana permukiman hanya menempati sebagian kecil wilayah dibandingkan dominasi hutan dan lahan ekologis, sehingga daya dukung lingkungan menjadi batas utama dalam pertumbuhan. Sistem ini diperkuat oleh fase pertanian atau kalender ekologis Baduy yang bersifat siklik mulai dari pembukaan lahan, penanaman, pertumbuhan, panen, hingga masa bera (*reuma*) yang

memungkinkan regenerasi alam secara alami tanpa eksploitasi berlebih. Pembagian ruangnya pun mengikuti zonasi ekologis yang jelas, meliputi zona inti (konservasi dan permukiman adat), zona transisi, zona produksi (ladang), serta zona hutan larangan, di mana masing-masing memiliki kapasitas dan aturan yang ketat.

2.4.1.2. Suku Kajang, Sulawesi Selatan



Gambar 5. Pembedahan Studi Preseden Suku Kajang

Sumber: Olah Data Pribadi

Suku Kajang merupakan komunitas adat yang bermukim di Kabupaten Bulukumba, Sulawesi Selatan, dan terbagi menjadi dua kelompok utama, yaitu Kajang Dalam yang mempertahankan adat secara ketat dan Kajang Luar yang lebih terbuka terhadap modernisasi. Kehidupan masyarakat Kajang Dalam dipimpin oleh Amma Toa dan berlandaskan *Pasang ri Kajang*, yaitu amanat

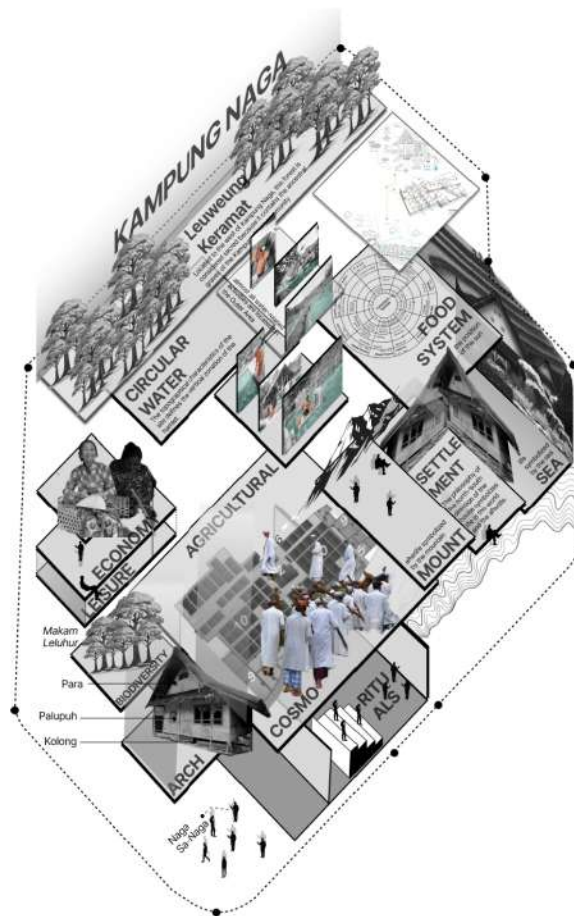
leluhur yang mengatur hubungan manusia dengan Tuhan, sesama, dan alam sebagai satu kesatuan yang tidak terpisahkan.

Masyarakat Kajang memandang hutan sebagai tanah ulayat yang bersifat sakral dan menjadi sumber kehidupan. Prinsip ini membentuk etika ekologis yang kuat, di mana pelestarian lingkungan tidak hanya menjadi kewajiban praktis, tetapi juga spiritual. Kepercayaan Patungtung yang mereka anut menekankan hubungan antara Tuhan, tanah, dan leluhur, sehingga menciptakan sistem nilai yang menjaga keseimbangan antara manusia dan alam secara berkelanjutan.

Secara spasial, wilayah Kajang diatur melalui sistem zonasi yang ketat, terutama antara kawasan hutan lindung (*borong karama*) yang tidak boleh dieksploitasi dan kawasan pemanfaatan terbatas untuk permukiman serta pertanian. Pembagian ini diperkuat oleh struktur Ilalang Embayya sebagai zona inti konservasi dan Ipantarang Embayya sebagai zona penyangga. Sistem ini menunjukkan pengelolaan ruang berbasis daya dukung ekologis, di mana perlindungan lingkungan menjadi prioritas utama dibandingkan kepentingan ekonomi.

Dalam perspektif bioregional, tata ruang Kajang tidak didasarkan pada batas administratif, melainkan pada fungsi ekologis dan nilai kosmologis. Pada skala mikro, pola permukiman, orientasi bangunan, serta sistem pengelolaan lahan diatur oleh prinsip adat yang memastikan keseimbangan antara aktivitas manusia dan keberlanjutan lingkungan. Hal ini menunjukkan bahwa ruang dipahami sebagai bagian dari sistem sosial-ekologis yang terintegrasi.

2.4.1.3. Kampung Naga Jawa Barat



Gambar 6. Pembedahan Studi Preseden Kampung Naga

Sumber: Olah Data Pribadi

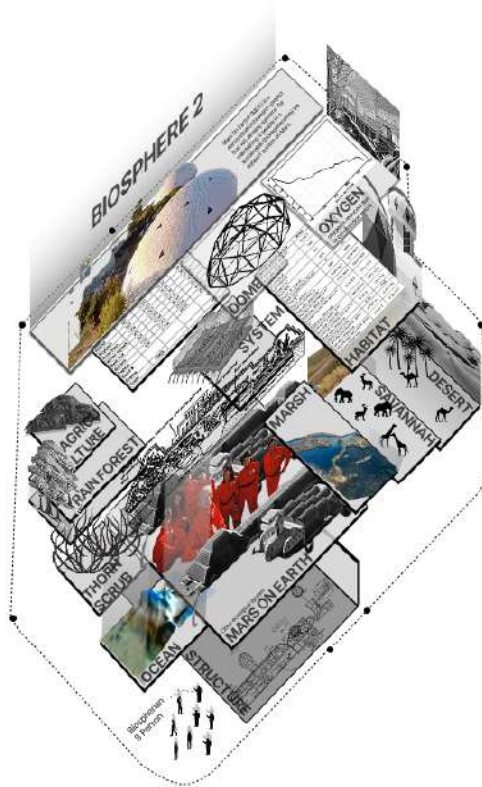
Kampung Naga merupakan permukiman adat yang terletak di antara Kabupaten Tasikmalaya dan Garut, Jawa Barat. Lokasinya berada di lembah yang relatif tersembunyi, sekitar 800 meter dari jalan utama, dan hanya dapat diakses dengan berjalan kaki melalui jalur bertangga yang curam. Posisi ini menunjukkan adanya keterpisahan fisik yang sekaligus memperkuat batas antara dunia luar dan ruang hidup masyarakat adat. Dari segi topografi, Kampung Naga berada di lembah subur dengan ketinggian sekitar 1.200 meter di atas permukaan laut, sehingga memiliki iklim sejuk dan curah hujan yang tinggi. Kondisi ini menciptakan lingkungan yang mendukung keberlanjutan sumber daya air dan pertanian. Sungai Ciwulan yang mengalir di kawasan ini menjadi sumber utama irigasi bagi lahan pertanian masyarakat.

Penggunaan lahan di Kampung Naga terbagi antara permukiman, hutan, serta area pertanian seperti sawah, ladang, dan kolam. Meskipun luas permukiman relatif kecil, sebagian besar wilayah tetap dipertahankan sebagai kawasan alami dan produktif. Sistem pertanian yang diterapkan bersifat subsisten dengan pola tanam beragam (*polyculture*), yang memungkinkan pemenuhan kebutuhan pangan secara mandiri. Komunitas Kampung Naga, sejak ribuan tahun lalu hingga kini, menggunakan kalender tradisional dalam menjalankan tahapan bertani. Kalender ini disusun berdasarkan pergerakan rasi bintang, posisi matahari, masa berbunga atau berbuah beberapa tanaman, dan kehadiran serangga tertentu. Faktor yang paling menentukan adalah variasi waktu panen di *huma serang*, ladang sakral milik bersama masyarakat Kampung Naga

Dua rasi bintang yang menjadi acuan kalender pertanian Baduy adalah *Bentang Kidang* (sabuk Orion) dan *Bentang Kartika* (*Bentang Kerti* atau *Gumarang*), yang bergerak dari timur ke barat. *Bentang Kidang* muncul sekitar dua minggu lebih awal dari *Bentang Kartika*, dan posisi pentingnya dijadikan pedoman untuk menentukan tahapan bertani, seperti membuka hutan (*nyacar*) dan menyiapkan lahan. Tanah dianggap mulai dingin (*tiis*) saat posisi matahari di utara, dan panas saat rasi bintang menghilang (*marem*), saat masyarakat Baduy biasanya berhenti menanam padi.

Selain bintang, beberapa tanaman juga menjadi indikator kalender tradisional. Misalnya, buah *kanyere* matang menandai musim kemarau, masa berbunga *gaharu* menandai datangnya musim kering, dan masa berbunga atau berbuah *jampang kidang*, *jampang kerti*, dan *kanyere* bersamaan dengan munculnya *Bentang Kidang* pertama, menjadi pertanda untuk membuka lahan. Kehadiran laba-laba *kidang* (*lancah kidang*) di tanah juga digunakan sebagai tanda waktu menanam padi (*ngaseuk*). Namun, faktor terpenting tetap variasi waktu panen di *huma serang* sebagai penentu awal tahun kalender pertanian.

2.4.1.4. Biosphere 2, Arizona



Gambar 7. Pembedahan Studi Preseden Biosphere 2

Sumber: Olah Data Pribadi

Biosphere Consortium memiliki pengalaman panjang dalam merancang dan meneliti sistem ekologi tertutup melalui berbagai proyek seperti *Biosphere 2 Test Module*, *Biosphere 2*, dan *Laboratory Biosphere*. Pengetahuan ini kemudian dikembangkan untuk proyek masa depan seperti *Mars On Earth*, yang bertujuan mensimulasikan kehidupan manusia dalam sistem tertutup di luar bumi. Rangkaian eksperimen ini menunjukkan upaya sistematis dalam memahami bagaimana ekosistem buatan dapat menopang kehidupan secara mandiri.

Tahap awal pengembangan dilakukan melalui *Biosphere 2 Test Module*, yaitu fasilitas tertutup berkapasitas 400 m³ yang dirancang untuk menguji sistem teknis dan interaksi kehidupan dalam kondisi ekologi tertutup. Dalam eksperimen ini, berbagai teknologi diuji seperti sistem penyegelan, sensor, serta mekanisme pengatur tekanan udara (*lung system*). Fasilitas ini juga berhasil

menerapkan proses biologis untuk pemurnian udara, daur ulang air, serta pengolahan limbah manusia, meskipun kapasitas produksi pangan masih terbatas untuk jangka panjang.

Pengembangan selanjutnya diwujudkan dalam Biosphere 2 sebagai sistem yang lebih kompleks dengan luas sekitar 1,27 hektar. Proyek ini dirancang sebagai simulasi biosfer bumi dengan menghadirkan berbagai biome seperti hutan hujan, gurun, savana, laut, serta area pertanian dan hunian manusia. Dalam eksperimen utama, delapan orang berhasil hidup selama dua tahun di dalam sistem tertutup dengan sebagian besar kebutuhan seperti air, udara, dan pangan dipenuhi dari dalam sistem itu sendiri.

Selain sebagai eksperimen hunian tertutup, Biosphere 2 juga berfungsi sebagai laboratorium untuk mempelajari dinamika ekologi dalam skala besar. Sistem ini memungkinkan penelitian terhadap berbagai proses, mulai dari interaksi mikroorganisme hingga siklus biogeokimia global. Dengan meniru mekanisme yang ada di bumi sebagai biosfer alami, proyek ini menunjukkan bagaimana sistem ekologi dapat direkayasa untuk mendukung keberlanjutan kehidupan manusia.

Secara keseluruhan, Biosphere 2 merepresentasikan pendekatan integratif dalam membangun sistem ekologi tertutup yang menggabungkan teknologi, lingkungan, dan manusia. Sistem ini menunjukkan bahwa keberlangsungan hidup dapat dicapai melalui pengelolaan siklus sumber daya secara terkontrol dan berkelanjutan, sehingga menjadi model penting dalam memahami kemungkinan penerapan sistem serupa dalam skala yang lebih besar, termasuk pada konteks perkotaan.