

## **Eco Turbine Ventilator Kaleng Bekas untuk Memperbaiki Kenyamanan Termal Pada Bangunan di Daerah Tropis lembab (Studi Kasus: Rumah Tinggal)**

Muhammad Raffi Anton Pratama<sup>1</sup>, Supriyanta<sup>2</sup>, dan Raditya Alvin Dea Rachmadi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Arsitektur, Universitas Islam Indonesia

<sup>1</sup>Surel: [19512016@students.uii.ac.id](mailto:19512016@students.uii.ac.id)

**ABSTRAK:** Pada masa modern sekarang ini banyak bangunan baru yang mengandalkan material fabrikasi, yang ditimbang hemat biaya dan cepat dalam pengerjaan, sehingga industri material fabrikasi meningkat yang memicu *global warming* karena polusi industri yang sangat tinggi. Kesadaran masyarakat di Indonesia masih rendah dalam merancang hunian yang menerapkan prinsip bangunan adaptif pada iklim tropis, sehingga banyak terjadi kasus bangunan menjadi tidak nyaman secara termal, kemudian kelembaban tinggi dalam bangunan serta radiasi matahari masuk berlebihan ke dalam bangunan, mengharuskan untuk menggunakan pengkondisian udara secara mekanis dengan AC. Konsumsi energi terbesar di Indonesia bahkan dunia adalah pada bangunan rumah tinggal, hal ini terjadi karena banyak masyarakat di kawasan urban yang merancang huniannya tidak memperhatikan aspek iklim setempat yang sangat mempengaruhi kenyamanan termal hunian, sehingga menyebabkan konsumsi energi listrik untuk AC menjadi besar karena sirkulasi udara yang buruk, kelembaban tinggi dan suhu ruangan tinggi. Bangunan rumah tinggal Perum Taman Anggrek berada di kawasan permukiman padat, ketiga sisi bangunannya tertutupi oleh dinding masif tetangga, bukaan hanya berada di fasad bangunan, hal ini membuat sirkulasi udara tidak efektif dan terperangkap di dalam bangunan, diperparah dengan area belakang bangunan yang tidak memiliki void sehingga kelembaban didalam bangunan sangat tinggi. Hal ini dapat diselesaikan dengan menggunakan inovasi teknologi berkelanjutan berupa eco turbine ventilator berbahan kaleng bekas daur ulang.

**Kata kunci:** Eco Turbine Ventilator, Global Warming, Iklim Tropis Lembab, Material Fabrikasi,

### **PENDAHULUAN**

#### **A. Latar Belakang**

Pada masa modern sekarang ini banyak bangunan baru yang mengandalkan material fabrikasi, yang ditimbang hemat biaya dan cepat dalam pengerjaan, sehingga industri material fabrikasi meningkat yang meningkatkan *global warming* karena limbah polusi yang sangat tinggi. Kesadaran masyarakat di Indonesia masih rendah dalam merancang hunian yang menerapkan prinsip iklim tropis yang terdiri dari 5 elemen utama, sehingga banyak terjadi kasus bangunan menjadi tidak nyaman karena sirkulasi udara yang terjerembab, kemudian kelembaban tinggi dalam bangunan serta radiasi matahari masuk berlebihan ke dalam bangunan. Kerusakan lingkungan dan penggunaan energi fosil yang masif merupakan isu global yang dihadapi peradaban manusia saat ini. Peningkatan penggunaan energi tidak saja mengeksploitir sumber-sumber daya energi, tetapi mudah untuk memberikan kenyamanan termal yang diharapkan. Akan tetapi peningkatan penggunaan energi pada bangunan sebagai akibat penggunaan AC ini sering kali diabaikan. Berdasarkan data US *green building council USGBC* menyatakan bahwa bangunan mengkonsumsi 41% penggunaan energi di dunia, kemudian diikuti

konsumsi energi terbesar lainnya dari sektor industri 30% dan sektor transportasi 29%. Bangunan mengkonsumsi energi 41%, sistem yang mengkonsumsi energi terbesar adalah sistem HVAC atau sistem pengkondisian udara dalam ruang bangunan. Konsumsi energi terbesar di Indonesia adalah pada hunian rumah tangga, hal ini terjadi karena banyak masyarakat di kawasan urban yang merancang huniannya tidak memperhatikan 5 elemen utama iklim tropis yang mempengaruhi kenyamanan hunian, sehingga konsumsi energi listrik untuk AC menjadi besar karena sirkulasi udara yang terjebak, kelembaban tinggi dan suhu ruangan tinggi, sehingga perlu dilakukan edukasi untuk merancang hunian sesuai dengan prinsip iklim tropis.

B. Pertanyaan Penelitian

- a. Bagaimana memperbaiki kenyamanan termal bangunan dengan pendekatan pergantian sirkulasi udara yang baik dengan teknologi berkelanjutan?
- b. Bagaimana memperbaiki kesehatan dalam bangunan dengan pendekatan pergantian volume sirkulasi udara tertentu supaya debu, kotoran dan aroma tidak sedap mampu keluar dari dalam bangunan dengan cepat, berhubungan dengan mitigasi penyebaran virus covid-19?

C. Tujuan Penelitian

1. Mengetahui proses pergantian sirkulasi dalam bangunan yang baik, sehingga dapat memperbaiki kenyamanan termal dalam bangunan.
2. Mengetahui hasil sebelum dan sesudah diaplikasikan teknologi berkelanjutan berupa *eco turbine ventilator*.

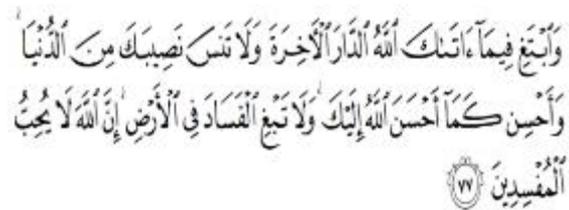
## LANDASAN TEORI

### A. Teknologi Berkelanjutan dalam Sudut Pandang keislaman

Pembangunan berkelanjutan dalam arsitektur bertujuan untuk menjaga keseimbangan tiga elemen utama yang meliputi nilai lingkungan, sosial dan ekonomi. Arsitektur berkelanjutan sebagai konsep menjaga keberlangsungan generasi yang akan datang dalam memenuhi kehidupannya nanti. Hal ini dapat diartikan bahwa pembangunan berkelanjutan adalah memenuhi kebutuhan sekarang dengan tetap menjaga kelestarian sumber daya alam dan meminimalisir dampak negatif lingkungan dalam mengeksploitasi sumber energi dan material alam, yang bertujuan untuk menjaga kelestarian sumber daya alam pada generasi yang akan datang. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan KLHK menyebutkan bahwa pada tahun 2020 limbah padat diperkirakan terjadi peningkatan yang signifikan karena adanya pandemi *covid-19* yang mencapai angka 11,3 juta ton. (Nadzir,2020) Hal ini dapat mempercepat terjadinya perubahan iklim dan *global warming*. Limbah padat seperti kaleng aluminium selain memiliki dampak negative yang dapat mempercepat perubahan iklim dan *global warming*, karena logam berat yang dapat mencemari air tanah sehingga kandungan timbal logam berat yang tidak dapat dicerna

tubuh menjadi tinggi. Dampak positif kaleng bekas dapat dimanfaatkan sebagai material arsitektur berkelanjutan yang selaras dengan kelestarian lingkungan.

Potensi pemanfaatan limbah padat dapat ditangani dengan pendekatan 5R (*reduce, reuse, recycle, replace, repair*). Dalam arsitektur pembangunan berkelanjutan, konsep *recycle* menjadi titik penekanan untuk menambahkan *value added* pada limbah kaleng bekas menjadi inovasi teknologi yang berguna pada arsitektur berkelanjutan. Kelestarian ekosistem lingkungan hidup bertujuan untuk menjaga keseimbangan kebutuhan saat ini dengan kebutuhan generasi mendatang. Prinsip konservasi keseimbangan ekosistem lingkungan hidup dan efisiensi sumber daya dalam pengelolaan kelestarian lingkungan yang berkelanjutan didasari dalam nilai keislaman (Supriyanta, 2018:6). Qs,Al-Qashash (77) Allah berfirman:



“Dan carilah pahala negeri akhirat dengan apa yang telah dianugerahkan Allah kepadamu, tetapi janganlah kamu lupakan bagianmu di dunia dan berbuat baiklah kepada orang lain sebagaimana Allah telah berbuat baik kepadamu, dan janganlah kamu berbuat kerusakan di bumi. Sungguh, Allah tidak menyukai orang yang berbuat kerusakan”.

Firman Allah SWT sangat selaras dengan prinsip keseimbangan pembangunan berkelanjutan yang meliputi keseimbangan lingkungan, sosial dan ekonomi, karena Allah SWT telah memerintahkan kepada kita bahwa siapkanlah bekal untuk akhirat seakan engkau akan meninggal dan berusaha di dunia ini seakan engkau hidup seribu tahun di dunia, sehingga keseimbangan dunia dan akhirat adalah preseden untuk memenuhi kebutuhan dunia dengan secukupnya dan memberikan timbal balik untuk melestarikan alam tidak hanya mengambil tetapi juga memberi. Limbah padat kaleng bekas dapat berdampak positif jika dapat di daur ulang dengan memberikan *value added* selain itu dapat berdampak negative untuk kesehatan manusia karena kandungan logam berat *timbal* yang dapat mengendap dalam tubuh manusia. Dalam hal ini manusia harus bijak dalam memanfaatkan sumber daya alam yang ada untuk menjaga kelestarian alam untuk generasi mendatang.

## **B. Adaptive Reuse Bangunan Usang Secara Kenyamanan Termal dengan Teknologi Berkelanjutan**

*Adaptive reuse* adalah proses menggunakan bangunan eksisting dengan penyesuaian fungsi baru, yang dikenal juga dengan mengkonversi bangunan lama menjadi bangunan baru (Caves, R, W, 2004) tanpa harus membangun bangunan baru dari awal, karena dapat memanfaatkan struktur bangunan lama dengan intervensi desain untuk meningkatkan fungsi lama menjadi fungsi baru. *Adaptive reuse* adalah bentuk pembaruan kawasan urban secara berkelanjutan dengan memperpanjang siklus bangunan. (Abdulamer and Abbas 2020). Mengkonversi bangunan lama menjadi bangunan baru tidak hanya berlaku pada bangunan cagar budaya saja tetapi berlaku pada bangunan umum yang tidak dikategorikan sebagai bangunan cagar budaya. *Adaptive reuse technology* adalah penyesuaian fungsi baru bangunan usang yang memiliki tingkat fungsi dan kenyamanan bangunan yang rendah sehingga ditinggalkan oleh penghuni bangunan, dalam hal ini dapat dilakukan evaluasi pasca huni kemudian dilakukan renovasi pada bangunan yang usang secara fungsi maupun kenyamanan, supaya dapat memperpanjang usia pakai bangunan. (Basarir, B., Diri, B., and Diri, C. 2012). Pendekatan meningkatkan fungsi bangunan yang telah usang pada bangunan eksisting yang akan dilakukan pada rumah tinggal perumahan anggrek yang memiliki keusangan dalam kenyamanan dalam ruang menurut standar kenyamanan ASHRAE - 55 sehingga perlu dilakukan evaluasi untuk peningkatan kenyamanan dalam ruang bangunan eksisting.

Arsitektur berkelanjutan ditinjau dari pendekatan *adaptive reuse* adalah untuk efisiensi energi dalam membangun bangunan baru, supaya dapat memanfaatkan bangunan usang menjadi bangunan baru dengan penyesuaian fungsi baru dan meningkatkan kenyamanan untuk memperpanjang usia pakai bangunan, hal ini selaras dengan konsep energi berkelanjutan untuk menyediakan bangunan baru yang berbanding lurus dengan pertumbuhan penduduk (Susanti, 2020). Pendekatan *adaptive reuse technology* meminimalisir dampak kerusakan lingkungan dari perubahan iklim dan *global warming* dengan penerapan inovasi teknologi berkelanjutan pada bangunan yang telah usang secara fungsi dan kenyamanan dapat meningkatkan kenyamanan dan memperpanjang usia pakai bangunan dengan efisiensi energi yang tinggi dan ekonomis sehingga selaras dengan konsep pembangunan berkelanjutan untuk menjaga kelestarian lingkungan untuk generasi mendatang.

### **C. Eco Turbine Ventilator Sebagai Pendekatan Teknologi Berkelanjutan**

Arsitektur berkelanjutan bertujuan memenuhi kebutuhan saat ini tanpa berdampak buruk pada kelangsungan hidup generasi yang akan datang untuk memenuhi kehidupannya, *sustainable development* memiliki konsep mencegah kerusakan lingkungan yang diakibatkan dari industri pembangunan bangunan baru dengan meningkatkan efisiensi energi, material dan pemanfaatan ruang (Sintawati, 2018). Dampak konsumsi sumberdaya alam yang tinggi akan menghasilkan limbah dan polusi yang berkontribusi mempercepat terjadinya *climate change* dan *global warming*, isu lingkungan tersebut masih diperparah dengan meningkatnya pembuangan limbah padat ke lautan seperti limbah plastic, kaleng bekas, hal ini berdampak serius bagi keberlangsungan hidup

karena buruk bagi lingkungan dan kesehatan. Hal ini perlu di cegah dengan menerapkan *sustainable development*, sehingga dampak buruk isu lingkungan tersebut dapat terurai permasalahan secara perlahan. Menurut ASHRAE (*American society of heating, refrigerating and air conditioning engineers*, 1989), (Braun, J.E,1989) kenyamanan termal merupakan kondisi dimana seseorang merasa nyaman dengan keadaan temperature lingkungannya, yang apabila digambarkan dalam konteks sensasi dimana seseorang tidak merasakan temperatur udara terlalu panas maupun terlalu dingin (Braun,J.E, 1989). Kesehatan dan kenyamanan dalam ruang yang berkelanjutan adalah kondisi dalam ruang yang dapat menyesuaikan lingkungan sekitarnya secara adaptif, seperti saat suhu lingkungan sekitar tinggi maka suhu dalam ruang dapat menyesuaikan dengan menurunkan suhu lingkungan menjadi lebih rendah supaya, kenyamanan termal tetap terjaga. Angin dapat digolongkan sebagai alat pendingin yang bersifat fisiologis. Angin adalah hasil dari pergerakan udara memungkinkan untuk merealisasi sistem pendinginan pasif atau *passive cooling*. *Stack effect* adalah pergerakan udara yang menghasilkan angin karena adanya panas matahari yang menghangatkan udara sehingga udara menjadi ringan kemudian naik ke atas dan peristiwa ini dapat difungsikan sebagai inovasi teknologi. *Stack effect* dan *buoyancy effect* memberikan wawasan bahwa tidak selamanya permasalahan kenyamanan termal diselesaikan secara aktif dengan pengkondisian udara yang pada akhirnya akan mengurangi kualitas iklim mikro khususnya di wilayah urban iklim tropis lembab.

*Eco turbine ventilator* adalah alat sejenis *exhaust fan* atau *roof fan*, dimana fungsi alat tersebut adalah menghisap udara panas, debu, dan bau, serta berfungsi sebagai alat *stack ventilation* karena adanya *buoyancy effect*. *Eco turbine ventilator* bebas penggunaan energi tak terbarukan, bebas perawatan, dan dapat bekerja selama 24 jam. *Eco turbine ventilator* akan berputar berdasarkan *buoyancy effect* tekanan dan aliran udara panas yang ada di dalam ruangan, dimana udara bergerak dan mengalir dari suhu rendah ke suhu yang lebih tinggi. jika udara dalam rumah panas, maka perlu adanya ventilasi udara angin yang memadai supaya suhu panas dan kelembaban tinggi dalam ruangan dapat keluar dan meningkatkan kenyamanan termal ruangan. Sehingga inovasi teknologi *eco turbine ventilator* secara fungsi dapat menggantikan pengkondisian udara yang memerlukan energi yang cukup besar dalam pengoperasiannya dan berdampak buruk pada kualitas udara iklim mikro.

#### **D. Inovasi Teknologi Berkelanjutan *Eco Turbine Ventilator***

Bangunan pada iklim tropis lembab perlu intervensi desain yang dapat meminimalisir paparan radiasi panas matahari pada selubung bangunan dan mengoptimalkan sirkulasi penghawaan alami yang baik, sehingga bangunan dapat memiliki desain penghawaan pasif yang berkelanjutan. Salah satu preseden teknologi berkelanjutan adalah *eco turbine ventilator* dari material limbah kaleng, yang dapat memperbaiki kenyamanan termal dalam bangunan secara berkelanjutan, karena bekerja secara pasif tanpa energi tak terbarukan dan pemanfaatan material limbah dalam pembuatan teknologi *eco turbine ventilator*. Inovasi teknologi ini sangat sesuai dengan kondisi bangunan di Indonesia yang berada di wilayah iklim tropis lembab, yang memerlukan desain penghawaan alami yang optimal

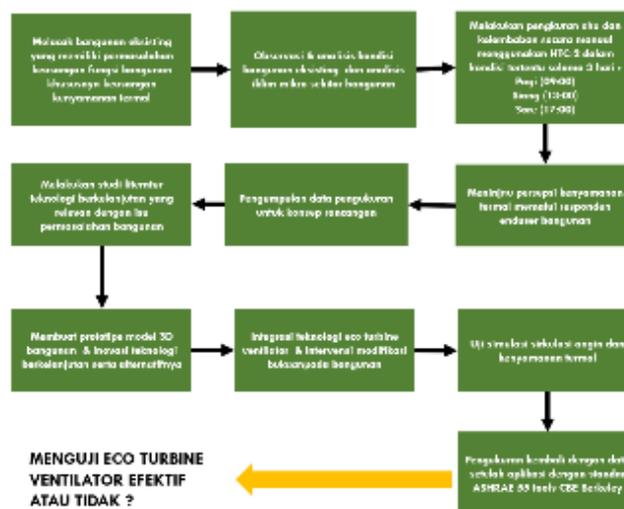
supaya udara dapat bersirkulasi dengan baik, jika tidak bersirkulasi dengan baik maka factor kelembaban yang tinggi akan terperangkap dalam ruang dalam bangunan yang menyebabkan tubuh sering berkeringat dan menyebabkan kenyamanan termal dalam bangunan rendah dan perlu intervensi pengkondisian udara dalam ruang yang mengkonsumsi energi terbesar dalam konsumsi energi listrik bangunan, hal ini berdampak negative pada krisis energi pada masa yang akan datang, sehingga inovasi teknologi berkelanjutan diperlukan (Sintawati,2018).

Desain rumah tinggal yang berkelanjutan adalah yang mampu merespon iklim mikro lingkungannya. Jika berada di wilayah iklim tropis lembab yang memiliki karakteristik suhu udara yang panas dan kelembaban udara yang relatif tinggi, desain rumah tinggal harus memiliki sirkulasi udara yang baik dengan pergantian udara segar setiap saat. Hal ini diperlukan karena suhu udara yang tinggi dan kelembaban yang tinggi akan menyebabkan ketidaknyamanan termal dalam ruang bangunan, sehingga mudah berkeringat, disebabkan suhu udara yang tinggi dengan kandungan air yang tinggi disertai pergerakan udara yang rendah sehingga udara terperangkap dalam ruang. (Nadzir 2020). Intervensi bukaan pada atap dengan teknologi *eco turbine ventilator* bertujuan untuk mensirkulasikan udara dalam bangunan, sehingga udara segar dapat masuk dan udara kotor dapat keluar dari bangunan, hal ini terjadi karena adanya *stack ventilation* yang secara alami karena adanya *buoyancy effect* yaitu suhu udara yang panas akan memiliki molekul yang lebih rendah sehingga akan mengapung dan mengarah ke atas ke udara yang bersuhu lebih rendah, fenomena ini disebut *buoyancy effect*.

## METODE PENELITIAN

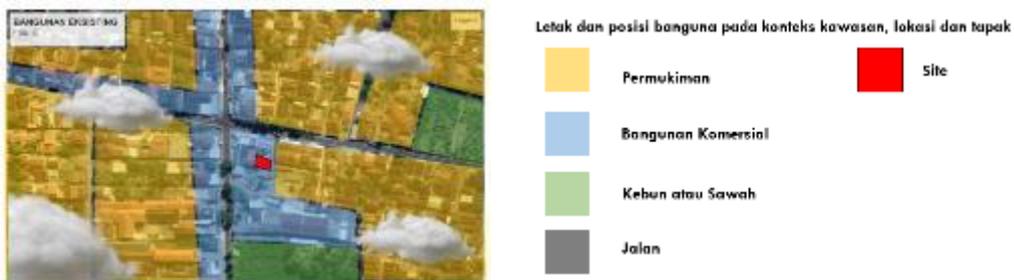
Melakukan studi literatur dan melakukan peninjauan ulang untuk memperoleh data primer dari studi lapangan dan data sekunder dari hasil studi literatur, kemudian menyinkronisasi kedua data tersebut, guna mengonfirmasi dengan data yang didapat dari tinjauan lapangan. Metode yang digunakan pada penelitian ini menggunakan metode *phenomenology and chase-study* (Creswell, 2009). Metode studi kasus ini bertujuan untuk mengetahui isu permasalahan bangunan eksisting, sehingga memudahkan dalam pengumpulan data lapangan dan data literatur.

Metode pengujian bertujuan untuk mengetahui inovasi teknologi berkelanjutan berupa *eco turbine ventilator* efektif atau tidak.



## HASIL DAN PEMBAHASAN

Lokasi bangunan eksisting berada di Perumahan Taman Anggrek 2, Desa Jonggrangan, Kecamatan Klaten Utara, Jawa Tengah. Bangunan eksisting rumah tinggal berada di kawasan urban dengan permukiman yang cukup padat, sehingga jarang sekali bangunan sekitar memiliki halaman maupun bukaan penghawaan yang memadai. Sehingga dinding bangunan saling berhimpitan dengan dinding tetangga yang membuat bukaan pada selubung bangunan minimal, sehingga menyebabkan sirkulasi udara dalam bangunan menjadi buruk atau tidak memenuhi standar SNI pada pergantian volume sirkulasi udara yang baik. Bangunan studi kasus rumah tinggal Perum Taman Anggrek memiliki masalah keusangan pada kenyamanan termal, karena tidak adanya ventilasi silang maupun stack ventilasi. Hal ini terjadi karena bukaan pada selubung bangunan hanya terdapat pada fasad bangunan saja, karena ketiga sisi bangunan saling berhimpitan dengan dinding tetangga selain itu bukaan pada fasad diperparah dengan pagar yang tinggi sehingga mencegah datangnya angin. Masalah selanjutnya adalah bangunan eksisting tidak memiliki void pada area belakang bangunan, yang area tersebut berfungsi sebagai kamar mandi, ruang cuci jemur dan gudang, praktis udara terperangkap didalam diperparah dengan kelembaban yang tinggi membuat ruang area belakang bangunan menjadi tidak nyaman karena hangat dan pengap. Isu kenyamanan termal yang menyangkut sirkulasi udara yang buruk menjadi topik pembahasan pada studi kasus ini.



**Gambar 1** Lokasi Bangunan Eksisting

Sumber : Hasil Tracing Google Earth 2021

### A. Kajian Bangunan Eksisting



**Gambar 2** Bangunan Eksisting

Sumber : Dokumentasi Pribadi 2021

Bangunan eksisting studi kasus rumah tinggal berlokasi di Perumahan Taman Anggrek 2 No. A2. Bangunan eksisting berada di Kawasan urban dengan permukiman yang cukup padat, sehingga sedikit sekali bangunan sekitar memiliki bukaan di seluruh sisi bangunan,

karena bangunan saling berhimpitan dengan bangunan tetangga, oleh karena itu rata-rata bangunan hanya memiliki bukaan pada area fasad bangunan dan void pada area belakang bangunan yang biasa digunakan sebagai area cuci jemur. Bangunan eksisting memiliki isu permasalahan pada keusangan fungsi kenyamanan termal karena sirkulasi udara yang buruk, bangunan eksisting sudah mengalami keusangan kenyamanan termal sejak masih baru karena tidak memiliki desain ventilasi silang maupun stak ventilasi, hal ini diakibatkan bangunan eksisting hanya memiliki *inlet* bukaan pada fasad bangunan dan tidak memiliki *outlet* pada sisi belakang bangunan, sehingga udara terperangkap dalam bangunan yang menyebabkan suhu udara dan kelembaban udara meningkat sehingga udara dalam bangunan menjadi pengap dan tidak nyaman, sekaligus berisiko droplet virus *covid-19* terperangkap dalam bangunan karena tidak ada pergantian sirkulasi udara secara berkala.

## B. Indikator Rancangan

**Tabel 1** Tujuan Evaluasi

TUJUAN EVALUASI	VARIABEL	PARAMETER
Untuk mengevaluasi apakah penghawaan pada bangunan rumah tinggal perum taman anggrek sudah sesuai dengan standar yang dibutuhkan sesuai dengan standar kenyamanan termal ASHRAE-55	Kualitas kenyamanan termal	Luasan area yang memenuhi syarat kenyamanan termal pendekatan sirkulasi udara

Sumber : Peneliti 2021

**Tabel 2** Indikator Kenyamanan Termal

INDIKATOR			
Standar Thermal Performance			
NO	Faktor yang mempengaruhi thermal performance	Kategori	Standar
1	Tingkat Metabolisme Tubuh	Faktor Personal	ANSI / ASHRAE 55
2	Tingkat Insulasi pada Pakaian		
3	Temperatur Udara	Faktor Lingkungan	
4	Kecepatan Udara		
5	Temperatur rata-rata radiasi		
6	Kelembaban Relative		

Sumber : ASHRAE 55

**Tabel 3** Indikator Kenyamanan Termal

Parameter Kualitas Udara dalam ruang	Rekomendasi batas kesehatan	Standar Referensi	Standar polutan udara
Temperatur udara	26 – 29 c	<ul style="list-style-type: none"> <li>CIBSE Guide A (2016)</li> <li>CIBSE AM10 (2005)</li> <li>ASHRAE Standard 62.1 (2019)</li> </ul>	
Kelembaban relative	60 – 65%		
Karbon dioksida	800 – 1000 ppm		
Laju ventilasi udara segar	Minimum 10l/s		
Kecepatan Udara	0.2m/s		

Sumber : GBCI, 2021

## C. Teknologi Berkelanjutan *Eco Turbine Ventilator* Kaleng Bekas

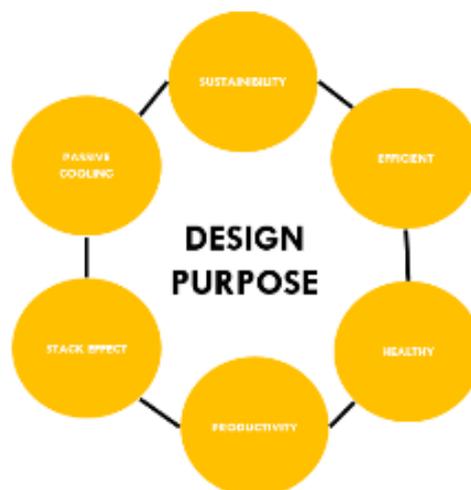


**Gambar 3** ECT Kaleng Bekas  
Sumber : Internet, 2021

Dengan menerapkan *eco turbine ventilator* pada bangunan rumah tinggal pada permukaan padat sehingga sehingga bukaan bangunan minimal yang memerlukan void untuk mencapai sirkulasi penghawaan yang baik akan tetapi akan banyak memakan ruang sehingga dapat menggunakan solusi *eco turbine ventilator*, untuk mencapai kesehatan dan kenyamanan dalam ruang dengan sistem *passive cooling* stack ventilasi dengan prinsip *buoyancy effect*. *Eco Turbine Ventilator* dapat memperbaiki volume sirkulasi udara dalam bangunan dan dapat memperbaiki kenyamanan termal bangunan secara adaptif menyesuaikan kondisi termal lingkungan sekitar bangunan, sehingga dapat menyejukan saat musim panas dan menghangatkan saat musim dingin dengan sistem *passive cooling*.

**Keunggulan rancangan bangunan hunian rumah tinggal dengan prinsip arsitektur tropis dengan *eco turbine ventilator*:**

- *Eco turbine ventilator* untuk *stack effect*
- *Innovation technology* dengan *eco turbine ventilator* memanfaatkan *waste material* kaleng bekas untuk ***passive cooling*** dalam *sustainable development*
- *Eco turbin ventilator* sebagai penghisap bau dan kotoran udara
- *Eco turbine ventilator* memperbaiki kesehatan dalam ruang



**Gambar 4** *Design Purpose*  
Sumber : Peneliti, 2021

**D. Integrasi Teknologi *Eco Turbine Ventilator* dan Jendela Pivot Jalusi**



**Gambar 4** Integrasi Teknologi Berkelanjutan

Sumber : Peneliti,2021

Berdasarkan *eco turbine ventilator* yang telah teruji penelitiannya terdapat jenis *eco turbine ventilator* konvensional, berdasarkan penelitian untuk wilayah iklim tropis lebih cocok menggunakan *eco turbine ventilator* konvensional, yang memiliki windrose dengan kecepatan rendah, dan sinar matahari sepanjang hari. Sehingga memerlukan *eco turbine ventilator* yang bermaterial ringan anti karat tahan cuaca dan berdiameter cukup besar supaya dapat berputas secara optimal walaupun kecepatan angin rendah dengan memanfaatkan prinsip *buoyancy effect*, yaitu udara hangat akan secara pasif keluar melalui ruang etik bangunan dan udara sejuk akan menggantikan dari luar bangunan ke dalam bangunan. Intervensi mengaplikasikan teknologi berkelanjutan dilakukan pada dua aspek yang pertama aspek *exhaust fan* dan yang ke dua bukaan pada fasad bangunan. Integrasi antara desain bukaan yang lebih optimal dengan mendesain ulang bukaan fasad sebagai **inlet** untuk merespon arah angin terbesar dari timur dan tenggara, dan *eco turbine ventilator* yang diletakkan di atap bangunan sebagai **outlet**. WHO merekomendasikan ventilasi minimum sebesar 10 liter/s perorang. Secara sederhana, laju pertukaran udara dapat hitung jika mengetahui volume ruang dalam bangunan.

### E. Analisis Kinerja Bangunan Eksisting



**Gambar 5** Bangunan Eksisting

Sumber : Peneliti,2021

**A** bagian cuci jemur dan kamar mandi tidak memiliki ventilasi atau void sehingga udara terperangkap dan kelembaban menjadi tinggi.

**B** bukaan hanya berada di fasad bangunan, namun angin terhalang oleh pagar yang tinggi dan masif

Dalam meninjau kondisi bangunan eksisting rumah tinggal memiliki luasan 150 Sqm dengan bukaan berupa jendela yang hanya terletak di fasad bangunan yang menghadap ke arah timur dan selatan. Pada fasad timur memiliki bidang luasan 15 Sqm terhitung memiliki bukaan jendela sebesar 2,25 Sqm dengan perkiraan bukaan fasad timur sebesar 15%. Pada fasad selatan memiliki selubung dengan luasan 12 Sqm dengan bukaan jendela 2 Sqm dan pintu 3,4 Sqm. Sehingga perkiraan luasan bidang bukaan sebesar 22%. Namun dari bukaan yang ada menggunakan jendela kaca kemudian menggunakan sudut bukaan yang kecil, dalam meninjau kondisi eksisting menggunakan HTC-2 thermometer dan kelembaban setelah itu ditinjau dengan tools ASHRAE 55 yaitu CBE Berkeley.

**Pengujian Kesehatan dan Kenyamanan Dalam Ruang Bangunan Eksisting**

Dilakukan observasi pengamatan bangunan rumah tinggal di perumahan anggrek No. 2A dengan metode pengamatan dan pengambilan data dengan dokumentasi foto dan pengukuran suhu dalam ruang, menggunakan thermometer. Observasi pengambilan data dilakukan pada pukul:

**Tabel 4**Data Pengukuran Termal Bangunan Eksisting

Observasi	Pukul	Suhu	RH (%)	Kenyamanan Termal menurut ASHRAE 55
Hari 1	09:00 – 12:00	27.5 C	73%	Tidak Nyaman
	15:00 – 18:00	30 C	85%	Tidak Nyaman
	19:00 – 21:00	28.5 C	77%	Tidak Nyaman
Hari 2	09:00 – 12:00	28.5 C	78%	Tidak Nyaman
	15:00 – 18:00	30,5 C	83%	Tidak Nyaman
	19:00 – 21:00	29 C	87%	Tidak Nyaman
Hari 3	09:00 – 12:00	28. C	87%	Tidak Nyaman
	15:00 – 18:00	30.7 C	89%	Tidak Nyaman
	19:00 – 21:00	27.5 C	80%	Tidak Nyaman

Sumber : Peneliti, 2021



**Gambar 6** Hasil Pengukuran Termal Bangunan Eksisting

Sumber : Peneliti,2021

**F. Perhitungan Kebutuhan Air Change per Hour dan Eco Turbine Ventilator**

WHO merekomendasikan ventilasi minimum sebesar 10 liter/s perorang. Secara sederhana, laju pertukaran udara dapat hitung jika mengetahui volume rumah tinggal. (sumber: GBCI, (2020).

**Tabel 5** Data Ruang Kritis Bangunan Eksisting

NO	RUANG	UKURAN (m)	VOLUME (m <sup>3</sup> )
1	KAMAR TIDUR 1	3,5 X 5 X 3	52,5
2	TOILET	2 X 1,7 X 3	10,2
3	GUDANG	4 X 1,7 X 3	20,4
4	ATAP	12 X 10 X 2: 2	120
TOTAL			203,1

Sumber : Peneliti, 2021

Rumus :

$$N = 3600 Q/V$$

N = Jumlah air changes per hours (ACH)

Q = Besar Laju udara dalam m<sup>3</sup>/detik (meter kubik per detik)

V = Besar volume ruang dalam m<sup>3</sup>

Diketahui:

Volume rumah tinggal = 203,1 m<sup>3</sup>

Jumlah penghuni = 4 orang

Ventilasi minimum = 0.01m<sup>3</sup>/s per orang

Jika terdapat 5 orang dalam bangunan = 0.05m<sup>3</sup>/s

Jumlah volume udara yang masuk dalam 1 jam = 0.05m<sup>3</sup>/s x 3600 s = 180m<sup>3</sup>

$$N \text{ (ACH)} = 180\text{m}^3 : 203,1\text{m}^3 = 0.89$$

Kecepatan udara masuk : 0.01m/s

(pada kondisi desain, kecepatan udara masuk digunakan yang paling sering muncul sesuai data angin BMKG)

**Luas Jendela yang diperlukan**

Target ACH x Volume Ruangan

3600 x Kecepatan udara

$$0.89 \text{ ACH} \times 203,1 \text{ m}^3 = 5\text{m}^2$$

Luas jendela pada satu sisi dinding minimal 5m<sup>2</sup>, sehingga luas total jendela dengan sisi dinding yang berlawanan adalah 10m<sup>2</sup> untuk mencapai tingkat ventilasi yang ideal.



**Gambar 7** Indikator ACH GBCI

Sumber : GBCI,2021



### Bukaan Jendela + Exhaust Fan

Ventilasi silang alami dibantu dengan teknologi mekanik berkelanjutan *passive cooling eco turbine ventilator (6 ACH)*

**Gambar 8** Integrasi Teknologi Berkelanjutan Untuk Mencapai 6 ACH  
Sumber : Peneliti, 2021

### Rumus jumlah *Eco Turbine Ventilator*

Turbin ventilator akan bergerak atau berputar sesuai dengan arah angin atau tekanan udara yang terjadi dari perbedaan suhu di dalam dan di luar ruangan. Dalam kondisi ideal, sebuah ruangan membutuhkan pergantian udara setiap jamnya dengan volume 70 – 90 meter kubik. Menentukan berapa jumlah turbin yang harus dipasang, ada beberapa hal yang harus diperhatikan, yaitu:

**Sumber :** (SNI 03-6572-2001)

1. Volume rumah atau gedung dalam meter kubik (panjang x lebar x tinggi)
2. Kegunaan bangunan
3. Kecepatan angin di daerah tersebut

Perhitungan jumlah *Eco Turbine Ventilator* pada studi kasus bangunan eksisting, sebagai berikut:

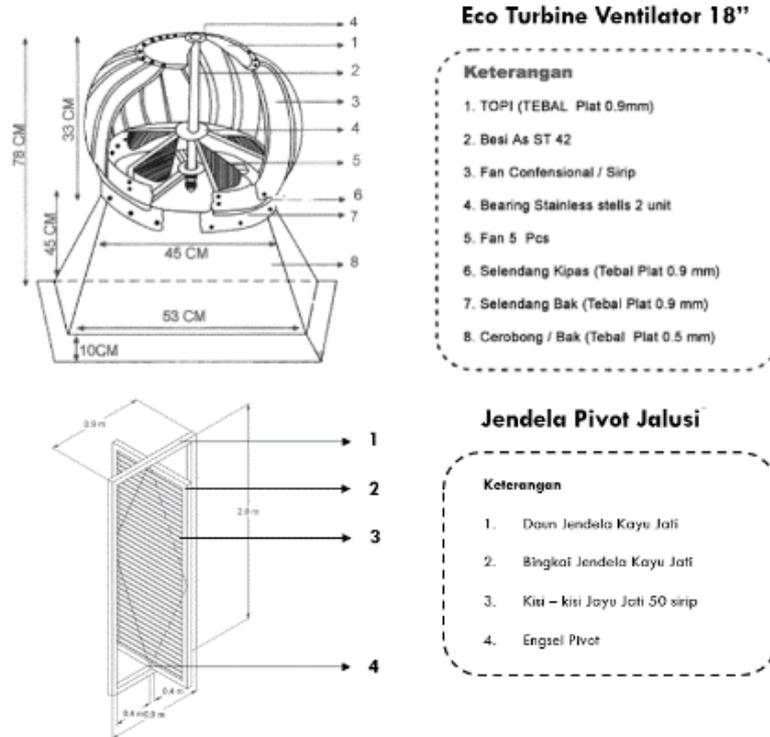
**Tabel 6** Data Ruang Kritis Bangunan Eksisting

NO	RUANG	UKURAN (m)	VOLUME (m <sup>3</sup> )
1	KAMAR TIDUR 1	3,5 X 5 X 3	52,5
2	TOILET	2 X 1,7 X 3	10,2
3	GUDANG	4 X 1,7 X 3	20,4
4	ATAP	12 X 10 X 2: 2	120
<b>TOTAL</b>			<b>203,1</b>

Sumber : Peneliti, 2021

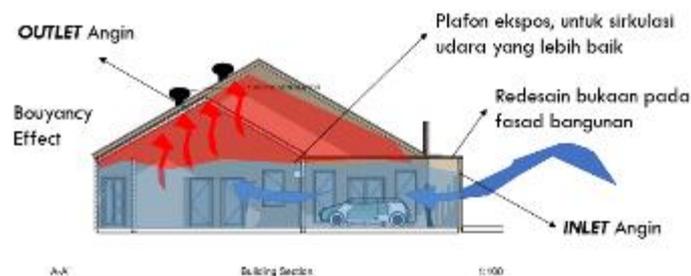
Simulasi alternatif pertama dengan hanya menggunakan *Eco Turbine Ventilator* dengan diameter 18" atau 45,72 cm, dengan daya hisap 42,36 m<sup>3</sup>/menit. Maka dibutuhkan 4,4 atau empat *Eco Turbine Ventilator* berdiameter 18" untuk memperbaiki kenyamanan termal.

### G. Detail Konstruksi Teknologi Berkelanjutan



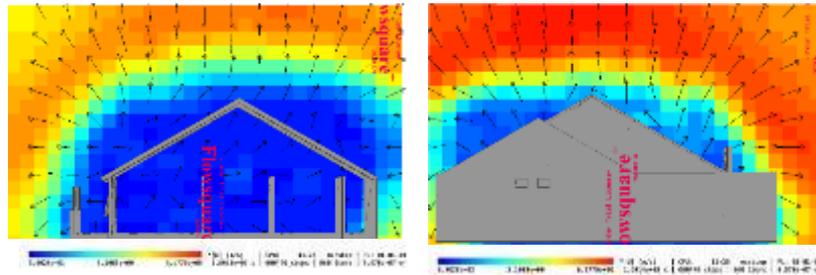
**Gambar 9** Detail *Eco Turbine Ventilator* dan Jendela Pivot Jalusi  
Sumber : Peneliti, 2021

Simulasi bangunan alternatif kedua dengan menggunakan 4 *eco turbine ventilator*, dengan ukuran 18" atau 45,72 CM mampu mensirkulasikan udara dengan daya volume hisap udara 42,36 m<sup>3</sup>/menit. Dan dengan bukaan jendela pivot jalusi 2 m<sup>2</sup> supaya dapat mencapai standar penghawaan ventilasi 6 ACH.



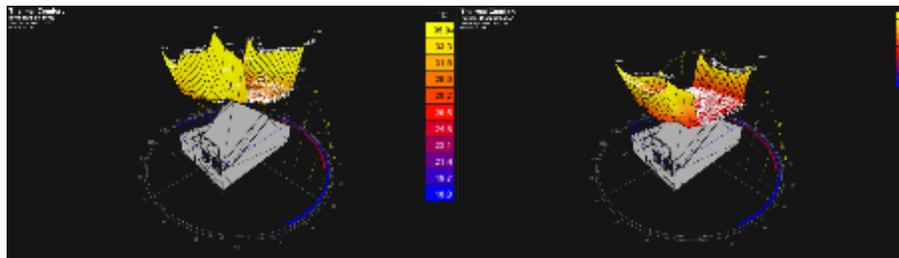
**Gambar 10** Skematik Sirkulasi Udara Setelah Aplikasi Teknologi Berkelanjutan  
Sumber : Peneliti, 2021

## F. Pengujian Bangunan Eksisting dengan Software Simulasi



**Gambar 11** Sirkulasi Udara Sebelum Aplikasi Teknologi Berkelanjutan  
Sumber : Flowsquare, 2021

Simulasi menggunakan *software Flowsquare* untuk mendapatkan visualisasi data sirkulasi udara bangunan eksisting baik atau buruk, sehingga dapat menjadi gambaran pada pemecahan masalah bangunan eksisting dengan intervensi desain selanjutnya. Hasil dari simulasi *Flowsquare* bangunan eksisting memiliki sirkulasi udara yang buruk, terlihat dengan angin semakin merah semakin kencang dan semakin biru maka semakin lambat, dari uji simulasi, terlihat bahwa sebelum aplikasi *eco turbine ventilator* udara didalam bangunan terperangkap dan tidak dapat berputar atau mencapai ventilasi silang sehingga suhu udara dan kelembaban udara dalam bangunan meningkat.



**Gambar 12** Kenyamanan Termal Sebelum Aplikasi Teknologi Berkelanjutan  
Sumber : Ecotect, 2021

Simulasi menggunakan *software Ecotect* untuk mendapatkan visualisasi data kenyamanan termal bangunan eksisting baik atau buruk, sehingga dapat menjadi gambaran pada pemecahan masalah bangunan eksisting dengan intervensi desain selanjutnya. Dari hasil pengujian simulasi *ecotect* bangunan eksisting memiliki temperature dalam ruang yang cukup tinggi hingga 34 C karena sirkulasi udara yang buruk, udara tidak dapat berputar sehingga pergantian udara segar sangat sulit tercapai yang mengakibatkan udara terperangkap, suhu udara dan kelembaban udara meningkat sehingga ruangan menjadi pengap. Lalu persentasi ketidakpuasan penghuni sangat tinggi hingga 63 PPD

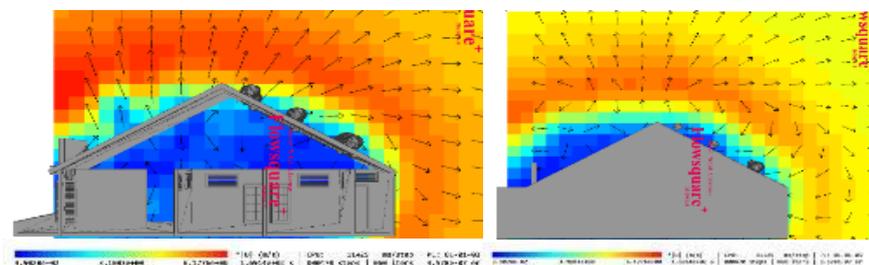


**Gambar 13** Indikator Kenyamanan Termal Sebelum Aplikasi Teknologi Berkelanjutan  
Sumber : CBE Berkeley, 2021

Simulasi menggunakan *software CBE BERKELEY* untuk mendapatkan data kenyamanan termal berdasarkan standar ASHRAE 55, dengan tools CBE Berkeley. Data dimasukan dari hasil peninjauan langsung bangunan eksisting dengan mengukur suhu dan kelembaban bangunan eksisting dilakukan secara periodik selama tiga hari berturut-turut dengan titik pengujian yang berbeda-beda, dimaksudkan supaya mendapatkan hasil rata-rata kenyamanan termal bangunan eksisting yang lebih akurat. Dari hasil pengambilan data yang dimasukan kedalam *software CBE Berkeley* bangunan eksisting belum memiliki kenyamanan termal yang memenuhi standar ASHRAE 55, karena suhu udara dan kelembaban udara yang tergolong cukup tinggi.

#### H. Pengujian Bangunan Setelah Aplikasi Teknologi dengan Software Simulasi

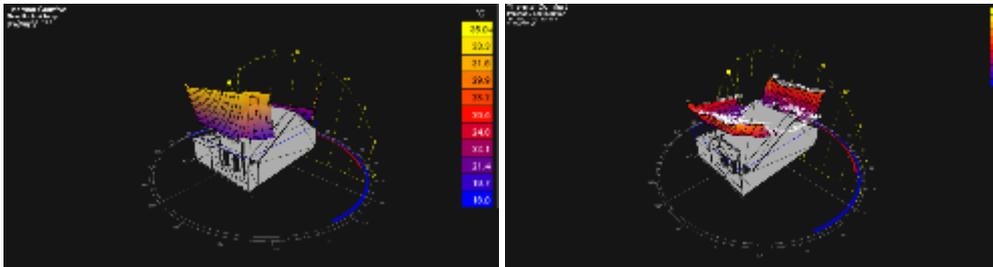
Desain alternatif pertama dengan intervensi hanya mengaplikasikan *eco turbine ventilator* dan tidak memodifikasi bukaan pada selubung bangunan atau menggunakan bangunan eksisting.



**Gambar 14** Sirkulasi Udara Setelah Aplikasi Teknologi Berkelanjutan  
Sumber : Flowsquare, 2021

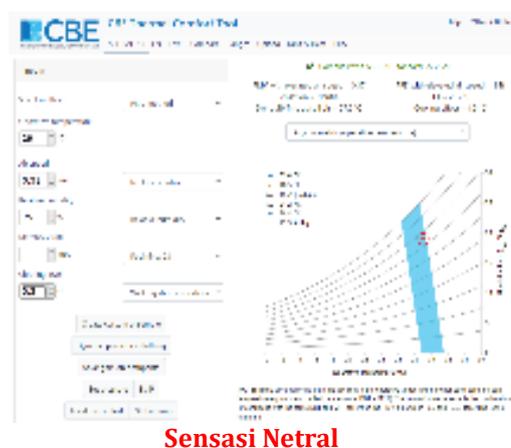
Simulasi menggunakan *software Flowsquare* untuk mendapatkan visualisasi data sirkulasi udara bangunan eksisting baik atau buruk, sehingga dapat menjadi gambaran pada pemecahan masalah bangunan eksisting dengan intervensi desain selanjutnya. Hasil dari simulasi *Flowsquare* bangunan alternatif pertama memiliki sirkulasi udara membaik dengan intervensi *eco turbine ventilator*, terlihat dengan angin semakin merah pekat semakin kencang dan semakin biru pekat maka semakin lambat, dari uji simulasi, terlihat bahwa sesudah aplikasi *eco turbine ventilator* udara didalam bangunan berhasil keluar dengan cukup lancar udara dapat berputar atau mencapai ventilasi silang sehingga suhu

udara dan kelembaban udara dalam bangunan dapat menurun, namun visualisasi dari software flowsquare masih menunjukkan udara bersirkulasi kurang maksimal, hal ini dimungkinkan karena *inlet* udara pada bukaan fasad bangunan terlalu kecil atau tidak memenuhi standar perhitungan ACH dengan minimal sisi bangunan memiliki 5 m<sup>2</sup> bukaan jendela, karena bangunan eksisting hanya memiliki bukaan 2 m<sup>2</sup> dan tertutupi oleh pagar yang tinggi menyebabkan udara masuk kedalam bangunan tidak optimal dan *eco turbine ventilator* kurang optimal menghisap udara dari dalam ke luar bangunan karena volume udara yang masuk cukup sedikit.



**Gambar 15** Kenyamanan Termal Sebelum Aplikasi Teknologi Berkelanjutan  
Sumber : Ecotect, 2021

Simulasi menggunakan *software Ecotect* untuk mendapatkan visualisasi data kenyamanan termal bangunan bangunan eksisting baik atau buruk, sehingga dapat menjadi gambaran pada pemecahan masalah bangunan eksisting dengan intervensi desain selanjutnya. Dari hasil pengujian simulasi ecotect bangunan alternatif pertama setelah mengaplikasikan *eco turbine ventilator* dan tanpa memodifikasi bukaan jendela pada fasad bangunan, temperature dalam ruang mulai menurun hingga kurang dari 21C minimum karena sirkulasi udara mulai membaik dengan bantuan *exhaust fa eco turbine ventilator*, udara dapat berputar sehingga pergantian udara segar dapat tercapai sehingga, suhu udara dan kelembaban udara dapat menurun. sehingga ruangan menjadi nyaman. Lalu persentasi ketidakpuasan penghuni mulai menurun hingga 50 PPD

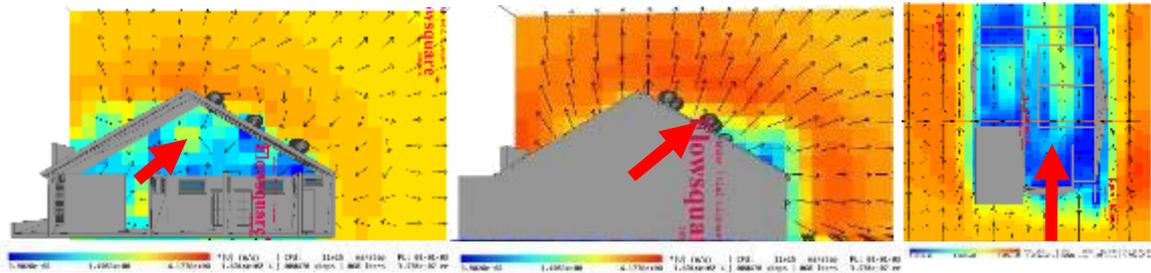


**Sensasi Netral**

**Gambar 16** Indikator Kenyamanan Termal Sebelum Aplikasi Teknologi Berkelanjutan  
Sumber : CBE Berkeley, 2021

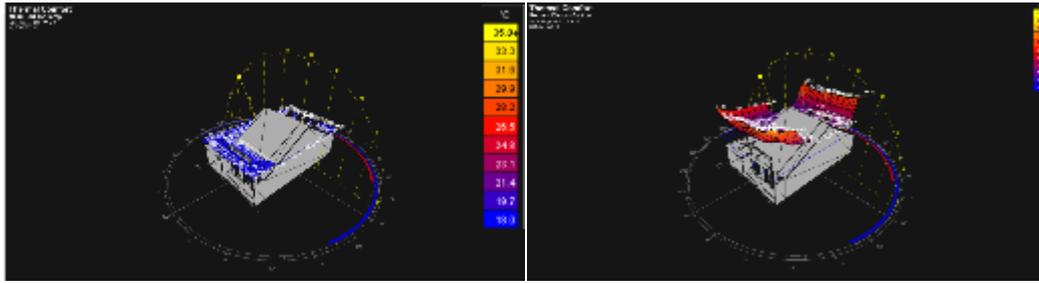
Simulasi menggunakan *software CBE BERKELEY* untuk mendapatkan data kenyamanan termal berdasarkan standar ASHRAE 55, dengan *tools CBE Berkeley*. Data dimasukkan dari hasil simulasi integrasi teknologi rancangan alternatif pertama dengan *ecotect*, dapat mengetahui suhu dan kelembaban rancangan alternatif pertama, dengan hanya mengaplikasikan *eco turbine ventilator* tanpa memodifikasi bukaan pada fasad bangunan eksisting. Dari hasil pengambilan data simulasi *ecotect* alternatif rancangan pertama yang dimasukkan kedalam *software CBE Berkeley*, sudah memiliki kenyamanan termal yang memenuhi standar ASHRAE 55, karena suhu udara dan kelembaban udara mulai menurun, dengan sensasi kenyamanan udara netral karena berdasarkan grafik CBE Berkeley sebagian titik didalam zona kenyamanan termal dan sebagian lagi diluar zona kenyamanan termal.

Desain alternatif kedua dengan intervensi mengaplikasikan *eco turbine ventilator* dan memodifikasi bukaan jendela pada fasad bangunan dengan menambah lubang roster dan memodifikasi bukaan dengan jendela jalusi pivot untuk mendapatkan penghawaan alami yang maksimal, supaya dapat mencapai standar **6 ACH** dengan kombinasi **bukaan jendela + exhaust fan**.



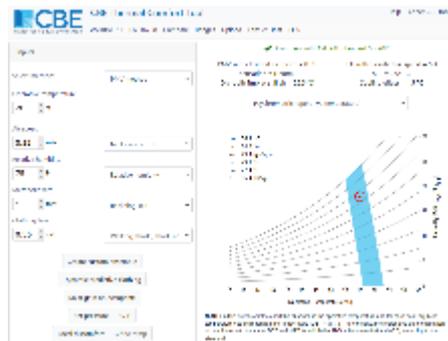
**Gambar 17** Sirkulasi Udara Setelah Aplikasi Teknologi Berkelanjutan  
Sumber : Flowsquare, 2021

Simulasi menggunakan *software Flowsquare* untuk mendapatkan visualisasi data sirkulasi udara bangunan rancangan alternatif kedua baik atau buruk, sehingga dapat menjadi gambaran pada pemecahan masalah bangunan rancangan alternatif kedua dengan intervensi desain rancangan selanjutnya. Terlihat sirkulasi angin dalam bangunan menjadi lebih baik setelah diintervensi *eco turbine ventilator* sebagai **outlet** dan *jendela pivot jalusi* sebagai **inlet** pada fasad bangunan, tidak terlihat lagi udara berputar-putar dalam bangunan, melainkan langsung mengarah ke atas karena dihisap oleh **eco turbine ventilator** sebagai **outlet**. Pada titik atap belakang bangunan yang diintervensi dengan menggunakan *eco turbine ventilator* (pertimbangan perletakan pada atap area belakang untuk memperbaiki sirkulasi udara ruang dalam bagian belakang bangunan sebagai area basah yang kritis dan sebagai **outlet** dari **inlet** fasad timur dan selatan bangunan). Aliran kecepatan udara terlihat memasuki bangunan dari fasad bangunan, beberapa terhempas keatas yang terhalang oleh dinding dan atap, pada bagian atap bangunan yang diintervensi *eco turbine ventilator* terlihat mengeluarkan udara hangat dari dalam bangunan yang terlihat arus angin yang kuat. Pada denah terlihat **inlet** fasad bangunan terlihat angin memasuki bangunan dan sebagian terhempas ke kanan dan kiri bangunan karena terhalang oleh dinding, terlihat udara memasuki **inlet** kemudian memasuki ke ruang dalam bagian belakang bangunan semakin cepat karna terhisap oleh **eco turbine ventilator** sehingga siklus pergantian volume udara segar dan udara kotor dalam ruang menjadi lebih cepat.



**Gambar 18** Kenyamanan Termal Sebelum Aplikasi Teknologi Berkelanjutan  
Sumber : Ecotect, 2021

Simulasi menggunakan *software Ecotect* untuk mendapatkan *visualisasi* data kenyamanan termal bangunan bangunan rancangan alternatif kedua sudah baik atau masih buruk, sehingga dapat menjadi gambaran pada pemecahan masalah bangunan eksisting dengan intervensi desain selanjutnya. Dari hasil pengujian simulasi *ecotect* rancangan alternatif kedua memiliki temperature dalam ruang yang sudah memenuhi standar kenyamanan ASHRAE (25C – 29C) karena sirkulasi udara membaik dan siklus pergantian udara segar dan kotor yang lebih cepat, udara tidak lagi terperangkap dalam ruang, suhu udara dan kelembaban udara stabil. Lalu persentasi ketidakpuasan penghuni menurun signifikan hingga 40 PPD.



**Sensasi Nyaman**

**Gambar 19** Indikator Kenyamanan Termal Sebelum Aplikasi Teknologi Berkelanjutan  
Sumber : CBE Berkeley, 2021

Simulasi menggunakan *software CBE BERKELEY* untuk mendapatkan data kenyamanan termal berdasarkan standar ASHRAE 55, dengan *tools CBE Berkeley*. Data dimasukan dari hasil simulasi integrasi teknologi rancangan alternatif kedua dengan *ecotect*, dapat mengetahui suhu dan kelembaban rancangan alternatif kedua, dengan mengaplikasikan kombinasi *eco turbine ventilator* kaleng bekas daur ulang dan memodifikasi bukaan pada fasad bangunan eksisting dengan bukaan *jendela pivot jalusi* material kayu bekas olahan. Dari hasil pengambilan data simulasi *ecotect* alternatif rancangan kedua yang dimasukan kedalam *software CBE Berkeley*, sudah memiliki kenyamanan termal yang memenuhi standar ASHRAE 55, dengan rentang suhu (23C-29C) karena suhu udara dan kelembaban udara sudah stabil, dengan sensasi kenyamanan udara *nyaman* berdasarkan grafik CBE Berkeley titik pengujian berada didalam zona kenyamanan termal. Sehingga disimpulkan bahwa integrase rancangan alternatif kedua berhasil memecahkan isu permasalahan kenyamanan termal bangunan eksisting dengan

intervensi integrasi teknologi berkelanjutan ***eco turbine ventilator berbahan kaleng bekas daur ulang*** dan ***jendela pivot jalusi berbahan kayu bekas olahan***.

## KESIMPULAN

Bangunan eksisting yang memiliki isu permasalahan kenyamanan termal sejak bangunan tersebut didirikan, karena tidak dirancang memiliki ventilasi silang dan diperparah dengan area belakang bangunan sebagai area basah tidak memiliki void sama sekali sehingga udara terperangkap didalam dan ruang tersebut menjadi pengap dan tidak nyaman, isu permasalahan tersebut dapat dipecahkan dengan inovasi teknologi berkelanjutan dengan pendekatan memperbaiki sirkulasi udara dalam ruang untuk mencapai kenyamanan termal. ***Eco Turbine Ventilator Kaleng Bekas Daur Ulang*** sebagai ***outlet*** terbukti mampu memperbaiki kenyamanan termal dalam bangunan dengan pendekatan sirkulasi udara, dalam beberapa studi yang mengaji ***eco turbine ventilator***, dapat beradaptasi menurunkan dan menaikkan suhu bergantung pada cuaca iklim luar bangunan. ***Eco turbine ventilator*** termasuk salah satu inovasi teknologi berkelanjutan yang sangat efektif dan ramah lingkungan, karena bekerja secara pasif tanpa memerlukan energi fosil dan dalam pembuatannya menggunakan material bekas berupa kaleng bekas. Berdasarkan studi literatur kombinasi teknologi antara ***exhaust fan*** seperti ***eco turbine ventilator*** dengan bukaan jendela yang memenuhi standar dapat mencapai standar ASHRAE sirkulasi udara baik hingga 6 ACH, sehingga bangunan eksisting mengaplikasikan ***eco turbine ventilator*** sebagai ***outlet*** dan ***jendela pivot jalusi*** sebagai ***inlet*** untuk mencapai standar sirkulasi udara dan ventilasi silang maupun stak ventilasi yang baik. Oleh karena itu setelah dilakukan uji simulasi integrasi teknologi rancangan final berhasil memecahkan permasalahan kenyamanan termal bangunan eksisting dengan berhasil merekayasa sirkulasi udara dan kecepatan siklus pergantian udara segar dengan udara kotor. Sehingga bangunan berhasil mencapai kenyamanan berdasarkan standar ASHRAE dan SNI.

## DAFTAR PUSTAKA

### Artikel Jurnal

- Abdulameer and Abbas (2020), Adaptive reuse as an approach to sustainability, ICSET 2020. p.1.
- Alim, M.S., Margianto, M. and Hartono, P., 2017. PENGARUH TEMPERATUR TERHADAP KECEPATAN PUTAR TURBINE CYCLONE. *Jurnal Teknik Mesin*, 7(02).
- Artiningsih, N.K.A., 2012. Pemanfaatan Bambu Pada Konstruksi Bangunan Berdampak Positif Bagi Lingkungan. *Metana*, 8(01).
- Braun, J.E., Klein, S.A. and Mitchell, J.W., 1989. Effectiveness models for cooling towers and cooling coils. *ASHRAE Transactions (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers);(USA)*, 95(CONF-890609-).
- Gunawan, F.C., Efektifitas Cerobong Cyclone sebagai Ventilasi Toilet untuk Arsitektur Hijau. In *Prosiding Seminar Nasional ReTII ke (Vol. 12)*.
- Hermawan, E.P. and Setyowati, E., 2018. Studi lapangan variabel iklim rumah vernakular pantai dan gunung dalam menciptakan kenyamanan termal adaptif. *Jurnal Arsitektur*.

- Ismail, M. and Rahman, A.M.A., 2012. Stack ventilation strategies in architectural context: a brief review of historical development, current trends and future possibilities. *International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences*, 11(2), pp.291-301.
- Kibert, C.J., 2004. Green buildings: an overview of progress. *Journal of Land Use & Environmental Law*, 19(2), pp.491-502.
- Kurniati, D., Fauzi, M.Z., Ripangi, R., Falegas, A. and Indria, I., 2021. Klasterisasi Daerah Rawan Gempa Bumi di Indonesia Menggunakan Algoritma K-Medoids: Clustering of Earthquake Prone Areas in Indonesia Using K-Medoids Algorithm. *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, 1(1), pp.47-57.
- Nadzir, M.S.M., Ooi, M.C.G., Alhasa, K.M., Bakar, M.A.A., Mohtar, A.A.A., Nor, M.F.F.M., Latif, M.T., Abd Hamid, H.H., Ali, S.H.M., Ariff, N.M. and Anuar, J., 2020. The impact of movement control order (MCO) during pandemic COVID-19 on local air quality in an urban area of Klang valley, Malaysia. *Aerosol and Air Quality Research*, 20(6), pp.1237-1248.
- Nugroho, S., 2011. STUDY OF ADAPTATION SIMULATION ON TERMAL COMFORT-ABLENESS LEVEL CAUSED BY GLOBAL CLIMATE CHANGE ON PADANG. *Widyariset*, 14(3), pp.549-558.
- Shao, D., Nagai, Y., Maekawa, M. and Fei, 2018. Innovative design typology for adaptive reuse of old buildings in public spaces. *Journal of Engineering Science and Technology*, 13(11), pp.3547-3565.
- SINTAWATI, A., 2018. *Analisis Upaya Penerapan Konsep Green Building Terhadap Existing Building Berdasarkan Sertifikasi Green Building Council Indonesia* (Doctoral dissertation, UAJY).
- Supriyanta, S., 2018. REKAYASA ARSITEKTUR BERKELANJUTAN BERDASARKAN NILAI-NILAI DASAR KEISLAMAN. *Prosiding Semnastek*.
- Suriansyah, Y., Maurina, A., Edward, B., Amadea, N., Andamari, A. and Gynandra, Y., 2009. Rumah bambu tahan gempa Desa Cikangkareng, Cianjur
- Susanti, A., Efendi, M.Y., Wulandari, I.G.A.J.J. and Putri, P.S., 2020, March. Pemahaman Adaptive Reuse dalam Arsitektur dan Desain Interior sebagai Upaya Menjaga Keberlanjutan Lingkungan: Analisis Tinjauan Literatur. In *SENADA (Seminar Nasional Desain Dan Arsitektur)* (Vol. 3, pp. 499-505).
- WAHYUNINGSIH, N.P., Semil, N. and Ermanovida, E., 2020. *ANALISIS PENGELOLAAN LIMBAH PADAT DI JAKABARING SPORT CITY DALAM MEWUJUDKAN KAWASAN SMART AND GREEN* (Doctoral dissertation, Sriwijaya University).

#### Situs Web

<https://earth.google.com/web/>  
<https://comfort.cbe.berkeley.edu/>  
<http://andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html>