

PERANCANGAN KAWASAN WISATA TOR SIPIPIAN DENGAN PENDEKATAN TROPICAL ECO-HILLSIDE ARCHITECTURE DI KABUPATEN PADANG LAWAS UTARA

Muhammad Ryan Ramadhan Siregar¹, Sitti Wardiningsih²

^{1,2}Universitas Mpu Tantular

Email: muhammadryan202@gmail.com¹, sitti.wardiningsih2810@gmail.com²

Abstrak: Kawasan Tor Sipipisan di Kabupaten Padang Lawas Utara memiliki potensi wisata alam berupa lanskap perbukitan, vegetasi alami, dan panorama yang menarik, namun belum didukung oleh penataan kawasan serta fasilitas yang memadai. Perancangan ini bertujuan menghasilkan kawasan wisata yang mampu mengoptimalkan potensi alam melalui pendekatan Tropical Eco–Hillside Architecture, yaitu pendekatan yang menyesuaikan desain dengan kondisi topografi, iklim tropis, dan prinsip keberlanjutan lingkungan. Metode yang digunakan meliputi observasi lapangan, studi literatur, dokumentasi, serta analisis tapak yang mencakup aspek topografi, iklim, vegetasi, sirkulasi, utilitas, dan tata ruang kawasan. Hasil perancangan menunjukkan bahwa penataan kawasan yang mengikuti kontur alami mampu mengurangi perubahan bentuk lahan, mempertahankan vegetasi eksisting, serta menciptakan hubungan yang harmonis antara bangunan dan lingkungan. Kawasan dirancang melalui pembagian zona publik, semi publik, privat, dan servis yang terhubung oleh sistem sirkulasi yang terintegrasi. Karakter arsitektur diwujudkan melalui adaptasi bentuk atap yang terinspirasi dari arsitektur Batak, penggunaan material alami, serta penerapan bukaan yang mendukung pencahayaan dan ventilasi alami. Perancangan ini diharapkan menjadi alternatif pengembangan wisata alam yang berkelanjutan sekaligus mendukung peningkatan potensi pariwisata Kabupaten Padang Lawas Utara.

Kata Kunci: Tor Sipipisan, Tropical Eco–Hillside Architecture, Arsitektur Tropis, Perancangan Kawasan Wisata Alam.

Abstract: The Tor Sipipisan area in North Padang Lawas Regency possesses significant natural tourism potential, characterized by hilly landscapes, natural vegetation, and attractive scenic views. However, the area has not been adequately supported by proper spatial planning and tourism facilities. This design project aims to develop a tourism area that optimizes its natural potential through the Tropical Eco–Hillside Architecture approach, which adapts architectural design to the site's topography, tropical climate, and principles of environmental sustainability. The design process employed field observations, literature reviews, documentation, and site analyses covering topography, climate, vegetation, circulation, utilities, and spatial planning. The proposed design demonstrates that arranging the site according to its natural contours can minimize land alteration, preserve existing vegetation, and create a harmonious relationship between the built environment and nature. The area is organized into public, semi-public, private, and service zones connected by an integrated circulation system. The architectural character is expressed through roof forms inspired by traditional Batak architecture, the use of natural materials, and building openings that maximize natural lighting and ventilation. This design is expected to serve as an alternative model for sustainable nature tourism development while supporting the tourism potential of North Padang Lawas Regency.

Keywords: *Tor Sipipisan, Tropical Eco–Hillside Architecture, Tropical Architecture, Nature Tourism Area Design.*

PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara beriklim tropis memiliki potensi wisata alam yang sangat besar, terutama pada kawasan perbukitan dan pegunungan. Karakter iklim tropis dengan intensitas curah hujan tinggi, suhu hangat, kelembaban tinggi, serta vegetasi yang melimpah membutuhkan pendekatan desain arsitektur yang responsif terhadap lingkungan. Arsitektur tropis perlu menekankan penerapan desain pasif, seperti pengoptimalan ventilasi alami, pengendalian paparan panas matahari, penurunan panas pada elemen atap, serta penggunaan komponen bangunan yang dapat mendukung kenyamanan termal tanpa bergantung sepenuhnya pada sistem pendingin mekanis (Al-Obaidi et al., 2014). Oleh karena itu, pengembangan kawasan wisata pada lanskap tropis tidak dapat dilakukan dengan pendekatan konvensional yang mengabaikan kondisi ekologis tapak.

Karakter topografi kawasan wisata alam juga menjadi faktor penting dalam proses perancangan. Kawasan perbukitan memiliki karakteristik lereng, kontur, dan sistem drainase alami yang memerlukan pendekatan desain khusus agar pembangunan tidak merusak stabilitas lingkungan. Perancangan arsitektur pada kawasan pegunungan atau lahan berkontur harus memperhatikan kondisi lereng, vegetasi eksisting, pola sirkulasi, orientasi visual, serta keterkaitan antara bangunan dan lanskap (Zeng et al., 2023). Pertimbangan tersebut menjadi dasar dalam membentuk ruang yang lebih responsif terhadap kondisi tapak. Melalui pendekatan ini, bangunan dapat beradaptasi dengan topografi sekaligus mengurangi kesan dominan massa bangunan terhadap lingkungan alam di sekitarnya.

Tor Sipipisan di Kabupaten Padang Lawas Utara merupakan salah satu kawasan wisata alam yang memiliki karakter lanskap perbukitan dengan panorama visual yang kuat. Nama “Tor” dalam bahasa suku Batak memiliki arti bukit, sedangkan “Sipipisan” atau Si Pis-pis an berasal dari istilah yang merujuk pada percikan air suci yang dahulu digunakan dalam ritual kepercayaan tradisional masyarakat setempat. Secara geologis, kawasan ini memiliki variasi elevasi, vegetasi alami, serta potensi view panorama yang menjadikannya memiliki nilai wisata yang tinggi. Selain itu, lokasi kawasan wisata yang berada di lingkungan pedesaan dengan kondisi alam yang masih relatif alami memberikan peluang besar untuk dikembangkan sebagai destinasi wisata berbasis ekologi dan alam tropis.

Pendekatan *Tropical Eco-Hillside Architecture* merupakan integrasi antara prinsip arsitektur tropis, arsitektur ekologis, dan *hillside architecture* dalam proses perancangan kawasan wisata. Pendekatan ini menempatkan alam dan topografi sebagai elemen utama pembentuk ruang sehingga bangunan dan lanskap dapat saling terintegrasi secara harmonis. Melalui pendekatan ini, kawasan wisata dirancang mengikuti kontur alami bukit, memanfaatkan ventilasi, dan pencahayaan alami, menjaga vegetasi eksisting, serta meminimalkan kerusakan lingkungan akibat pembangunan.

Penelitian ini dilakukan untuk merumuskan konsep perancangan Kawasan Wisata Alam Tor Sipipisan dengan pendekatan *Tropical Eco-Hillside Architecture* yang adaptif terhadap kondisi topografi dan iklim tropis kawasan. Dari sisi akademik, penelitian ini diharapkan dapat memperkaya kajian mengenai penerapan arsitektur ekologis pada kawasan wisata perbukitan tropis di Indonesia. Dari sisi praktis, hasil penelitian diharapkan dapat menjadi referensi bagi pemerintah daerah maupun pihak terkait dalam pengembangan kawasan wisata yang berkelanjutan, ramah lingkungan, dan memiliki identitas arsitektur yang sesuai dengan karakter lokal kawasan.

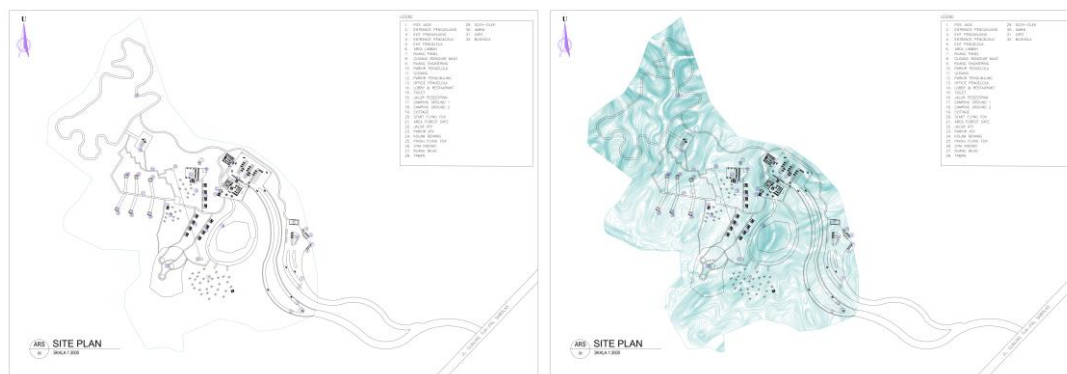
METODE PENELITIAN

Pengumpulan data dalam penelitian ini bertujuan untuk memperoleh berbagai informasi yang dibutuhkan dalam proses analisis serta perumusan konsep perancangan kawasan wisata. Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder yang diperoleh melalui beberapa metode pengumpulan data. Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis deskriptif kualitatif dengan konsep perancangan yang dikembangkan berdasarkan prinsip Tropical Eco–Hillside Architecture serta analisis SWOT.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Desain Rancangan Kawasan

a. Site Plan

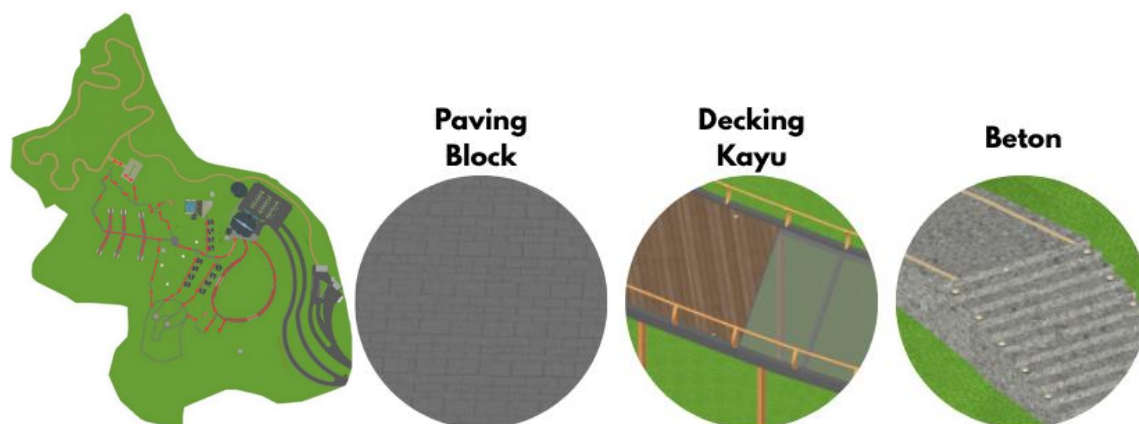


Gambar 1 Site Plan

Pada gambar siteplan ini terlihat fasilitas utama seperti lobby, kantor, cottage, bangunan retail, dan area rekreasi dihubungkan melalui sistem sirkulasi yang terintegrasi. Jalur kendaraan dan pedestrian dipisahkan oleh bangunan lobby, dengan adanya pemisah ini gunanya untuk memberikan keamanan dan kenyamanan untuk para pengunjung agar tidak terpapar polusi yang dihasilkan dari kendaraan. Penempatan bangunan mengikuti orientasi pemandangan alam serta mempertahankan vegetasi eksisting guna menciptakan kawasan wisata yang menyatu dengan lingkungan dan mendukung prinsip keberlanjutan. Layout plan Kawasan Wisata Alam Tor Sipipisan dirancang dengan menerapkan konsep *Tropical Eco-Hillside Architecture* yang menyesuaikan tata massa bangunan terhadap kontur alami perbukitan. Penataan kawasan dibagi menjadi empat zona, yaitu publik, semi publik, privat, dan servis, sehingga menciptakan alur sirkulasi yang teratur serta memberikan kenyamanan bagi pengunjung maupun pengelola.

b. Konsep Sirkulasi

Konsep sirkulasi pejalan kaki pada Kawasan Wisata Alam Tor Sipipisan dirancang untuk memberikan pengalaman menjelajahi kawasan secara bertahap dengan mengikuti kontur alami perbukitan. Jalur pedestrian menghubungkan setiap fasilitas utama, seperti lobby, forest café, viewpoint, area rekreasi cottage, dan camping ground melalui jalur yang nyaman, aman, serta menyatu dengan lanskap.



Gambar 2 Sikulasi Pejalan Kaki

Sirkulasi pejalan kaki memanfaatkan material yang ramah lingkungan, seperti paving block, beton, dan decking kayu pada beberapa titik berkelok. Selain memudahkan mobilitas pengunjung, jalur pedestrian juga dirancang agar mampu menghadirkan pengalaman visual terhadap panorama alam selama perjalanan di dalam kawasan.



Gambar 3 Sirkulasi Kendaraan

Sirkulasi kendaraan dirancang dengan sistem satu pintu masuk (*main entrance*) dan satu pintu keluar (*exit*) untuk menciptakan alur lalu lintas yang teratur dan mudah dipahami oleh pengunjung, jalur kendaraan hanya menghubungkan area-area yang memerlukan akses

langsung seperti area parkir, lobby, zona servis, sehingga aktivitas kendaraan tidak mengganggu kenyamanan kawasan wisata.

Area parkir pada kawasan dibagi menjadi dua zona, yaitu parkir pengunjung dan parkir staf/pengelola. Area parkir pengunjung ditempatkan di dekat pintu masuk utama agar mudah dijangkau dan mengurangi pergerakan kendaraan ke dalam kawasan wisata. Sementara itu, area parkir staf dtemparkan berdekatan dengan area servis untuk mendukung kegiatan operasional serta memisahkan aktivitas pengelola dari aktivitas wisatawan. Pembagian ini bertujuan menciptakan sirkulasi kendaraan yang lebih tertata, meningkatkan keamanan, dan menjaga nyaman pengunjung selama berada di kawasan wisata.

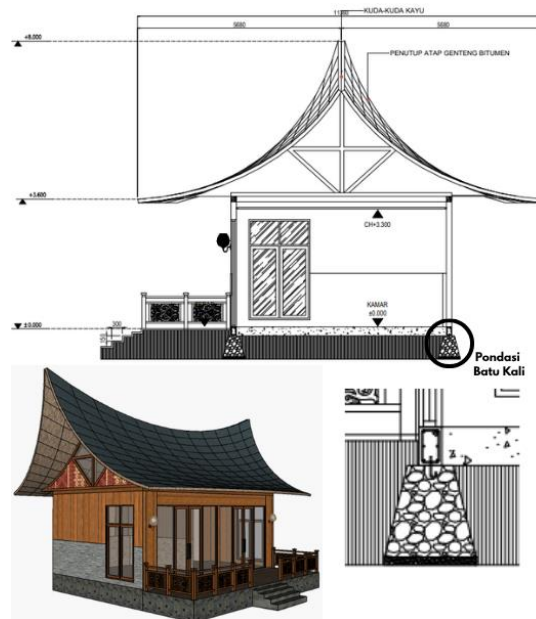
c. Konsep Struktur

Pondasi *Foot Plate* digunakan sebagai pondasi utama pada bangunan dikawasan wisata Tor Sipipisan karena mampu menyalurkan beban bangunan secara merata ke tanah. Sistem pondasi ini dipilih untuk memberikan kestabilan struktur pada kondisi lahan berkontur serta mendukung konstruksi bangunan bertingkat rendah.



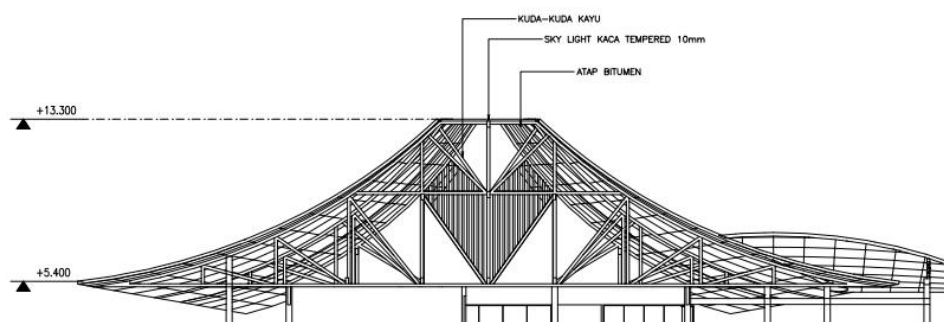
Gambar 4 Pondasi *Foot Plate*

Pondasi batu kali digunakan sebagai pondasi menerus pada dinding bangunan sekaligus berfungsi sebagai penahan elevasi tanah pada beberapa area berkontur. Selain memiliki daya dukung yang baik, penggunaan batu kali juga memberikan kesan alami yang selaras dengan konsep *Tropical Eco-Hillside Architecture*.



Gambar 5 Pondasi Batu Kali

Struktur rangka batang menggunakan kuda-kuda kayu sebagai penopang utama konstruksi atap. Sistem ini dipilih karena memiliki kekuatan yang baik terhadap beban atap, mudah dibentuk mengikuti geometri atap, serta mampu menciptakan bentang ruang yang lebih luas tanpa banyak kolom di bagian tengah. Selain berfungsi sebagai elemen struktur, rangka kayu juga menjadi elemen estetika yang memperkuat karakter arsitektur tropis dan memberikan kesan hangat serta alami pada bangunan.

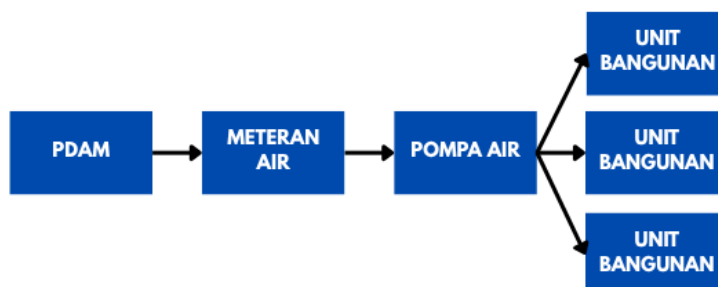


Gambar 6 Struktur Rangka Batang

d. Konsep Utilitas

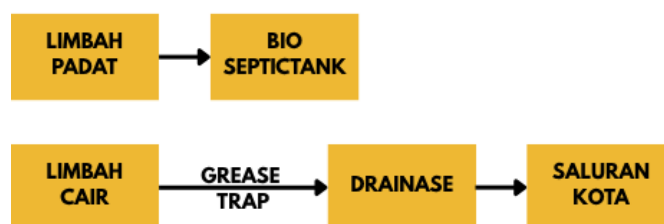
Sumber air bersih pada kawasan diperoleh dari jaringan air bersih yang kemudian ditampung pada *Ground Water Tank* (GWT) sebagai penampungan utama. Selanjutnya, air didistribusikan menggunakan sistem pompa menuju masing-masing bangunan dan fasilitas

kawasan. Sistem ini dipilih agar kebutuhan air dapat terpenuhi secara merata dan mudah dikendalikan.



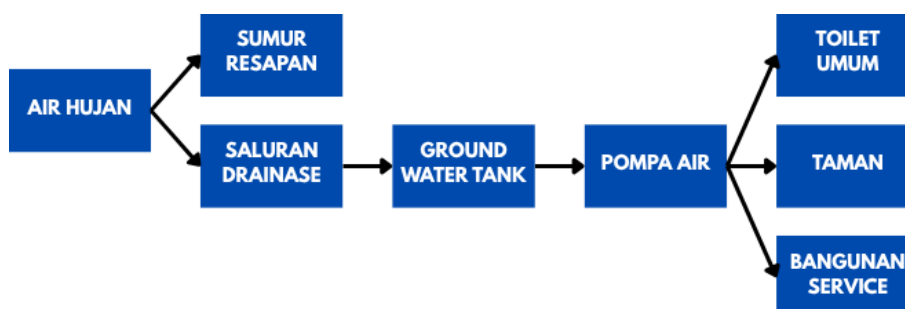
Gambar 7 Alur Skema Air Bersih

Air kotor dari toilet, mushola, café, dan bangunan lainnya dialirkan melalui jaringan perpipaan menuju septic tank dan IPAL (Instalasi Pengolahan Air Limbah) sebelum dibuang ke saluran pembuangan sesuai ketentuan lingkungan. Sistem ini diterapkan untuk menjaga kebersihan kawasan serta mengurangi dampak pencemaran terhadap lingkungan sekitar.



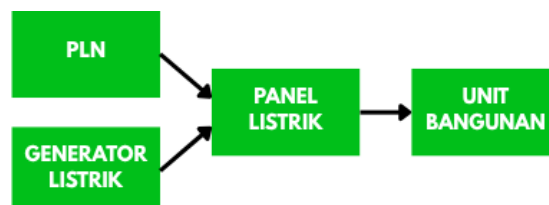
Gambar 8 Alur Skema Air Kotor

Sistem drainase dirancang mengikuti kontur alami kawasan sehingga aliran air hujan dapat mengalir secara alami menuju saluran drainase utama. Air hujan dari atap bangunan ditampung melalui *Ground Water Tank* (GWT) dan sebagian dialirkan menuju sumur resapan sebagai Upaya meningkatkan infiltrasi air tanah serta mengurangi limpasan permukaan.



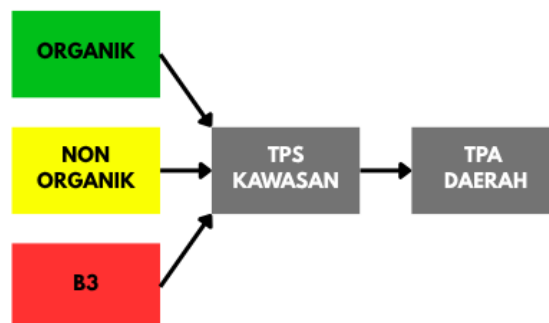
Gambar 9 Alur Sistem Drainase

Sumber listrik kawasan berasal dari jaringan PLN yang didistribusikan melalui panel utama menuju setiap bangunan. Untuk menjaga kontinuitas operasional, kawasan juga dilengkapi dengan genset sebagai sumber listrik Cadangan ketika terjadi pemadaman.



Gambar 10 Alur Sumber Listrik

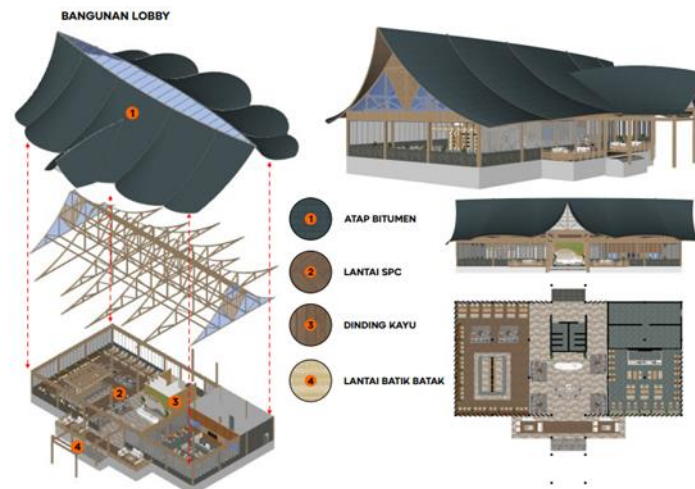
Sistem pengelolaan sampah dilakukan dengan menyediakan tempat sampah terpilah pada setiap area aktivitas pengunjung. Sampah kemudian dikumpulkan pada tempat penampungan sementara (TPS) sebelum diangkut menuju lokasi pengolahan oleh petugas kebersihan. Sistem ini bertujuan menjaga kebersihan kawasan wisata serta mendukung pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan.



Gambar 11 Alur Sistem Pengolahan Sampah

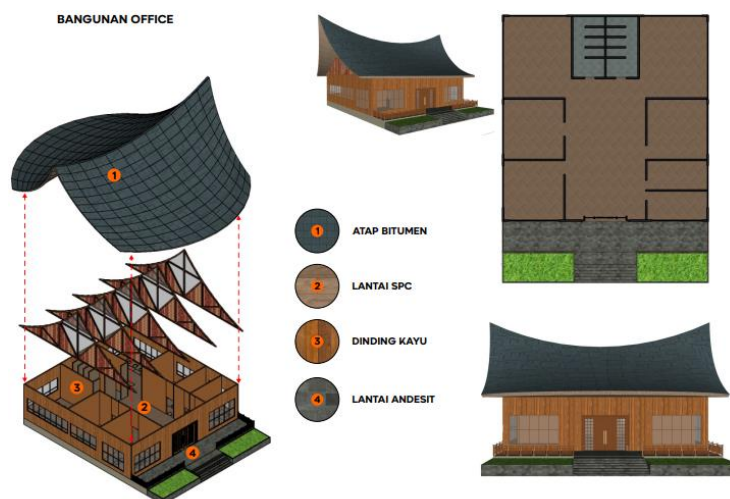
e. Konsep Bangunan

Bangunan lobby merupakan pusat penerimaan pengunjung sekaligus landmark kawasan wisata. Desain mengusung konsep *Tropical Eco-Hillside Architecture* melalui transformasi bentuk atap rumah Batak yang dipadukan dengan karakter perbukitan Tor Sipipisan. Interior mengintegrasikan lobby, bar, dan restaurant dalam satu ruang terbuka sehingga menciptakan sirkulasi yang fleksibel, nyaman, dan memiliki hubungan visual yang kuat dengan lingkungan sekitar.



Gambar 12 Konsep Bangunan Lobby

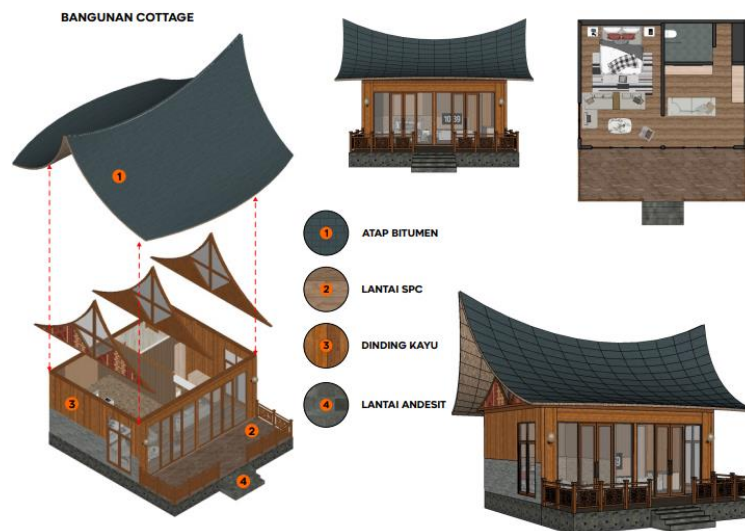
Bangunan kantor pengelola berfungsi sebagai pusat administrasi dan operasional kawasan wisata. Desain mempertahankan identitas kawasan melalui bentuk atap yang terinspirasi dari arsitektur budaya Batak serta penggunaan material kayu dan batu alam. Bukaan kaca yang besar memberikan pencahayaan alami dan ventilasi silang sehingga menciptakan ruang kerja yang nyaman dan efisien.



Gambar 13 Konsep Bangunan Kantor Pengelola

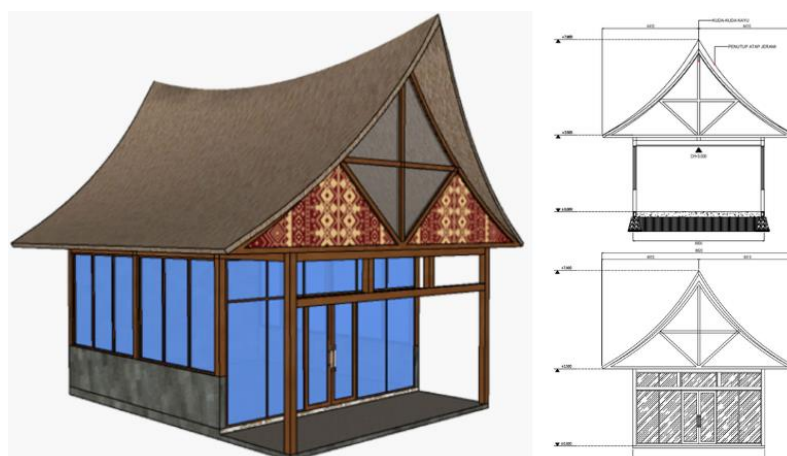
Taman Wisata Tor Sipipisan memiliki 12 unit cottage dengan desain yang dirancang sebagai fasilitas akomodasi yang memberikan suasana privat dan dekat dengan alam. Penempatan cottage mengikuti kontur kawasan agar meminimalkan perubahan lahan serta

memaksimalkan view perbukitan. Penggunaan material alami dan bukan lebar menciptakan suasana ruang yang hangat, nyaman, dan selaras dengan konsep arsitektur tropis.

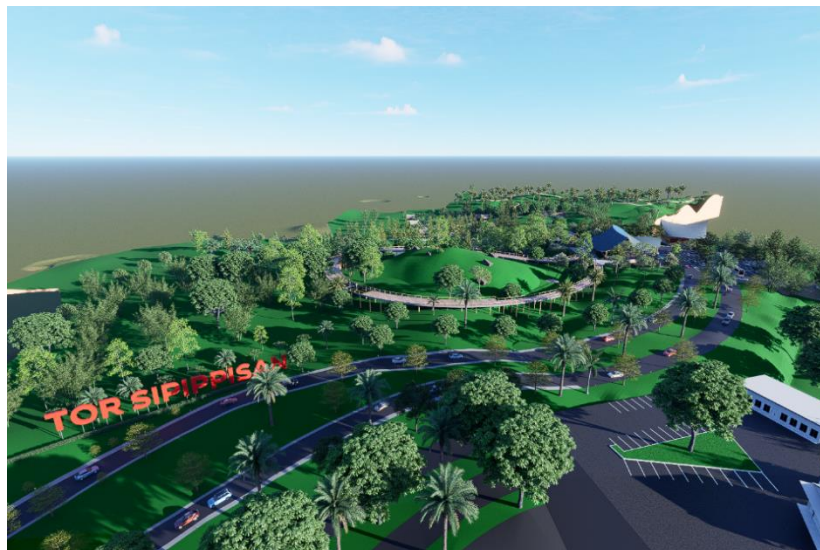


Gambar 14 Konsep Taman Wisata

Bangunan retail café dan UMKM dirancang sebagai fasilitas pendukung wisata yang menggabungkan fungsi kuliner dan promosi produk lokal. Konsep semi terbuka diterapkan agar pengunjung dapat menikmati suasana alam sekitar saat beraktivitas didalam bangunan. Bentuk bangunan mengikuti karakter arsitektur kawasan melalui penggunaan atap lengkung, material kayu, batu alam, dan bukaan yang lebar.

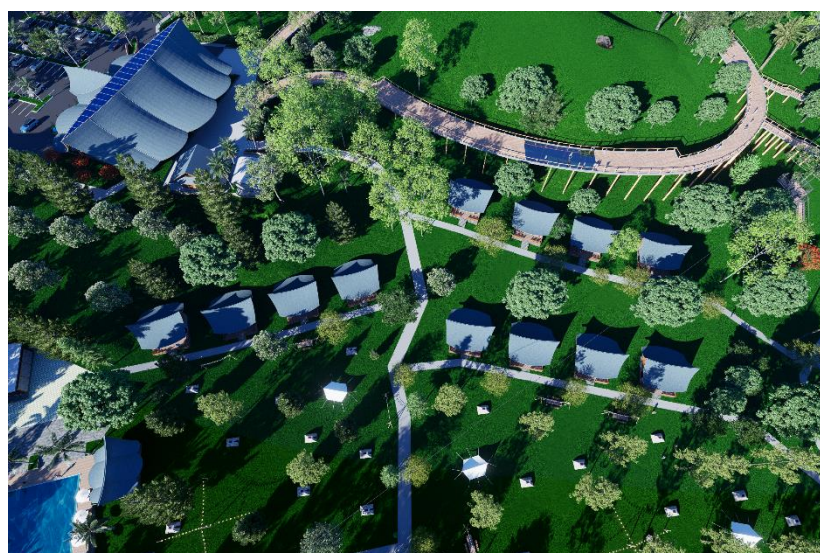


Gambar 15 Konsep Bangunan Retail Caffee dan UMKM

f. 3D Rendering

Gambar 16 Area Depan Kawasan

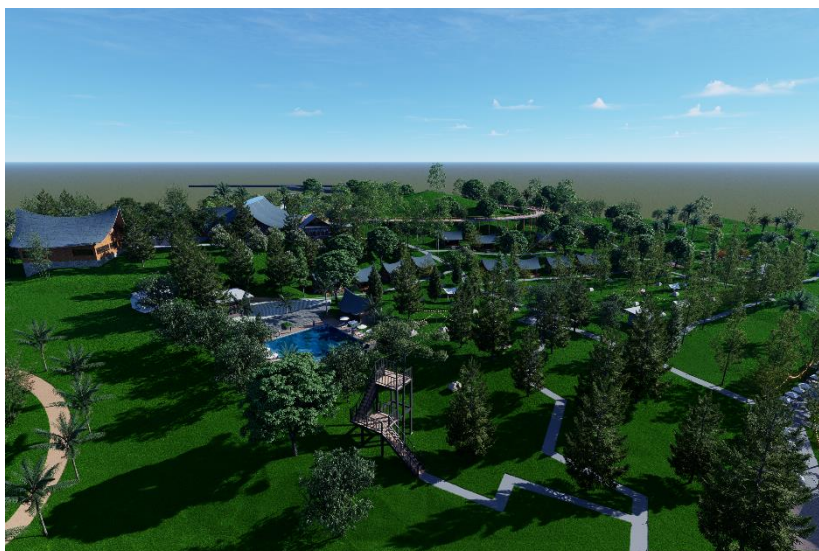
Perspektif udara yang menampilkan area depan kawasan wisata yang menonjolkan hubungan antara arsitektur, lanskap, dan kontur alami. Penempatan bangunan yang mengikuti elevasi lahan serta dominasi vegetasi menciptakan visual kawasan yang dinamis, sekaligus memperkuat konsep *Tropical Eco-Hillside Architecture* sebagai dasar perancangan.



Gambar 17 Area Cottage Dan Camping Ground

Perspektif udara ini memperlihatkan penataan area cottage yang mengikuti kontur alami kawasan dengan pola penyebaran massa bangunan untuk menjaga privasi setiap unit. Setiap

cottage dihubungkan melalui jalur pedestrian dan dikelilingi vegetasi sehingga menciptakan suasana yang tenang, nyaman, serta selaras dengan konsep *Tropical Eco-Hillside Architecture*.



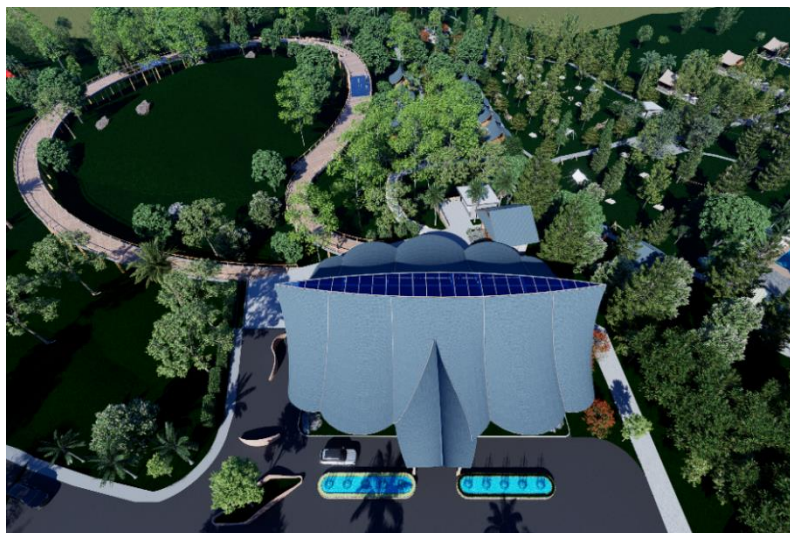
Gambar 18 Area Belakang Kawasan

Perspektif dari area belakang ini memperlihatkan kawasan wisata yang didominasi oleh ruang terbuka hijau dengan penataan bangunan yang mengikuti kontur alami perbukita. Keberadaan vegetasi, pedestrian, cottage, dan kolam berenang membentuk hubungan ruang yang saling terintegrasi, sehingga menciptakan suasana kawasan yang nyaman, alami, serta mencerminkan penerapan konsep *Tropical Eco-Hillside Architecture*.



Gambar 19 Area View Point

Perspektif udara ini menampilkan area *viewpoint* sebagai ikon kawasan yang memanfaatkan kontur bukit untuk menikmati panorama alam. Jalur pedestrian melingkar dengan struktur tiang baja WF dan vegetasi eksisting meminimalkan perubahan lahan.



Gambar 20 Tampak Atas Bangunan Lobby

Perspektif ini memperlihatkan bangunan lobby sebagai elemen transisi yang menghubungkan area parkir dengan kawasan wisata. Penempatan lobby berfungsi sebagai gerbang utama sekaligus pembatas antara zona kedatangan dan area aktivitas wisata. Dari sisi kiri bangunan terdapat jalur pedestrian yang mengarah menuju *viewpoint*, sedang belakang bangunan menjadi akses utama menuju zona primer yang terdiri atas cottage, camping ground, dan berbagai fasilitas wisata lainnya.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Penerapan konsep Tropical Eco-Hillside Architecture pada Kawasan Wisata Tor Sipipisan menghasilkan rancangan kawasan yang adaptif terhadap kondisi topografi dan iklim tropis melalui penataan yang mengikuti kontur alami, sehingga mendukung keberlanjutan lingkungan. Perancangan kawasan mengintegrasikan fungsi wisata, rekreasi, akomodasi, dan fasilitas pendukung dalam sistem zonasi yang terhubung oleh sirkulasi yang terencana untuk meningkatkan kenyamanan dan keamanan pengunjung. Selain itu, tata massa bangunan, lanskap, dan penggunaan material lokal dirancang selaras dengan karakter ekologis kawasan,

sehingga memperkuat identitas Tor Sipipisan sebagai destinasi wisata alam yang berkelanjutan.

Saran

Pengembangan Kawasan Wisata Tor Sipipisan perlu didukung oleh kebijakan pemerintah melalui penetapan kawasan sebagai prioritas pariwisata dan penyusunan masterplan yang terintegrasi. Selain itu, peningkatan infrastruktur akses, pelestarian kondisi alami kawasan, serta pelibatan masyarakat lokal dalam pengelolaan dan pengembangan ekonomi diharapkan dapat meningkatkan daya saing destinasi sekaligus mewujudkan pengembangan wisata yang berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Obaidi, K. M., Ismail, M., & Abdul Rahman, A. M. (2014). *Passive Cooling Techniques Through Reflective And Radiative Roofs In Tropical Houses In Southeast Asia: A Literature Review*. *Frontiers of Architectural Research*, 3(3), 283–297.
<https://doi.org/10.1016/j.foar.2014.06.002>
- Chandel, A., & Mishra, S. (2016). *Ecotourism revisited: Last twenty-five years*. *Czech Journal of Tourism*, 5(2), 135–154. <https://doi.org/10.1515/cjot-2016-0008>
- Dangi, T. B., & Jamal, T. (2016). *An Integrated Approach To “Sustainable Community-Based Tourism.” Sustainability (Switzerland)*, 8(5). <https://doi.org/10.3390/su8050475>
- Handoko, J. P. S. (2019). *Ecological Architecture Concept in Campus Building in Indonesia*. *MATEC Web of Conferences*, 280, 04004.
<https://doi.org/10.1051/matecconf/201928004004>
- Hu, X., Sibley, M., & Davidová, M. (2022). *Applying a Systemic Approach for Sustainable Urban Hillside Landscape Design and Planning: The Case Study City of Chongqing in China*. *Journal of Systemics, Cybernetics and Informatics*, 20(7), 121–153.
<https://doi.org/10.54808/jsci.20.07.121>
- Jain, S. K., Nusari, M. S., Shrestha, R., & Mandal, A. K. (2023). *Use Of RCC Pile, Anchor Bolt And Geogrid For Building Construction On The Unstable Slope*. *Geoenvironmental Disasters*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/s40677-023-00243-8>
- Kawuryan, M. W., Fathani, A. T., Purnomo, E. P., Salsabila, L., Azmi, N. A., Setiawan, D., & Fadhlurrohman, M. I. (2022). *Sustainable Tourism Development in Indonesia*:

- Bibliometric Review and Analysis. Indonesian Journal of Geography*, 54(1), 154–166.
<https://doi.org/10.22146/ijg.64657>
- Kementerian PU RI. (2012). Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 13/PRT/M/2012 tentang Pengelolaan Aset Irigasi. 1–14.
- Kitio, V., Butera, F. M., Adhikari, R., & Aste, N. (2014). *SUSTAINABLE BUILDING Principles and Applications for Eastern Africa*.
- Liao, C. W., Lin, J. H., & Chen, T. W. (2022). *Research on a Framework for Sustainable Campus Eco-Architecture Selection: Taking a Taiwan High School as an Example. Sustainability (Switzerland)*, 14(10). <https://doi.org/10.3390/su14106265>
- Olin, L., & Olin, H. (1992). *From the Planners ' Bookshelf ... Design with Nature*. 1969.
- Organization, W. T. (2013). *Sustainable Tourism For Development Guidebook - Enhancing Capacities For Sustainable Tourism For Development In Developing Countries. Sustainable Tourism for Development Guidebook - Enhancing capacities for Sustainable Tourism for development in developing countries*, 1–229.
<https://doi.org/10.18111/9789284415496>
- Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Padang Lawas Utara Tahun 2014 – 2034, 10 Jurnal KesMaDaSka 166 (2015). <file:///C:/Users/ASUS/Downloads/perda-rtrw-Paluta.pdf>
- Ukoba, M. O., Diemuodeke, O. E., Alghassab, M., Njoku, H. I., Imran, M., & Khan, Z. A. (2020). *Composite Multi-Criteria Decision Analysis For Optimization Of Hybrid Renewable Energy Systems For Geopolitical Zones In Nigeria. Sustainability (Switzerland)*, 12(14), 1–29. <https://doi.org/10.3390/su12145732>
- Zeng, G., Zhao, D., Chen, X., & Wang, X. (2023). *Architectural Design Methods For Mountainous Environments. Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 22(5), 2596–2612. <https://doi.org/10.1080/13467581.2022.216021>.