

Rancangan Kriteria Evaluasi Penerapan *Eco-Design* pada *Roof Garden*

Formulating Evaluation Criteria for Eco-Design Implementation on Roof Garden

Yola Rahma Sabila¹, Indung Sitti Fatimah^{1*}, Andi Gunawan¹

¹Program Studi Arsitektur Lanskap, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor

*Email: indung_fatimah@apps.ipb.ac.id

Artikel Info

Diajukan: 01 November 2024

Direvisi: 12 Januari 2025

Diterima: 12 Januari 2025

Dipublikasi: 01 April 2025

Keywords

Analytical Hierarchy Process

Eco-Design

Roof Garden

ABSTRACT

The high density of cities encourages efforts to create ecological balance, one of which is through the implementation of roof gardens. Roof garden research began with the exploration of its benefits for energy management and currently still can be studied to find a more thorough criteria of applicable roof gardens. Following the growth of the sustainable movement, there is a high need to create design criteria on the basis of eco-design, incorporating environmental aspects to reduce environmental impacts. This concept has been integrated into green building practices through the use of 'Greenship rating tools', however, the criteria for roof gardens have not been comprehensively outlined. Therefore, this research aims to: 1) identify and determine the priority level of the criteria as the key to evaluate eco-design implementation in roof gardens; and 2) develop implementation strategies based on the significance of various alternative decisions from experts. This research was conducted by using Analytical Hierarchy Process (AHP) method through the assessment of selected experts. This research shows that, by hierarchy, the key criteria of eco-design in roof gardens based on significance are: water management (24,4%), vegetation (23,0%), roof garden physical aspects (13,2%), technology (11,5%), management aspect (11,5%), building physical aspect (11,1%), and user behavior (5,3%). The strategy to implement eco-design in roof gardens would be best implemented by several strategies involving: 1) development of a comprehensive roof design concept, 2) the use of environmentally friendly technology and materials; and 3) efficient resource management.

PENDAHULUAN

Tingginya kepadatan kota mendorong pencarian kualitas, pelayanan, fasilitas dan kesempatan yang lebih baik bagi masyarakat, sehingga upaya dilakukan untuk memastikan keberlanjutan dan menciptakan keseimbangan ekologi (Rawal dan Thapa 2022; Faisal *et al.* 2022; Rahmafritria *et al.* 2024). Namun demikian, hal tersebut menjadi tantangan besar, karena ruang untuk penghijauan menjadi semakin terbatas di antara permukiman dan gedung pencakar langit di perkotaan. Beberapa instansi atau pun akademisi berusaha memunculkan konsep-konsep yang kiranya dapat mengatasi permasalahan tersebut. Secara spesifik, implementasi yang nyata, tercipta di dalam konsep *green building*, salah satunya adalah aplikasi *roof garden* pada gedung perkotaan (Rahayu 2020; Ramadhan dan Fatimah 2024;).

Konsep *roof garden*, sebagai solusi untuk mengatasi masalah keterbatasan lahan, mulai diterapkan beberapa tahun belakangan di Indonesia seiring dengan meningkatnya pemahaman terkait keberlanjutan (Rahayu 2020). Tren positif ini juga didukung dengan disahkannya Peraturan Menteri Agraria dan Tata Ruang/ Kepala Badan Pertahanan Nasional RI Nomor 14 Tahun 2022 Tentang Penyediaan dan Pemanfaatan Ruang Terbuka Hijau yang di dalamnya, pada Pasal 7, tertulis bahwa *roof garden* masuk ke dalam tipologi ruang terbuka hijau (RTH) kategori objek ruang pada bangunan (ATR/BPN 2022). *Roof garden* masuk ke dalam tipologi RTH karena diproyeksikan mampu memberikan ruang aktivitas manusia dengan fungsi jasa ekosistem meliputi penyerapan air hujan, menciptakan habitat satwa liar,

berperan dalam insulasi, membantu meredakan polusi udara dan suara, serta mengurangi efek dari pemanasan global (Rahayu 2020; Ramadhan dan Fatimah 2024).

Penelitian terkait dengan *roof garden* mulai berkembang di Indonesia dengan eksplorasi manfaat pada pengelolaan energi bangunan dan lingkungan. Cakupan penelitian *roof garden* masih berpeluang untuk dikaji dalam beberapa fokus seperti parameter lokasi berbasis iklim ataupun kepadatan, inovasi material, dan kriteria *roof garden* yang aplikatif untuk iklim Indonesia. Sudut pandang lain dalam penelitian *roof garden* muncul dari pendalaman prinsip dan konsep arsitektur hijau yang menghasilkan *rating tools* sebagai standar bangunan hijau seperti *Greenship Rating Tools* dari *Green Building Council Indonesia* (GBCI). Meskipun keberadaan *roof garden* pada bangunan menjadi komponen penilaian *green building*, namun, detail penilaiannya belum membahas kriteria dan aspek *roof garden* secara spesifik. Hal ini dipandang berpeluang untuk menjadi celah penelitian terkait detail kriteria evaluasi *roof garden* (Yuliani *et al.* 2020).

Implementasi *roof garden* juga perlu diiringi dengan kebijakan dan perencanaan yang efektif sehingga dapat meningkatkan proteksi terhadap masa hidup *roof garden*. Peran ahli sangat dibutuhkan untuk mempromosikan nilai-nilai yang dapat diandalkan untuk perlindungan keberlanjutan *roof garden* (Rawal dan Thapa 2022). Proteksi dan optimalisasi fungsi *roof garden* mampu dicapai dengan penggunaan prinsip *eco-design* (Septiani *et al.* 2022). Secara umum, desain ekologis mencakup penerapan prinsip-prinsip ekologi untuk memandu desain yang menghasilkan desain ramah lingkungan, tanggap akan aspek fungsi, iklim, dan lanskap, sekaligus memenuhi

kebutuhan manusia (Kurniawaty *et al.* 2012; Anwar dan Kaswanto 2021; Rahmansyah *et al.* 2024). Ilmu pengetahuan tentang prinsip *eco-design* inilah yang perlu dirancang sebagai sebuah kriteria evaluasi *roof garden* untuk melengkapi penilaian arsitektur hijau sebelumnya sesuai dengan rekomendasi ahli dalam bidang terkait.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menentukan tingkat prioritas tiap komponen sebagai kunci evaluasi penerapan *eco-design* pada *roof garden*, serta menyusun strategi implementasi *eco-design* berdasarkan signifikansi keputusan alternatif dari para pakar. Kontribusi yang dilakukan dapat berperan penting untuk penerapan *roof garden* yang ramah lingkungan, dengan fungsi dan masa hidup desain yang berkelanjutan di area urban Indonesia.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan berupa deskriptif kualitatif melalui kajian pustaka dan penilaian pakar. Pustaka yang digunakan diperoleh dari berbagai sumber : 1) *data base scopus* dengan kata kunci ‘*roof garden*’ dan ‘*ecological design*’ tahun 2016-2024, yang diseleksi menggunakan keterkaitan bibliografi dari *software VOS viewer*; buku standar konstruksi *roof garden*, desain lanskap; peraturan SNI atau internasional yang terkait. Keberadaan lokasi penelitian tidak ditentukan pasti, namun secara umum ditunjukkan untuk kawasan urban yang padat bangunan dan beriklim tropis.

Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan bulan Februari hingga Agustus 2024. Mulai dari tahapan persiapan, studi pustaka, diskusi dan penilaian pakar, identifikasi kriteria, hingga penyusunan strategi.

Alat dan Bahan

Alat yang dibutuhkan dalam penelitian antara lain *hardware* berupa *laptop* dan alat tulis. Sementara itu, *software* yang digunakan dalam penelitian ini berupa *Publish and Perish* untuk mengoleksi *database* literatur, *VOS viewer* untuk kajian bibliometrik, *Expert Choice V.11* untuk analisis AHP, *Microsoft Office* untuk mengolah data tulisan serta *Adobe Photoshop* untuk pembuatan gambar ilustrasi.

Tahap Persiapan

Tahapan ini mencakup pemilihan pakar, pengumpulan kajian literatur, konsultasi dengan komisi pembimbing terkait substansi, rancangan dan teknis penelitian serta perizinan pelaksanaan penelitian.

Tahap Identifikasi dan Pembobotan Kriteria Eco-Design

Tahap ini diawali dengan pemetaan jaringan *bibliometric* dari *database scopus* dengan kata kunci *eco-design roof garden* melalui aplikasi *VOS viewer*. Berdasarkan hubungan kata kunci literatur tersebut, dilakukan studi pustaka secara lebih mendalam untuk mengumpulkan data berupa komponen kriteria dan sub-kriteria yang berperan penting bagi topik tujuan (Kurniawaty *et al.* 2012; Desta dan Kaswanto 2021). Hasil tersebut disusun dalam sebuah hierarki dan dilakukan pengujian bobot prioritas komponen menggunakan metode AHP (Pratiwi *et al.* 2014).

Metode AHP merupakan penentuan prioritas dari berbagai alternatif berdasarkan keputusan pakar. Tahapan AHP meliputi:

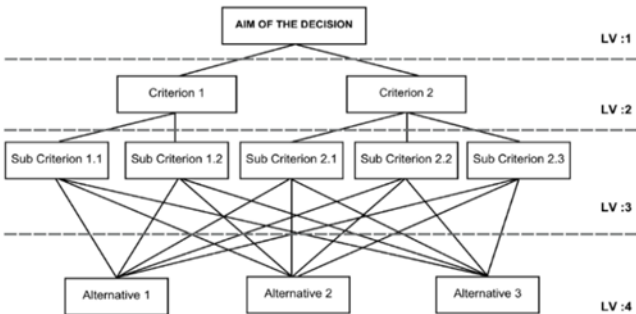
- 1) Penetapan struktur hierarki empat *level* .
Struktur hirarki ini terdiri dari *level* satu yang berupa tujuan utama; *level* kedua merupakan kriteria pembentuk *eco-design roof garden*; *level* ketiga merupakan rangkaian

sub-kriteria yang mempengaruhi kriteria utama; dan *level* keempat merupakan alternatif keputusan sebagai strategi untuk mencapai tujuan utama.

- 2) Pembentukan matriks perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*)

Setiap komponen, variabel dan alternatif dimasukkan dalam matriks perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*) untuk melihat hubungannya dan perbandingan tingkat prioritasnya dalam struktur hirarki (Pratiwi *et al.* 2014). Hal ini diperlukan karena AHP merupakan teknik pengambilan keputusan yang melibatkan banyak kriteria (Harputlugil 2018). Matriks perbandingan kriteria dibentuk dengan berpasangan secara:

- a. Antar kriteria
 - b. Antar sub-kriteria pada tiap kriteria utama
 - c. Antara sub-kriteria dengan alternatif keputusan
- Matriks ini disusun dalam *google form* untuk dilakukan tahapan pembobotan oleh pakar. Perbandingan berpasangan dilakukan untuk melihat hubungan dalam struktur hirarki (Saaty 1993).



Gambar 1. Ilustrasi *pairwise comparison*

- 3) Perhitungan bobot dan komponen penting
Perhitungan bobot dilakukan dengan menggunakan *software Expert Choice V. 11*. Penilaian dilakukan oleh pakar yang memiliki keahlian yang relevan (Pratiwi *et al.* 2014). Penentuan pakar dilakukan menggunakan metode *purposive sampling* dengan tiga kategori, yaitu akademisi, praktisi, dan peneliti *green building*, berjumlah dua orang tiap kategori yang dijabarkan pada Tabel 1.
Prinsip kerja yang dilakukan adalah menilai bobot prioritas antar kriteria yang telah disusun dalam matriks perbandingan berpasangan, dengan penjabaran nilai: 1 (kedua kriteria

Tabel 1. Daftar pakar penilai komponen *eco-design roof garden*

Bidang Keahlian	Jabatan dan Institusi	Nama Pakar
Akademisi bidang Arsitektur Lanskap	Dosen Arsitektur	Dr. Kaswanto.
	Lanskap Institut Pertanian Bogor	SP., M.Si.
		Dr. Ir. Bambang Sulistyantara, M.Agr.
Praktisi/Desainer rooftop garden	Direktur PT. Sheils Flynn Asia	Dedy Guswandi, SP., MM., IALI
	Direktur Costus Garden Indonesia	Ira Puspa Kencana, SP, IALI
	Direktur Utama PT. Tropica Greeneries; Core Founder Green Building Council Indonesia	Ir. Anggia Murni, GP, IALI
Greenship Professionals	Direktur Proyek Yodaya Green Building Consultant	Alexandra Widyanareswari, S.T.

sama penting); 3 (salah satu kriteria sedikit lebih penting); 5 (salah satu kriteria cukup lebih penting); 7 (salah satu kriteria sangat lebih penting); 9 (salah satu kriteria ekstrim pentingnya) (Saaty 1993). Perangkat lunak *Expert Choice V.11* untuk evaluasi AHP digunakan berdasarkan beberapa keunggulan yaitu pelaksanaan evaluasi yang mudah, grafis yang intuitif, perhitungan dan kontrol konsistensi yang simultan serta kesediaan analisis sensitivitas (Ishizaka dan Labib 2009). Analisis sensitivitas ini dilakukan untuk mengamati efek pada prioritas alternatif. Keluaran metode AHP adalah tingkat prioritas komponen *eco-design roof garden*.



Gambar 2. Contoh penilaian bobot prioritas antara dua kriteria

4) Pengujian konsistensi hirarki (*consistency ratio-CR*)

Dilakukan untuk mengetahui tingkat konsistensi preferensi pakar dalam pengisian kuesioner. Data yang valid dalam AHP adalah data dengan *inconsistency ratio* $\leq 10\%$ atau nilai $CR \leq 0,10$ sehingga menunjukkan preferensi penilaian konsisten (Ishizaka dan Labib 2009). Jika tidak, maka akan dilakukan pengulangan atau revisi.

Penyusunan Strategi Penerapan *Eco-Design* pada *Roof Garden*

Tahap ketiga merupakan penyusunan strategi penerapan *eco-design* pada *roof garden*. Strategi ini akan dibuat sesuai dengan urutan prioritas alternatif keputusan untuk mencapai tujuan dari hasil penilaian pakar. Strategi akan disusun dalam bentuk tabel beserta sumber literatur penguat pelaksanaan strategi.

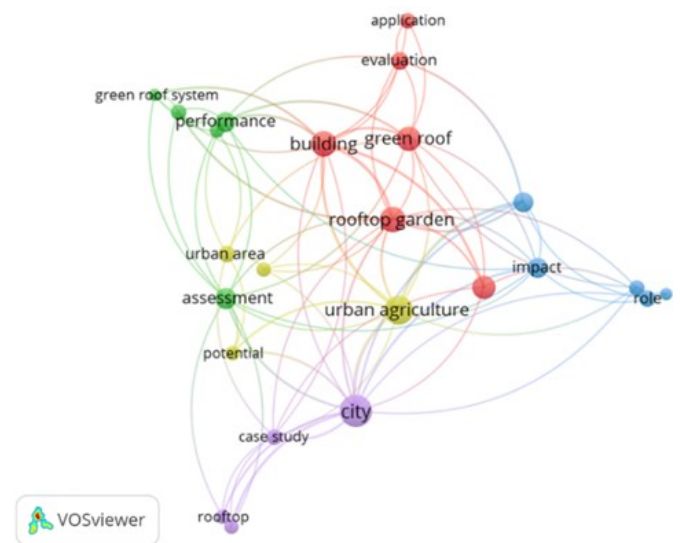
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Identifikasi dan Pengujian Kriteria *Eco-Design*

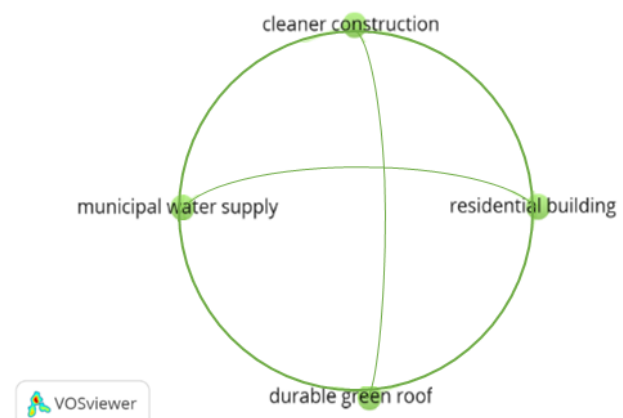
Hasil identifikasi komponen dari jaringan bibliometrik *Vos viewer* meliputi dua grup data. Grup pertama bersumber dari 200 publikasi dengan kata kunci '*roof garden*', yang dapat dilihat pada Gambar 3. Visualisasi pemetaan grup pertama menunjukkan, 5 kluster utama yang menjadi bahasan penting *roof garden* berupa: 1) Pengaplikasian *roof garden* (merah); 2) Konteks lokasi urban (kuning); 3) Sistem dan performa *roof garden* (hijau); 4) Peran *roof garden* (biru); dan 5) Studi kasus *roof garden* (ungu). Sedangkan grup data kedua disusun dari 16 publikasi dengan kata kunci '*eco-design roof garden*' yang ditunjukkan Gambar 4. Pemetaan grup kedua menunjukkan kata kunci yang mengerucut pada konstruksi ramah lingkungan, ketahanan *roof garden* dan kecukupan suplai air dengan fungsi yang baik bagi bangunan hunian. Pemetaan bibliometrik ini berfungsi untuk melihat dinamika terbaru dari penelitian terkait *roof garden* dan *eco-design* dan menyeleksi komponen-komponen tersebut ke dalam grup sebagai faktor yang dianggap paling relevan dan menjadi pondasi teoritis penelitian ini.

Kata kunci ini dikaji kembali menggunakan artikel, sumber buku, dan peraturan standar sehingga menghasilkan data berupa tujuan, kriteria, dan alternatif keputusan yang disusun dalam sebuah struktur hirarki empat level untuk analisis AHP (Gambar 5). Level 1 (tujuan) yaitu implementasi *eco-design* pada *roof garden*. Level 2 (kriteria) yaitu kondisi fisik bangunan, kondisi fisik taman atap, vegetasi, manajemen air,

teknologi, perilaku pengguna, dan pengelolaan. Level 3 (sub-kriteria) meliputi aspek yang lebih terperinci dibawah tiap kriteria, dan level 4 berupa alternatif keputusan yang didasarkan pada analisis kriteria dan sub-kriteria. Secara detail, komponen dijabarkan dalam struktur Gambar 5.



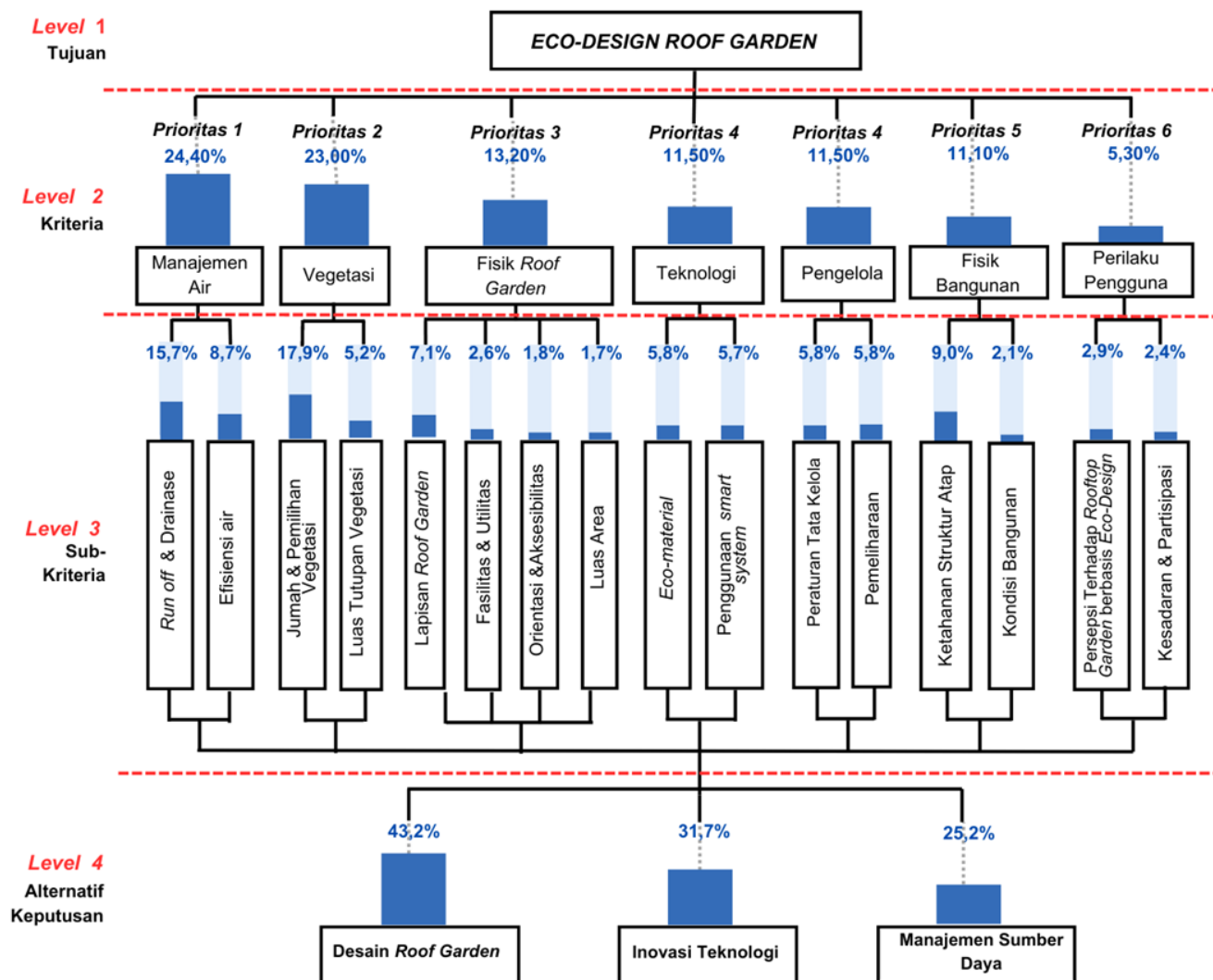
Gambar 3. Jaringan keterhubungan topik '*roof garden*'



Gambar 4. Jaringan keterhubungan topik '*eco-design roof garden*'

Komponen pada tiap level diberikan bobot penilaian oleh pakar melalui perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*) dan dianalisis menggunakan aplikasi *Expert Choice V.11* untuk melihat hubungan serta perbandingan tingkat prioritasnya dalam struktur hierarki (Pratiwi *et al.* 2014). Hasil analisis dan sintesis melalui aplikasi menentukan urutan prioritas komponen penyusun *eco-design roof garden*. Dari sinilah dapat dilihat berapa besar persentase kepentingan tiap sub kriteria dan pengaruhnya terhadap penerapan *eco-design* pada *roof garden*. Hasil penilaian prioritas komponen memiliki *inconsistency* sebesar 0,0097 dan untuk hasil sintesis alternatif keputusan memiliki *overall inconsistency* sebesar 0,02 sehingga telah memenuhi uji konsistensi. Berdasarkan bobot tingkat prioritas hasil penilaian pakar, manajemen air dan aspek vegetasi menjadi kriteria kunci bagi penerapan *eco-design* pada *roof garden*. Dua kriteria ini juga paling berdampak pada upaya adaptasi iklim (Mariski *et al.* 2017).

Pengaruh dan peran komponen kriteria sesuai dengan tingkat prioritas dijabarkan melalui studi literatur. Manajemen air menempati prioritas pertama karena salah satu fungsi yang dituju dari *roof garden* adalah meminimalisir *run-off* dan secara ekologis akan lebih bernilai jika dalam pengelolaanya

Gambar 5. Struktur hierarki komponen penyusun *eco-design roof garden*

mengutamakan efisiensi air dengan *stormwater management system* (Lestari *et al.* 2017). Luas tutupan dan pemilihan vegetasi, pada prioritas kedua, penting untuk menjamin ketahanan dan berperan dalam menentukan kualitas ekologis maupun manfaat yang didapatkan. Khusus untuk *roof garden* perlu dipastikan tanaman tahan terhadap iklim pada ketinggian diatas gedung dengan paparan matahari langsung (Sulistiyantara *et al.* 2004). Reduksi *urban heat island* akan terasa pengaruhnya jika tutupan hijau mencapai minimal 50% luas atap (Berndtsson 2010). Vegetasi tambahan juga dapat diterapkan secara vertikal dengan implementasi *green panel* sebagai *secondary skin* bangunan gedung (Serlan *et al.* 2013).

Komponen fisik *roof garden* pada prioritas ketiga. Orientasi, akses, dan luasan *roof garden* akan memberikan kenyamanan dan fleksibilitas pengguna. Sementara fasilitas dan utilitas penting untuk mengakomodasi aktivitas user serta memastikan keamanan. Lapisan *roof garden* dengan material ekologis dan tebal lapisan yang sesuai akan berperan dalam durabilitas taman dan bangunan (Townshend 2007). Untuk lapisan media tanam, dapat dipilih campuran yang dicampur dengan unsur anorganik seperti *perlite* atau agregat tanah liat. Campuran ini digunakan untuk memastikan retensi dan drainase air yang baik (Xue dan Farrel 2020).

Pada prioritas keempat terdapat implementasi teknologi. Integrasi teknologi *smart system* dapat menjadi investasi untuk mencapai efisiensi pengelolaan secara ramah lingkungan (Zaman 2022; Sutrisno dan Hermanto 2020). Sementara itu, penggunaan dan pemilihan material ekologis dengan durabilitas tinggi akan meningkatkan masa hidup *rooftop garden*

dan mengurangi pengeluaran untuk perawatan khusus. Pengelolaan memiliki tingkat prioritas setara dengan teknologi karena berperan dalam meminimalisir penggunaan energi dan sumber daya untuk mencapai keberlanjutan. Fisik bangunan pada prioritas ke-lima berpengaruh dalam kemampuan struktur menopang jenis *roof garden* yang diimplementasikan beserta beban hidup dan beban matinya (Nuryanti *et al.* 2024). Fisik bangunan perlu mengaplikasikan proteksi lapisan kedap air untuk menjaga struktur (Wang 2018). Faktor perilaku pengguna berada pada prioritas akhir karena dianggap sebagai faktor eksternal (Afiyana dan Kaswanto 2021). Visi perancang dalam menerapkan prinsip *eco-design* dapat dilaksanakan dengan baik jika pengguna memiliki pemahaman terkait desain ekologis.

Parameter Kriteria Evaluasi Implementasi *Eco-Design*

Tingkatan prioritas kriteria mampu menjadi acuan untuk mengevaluasi implementasi *roof garden* berbasis *eco-design* yang dirincikan dalam bentuk parameter pada Tabel 2.

Parameter, dalam konteks evaluasi, merujuk pada faktor terukur dalam kriteria yang digunakan untuk sebagai tolak ukur efektivitas dan kinerja dari suatu sistem dan ditujukan untuk mencapai tingkat hasil desain yang diinginkan. Kelayakan parameter didapat dari relevansinya terhadap tujuan evaluasi serta kapasitas untuk menghasilkan data yang dapat diukur atau dinilai. Parameter yang baik dikomposisi dari penelitian sebelumnya ataupun pedoman *best practice* yang telah ditetapkan sesuai dengan konteks dan bidang terkait (Deiteren *et al.* 2021).

Tabel 2. Parameter kriteria evaluasi penerapan *eco-design* pada *roof garden*

Prioritas	Kriteria & Sub -Kriteria	Parameter
1	Manajemen Air <i>Run Off</i> dan Drainase ^{1,2} Efisiensi Air ³	Kemiringan atap; Jumlah saluran drainase; Tingkat retensi lapisan drainase <i>roof garden</i> ; Luas genangan; Lama genangan. Keberadaan sistem <i>storm water management</i> ; Tingkat pelayanan air bersih; Kebutuhan standar air bersih; Selisih pelayanan <i>vs</i> kebutuhan
2	Vegetasi Luas Tutupan Vegetasi ^{4,5} Pemilihan Vegetasi ^{6,7,8}	Persentase tutupan vegetasi Toleran kekeringan; Persentase penggunaan spesies lokal; Keberagaman strata vegetasi; Keberadaan tanaman pengundang satwa; Estetika pola penanaman
3	Fisik <i>Roof Garden</i> Orientasi & Aksesibilitas ^{8,9} Luas Area ⁸ Fasilitas & Utilitas ⁸ Lapisan <i>Roof Garden</i> ^{8,10,11}	Lokasi ketinggian <i>roof garden</i> ; Orientasi arah matahari; Orientasi arah angin; Keselarasan lingkungan sekitar; Aksesibilitas; Kemudahan akses secara inklusif; Keberadaan <i>safety requirements</i> Memadai untuk area <i>planting</i> , akses jalan, utilitas dan fasilitas; Skala pengakomodasian aktivitas dan fasilitas Kelengkapan fasilitas dan utilitas; Tingkat kegunaan; Estetika <i>layout</i> fasilitas; Estetika komponen fasilitas Kondisi lapisan; Penggunaan lapisan insulasi; Aplikasi lapisan tahan air dan proteksi akar; Keseimbangan komposisi media tanam; Ketebalan media tanam
4	Teknologi Penggunaan <i>Smart System</i> ¹² <i>Eco-Material</i> ¹³	Penggunaan perangkat sistem otomatis; Penggunaan <i>drip irrigation system</i> ; Penggunaan energi terbarukan Penggunaan material rekayasa teknologi; Penggunaan material daur ulang; Penggunaan material permeabel
4	Pengelolaan Peraturan Tata Kelola ^{17,18,19} Pemeliharaan ¹⁴	Struktur pengelolaan; Peran <i>stakeholder</i> ; Efektivitas alokasi sumber daya Pengembangan dan pengawasan; Praktik pemeliharaan berkelanjutan; Pengetahuan dan <i>training</i>
5	Fisik Bangunan Kondisi Bangunan ⁸ Ketahanan Struktur Atap ^{15,16}	Bangunan baru <i>vs</i> existing; Kerentanan area/ ruang di bawah <i>roof garden</i> Kemampuan menahan beban
6	Perilaku Pengguna Persepsi terhadap <i>Roof Garden</i> ²⁰ Kesadaran & Partisipasi ^{8,20}	Pengalaman terhadap <i>roof garden</i> ; Preferensi penggunaan, Kesadaran menjaga kondisi taman; Partisipasi dalam perawatan

Sumber: ¹Weiler dan Barth (2009), ²Badan Standarisasi Nasional (2015), ³First Lego League Guidelines (2018), ⁴Carter dan Jackson (2007), ⁵Mentens *et al.* (2006), ⁶Cakar *et al.* (2022), ⁷Sattler *et al.* (2020), ⁸Townshend (2007), ⁹Lucket (2009), ¹⁰Wong *et al.* (2003), ¹¹Braun *et al.* (2020), ¹²Zaman (2022), ¹³Whittinghill dan Rowe (2011), ¹⁴Yacob *et al.* (2021), ¹⁵Cascone (2019), ¹⁶Altor (2010), ¹⁷Leonard dan Irechukwu (2023), ¹⁸Ampornpitak *et al.* (2023), ¹⁹Liu (2023), ²⁰Sugiyono (2019)

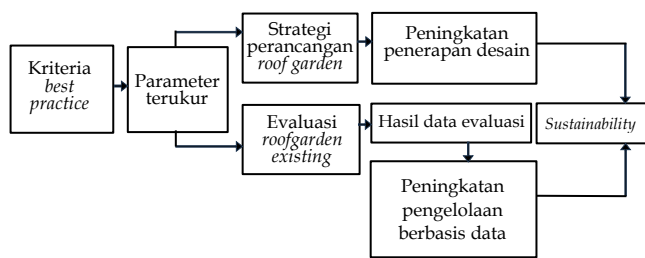
Susunan parameter yang dijabarkan dalam Tabel 2 bersumber dari hasil kajian terkait perencanaan dan manajemen *roof garden*, komponen lanskap, konstruksi, serta desain ekologis sesuai dengan tingkat signifikansi hasil penilaian pakar. Berdasarkan Tabel 2, jelas bahwa kriteria evaluasi untuk penerapan desain ramah lingkungan pada taman atap bersifat multifaset. Parameter ini menyediakan kerangka acuan yang komprehensif untuk menilai efisiensi, keberlanjutan, dan kelayakan desain ramah lingkungan pada taman atap.

Evaluasi terperinci melalui sub-kriteria ini memastikan bahwa aspek utama seperti manfaat lingkungan, keselamatan, dan kegunaan praktis ditangani secara efektif pada *roof garden existing*. Kumpulan komponen parameter ini juga dapat digunakan untuk mempromosikan praktik berkelanjutan di lanskap perkotaan. Karena, melalui pertimbangan yang cermat terhadap faktor-faktor tersebut, keberlanjutan jangka panjang taman atap dapat ditingkatkan secara signifikan, yang dapat disusun dalam bentuk strategi bagi perencanaan *roof garden* baru. Keberlanjutan menjadi hal yang utama dalam pengelolaan lanskap yang jangka panjang (Suminah *et al.* 2017; Triana *et al.* 2020; Syawie *et al.* 2023; Effendi *et al.* 2024)

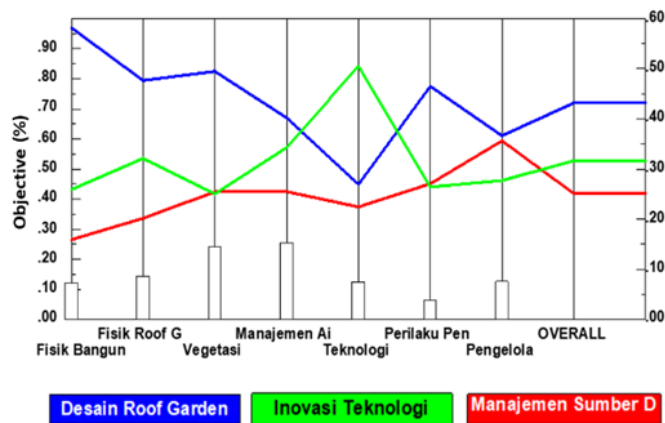
Strategi Penerapan *Eco-Design Roof Garden*

Pada hasil pengujian komponen, alternatif yang menjadi prioritas utama adalah desain *roof garden*, dengan hubungan dan pengaruh paling besar pada setiap komponen penting diikuti inovasi teknologi dan manajemen sumber daya, terlihat pada *performance sensitivity* pada Gambar 7. Performa ini dapat terjadi karena pada dasarnya semua aspek pada *roof garden* dimulai dari proses desain.

Desain berperan sebagai serangkaian solusi yang diajukan untuk menyelesaikan masalah dan mencapai tingkat hasil yang diinginkan dalam kerangka kriteria yang ditentukan, salah satu contohnya adalah untuk mencapai prinsip *eco-design*. Secara spesifik desain lanskap dapat mencakup berbagai kriteria yang ditetapkan sesuai dengan karakteristik proyek, namun secara luas, kriteria evaluasi yang bersifat universal juga penting untuk acuan dasar (Harputlugil 2018; Rahmansyah *et al.* 2024). Desain *roof garden* mencakup keseluruhan proses dari penyesuaian kekuatan beban struktur, zonasi penggunaan ruang, perencanaan aktivitas, pemilihan



Gambar 6. Diagram hubungan fungsi parameter

Gambar 7. Performance sensitivity terhadap tujuan penerapan *eco-design roof garden*

dan *layouting* elemen *hardscape* maupun *softscape*, rencana kelengkapan utilitas dan *safety* yang diperlukan.

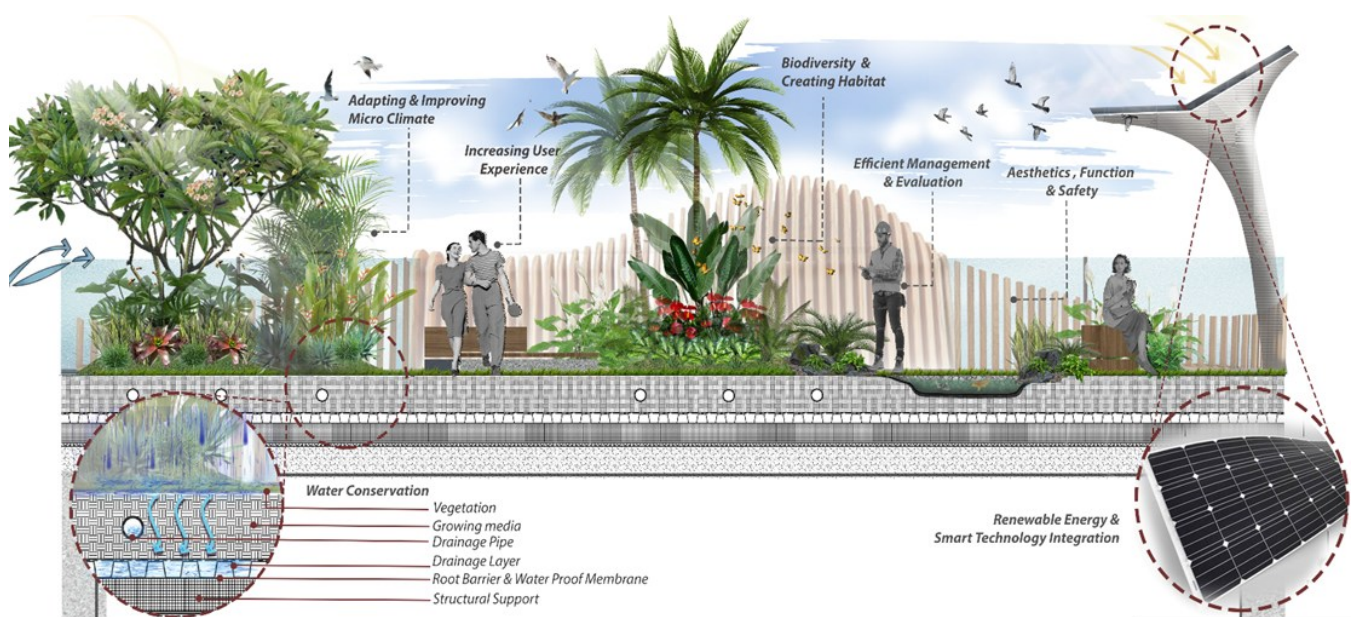
Desain berperan sebagai serangkaian solusi yang diajukan untuk menyelesaikan masalah dan mencapai tingkat hasil yang diinginkan dalam kerangka kriteria yang ditentukan, salah satu contohnya adalah untuk mencapai prinsip *eco-design*. Secara spesifik desain lanskap dapat mencakup berbagai kriteria yang ditetapkan sesuai dengan karakteristik proyek, namun secara luas, kriteria evaluasi yang bersifat universal juga penting untuk acuan dasar (Harputlugil 2018). Desain *roof garden* mencakup keseluruhan proses dari penyesuaian kekuatan beban struktur, zonasi penggunaan ruang, perencanaan aktivitas, pemilihan dan

layouting elemen *hardscape* maupun *softscape*, rencana kelengkapan utilitas dan *safety* yang diperlukan.

Menurut Semeraro *et al.* (2021), merancang desain *roof garden* dengan menekankan biodiversitas merupakan cara untuk memperkaya ekosistem perkotaan dan meningkatkan efek rekreasional. Untuk mencapai keberlanjutan, desain yang multifungsi serta adaptif terhadap iklim lingkungan juga diperlukan. Studi menunjukkan bahwa taman atap yang dirancang dengan baik dapat menghemat energi hingga 15% dengan peningkatan insulasi bangunan (Luan dan Zhang 2016). Selain itu, mengikutsertakan pengguna dalam proses perancangan, akan menumbuhkan rasa kepemilikan yang mengarah pada praktik berkelanjutan dan kesadaran terkait dengan kualitas lingkungan (Rejoni *et al.* 2016).

Inovasi teknologi memiliki dalam pencapaian *eco-design* dalam upaya efisiensi dan optimalisasi penerapannya. Teknologi irigasi dan pengelolaan air hujan, diperlukan untuk menghemat air dan mengurangi *runoff* (Zaman 2022). Begitupula pemakaian material modern dan alternatif inovasi media tanam yang lebih ringan dan tahan lama. Salah satu contohnya berupa batu tulis atau serpih ekspansi termal untuk memastikan integritas struktural (Whittinghill dan Rowe 2011). Komponen seperti bahan limbah daur ulang berpotensi digunakan pada media tanam, tetapi konsentrasi kontaminan harus dipertimbangkan (Cakar *et al.* 2022). Selain menghemat energi, integrasi teknologi *photovoltaic* pada *roof garden* akan meningkatkan produksi energi terbarukan (Ciriminna *et al.* 2019). Kelayakan ekonomi taman atap merupakan parameter penting yang dipengaruhi oleh teknologi, sehingga penerapan teknologi merupakan investasi bagi keberlanjutan *roof garden*.

Manajemen sumber daya juga bergantung pada rancangan desain *roof garden*, baik tipe intensif ataupun ekstensif, dan bagaimana desain tersebut bisa menekan keperluan perawatannya. Keahlian pengelola dengan pemahaman terkait *eco-design* juga berpengaruh dalam efisiensi manajemen sumber daya. Penilaian berkala terhadap kesehatan tanaman, penggunaan air, dan keanekaragaman hayati dapat menginformasikan strategi pengelolaan adaptif yang memungkinkan pengelola membuat keputusan berdasarkan data (Rusciano *et al.* 2020). *Point-point* strategi penerapan *eco-design* berdasarkan hubungan dan tingkat prioritas pada alternatif keputusan dapat dijabarkan pada Tabel 3.

Gambar 8. Ilustrasi strategi implementasi *eco-design* pada *roof garden*

Tabel 3. Strategi penerapan *eco-design* pada *roof garden*

No	Aplikasi Eco-Design	Strategi Penerapan <i>Eco-Design</i> pada <i>roof garden</i>
1.	Pengembangan Konsep dan Kriteria Desain (Weiler dan Barth 2009; Dube 2019)	- Analisis tapak yang komprehensif dengan melakukan asesmen iklim lokal, cahaya dan angin serta kapasitas struktural - Melibatkan fokus biodiversitas dengan penggunaan spesies lokal dan ramah <i>pollinator</i> - Menyediakan desain yang multi-fungsional - Perencanaan drainase efisien untuk <i>stormwater management</i> - Keseimbangan estetika dan fungsi dalam rancangan - Mendukung aksesibilitas pengguna untuk interaksi dan perawatan - Mengembangkan rancangan dengan performa termal yang baik dari pemilihan tanaman dan <i>layout</i> - Memperluas area hijau dengan desain fasad hijau bangunan - Melibatkan komunitas pengguna dalam perancangan
2.	Aplikasi Teknologi dan Inovasi Material (Cascone 2019; First Lego League Guidelines 2018)	- Penggunaan media tanam hasil rekayasa yang ringan namun kaya nutrisi - Menggabungkan panel surya untuk manfaat ganda menghasilkan energi <i>Smart irrigation system</i> menggunakan penyiraman otomatis atau sensor kelembaban - Penggunaan material daur ulang/<i>engineered eco-material</i> pada elemen struktural
3.	Efisiensi Manajemen Sumberdaya (First Lego League Guidelines 2018)	- Penetapan kerangka kerja untuk evaluasi kinerja - Konservasi air dengan menggunakan air limbah sebagai irigasi - Penerapan penanaman yang berkelanjutan dengan tanaman tahan kekeringan dan minimal sumber daya - Memaksimalkan potensi iklim, curah hujan, sinar matahari dan angin dalam desain dan perawatan - Program pelatihan tentang teknik pengelolaan berkelanjutan - Perencanaan siklus hidup dan perawatan material

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Kriteria penerapan *eco-design* pada *roof garden* sesuai dengan tingkat prioritasnya meliputi manajemen air (24,4%); vegetasi (23,0%); fisik *roof garden* (13,2%); teknologi dan pengelola dengan persentase seri (11,5%); fisik bangunan (11,1%); dan perilaku pengguna (5,3%). Kriteria ini dilengkapi dengan parameter evaluasi untuk menilai efisiensi desain ramah lingkungan secara terukur. Alternatif keputusan untuk mewujudkan *eco-design* pada *roof garden* adalah melalui rancangan desain *roof garden* (43,3%), diikuti inovasi teknologi (31,7%) dan manajemen sumber daya (25,2%). Hal ini menunjukkan bahwa prinsip *eco-design* perlu direncanakan sejak awal desain *roof garden* untuk diterapkan pada setiap komponen pembentuknya. Hasil kajian strategi untuk menunjang implementasi *eco-design roof garden* antara lain: 1) pengembangan konsep desain yang komprehensif melalui peningkatan keanekaragaman hayati, integritas struktur yang baik, sistem multifungsi, keterlibatan pengguna, serta penyediaan estetika dan performa ekologi ; 2) penggunaan teknologi dan material yang ramah lingkungan dengan upaya integrasi energi terbarukan; dan 3) efisiensi manajemen sumber daya dengan upaya konservasi air dan energi, serta peningkatan kualitas sumber daya.

Saran

Hasil pembobotan prioritas kriteria berdasarkan penilaian pakar ini bermanfaat sebagai acuan perancangan maupun evaluasi penerapan *eco-design roof garden*. Pembobotan ini dapat dikembangkan dalam bentuk matriks *checklist* penilaian evaluasi untuk melihat performa ekologi *roof garden* dan diuji coba pada Lokasi studi kasus dan membuktikan prioritas kriteria komponen dalam evaluasi

DAFTAR PUSTAKA

- [ATR/BPN] Kementerian Agraria dan Tata Ruang/Kepala Badan Pertahanan Nasional RI. 2022. Peraturan Menteri ATR/BPN Nomor 14 Tahun 2022 tentang Penyediaan dan Pemanfaatan Ruang Terbuka Hijau.
- Afiyanita H, Kaswanto RL. 2021. Evaluation of Urban Landscape Visual Quality based on Social Media Trends in Bogor City. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 622(1): 012022. IOP Publishing. <http://doi.org/10.1088/1755-1315/622/1/012022>
- Altort A. 2010. Green Roofing in Indiana: Case Studies and Design Notes. *Journal of Green Building* 5(3): 50-68. <https://doi.org/10.3992/jgb.5.3.50>
- Anwar S, Kaswanto RL. 2021. Analysis of Ecological and Visual Quality Impact on Urban Community Activities in Bogor City. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 879(1): 012035. IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/879/1/012035>
- Ampornpitak R, Khbpee P, Unawong W, Leksungnoen N, Torngern P. 2023. An Urban Tree (*tabebuia argentea*) Exhibits Higher Sensitivity to Environmental Conditions than an Urban Palm (*Ptychosperma macarthurii*) Growing in the Same Roof Garden: An Implication for Sustainable Urban Water Use. *Applied Environmental Research* 45(1): 1-10. <https://doi.org/10.35762/AER.2023003>
- Badan Standardisasi Nasional. 2015. *Sistem Plambing pada Bangunan Gedung Standar Nasional Indonesia (SNI) 8153:2015*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Berndtsson JC. 2010. Green Roof Performance towards Management of Runoff Water Quantity and Quality: A Review. *Ecological Engineering* 36(4): 351-360. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.12.014>
- Braun JA, Maranhão FL, Monte R. 2020. Behavior of Waterproofing Systems Exposed to Environmental

- Agents. XV International Conference on Durability of Building Materials and Components; 2020 Okt 20-23; Barcelona, Spanyol. Barcelona: UPC-Barcelona Tech. 1-8. <https://doi.org/10.23967/dbmc.2020.015>
- Cakar H, Saraçoğlu Ö, Akat H, Adanacıoğlu H. 2022. Performance Analysis of Different Geotextile Materials in Extensive Roof Garden Designs. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 30(4): 484-492. <https://doi.org/10.3846/jeelm.2022.18057>
- Carter T, Jackson CR. 2007. Vegetated Roofs for Stormwater Management at Multiple Spatial Scales. *Landscape and Urban Planning* 80(1-2): 84-94. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2006.06.005>
- Cascone S. 2019. Green Roof Design: State of the Art on Technology and Materials. *Sustainability* 11(11): 3020. <https://doi.org/10.3390/su11113020>
- Ciriminna R, Meneguzzo F, Pecoraino M, Pagliaro M. 2019. Solar Green Roofs: CIIA Unified Outlook 20 Years On. *Energy Technology* 7(6): 1-10. <https://doi.org/10.1002/ente.201900128>
- Deiteren A, Coenen E, Lenders S, Verwilt P, Mannaert E, Rasschaert F. 2021. Data Driven Evaluation of Healthy Volunteer Characteristics at Screening for Phase I Clinical Trials to Inform on Study Design and Optimize Screening Processes. *Clinical and Translational Science* 14(6): 2450-2460. <https://doi.org/10.1111/cts.13113>
- Desta A, Kaswanto RL. 2021. Analysis of Vegetation Biodiversity and Urban Park Connectivity as Landscape Services Provider in Bogor City. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 694(1): 012020. IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/694/1/012020>
- Dube J. 2019. *Green roof guidelines for planning*. Hamburg: Free and Hanseatic City of Hamburg, Ministry of Environment and Energy (BUE).
- Effendi M, Nurhayati HSA, Arifin HS. 2024. Strategi Pengelolaan Lanskap Wisata di Perkampungan Budaya Betawi Setu Babakan Jakarta. *Jurnal Lanskap Indonesia* 16(1): 84-98. <https://doi.org/10.29244/jli.v16i1.48700>
- Faisal B, Dahlan MZ, Arifin HS, Nurhayati, Kaswanto RL, Nadhiroh SR, Wahyuni TS, Irawan SNR. 2022. Landscape Character Assessment of Pekarangan towards Healthy and Productive Urban Village in Bandung City, Indonesia. *International Conference on Sustainable Environment, Agriculture and Tourism (ICOSEAT 2022)*: 778-784. Atlantis Press. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-086-2_102
- First Lego League Guidelines. 2018. *Green roof Guidelines*. Bonn: Landscape Development and Research Society
- Harputlugil T. 2018. Analytic Hierarchy Process (AHP) as An Assessment Approach for Architectural Design: Case Study of Architectural Design Studio. *International Journal of Architecture and Planning* 6(2): 217-245. doi: 10.15320/ICONARP.2018.53
- Ishizaka A, Labib A. 2009. Analytic Hierarchy Process and Expert Choice: Benefits and Limitations. *OR Insight* 22(4): 201-220. <https://doi.org/10.1057/ori.2009.10>
- Kurniawaty P, Gunawan A, Surjokusumo S. 2012. Kajian Konsep Desain Taman dan Rumah Tinggal Hemat Energi. *Jurnal Lanskap Indonesia* 4(1):1-8. <https://doi.org/10.29244/jli.2012.4.1.%25p>
- Leonard K, Irechukwu EN. 2023. Stakeholder's Engagement and Performance of Urban Informal Settlement Upgrading Project in Kigali City: A Case of Mpazi Project, Nyarugenge District. *Journal of Entrepreneurship and Project Management* 7(11):96-116. <https://doi.org/10.53819/81018102t5296>
- Lestari E, Wirantina IK, Hidayawanti R. 2017. Analisa Taman Atap dalam Upaya Mengurangi Limpasan Air Hujan pada Bangunan Perkotaan. *Jurnal Kajian Ilmu dan Teknologi* 6(2): 81-89.
- Liu H, Hou C, Ramzani SR. 2023. Application of "Ecological Design" Concept in Rural Leisure Landscape Design. *Jurnal Atma Inovasia* 3(2): 178-185. <https://doi.org/10.24002/jai.v3i2.6849>
- Luan D, Zhang Z. 2016. Study on Architecture and Microclimate Effect of Combined Container Roof Garden. *Proceedings of the 2016 6th International Conference on Machinery, Materials, Environment, Biotechnology and Computer. Advances in Engineering Research* 1522-1526 <https://doi.org/10.2991/mmebc-16.2016.310>
- Lucket K. 2009. *Green Roof Construction and Maintenance*. New York (NY): The McGraw-Hill Companies, Inc
- Mariski, Nasrullah N, Gunawan A. 2017. Persepsi dan Preferensi Pengunjung terhadap Kenyamanan Klimatologis di Taman Menteng dan Taman Honda Tebet. *Jurnal Lanskap Indonesia* 9(1):24-35.
- Mentens J, Raes D, Hermy M. 2006. Green Roofs as A Tool for Solving the Rainwater Runoff Problem in the Urbanized 21st Century. *Landscape and Urban Planning* 77(3):217-226. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2005.02.010>
- Nuryanti P, Fatimah IS, Zain AM, Nasrullah N. 2024. *Desain Konstruksi Roof Garden pada Gedung Bertingkat*. IPB Press.
- Pratiwi V, Gunawan A, Fatimah IS. 2014. Kajian Ecodesign Lanskap Permukiman Perkotaan. *Jurnal Lanskap Indonesia* 6(1): 25-33. <https://doi.org/10.29244/jli.2014.6.1.25-30>
- Rahayu Y. 2020. Analisis Konsep Green Roof dan Permodelan Desain Sederhana. *Vitruvian Jurnal Arsitektur Bangunan dan Lingkungan* 10(1): 53. doi: 10.22441/vitruvian.2020v10i1.007
- Rahmafritia F, Pratama AR, Kaswanto RL, Miller L. 2024. Tourism Accessibility in A Protected Area: Toward the Psycho-social Approach. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 1366(1): 012016. IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1366/1/012016>
- Rahmansyah MA, Purnamasari WD, Parlindungan J. 2024. Pengembangan Taman Kota Berdasarkan Kesesuaian Elemen Fisik terhadap Pemanfaatan RTH Publik di Taman Lokomotif Kabupaten Bojonegoro. *Jurnal Lanskap Indonesia* 16(2): 189-198. <https://doi.org/10.29244/jli.v16i2.53261>
- Ramadhan MA, Fatimah IS. 2024. Desain Taman Atap pada Gedung SMP Pesat Bogor Berdasarkan Preferensi Pengguna. *Jurnal Lanskap Indonesia* 16(2): 117-127. <https://doi.org/10.29244/jli.v16i2.45152>
- Rawal S, Thapa S. 2022. Assessment of the Status of Rooftop Garden, Its Diversity, and Determinants of Urban Green Roofs in Nepal. *Scientifica (Cairo)*. 2022(21):13 .doi: 10.1155/2022/6744042.
- Rejoni R, Sulistyantara B, Fatimah IS. 2016. Penerapan Sistem Perangkat Penilaian pada Kawasan Perumahan, Studi Kasus Kawasan Perumahan di Kota Bogor, Indonesia. *Jurnal Lanskap Indonesia* 8(2): 15-27. <https://doi.org/10.29244/jli.v8i2.14395>
- Rusciano V, Civero G, Scarpato D. 2020. Social and Ecological High Influential Factors in Community Gardens Innovation: an Empirical Survey in Italy. *Sustainability* 12(11): 4651. <https://doi.org/10.3390/su12114651>
- Saaty TL. 1993. *Pengambilan Keputusan Bagi Para Pemimpin, Proses Hierarki Analitik untuk Pengambilan Keputusan dalam Situasi yang Kompleks*. Jakarta: PT. Pustaka Binaman Pressindo.

- Sattler S, Zluwa I, Österreicher D. 2020. The "PV Rooftop Garden": Providing Recreational Green Roofs and Renewable Energy as a Multifunctional System within One Surface Area. *Applied Sciences* 10(5): 1791. <https://doi.org/10.3390/app10051791>.
- Semeraro T, Scarano A, Buccolieri R, Santino A, Aarregaard E. 2021. Planning of Urban Green Spaces: An Ecological Perspective on Human Benefits Eco-aesthetics. *Land* 10(2):105. <https://doi.org/10.3390/land10020105>
- Septiani M, Putri NC, Verma G, Sasongko NA. 2022. Eco-design Practice towards Sustainable Furniture: A Review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 1108: 1755-1315. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1108/1/012059>
- Serlan WD, Gunawan A, Sulistyantara B. 2013. *Eco-aesthetics Green Panel* pada Bangunan Rumah Tinggal. *Jurnal Lanskap Indonesia* 5(2): 15-20. <https://doi.org/10.29244/jli.2013.5.2.15-20>
- Sugiyono BR. 2019. Persepsi Masyarakat dan Strategi tentang Roof Garden di Gedung Bertingkat Kota Malang [tesis]. Malang: Universitas Brawijaya.
- Sulistyantara B, Agung S, Jimmy S. 2004. *Panduan Rancang Bangun Roof Garden*. Jakarta: Suku Dinas Pertamanan
- Suminah N, Sulistyantara B, Budiarti T. 2017. Studi Persepsi dan Preferensi Penghuni terhadap Ruang Hijau di Rumah Susun Sederhana Sewa Provinsi DKI Jakarta serta Strategi Perbaikannya. *Jurnal Lanskap Indonesia* 9(1):36-51. <https://doi.org/10.29244/jli.v9i1.14466>
- Sutrisno AJ, Hermanto. 2020. Perancangan dan Pembangunan Taman Apotek Hidup pada Lanskap Industri, Kabupaten Kudus. *Jurnal Lanskap Indonesia* 12(1):8-12. <https://doi.org/10.29244/jli.v12i1.32078>
- Syawie MH, Arifin HS, Suharnoto Y. 2023. Strategi Pengelolaan Lanskap Berkelanjutan di Danau Lido Cigombong, Bogor. *Jurnal Lanskap Indonesia* 15(2): 95 - 107. <https://doi.org/10.29244/jli.v15i2.42782>
- Townshend D. 2007. *Green Roof Application in Hong Kong*. Hongkong: Urbiz Limited.
- Triana D, Aspar, Jumarni, Dariati T, Iswoyo H. 2020. Strategi Peningkatan Partisipasi Masyarakat dalam Pengembangan Ruang Terbuka Hijau di Kota Makassar. *Jurnal Lanskap Indonesia* 11(2):43-47. <https://doi.org/10.29244/jli.v11i2.22116>
- Wang W. 2018. Problems and Solutions in the Construction of Roof Garden in the Old Buildings. Proceedings of the 8th International Conference on Social Network, Communication and Education (SNCE 2018). *Advances in Computer Science Research* 83: 102-106
- Weiler SK, Barth KS. 2009. *Green Roof Systems a Guide to the Planning, Design, and Construction of Landscape over Structures*. New Jersey (NJ): John Wiley and Sons, Inc.
- Whittinghill L, Rowe D. 2011. The Role of Green Roof Technology in Urban Agriculture. *Renewable Agriculture and Food Systems* 27(4): 314-322. <https://doi.org/10.1017/s174217051100038x>.
- Wong NH, Tay, SF, Wong R, Ong CL, Sia A. 2003. Life Cycle Cost Analysis of Rooftop Gardens in Singapore. *Building and Environment* 38(3): 499-509. [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(02\)00131-2](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(02)00131-2)
- Xue M, Farrel C. 2020. Use of Organic Wastes to Create Lightweight Green Roof Substrates with Increased Plant-Available Water. *Urban Forestry and Urban greening* 4: 126569. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126569>
- Yacob M, Kasmin H, Hashim M. 2021. Estimating Carbon Sequestration of Green Roof Plants in Tropical Climate. *International Journal of Integrated Engineering* 13(3): 200-206. <https://doi.org/10.30880/ijie.2021.13.03.024>
- Yuliani S, Hardiman G, Setyowati E. 2020. Pemetaan Hasil Penelitian Atap Hijau dalam Disiplin Ilmu Arsitektur di Indonesia. *ARTEKS : Jurnal Teknik Arsitektur* 5(2):245-254. <https://doi.org/10.30822/arteks.v5i2.395>
- Zaman RU. 2022. Design and Development of Smart Irrigation System for Watering Rooftop Garden. *Review of Plant Studies* 9(1): 12-18. <https://doi.org/10.18488/rps.v9i1.2948>