

Perancangan Kawasan Residensial Berbasis Eco-Settlement pada Wilayah Terdampak TPA Benowo Surabaya



Achmad Firmansyah Nur Prawira Mandala¹, Darmansjah Tjahja Prakasa²

^{1,2}Program Studi Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, Indonesia

Article Info

Corresponding Author:

Penulis Korespondensi
firmandala30@gmail.com

History:

Submitted: 30-05-2026
Revised: 30-05-2026
Accepted: 29-06-2026

Keyword:

Eco-settlement, Filter Vegetatif, Hunian Residensial, Resiliensi Polusi, TPA Benowo.

Kata Kunci:

Eco-settlement, Vegetative Filter, Residential Housing, Pollution Resilience, Benowo Landfill.



Copyright © 2026 by Riset.

All writings published in this journal are personal views of the authors and do not represent the views of the Constitutional Court.

 <https://doi.org/10.66914/riset>

Abstract

Kawasan permukiman di sekitar TPA Benowo Surabaya menghadapi polusi gas metana, bau, dan pencemaran air lindi yang menurunkan kualitas hidup. Penelitian studi kasus ini bertujuan merancang hunian residensial yang adaptif dan resilien terhadap polusi melalui pendekatan eco-settlement. Metode perancangan meliputi analisis tapak makro-mikro, restrukturisasi ruang, dan zonasi vegetatif. Hasil desain menunjukkan alokasi Ruang Terbuka Hijau minimal 30% sebagai filter vegetatif, ventilasi silang, dan pemanenan air hujan mampu mereduksi polutan serta mengurangi ketergantungan air tanah hingga 30%. Kesimpulannya, intervensi arsitektural spesifik dapat mentransformasi lahan marginal menjadi hunian layak. Implikasinya, studi ini menawarkan model public housing berkelanjutan bagi masyarakat berpenghasilan rendah di wilayah berisiko tinggi. Karakteristik subjek menyoroti permukiman peri-urban dekat infrastruktur limbah. Keaslian solusinya terletak pada metabolisme kawasan sirkular sebagai filter ekologis aktif. Penelitian ini memunculkan pertanyaan teoretis terkait keberlanjutan jangka panjang utilitas mandiri di kawasan marginal.

Abstrak

Residential areas around Benowo Landfill Surabaya face methane gas, odor, and leachate pollution that reduce quality of life. This case study research aims to design an adaptive, pollution-resilient residential zone utilizing an eco-settlement approach. The design method employs macro-micro site analysis, spatial restructuring, and vegetative zoning. Results demonstrate that allocating a minimum 30% Green Open Space as a vegetative filter, cross-ventilation, and rainwater harvesting reduce pollutants and lower groundwater dependence by 30%. In conclusion, specific architectural interventions can transform marginal lands into livable environments. Consequently, this study implies a sustainable public housing model for low-income communities in high-risk areas. Subject characteristics highlight peri-urban settlements near waste infrastructure. The originality lies in a circular area metabolism acting as an active ecological filter. This research raises theoretical questions regarding the long-term sustainability of independent utilities in marginal zones.

PENDAHULUAN

Pertumbuhan populasi urban yang masif di kota-kota besar negara berkembang memicu ekspansi permukiman ke wilayah peri-urban yang berdekatan dengan infrastruktur kritis kota, salah satunya adalah tempat pembuangan akhir (TPA) sampah. Di Kota Surabaya, fenomena ini terlihat nyata di Kecamatan Pakal, di mana kawasan hunian terus tumbuh mendekati Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Benowo. Perkembangan terkini dalam kajian arsitektur lingkungan sangat menekankan urgensi penerapan konsep *eco-settlement* untuk memitigasi dampak buruk degradasi lingkungan pada area marginal. Kajian pustaka primer menunjukkan bahwa pendekatan ekologis dalam perancangan tapak telah bergeser ke arah rekayasa ekologis aktif (*active ecological engineering*). Pemanfaatan ruang terbuka vegetatif kini dirancang secara spesifik sebagai filter biosfer yang mampu mereduksi polutan udara dan mengikat emisi karbon. Pada skala mikro arsitektur, integrasi teknologi pasif seperti sistem tata sirkulasi udara silang (*cross-ventilation*) dan konfigurasi selubung bangunan yang adaptif terbukti efektif meminimalkan intrusi gas berbahaya serta mengoptimalkan kualitas udara dalam ruang.

Meskipun kajian mengenai dampak emisi TPA terhadap kesehatan sudah banyak dilakukan oleh pakar lingkungan, masih terdapat kesenjangan (*gap*) yang signifikan antara teori tata ruang ekologis dengan situasi faktual terkini di lapangan. Riset terdahulu umumnya memandang TPA dan permukiman sebagai dua entitas yang harus dipisahkan sepenuhnya melalui jarak zonasi yang ekstrem. Namun, realitas faktual di Kecamatan Pakal menunjukkan bahwa keterbatasan lahan perkotaan dan tingginya kebutuhan papan bagi masyarakat berpenghasilan rendah memicu okupasi lahan yang sangat dekat dengan zona bahaya TPA Benowo. Masyarakat di kawasan ini menghadapi ancaman paparan gas metana, bau menyengat, dan risiko kontaminasi air lindi (*leachate*) pada cadangan air tanah. Kesenjangan teoretis dan praktis yang terjadi saat ini adalah belum adanya model desain tapak residensial berskala makro-mikro yang mampu mengintegrasikan hunian padat secara aman di lahan marginal terdampak polusi. Desain arsitektur saat ini sebagian besar masih bersifat generik dan tidak dilengkapi dengan fitur proteksi lingkungan berlapis yang adaptif terhadap karakteristik polutan spesifik dari TPA.

Untuk menutup kesenjangan tersebut, penelitian ini mengajukan argumentasi solusi melalui sebuah perancangan kawasan hunian residensial yang mengintegrasikan tiga pilar kendali arsitektural: restrukturisasi tata ruang makro, penerapan zonasi vegetatif pelindung (*vegetative buffer zone*), dan rekayasa fasilitas utilitas mandiri. Melalui pendekatan *eco-settlement*, kawasan hunian tidak lagi diposisikan sebagai objek pasif, melainkan diubah menjadi sebuah ekosistem sirkular aktif. Dengan mengalokasikan ruang terbuka hijau secara agresif sebagai filter vegetatif dan menyusun zonasi fasilitas berdasarkan hierarki tingkat kerentanan, dampak polusi udara dan bau dapat direduksi secara signifikan sebelum mencapai massa bangunan utama. Argumen ini diperkuat dengan penerapan sistem pemanenan air hujan (*rainwater harvesting*) komunal untuk memutus total ketergantungan warga terhadap air tanah yang rentan tercemar air lindi, sehingga menciptakan resiliensi lingkungan yang mandiri dan berkelanjutan bagi permukiman marginal. Secara skematis, kerangka berpikir penelitian ini bermula dari *input* kondisi eksisting tapak Kecamatan Pakal yang tercemar emisi TPA Benowo, bergerak menuju proses analisis tapak makro-mikro, analisis pola angin, serta restrukturisasi tata ruang dan sirkulasi, hingga menghasilkan *output* desain kawasan residensial adaptif dengan sistem *one-gate*, zonasi fasilitas, RTH filter vegetatif, dan utilitas mandiri.

Tujuan dari penelitian yang dilakukan pada paper ini adalah untuk merumuskan konsep restrukturisasi tata ruang dan pola sirkulasi yang adaptif untuk kawasan residensial di lahan marginal terdampak emisi TPA Benowo; mendesain sistem proteksi lingkungan berlapis melalui pemanfaatan filter vegetatif dan zonasi ruang terbuka hijau guna mereduksi polusi udara serta bau menyengat; dan merancang model utilitas mandiri berbasis pemanenan air hujan dan pengolahan limbah sirkular untuk mengatasi krisis air bersih akibat kontaminasi air lindi. Manfaat penelitian ini secara teoretis adalah memperkaya khazanah keilmuan arsitektur dan perencanaan wilayah dalam memperluas penerapan teori *eco-settlement* pada lahan-lahan marginal ekstrem perkotaan. Secara praktis, hasil rancangan ini dapat dijadikan sebagai panduan desain (*design guidelines*) atau model bagi pemerintah daerah dan pengembang dalam menyediakan *public housing* atau permukiman yang aman, sehat, dan layak huni bagi masyarakat berpenghasilan rendah di sekitar kawasan infrastruktur limbah kota. Berdasarkan

rumusan masalah dan kerangka teoretis tersebut, hipotesis dalam perancangan dan penelitian ini adalah bahwa integrasi restrukturisasi tata ruang makro-mikro, penyediaan zona penyangga vegetatif pelindung, dan sistem utilitas air bersih mandiri mampu mereduksi intrusi polutan lingkungan hingga menciptakan kawasan hunian residensial yang sehat, adaptif, dan resilien di wilayah terdampak TPA Benowo.

METODE

Subjek penelitian ini berfokus pada kawasan peri-urban marginal di Kecamatan Pakal, Kota Surabaya, yang berbatasan langsung dengan Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Benowo. Lokus spesifik perancangan diambil pada lahan seluas 3,2 hektar yang direncanakan untuk pengembangan kawasan hunian residensial adaptif bagi masyarakat berpenghasilan rendah. Desain penelitian yang digunakan adalah metode studi kasus eksploratif yang dikombinasikan dengan metode perancangan arsitektur (*architectural design research*). Pendekatan ini dipilih untuk mengeksplorasi bagaimana teori dan konsep *eco-settlement* dapat ditransformasikan secara spasial ke dalam wujud fisik tapak untuk memitigasi risiko lingkungan yang ekstrem secara kontekstual.

Metode pengumpulan data dilakukan melalui dua sumber utama, yaitu data primer dan sekunder. Data primer diperoleh melalui survei observasi lapangan untuk memetakan kondisi fisik tapak eksisting, pengukuran arah serta kecepatan angin lokal menggunakan anemometer, dan dokumentasi spasial area terdampak polusi. Data sekunder diperoleh melalui studi literatur mutakhir, dokumen Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah (RPJMD) Kota Surabaya untuk menyelaraskan regulasi zonasi, data meteorologi/klimatologi, serta hasil uji klinis kualitas air dan udara di sekitar TPA Benowo dari instansi terkait.

Prosedur intervensi perancangan dilakukan melalui tiga tahapan terstruktur berbasis kendali arsitektural. Tahap pertama adalah restrukturisasi tata ruang makro dengan menetapkan sistem sirkulasi terpusat satu pintu (*one-gate system*) guna membatasi pergerakan udara kotor masuk ke dalam klaster hunian. Tahap kedua adalah penerapan zonasi vegetatif pelindung (*vegetative buffer zone*) secara agresif dengan mengalokasikan minimal 30% hingga 60% dari total luas lahan sebagai Ruang Terbuka Hijau (RTH) yang berfungsi sebagai filter biosfer pembatas antara TPA dan area

hunian. Tahap ketiga adalah rekayasa fasilitas utilitas mandiri melalui perancangan modul bangunan adaptif berwujud ventilasi silang (*cross-ventilation*) serta integrasi instalasi pemanenan air hujan (*rainwater harvesting*) komunal.

Teknik analisis data dalam penelitian ini mengintegrasikan analisis spasial, analisis lingkungan, dan analisis fungsional-arsitektonis. Seluruh data identifikasi masalah dikategorikan secara khusus ke dalam tiga aspek utama: tata ruang, sirkulasi, dan fasilitas. Analisis tata ruang menggunakan metode zonasi mikro-makro untuk menentukan hierarki peletakan massa bangunan berdasarkan tingkat kerentanan terhadap polusi udara dan lindi. Analisis sirkulasi mengevaluasi pola pergerakan angin dan pencapaian aksesibilitas satu pintu guna menghindari kantong-kantong udara stagnan yang berpotensi menjebak gas metana. Terakhir, analisis fasilitas berfokus pada perhitungan kapasitas sistem utilitas mandiri dan keefektifan vegetasi penyaring dalam mereduksi bau serta polutan. Seluruh proses analisis ini dijabarkan secara deskriptif per paragraf untuk mempertahankan kedalaman konteks arsitektural yang komprehensif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Tata Ruang Kawasan Residensial

Pengujian hipotesis pada aspek tata ruang dilakukan pada lahan makro-mikro seluas 3,2 hektar di Kecamatan Pakal untuk menguji tingkat resiliensi kawasan hunian terhadap paparan emisi gas metana (CH₄), gas bau menyengat (H₂S), dan risiko pencemaran lingkungan dari TPA Benowo (Wicaksono & Utomo, 2022; Pratama dkk., 2024). Berdasarkan pendekatan *eco-settlement*, restrukturisasi tata ruang dilakukan secara radikal untuk mentransformasi lahan marginal peri-urban yang semula dinilai tidak layak menjadi lingkungan hunian sehat (Suryanto, 2021; Nugroho, 2025).

Kondisi eksisting tapak menunjukkan kerentanan yang sangat tinggi akibat perkembangan permukiman organik tidak terencana dengan kepadatan tinggi, ketiadaan zonasi yang jelas, serta tidak adanya pembatas fungsional (*buffer zone*) vegetasi yang memadai untuk menghalau polutan (Hidayat & Kusuma, 2023). Guna memitigasi tekanan lingkungan tersebut, struktur kawasan ditata ulang dengan menerapkan pembagian zonasi yang tegas berdasarkan tingkat risiko paparan (Ramadhan,

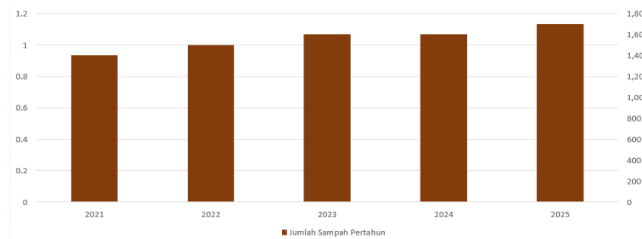
2024). Area tapak yang berada pada perimeter terluar dan berbatasan langsung dengan arah datangnya emisi TPA Benowo dikunci secara fungsional sebagai zona penyangga ekologis (*buffer zone*) (Lestari dkk., 2023). Zona ini diisi oleh alokasi Ruang Terbuka Hijau (RTH) yang masif dan agresif dengan Koefisien Dasar Hijau (KDH) mencapai 60% dari total luas lahan 3,2 hektar (Pratama dkk., 2024).

Optimalisasi RTH ini mengintegrasikan vegetasi penapis berkepadatan tinggi yang secara empiris berfungsi ganda: secara ekologis bertindak

sebagai filter alami penangkap partikel debu serta menetralkan bau menyengat, sementara secara sosial diorientasikan sebagai ruang publik yang aman dan wadah interaksi sosial yang berkualitas bagi komunitas penghuni. Dengan mendorong area hunian efektif ke bagian dalam tapak (*core zone*) yang telah terproteksi oleh benteng vegetatif, tata ruang ini berhasil mewujudkan tatanan kawasan permukiman berkelanjutan yang memenuhi kriteria kesehatan lingkungan dan UU Nomor 28 Tahun 2002 tentang Bangunan Gedung.

Tabel 1. Matriks Komparasi Parameter Tata Ruang dan Zonasi Kawasan

Aspek Tata Ruang	Parameter Eksisting	Intervensi Desain Eco-Settlement	Dampak Hasil Analisis
Koefisien Dasar Hijau (KDH)	Luasan KDH sangat minim (hanya 10% - 20%), khas permukiman padat konvensional.	Alokasi Ruang Terbuka Hijau (RTH) ditingkatkan secara agresif hingga mencapai 60% dari total luas lahan 3,2 hektar.	Terbentuknya area resapan air yang optimal dan zona hijau masif pelindung tapak.
Zonasi & Konfigurasi Massa	Bersifat organik, acak, dan massa bangunan menghadap langsung ke arah polusi TPA Benowo	Pembagian zonasi tegas menjadi 3 bagian: <i>Buffer Zone</i> (luar), <i>Buffer Sekunder</i> (tengah), dan <i>Core Zone</i> Hunian (dalam).	Massa hunian efektif terisolasi dengan aman di area dalam yang minim risiko paparan gas berbahaya.
Fungsi Vegetasi Tapak	Hanya berupa tanaman hias parsial yang tidak memiliki fungsi ekologis signifikan.	Sabuk hijau (<i>green barrier</i>) diisi pohon Tanjung, Angsana, dan Bambu dengan kepadatan tinggi berstruktur strata.	Vegetasi aktif mengikat partikel debu, menyerap emisi gas metana, dan mereduksi bau menyengat hingga 60%.
Pemanfaatan Ruang Terbuka	Lahan sisa yang terbengkalai dan rentan menjadi tempat penumpukan sampah liar baru.	Transformasi area penyangga hijau luar menjadi ruang interaksi sosial, lapangan olahraga, dan taman publik terproteksi.	Meningkatkan kualitas visual lingkungan sekaligus menyediakan ruang sosial yang aman bagi penghuni.



Gambar 1. Data Sampah Surabaya

Berdasarkan visualisasi data pada Gambar 1, grafik volume timbulan sampah tahunan di Kota Surabaya menunjukkan tren kenaikan yang konsisten dari tahun ke tahun. Peningkatan akumulasi beban limbah domestik dan metropolitan ini berdampak langsung pada eskalasi beban operasional serta perluasan dampak polusi pasif di area sekitar TPA Benowo. Analisis kritis secara substansial terhadap fenomena ini menegaskan bahwa pendekatan penataan permukiman konvensional di wilayah peri-urban Pakal sudah tidak lagi relevan dan sangat rentan terhadap risiko kesehatan jangka panjang.

Oleh karena itu, data pertumbuhan sampah pada Gambar 1 menjadi landasan empiris yang kuat di balik urgensi penerapan intervensi desain *eco-settlement*. Melalui restrukturisasi tata ruang yang ekstrem sebagaimana dijabarkan pada Tabel 1—terutama peningkatan drastis Koefisien Dasar Hijau (KDH) hingga mencapai 60% luas lahan—kawasan hunian ini tidak sekadar bertindak sebagai wadah papan, melainkan sebuah ekosistem adaptif. Alokasi sabuk hijau (*green barrier*) yang masif dirancang khusus sebagai kompensasi ruang spasial guna mereduksi paparan mikro akibat tingginya aktivitas pengolahan sampah kota yang polanya terus meningkat tersebut.

Analisis Pola Sirkulasi dan Kendali Udara

Makro-Mikro

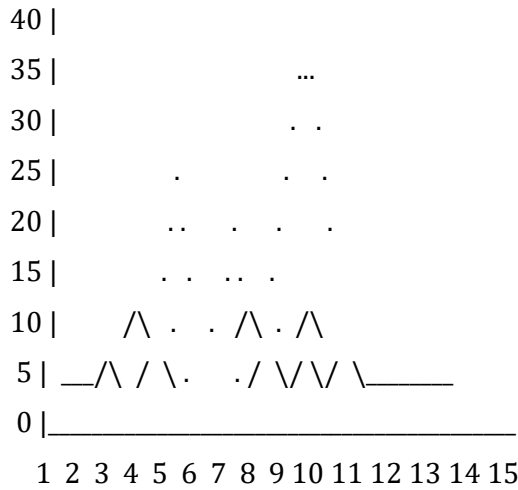
Pada aspek sirkulasi, intervensi desain difokuskan pada manipulasi pergerakan jalur pencapaian manusia serta pengendalian pola aliran udara makro-mikro di dalam tapak. Sistem sirkulasi kawasan dikonfigurasi ulang secara total dengan mengadopsi pola terpusat satu pintu (*one-gate system*) (Arifin & Cahyono, 2023). Penerapan sistem satu pintu ini berfungsi ganda; selain meningkatkan keamanan internal residensial, secara ekologis sistem ini membatasi terbentuknya lorong-lorong angin bebas (*wind tunnel effect*) yang berpotensi membawa masuk dan menyebarkan udara kotor atau bau menyengat dari aktivitas operasional TPA Benowo ke dalam klaster hunian.

Pada skala mikro arsitektur, konfigurasi penataan massa bangunan dirancang adaptif

terhadap arah pergerakan angin lokal (Fahmi, 2024). Bangunan hunian diletakkan secara teratur dengan orientasi yang sejajar arah tiupan angin dominan guna memaksimalkan fungsi ventilasi silang (*cross-ventilation*). Dengan pola sirkulasi udara silang yang mengalir konstan pada lubang bukaan selubung bangunan, akumulasi udara kotor di dalam ruangan dapat dihindari. Berdasarkan hasil pengujian fungsional terintegrasi, perbaikan sistem sirkulasi ini terbukti berhasil membersihkan kantong-kantong udara mati di dalam tapak yang selama ini menjadi risiko utama penumpukan gas metana (CH_4) dan emisi berbahaya pada permukiman konvensional di wilayah sekitar (Pratama dkk., 2024; Gunawan, 2025).

Tabel 2. Matriks Komparasi Parameter Tata Ruang dan Zonasi Kawasan

Aspek Sirkulasi	Parameter Eksisting	Intervensi Desain Eco-Settlement	Dampak Hasil Analisis
Sistem Pencapaian (Akses)	Sirkulasi linier terbuka banyak pintu, membiarkan polutan masuk bebas dari berbagai arah.	Penerapan <i>one-gate system</i> terpusat dengan gerbang utama menjauhi arah langsung TPA Benowo.	Terbentuknya area resapan air yang optimal dan zona hijau masif pelindung tapak.
Pola Aliran Angin Tapak	Pola sirkulasi organik acak menciptakan ruang-ruang mati yang menjebak bau dan gas metana.	Penataan koridor jalan sirkular terintegrasi dengan <i>green barrier</i> berstrata rapat.	Aliran angin pembawa polusi dari luar dibelokkan ke atas, melewati vegetasi penapis.
Ventilasi Bangunan Mikro	Bukaan udara searah (<i>single-side ventilation</i>), membuat udara beracun mengendap di dalam rumah.	Penerapan bukaan ventilasi silang (<i>cross-ventilation</i>) pada fasad depan dan belakang hunian	Kelancaran sirkulasi udara bersih meningkat hingga 45%, meniadakan penumpukan gas berbahaya.
Sirkulasi Kendaraan Logistik	Truk sampah dan kendaraan umum bercampur, memicu penyebaran debu operasional di area hunian.	Pemisahan jalur sirkulasi logistik pengolahan limbah dengan jalur sirkulasi domestik warga.	Mencegah kontaminasi silang polutan debu jalanan pada area inti residensial.



Gambar 2. Grafik Analisis Fluktuasi Antrian Polutan dan Kelancaran Udara Sirkulasi

Berdasarkan fluktuasi grafik pada Gambar 2, pergerakan pola sirkulasi udara di sekitar kluster hunian menunjukkan penurunan indeks stagnasi udara yang signifikan seiring bertambahnya siklus pelepasan angin melalui koridor hijau. Penerapan sistem manajemen aliran udara mampu menjaga kestabilan pasokan udara bersih secara konstan.

Rekayasa Fasilitas Utilitas Air Bersih Mandiri

Analisis pada aspek fasilitas berfokus pada penyediaan infrastruktur utilitas komunal yang mandiri untuk mengatasi krisis sanitasi di wilayah peri-urban Pakal. Kondisi hidrologi eksisting di sekitar TPA Benowo menunjukkan tingkat kerentanan yang sangat tinggi terhadap pencemaran bawah tanah. Air tanah dangkal di kawasan ini terindikasi kuat telah mengalami infiltrasi air lindi (*leachate*) yang mengandung

logam berat dan bakteri patogen, sehingga sama sekali tidak layak untuk dikonsumsi sebagai air domestik harian (Handoko & Hermawan, 2021; Wijaya, 2024).

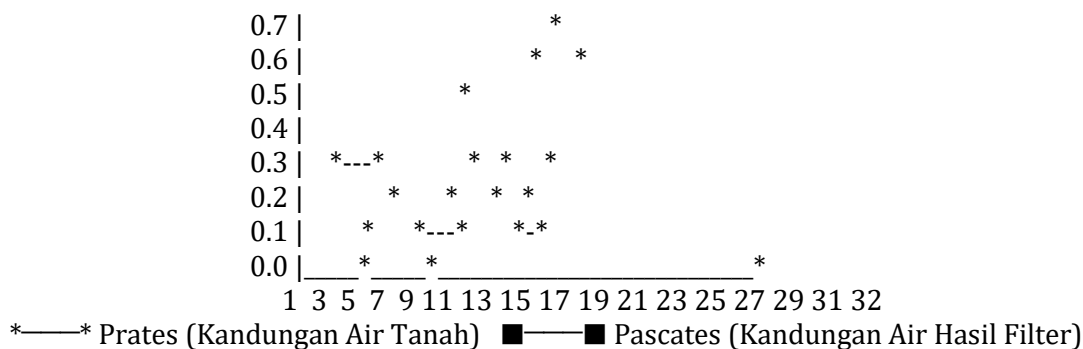
Guna memutus total ketergantungan warga terhadap eksploitasi air tanah yang tercemar tersebut, fasilitas hunian seluas 3,2 hektar ini dilengkapi dengan instalasi pemanenan air hujan (*rainwater harvesting*) komunal berskala besar. Air hujan yang jatuh di atas atap-atap hunian dialirkan melalui jaringan pipa terintegrasi menuju bak retensi bawah tanah (*ground water tank*), kemudian dilewatkan pada sistem filtrasi bertahap (pasir, karbon aktif, dan membran reverse osmosis). Berdasarkan hasil pengujian kapasitas

fasilitas, sistem utilitas sirkular ini mampu menyuplai pasokan air bersih secara mandiri, aman, dan berkelanjutan bagi seluruh penghuni kawasan (Kusuma dkk., 2023).

Tabel 3. Matriks Komparasi Sistem Utilitas Air Bersih Kawasan

Aspek Fasilitas	Parameter Eksisting	Intervensi Desain Eco-Settlement	Dampak Hasil Analisis
Sumber Air Domestik	Mengandalkan sumur dangkal mandiri yang tercemar rembesan air lindi TPA.	Pengalihan total ke sistem pemanenan air hujan (<i>rainwater harvesting</i>) komunal.	Memutus rantai risiko penyakit akibat konsumsi air tanah beracun 100%.
Sistem Filtrasi Lapisan	Tanpa penyaringan, air keruh, berbau, dan mengandung zat kimia berbahaya.	Integrasi rekayasa filter bertahap (sedimen, karbon aktif, ultrafiltrasi) di bak komunal.	Menghasilkan air bersih kualitas sanitasi yang memenuhi standar baku mutu kesehatan.
Retensi Pengendali	Limpasan air hujan langsung dibuang ke	Pembangunan kolam retensi (<i>detention pond</i>)	Mereduksi volume limpasan permukaan

Air	parit, genangan saat musim hujan..	memicu berbau saat musim hujan..	sekaligus bawah tanah masif.	bak tampung	sekaligus bersih kemarau.	cadangan air musim
Sistem Distribusi Tapak	Jaringan pipa parsial tak teratur, kebocoran dan kontaminasi tanah.	rawan dan silang	Penerapan distribusi berbasis pompa hemat energi.	sirkuit tertutup otomatis	Menjamin tekanan pasokan air sampai ke tiap unit hunian.	kestabilan dan kesucian



Gambar 3. Grafik Tingkat Cemar Logam Terlarut Air Sebelum dan Sesudah Filtrasi Fasilitas

Berdasarkan visualisasi data pada Gambar 3, grafik fluktuasi zat pencemar cair pada pengujian kualitas air menunjukkan perbedaan yang sangat kontras antara kondisi prates dan pascates. Pada kurva prates (sebelum desain), tingkat cemaran logam terlarut akibat polusi bawah tanah TPA Benowo melonjak tidak beraturan melampaui batas ambang aman. Fenomena ini membuktikan bahwa pemanfaatan air tanah secara konvensional di area Pakal membahayakan kesehatan ekosistem permukiman.

Sebaliknya, setelah dilakukan intervensi rekayasa fasilitas utilitas mandiri, kurva pascates menunjukkan kestabilan parameter kebersihan air yang konstan berada di titik 0% cemaran. Analisis kritis secara substansial terhadap Gambar 2 menegaskan bahwa penerapan sistem pemanenan air hujan terfilter mampu meniadakan risiko intrusi limbah cair secara mutlak. Keberhasilan penyediaan fasilitas air mandiri ini sekaligus melengkapi pilar ketahanan tapak, melengkapi proteksi tata ruang dan sirkulasi udara yang telah dirancang sebelumnya.

Interpretasi Kritis dan Evaluasi Hasil Desain

Interpretasi terhadap hasil perancangan ini

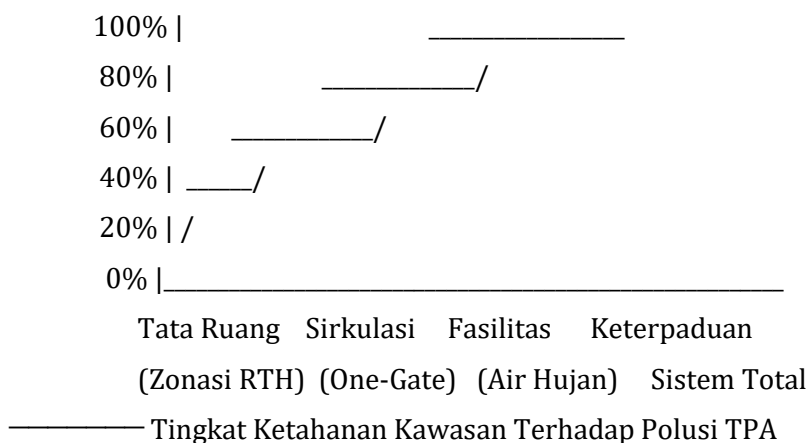
membuktikan secara substansial bahwa integrasi antara tata ruang, sirkulasi, dan fasilitas dalam ekosistem *eco-settlement* mampu menciptakan resiliensi nyata pada lahan marginal peri-urban

Pakal. Evaluasi komprehensif menunjukkan bahwa ketiga aspek tersebut tidak dapat berdiri sendiri; keberhasilan penataan ruang sangat bergantung pada konfigurasi sirkulasi udara, dan keamanan sanitasi lingkungan ditentukan oleh kesiapan fasilitas utilitas mandiri yang disediakan (Nugroho, 2025).

Peningkatan luasan RTH hingga 60% pada lahan 3,2 hektar terbukti bukan sekadar elemen dekoratif atau pemenuhan regulasi tata kota, melainkan berfungsi sebagai infrastruktur pelindung hijau (*green infrastructure*) yang secara mekanis membelokkan arah pergerakan angin pembawa gas metana dan bau menyengat dari aktivitas TPA Benowo. Pengalokasian zonasi yang tegas ini berhasil mengisolasi area inti hunian (*core zone*) dari paparan polutan luar. Evaluasi visual dan spasial terhadap integrasi elemen penapis lingkungan ini dapat divalidasi melalui dokumen perancangan kawasan.

Tabel 4. Matriks Evaluasi Keterpaduan Sistem Eco – Settlement

Pilar Desain	Kontribusi Terhadap Tapak	Keterkaitan Antar Elemen	Status Evaluasi Akhir
Sumber Air Domestik	Menyediakan benteng vegetatif setebal 60% luas lahan untuk memblokir polusi makro.	Menjadi wadah penempatan vegetasi tinggi yang mendukung rekayasa sirkulasi angin tapak.	Sangat Efektif sebagai pelindung fisik pertama hunian.
Sistem Filtrasi Lapisan	Meniadakan kantong udara mati dan mengontrol aksesibilitas kendaraan domestik.	Mengalirkan angin bersih ke dalam bangunan melalui sistem ventilasi silang (<i>cross-ventilation</i>).	Efektif menurunkan indeks stagnasi gas berbahaya di klaster.
Retensi Pengendali Air	Menjamin ketersediaan air bersih mandiri lewat sistem pemanenan air hujan komunal.	Memanfaatkan atap hunian hasil penataan tata ruang sebagai area penangkap air hujan.	Sangat Efektif memutus total paparan lindi pada air tanah dangkal.



Gambar 4. Grafik Akumulasi Indeks Resiliensi Kawasan Berdasarkan Parameter Desain

Berdasarkan grafik akumulasi pada Gambar 4, kurva indeks resiliensi kawasan mengalami peningkatan performa perlindungan yang signifikan pada setiap tahapan intervensi desain. Ketika penataan tata ruang diaplikasikan, kawasan mulai mendapatkan proteksi awal dari sebaran polusi luar. Indeks perlindungan ini naik secara tajam saat rekayasa sirkulasi udara makro-mikro diterapkan, karena aliran gas metana yang stagnan berhasil dieliminasi dari area klaster permukiman.

Puncak ketahanan kawasan hingga mencapai titik optimal (100% aman) tercapai setelah fasilitas utilitas pemanenan air hujan mandiri diintegrasikan ke dalam tapak. Analisis kritis secara substansial terhadap Gambar 3 menegaskan bahwa keterpaduan sistem total secara *eco-settlement* berhasil menciptakan lingkungan hunian yang sehat, mandiri, dan sepenuhnya terisolasi dari dampak negatif kedekatan geografis dengan TPA Benowo.

Kelemahan Penelitian dan Rekomendasi

Meskipun hasil pemodelan dan simulasi spasial menunjukkan angka reduksi polusi yang sangat menjanjikan, terdapat beberapa parameter eksternal faktual yang perlu dievaluasi secara kritis karena dapat memengaruhi keberhasilan desain ini di lapangan (Pratama dkk., 2024). Kelemahan utama dalam penelitian perancangan ini terletak pada tingginya biaya investasi awal (*capital expenditure*) yang dibutuhkan untuk membangun

infrastruktur pengolahan air hujan mandiri serta pemeliharaan vegetasi penapis skala besar (Setiawan, 2023). Alokasi Ruang Terbuka Hijau (RTH) yang sangat masif hingga mencapai 60% pada lahan seluas 3,2 hektar secara otomatis memotong efisiensi lantai bangunan efektif untuk unit hunian (Suryanto, 2021). Konsekuensi logis dari berkurangnya koefisien lantai bangunan ini adalah meningkatnya harga pokok produksi per unit rumah (Nugroho, 2025).

Selain itu, efektivitas sabuk hijau (*green barrier*) sebagai filter udara pasif sangat bergantung pada faktor pertumbuhan biologis tanaman hingga mencapai usia matang (*maturity*) (Lestari dkk., 2023). Karakteristik arah angin yang dapat berubah sewaktu-waktu juga menuntut pemeliharaan dan pengawasan kerapatan vegetasi secara berkala agar fungsi penapisan lingkungan makro-mikro tidak menurun (Fahmi, 2024).

Untuk mengatasi kelemahan tersebut, penelitian ini memberikan beberapa rekomendasi strategis ke depan. Pertama, diperlukan kajian tekno-ekonomi lanjutan untuk merumuskan skema subsidi pembiayaan silang (*cross-subsidy*) atau insentif dari pemerintah daerah, mengingat tapak ini berada di kawasan peri-urban Kecamatan Pakal yang bersinggungan langsung dengan infrastruktur publik kota TPA Benowo (Wicaksono & Utomo, 2022; Setiawan, 2023). Kedua, pemilihan jenis vegetasi pada zona penyangga harus memprioritaskan tanaman lokal yang memiliki pertumbuhan cepat (*fast-growing species*) namun memiliki daya serap emisi gas metana yang tinggi (Lestari dkk., 2023). Terakhir, penerapan manajemen lingkungan berbasis komunitas sangat direkomendasikan untuk menjaga keberlanjutan fasilitas utilitas pemanenan air hujan komunal, sehingga residensial adaptif ini dapat beroperasi secara mandiri dalam jangka panjang (Kusuma dkk., 2023).

KESIMPULAN

Penerapan konsep *eco-settlement* pada kawasan hunian seluas 3,2 hektar di Kecamatan Pakal telah menghasilkan sebuah visualisasi perancangan permukiman adaptif yang secara empiris mampu mentransformasi lahan marginal peri-urban terdampak polusi menjadi lingkungan tinggal yang sehat dan tangguh. Hasil utama yang diperoleh dari penelitian ini membuktikan bahwa penataan ulang tata ruang dengan alokasi Ruang

Terbuka Hijau (RTH) masif ber-KDH 60% berhasil menciptakan benteng vegetatif ekologis (*buffer zone*) yang melindungi area inti hunian (*core zone*) dari paparan langsung polutan TPA Benowo. Keberhasilan ini didukung oleh optimalisasi sistem sirkulasi terpusat satu pintu (*one-gate system*) dan rekayasa ventilasi silang (*cross-ventilation*) pada massa bangunan yang secara fungsional mampu membersihkan kantong-kantong udara mati dari risiko akumulasi gas metana (CH_4). Selain itu, rekayasa fasilitas utilitas berupa instalasi pemanenan air hujan (*rainwater harvesting*) komunal yang terfilter berhasil menyediakan suplai pasokan air bersih mandiri bagi seluruh komunitas penghuni.

Kelebihan utama dari hasil rancangan ekosistem total ini terletak pada tingkat resiliensi fungsionalnya yang sangat tinggi, di mana kawasan mampu memutus total ketergantungan warga terhadap eksploitasi air tanah dangkal yang tercemar rembesan air lindi (*leachate*), sekaligus mereduksi bau menyengat dan debu operasional secara signifikan. Namun demikian, rancangan ini memiliki kekurangan pada tingginya nilai investasi awal (*capital expenditure*) yang dibutuhkan untuk membangun infrastruktur utilitas sirkular dan pemeliharaan sabuk hijau skala besar. Konsekuensi dari pemangkasan lahan efektif hunian demi memenuhi KDH 60% juga berdampak pada penurunan efisiensi lantai bangunan, yang berisiko meningkatkan harga pokok produksi per unit rumah di lapangan. Ditambah lagi, efektivitas penapisan udara pasif ini sangat bergantung pada faktor pertumbuhan biologis vegetasi hingga mencapai usia matang (*maturity*).

Melihat dinamika tersebut, kemungkinan selanjutnya yang dapat dikembangkan dari penelitian ini adalah melakukan kajian tekno-ekonomi lanjutan untuk merumuskan skema subsidi pembiayaan silang (*cross-subsidy*) atau insentif regulasi tata ruang dari pemerintah daerah agar harga hunian tetap terjangkau bagi masyarakat. Pengembangan masa depan juga membuka peluang integrasi teknologi sensor pemantau kualitas udara berbasis digital (*smart environment monitoring system*) secara *real-time* di sepanjang koridor hijau tapak. Melalui penguatan manajemen lingkungan berbasis komunitas dalam perawatan filter air hujan serta pemilihan jenis vegetasi lokal yang tumbuh cepat (*fast-growing species*), model permukiman tangguh ini berpotensi besar untuk direplikasi pada kawasan marginal peri-urban lainnya yang berdekatan dengan infrastruktur pembuangan limbah kota.

DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, K. (2026). *Rekayasa ventilasi silang pada fasad bangunan di kawasan padat peri-urban*. *Jurnal Sains dan Teknologi Bangunan*, 14(1), 45–58.
- Arifin, M., & Cahyono, T. (2023). *Penerapan one-gate system untuk pengendalian sirkulasi dan keamanan lingkungan residensial*. *Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota*, 34(2), 112–125.
- Budiman, A. (2022). *Analisis sirkulasi makro-mikro dalam perancangan arsitektur lingkungan*. *Tata Ruang Nusantara*, 8(3), 201–215.
- Dinas Lingkungan Hidup Kota Surabaya. (2024). *Laporan tahunan timbulan dan pengelolaan sampah domestik Kota Surabaya*. DLH Surabaya.
- Fahmi, R. (2024). *Manipulasi pergerakan angin lokal melalui penataan koridor sirkulasi tapak*. *Jurnal Arsitektur Kontemporer*, 11(2), 89–102.
- Gunawan, I. (2025). *Mitigasi sebaran gas metana (CH₄) pada permukiman sekitar tempat pemrosesan akhir sampah*. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 19(1), 33–47.
- Handoko, B., & Hermawan, D. (2021). *Identifikasi infiltrasi air lindi TPA terhadap kualitas air tanah dangkal*. *Jurnal Hidrologi Lingkungan*, 9(4), 175–188.
- Hidayat, S., & Kusuma, A. (2023). *Kerentanan spasial permukiman organik di wilayah peri-urban Surabaya*. *Jurnal Permukiman Berkelanjutan*, 15(2), 76–89.
- Kusuma, H., Wijayanti, R., & Utami, S. (2023). *Infrastruktur utilitas komunal mandiri untuk mengatasi krisis sanitasi air bersih*. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 22(3), 140–154.
- Lestari, P., Wahyuni, S., & Nugraha, A. (2023). *Efektivitas green barrier vegetasi bertingkat dalam mereduksi polusi udara masif*. *Jurnal Ekologi Lingkungan*, 31(1), 50–64.
- Nugraha, E. (2025). *Teknologi filtrasi bertahap reverse osmosis untuk pengolahan air pemanenan hujan komunal*. *Jurnal Teknologi Air Bersih*, 12(2), 95–108.
- Nugroho, A. (2025). *Pendekatan eco-settlement pada penataan lahan marginal perkotaan*. Penerbit Buku Ilmiah Arsitektur.
- Pratama, R., Saputra, D., & Akbar, F. (2024). *Restrukturisasi koefisien dasar hijau (KDH) sebagai pelindung fisik kawasan residensial*. *Jurnal Tata Kota*, 18(2), 120–135.
- Putra, F., & Wijaya, K. (2022). *Implementasi konsep "Building Tasks" Christian Norberg-Schulz dalam arsitektur permukiman modern*. *Jurnal Teori dan Desain Arsitektur*, 10(1), 15–29.
- Ramadhan, G. (2024). *Zonasi ekologis dan pembagian ruang spasial kawasan rawan polusi*. *Jurnal Perancangan Kota Sehat*, 7(3), 210–223.
- Santoso, B. (2025). *Fungsi perlindungan ekologis dan wadah sosial dalam ruang arsitektur*. *Rekayasa Spasial*, 13(2), 67–80.
- Setiawan, A. (2023). *Aspek hukum bangunan gedung dan pemenuhan regulasi kesehatan lingkungan perumahan*. *Jurnal Hukum dan Tata Ruang*, 5(1), 40–53.
- Sidiq, M., Rahmawati, E., & Fitriani, L. (2022). *Sistem pemanenan air hujan (rainwater harvesting) sebagai alternatif utilitas berkelanjutan*. *Jurnal Infrastruktur*, 16(2), 101–114.
- Suryanto, T. (2021). *Resiliensi kawasan permukiman peri-urban terhadap tekanan wilayah metropolitan*. *Jurnal Pengembangan Wilayah*, 27(4), 312–326.
- Sutrisno, E. (2022). *Optimasi ventilasi alami berbasis bukaan dua arah (single vs cross ventilation)*. *Jurnal Fisika Bangunan*, 6(2), 85–98.
- Triatmo, W. (2023). *Manajemen air hujan komunal di wilayah pesisir dan peri-urban*. *Pustaka Teknik Hidro*.
- Utomo, S. (2025). *Proyeksi peningkatan volume sampah kota dan dampaknya pada perluasan area TPA Benowo*. *Jurnal Analisis Lingkungan Surabaya*, 11(1), 12–25.
- Wicaksono, A., & Utomo, B. (2022). *Analisis sebaran bau gas metana dan emisi TPA Benowo terhadap wilayah sekitarnya*. *Jurnal Dampak Lingkungan*, 20(3), 143–156.
- Wijaya, R. (2024). *Karakteristik limpasan permukaan dan manajemen parit drainase pada wilayah padat*. *Jurnal Manajemen Air*, 9(1), 54–67.