

PENERAPAN TEKNOLOGI BEEHIVE COOLING SYSTEM UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS PENGHAWAAN ALAMI DALAM BANGUNAN

(Studi Kasus : Masjid Ulil Albab)

Fahmi Ilham Muhammad¹, Sugini², dan Ilham Bakti³

¹Jurusan Arsitektur, Universitas Islam Indonesia

¹Surel: 22512023@students.uii.ac.id

ABSTRAK: Meningkatnya kebutuhan listrik pada bangunan mendorong terjadinya krisis energi yang tidak sejalan dengan konsep pembangunan berkelanjutan. salah satu strategi yang dapat digunakan untuk mengatasi masalah tersebut dengan penerapan penghawaan alami, salah satunya adalah teknologi Beehive Cooling System (BCS). Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan desain fasad berbasis teknologi Beehive Cooling System. Menggunakan selubung dengan material tanah liat dan memanfaatkan aliran air yang jatuh melalui lubang selubung untuk meningkatkan kualitas penghawaan dari segi kenyamanan termal pengguna. Simulasi menggunakan perangkat lunak Autodesk CFD menunjukkan bahwa BCS mampu meningkatkan rata-rata kecepatan angin dan menurunkan suhu rata-rata di dalam bangunan. Hasil tersebut juga divalidasi dengan analisis statistik menggunakan SPSS yang memperkuat bahwa BCS mampu meningkatkan kualitas penghawaan di dalam ruangan. Sehingga inovasi teknologi BCS dapat disimpulkan berhasil menjadi solusi untuk meningkatkan kualitas penghawaan di dalam ruangan.

Kata kunci: Beehive Cooling System, Penghawaan Alami, Sustainable Development

PENDAHULUAN

1.1 Modul 1-6

Pembangunan Berkelanjutan adalah prinsip pengorganisasian yang memenuhi tujuan pembangunan manusia, sekaligus menjaga kemampuan sistem alam menyediakan sumber daya dan ekosistem yang mendukung ekonomi dan masyarakat (Sugini, 2024). *Sustainability* dalam material merujuk pada pemilihan dan penggunaan material yang tidak mengorbankan kemampuan generasi masa depan untuk memenuhi kebutuhan material (Prihatmaji, 2022). *Sustainability* dalam keterpaduan struktur dan arsitektur merujuk pada metode dan proses desain (Supriyanta, 2024)

Sustainability dapat diwujudkan melalui banyak aspek, seperti termal (Mufida, 2024). Sumber energi terbarukan dalam bangunan bisa memanfaatkan elemen-elemen bangunan, seperti selubung untuk menangkap sinar matahari sebagai sumber listrik atau atap yang mengarahkan air hujan ke tangki penampungan, yang airnya dapat digunakan untuk kebutuhan bangunan (Tjokrorahardjo, 2024)

Pada tahun 2015, Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) menetapkan 17 Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs) sebagai panduan global untuk mengatasi tantangan sosial, ekonomi, dan lingkungan (Usadi, 2021). Dua tujuan yang sangat relevan dalam kaitannya dengan kesehatan manusia dan pengelolaan energi berkelanjutan adalah SDG 3 dan SDG 7.

1.1.2 Latar Belakang Isu

SDG 3 berfokus pada peningkatan kesehatan dan kesejahteraan. Kualitas udara dalam ruangan yang buruk, terutama ventilasi, dapat menyebabkan masalah kesehatan seperti gangguan pernapasan dan alergi. Menurut WHO, ini adalah salah satu dari lima risiko kesehatan lingkungan terbesar secara global (Indah & Aurora, 2021).

SDG 7 bertujuan memastikan akses energi terjangkau, andal, berkelanjutan, dan modern (Tucho & Kumsa, 2020). Pengelolaan energi dalam bangunan, terutama untuk pendinginan

dan pencahayaan, sangat penting. Bangunan publik, seperti masjid, sering menggunakan AC untuk kenyamanan termal, yang sering menyebabkan pemborosan energi. Bangunan menyumbang sekitar 30% dari total konsumsi energi dunia (Custer, 2018), banyak dari sistem HVAC yang tidak efisien.

1.1.3 Latar Belakang Permasalahan

Implementasi SDGs poin 3 dan 7 menghadapi tantangan serius. Untuk SDG 3, kualitas udara dalam ruangan sering terhambat oleh kurangnya desain yang mempertimbangkan ventilasi alami. Banyak bangunan modern mengandalkan AC untuk mengatur suhu, yang meningkatkan konsumsi energi dan bisa memperburuk kualitas udara dalam ruangan jika sirkulasi tidak memadai.

Untuk SDG 7, efisiensi energi menjadi isu penting. Penggunaan energi yang tidak efisien di bangunan dengan sistem penghawaan buatan meningkatkan emisi karbon dan pemborosan energi (Rizki, 2022). Banyak negara, termasuk Indonesia, menghadapi tantangan untuk beralih ke energi bersih dan terjangkau. Sistem HVAC yang tidak optimal sering menggunakan energi besar, bertentangan dengan upaya global menuju keberlanjutan energi.

1.1.4 Latar Belakang Kasus Bangunan

Masjid Ulil Albab Universitas Islam Indonesia (UII) di Yogyakarta adalah bangunan penting yang berfungsi sebagai tempat ibadah dan pusat aktivitas akademik serta sosial. Namun, masjid ini menghadapi masalah penghawaan dalam ruangan. Meskipun dirancang dengan ventilasi alami, kenyamanan termal sering tidak tercapai, terutama saat jumlah pengunjung meningkat.

Keterbatasan perencanaan penghawaan alami membuat pengguna masjid bergantung pada pendingin udara buatan. Penggunaan AC yang berlebihan meningkatkan konsumsi energi dan bertentangan dengan prinsip keberlanjutan dalam SDG poin 7, yaitu penggunaan energi yang efisien dan bersih.

1.2 Pertanyaan Penelitian

Apakah desain beehive cooling sistem dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas penghawaan alami di ruang solat Masjid Ulil Albab?

1.3 Tujuan Penelitian

Mengetahui desain beehive cooling system yang dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas penghawaan alami di ruang solat Masjid Ulil Albab.

1.4 Batasan Penelitian

Penelitian ini berfokus pada evaluasi kualitas penghawaan di Masjid Ulil Albab, dengan batasan pada penghawaan alami yang terkait dengan elemen desain bangunan seperti tata letak jendela, ventilasi, dan orientasi bangunan terhadap aliran udara. Penelitian ini tidak mencakup analisis struktur bangunan secara keseluruhan, tetapi fokus pada aspek penghawaan yang diukur dari kecepatan angin yang masuk.

STUDI PUSTAKA

2.1 Sustainable Development

Pembangunan Berkelanjutan mengacu pada pendekatan holistik dalam arsitektur dan perencanaan kota yang menyeimbangkan kebutuhan pembangunan dengan konservasi lingkungan untuk generasi mendatang (Priyoga, 2010). Pendekatan ini mengintegrasikan efisiensi energi, manajemen sumber daya, dan kesetaraan sosial untuk meminimalkan dampak lingkungan serta mendorong kehidupan yang berkelanjutan. Praktik utama mencakup penggunaan material terbarukan, desain hemat energi, dan ventilasi alami. Ini selaras dengan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs) PBB, terutama dalam perumahan terjangkau, ketahanan pangan, dan aksi iklim.

2.2 Sustainability Architecture

Arsitektur berkelanjutan bertujuan meminimalkan dampak negatif lingkungan bangunan dengan meningkatkan efisiensi energi dan penggunaan sumber daya secara berkelanjutan (Febriadi & Judullah Afgani, 2023). Konsep ini secara formal muncul setelah Konferensi Rio 1992, melibatkan penggunaan lahan, material, dan energi secara rasional untuk mengurangi jejak ekologis bangunan dan menurunkan emisi gas rumah kaca. Sektor konstruksi menyumbang sekitar 35-50% dari emisi iklim global (MDPI).

2.3 Penghawaan Alami

Kecepatan angin bergerak	Pengaruh atas kenyamanan	efek penyebaran (pada suhu 30°C)
< 0.25 m/detik	tidak dapat dirasakan	0°C
0.25–0.5 m/detik	paling nyaman	0.5–0.7°C
0.5–1 m/detik	masih nyaman, tetapi gerakan udara dapat dirasakan	1.0–1.2°C
1–1.5 m/detik	kecepatan maksimal	1.7–2.2°C
1.5–2 m/detik	kurang nyaman, berangin	2.0–3.3°C
>2 m/detik	kesehatan penghuni terpengaruh oleh kecepatan angin yang tinggi	2.3–4.2°C

Gambar 1 Standar Kenyamanan Penghawaan dalam Ruang
Sumber : Ilmu Fisika Bangunan, Heinz Frick (Hendarto, 2010:4)

Penghawaan alami adalah proses pertukaran udara yang terjadi secara alami antara udara dalam dan luar ruangan tanpa bantuan alat mekanis seperti kipas atau AC (Berliana Hanggara dkk., 2021). Proses ini memanfaatkan aliran udara melalui konveksi dan perbedaan tekanan untuk menyejukkan ruangan, menyediakan udara segar, menjaga kenyamanan termal, dan mengurangi kebutuhan pendingin udara buatan (Sang dkk., 2023).

2.4 Beehive Cooling system

Sistem pendingin "Beehive" adalah solusi berkelanjutan yang dirancang untuk mengurangi konsumsi energi bangunan, terinspirasi dari teknik pendinginan evaporatif tradisional dan dikembangkan oleh Ant Studio di India. Sistem ini menggunakan pot tanah liat atau kerucut terracotta yang diatur menyerupai sarang lebah, di mana air menetes ke permukaan pot yang berpori (PV Chitrao, PK Bhoyar, 2023).

Saat udara panas melewati terracotta basah, udara mendingin melalui evaporasi, menurunkan suhu hingga 6°C. Keuntungan utama sistem ini adalah ramah lingkungan, tidak bergantung pada AC yang boros listrik atau refrigeran berbahaya. Sistem ini hanya memerlukan pompa air kecil untuk sirkulasi, beroperasi dengan energi minimal, dan telah diuji di lingkungan panas ekstrem seperti pabrik, terbukti meningkatkan kenyamanan dan menjadi karya seni arsitektur.

Sistem ini modular dan dapat disesuaikan untuk berbagai aplikasi, mulai dari rumah pribadi hingga ruang publik seperti kafe atau stasiun kereta. Penggunaan tanah liat juga mendukung pengrajin lokal dan mengurangi dampak lingkungan.

2.5 Material Tanah Liat sebagai Sustainable Material

Tanah liat semakin diminati sebagai material berkelanjutan dalam arsitektur karena sifat termalnya yang baik, energi rendah yang terkandung, dan ketersediaannya yang melimpah. Dibandingkan beton, tanah liat memiliki konduktivitas termal rendah, membuatnya lebih efektif menjaga suhu ruangan agar stabil, terutama di iklim panas (Siswanto, 2019).

Aplikasi seperti bata tanah liat dengan metode cetak 3D mengurangi kebutuhan material tambahan dan konsumsi energi, meningkatkan efisiensi struktural, serta daya tahan material terhadap retakan. Teknologi cetak 3D memungkinkan desain lebih kompleks dan tahan lama, memanfaatkan sifat tanah liat yang dapat dibentuk (Marino & Setiyarto, 2020).

Lebih lanjut, tanah liat sebagai material bangunan mudah didaur ulang dan ramah lingkungan, menjadikannya bahan ideal untuk konstruksi berkelanjutan. Di banyak negara, termasuk Indonesia, penggunaannya ditingkatkan melalui kombinasi bahan alami seperti

serat nabati, yang memperkuat tanah liat dan memungkinkan pembentukan struktur sesuai kondisi iklim dan lingkungan setempat (Sudarman, 2023).

2.6 Rumusan Variabel

Tabel 1 Variabel, Parameter, dan Indikator		
Variabel Independen	Parameter	Indikator
Bukaan pada Bangunan	Bentuk, ukuran dan orientasi <i>Cooling System</i>	Angin masuk secara optimal
Variabel Dependen	Parameter	Indikator
Kenyamanan dalam ruang	Termal Kecepatan angin yang masuk	Kualitas penghawaan alami yang baik yang diukur dari aspek sirkulasi angin berdasarkan SNI 03-6572-2001 yaitu minimal 0,25 m/s sampai maksimal 0,5 m/s
Variabel Kontrol	Parameter	Indikator
Persentase Luas Bukaan terhadap Dinding	Luas bukaan >15% dari total luas dinding per sisi	angin masuk dan keluar melalui bukaan

Sumber : Penulis (2024)

2.7 Kajian Preseden



Gambar 2 Instalasi Beehive Cooling System
Sumber : Google diakses pada Oktober 2024

2.7.1 Deki Cooling Installation – Ant Studio

Sistem ini menggunakan terakota silinder yang disusun dalam pola sarang lebah dengan air mengalir di atasnya. Udara panas mendingin setelah melewati silinder ini, menurunkan suhu udara secara signifikan. Teknologi ini menghasilkan udara sejuk seperti AC, namun hanya memerlukan satu sumber energi untuk menggerakkan aliran air dan memanfaatkan aliran udara alami.

METODE PENELITIAN

Untuk merancang bukaan yang efektif dalam meningkatkan rata-rata kecepatan angin dan menurunkan suhu dalam ruang, langkah pertama yang dilakukan adalah melakukan survey untuk pengumpulan data eksisting (rata kecepatan angin (m/s) dan suhu (°C)). Data yang telah terkumpul kemudian dimasukkan ke dalam perangkat lunak analisis angin dan suhu Autodesk CFD untuk disimulasikan.

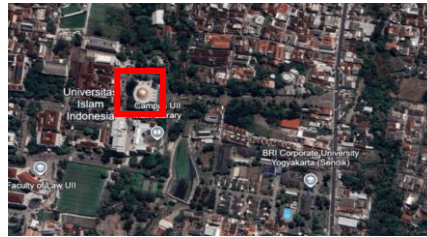
Penggunaan Autodesk CFD tidak berhenti pada analisis eksisting lebih jauh lagi digunakan untuk simulasi rancangan bukaan. Proses ini memungkinkan perancangan bukaan yang sesuai dengan kebutuhan Masjid Ulil Albab, memastikan rata-rata kecepatan angin dan suhu dalam ruangan yang ideal untuk aktivitas yang nyaman dari segi penghawaan.

Tabel 2 Metode Perancangan

Proses	Kegiatan
<i>Emphatize</i>	Observasi dan Pengumpulan Data
<i>Define</i>	Perumusan Masalah
<i>Ideate</i>	Penetapan Objek Rancangan
<i>Prototype</i>	Pembuatan Model Objek Rancangan
<i>Test</i>	Uji Objek Rancangan

Sumber : Penulis (2024)

3.1 Bangunan Eksisting



Gambar 3 Lokasi Masjid Ulil Albab Universitas Islam Indonesia

Sumber : Google Maps diakses pada Oktober 2024

Lokasi Bangunan berada di lingkungan Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia, Kaliurang St No.Km. 14,5, Krawitan, Umbulmartani, Ngemplak, Sleman *Regency*, Special Region of Yogyakarta 55584.

3.1.2 Masjid Ulil Albab

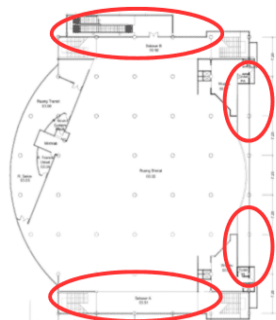


Gambar 4 Masjid Ulil Albab Universitas Islam Indonesia

Sumber : Google diakses pada Oktober 2024

Bangunan Masjid Ulil Albab Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, berada didalam lingkungan kampus terpadu, yang tepatnya berada di seberang jalan *boulevard*, yang terlihat langsung ketika memasuki Kawasan kampus, bangunan ini selain digunakan untuk ibadah, juga berfungsi sebagai pusat kegiatan akademik dan sosial.

3.1.3 Ruang Dalam



Gambar 5 Denah Masjid Ulil Albab Universitas Islam Indonesia

Sumber : Penulis (2024)

Ruang sholat pada bagian dalam masjid Ulil Albab yang menjadi objek uji coba adalah area yang ditandai lingkaran merah. Area tersebut merupakan area bukaan(jendela dan roster), tempat sirkulasi keluar masuk angin.

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Secara Umum

Ruang Sholat Masjid Ulil Albab Universitas Islam Indonesia dipilih sebagai studi kasus untuk penerapan beehive cooling system. Penghawaan di ruangan ini belum maksimal dan belum memenuhi standar kenyamanan penghawaan sesuai SNI. Oleh karena itu, pemasangan beehive cooling system pada jendela fixed diharapkan dapat meningkatkan kualitas penghawaan dan menyelesaikan masalah tersebut.



Gambar 6 Area masjid ulil albab yang akan dipasang Instalasi.

Sumber : Penulis (2024)

4.2 Data Eksisting

Tabel 3. Data Empiri

Titik	Kecepatan Angin (m/s)	Titik	Kecepatan Angin (m/s)	Titik	Kecepatan Angin
1	0.13	11	0.11	21	0.13
2	0.25	12	0.29	22	1.20
3	0.22	13	0.12	23	2.46
4	0.10	14	0.25	24	2.01
5	0.28	15	0.21	25	1.34
6	0.18	16	0.19	26	1.89
7	0.12	17	0.19	27	2.38
8	0.10	18	0.24	28	2.30
9	0.12	19	0.20	29	2.33
10	0.10	20	0.17	30	1.08

Sumber : Penulis, 2024

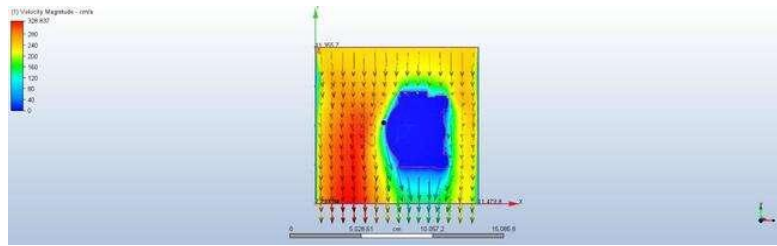


Gambar 7 Data Kecepatan Angin Masjid Ulil Albab

Sumber : Penulis (2024)

Data kondisi eksisting diambil menggunakan alat pengukuran envirometer pada pukul 15.00 di bulan September. Data menunjukkan perbedaan kecepatan angin signifikan antara

dalam dan luar bangunan (titik 1 - 21 di dalam bangunan, titik 22 - 30 di luar bangunan). Pergerakan angin di luar ruangan rata-rata lebih tinggi, berkisar antara 1 - 2 m/s, sedangkan di dalam ruangan tidak mencapai 1 m/s.



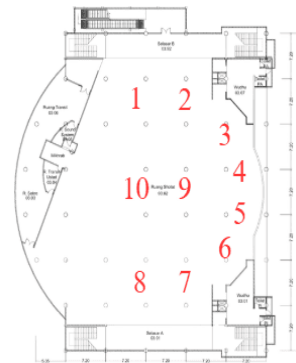
Gambar 9 Hasil Simulasi Kecepatan Angin pada Bangunan Eksisting(Tampak Atas)
Sumber : Penulis (2024)

Gambar tersebut merupakan hasil dari simulasi software, yang menunjukkan hasil data kecepatan angin yang masih terlalu rendah belum memenuhi standar kenyamanan angin dalam ruangan menurut SNI (0,25 - 1 m/s), sehingga mengakibatkan kondisi di dalam ruangan gerah dan tidak nyaman dari segi penghawaan. Hasil data dan analisis tersebut menjadi dasar untuk rancangan Cooling System akan dibuat.

Tabel 4 Data Empiri

Titik	Suhu (°C)
1	29.6 °C
2	29.8 °C
3	30.2 °C
4	30.3 °C
5	30.4 °C
6	30.2 °C
7	29.6 °C
8	29.6 °C
9	29.6 °C
10	29.5 °C

Sumber : Penulis, 2024



Gambar 8 Data Suhu Masjid Ulil Albab
Sumber : Penulis, 2024

Data pada tabel tersebut yang tertera pada gambar menunjukkan tingkat suhu di dalam Masjid Ulil Albab. Data tersebut diambil menggunakan alat Envirometer yang dilakukan pada pukul 15.00 di bulan September. Pada data tersebut menunjukkan bahwa rata-rata suhu pada bangunan ada di angka 29.8 °C dengan suhu tertinggi 29.5 °C dan suhu terendah 30.4 °C.

4.3 Konsep Desain Natural Cooling System

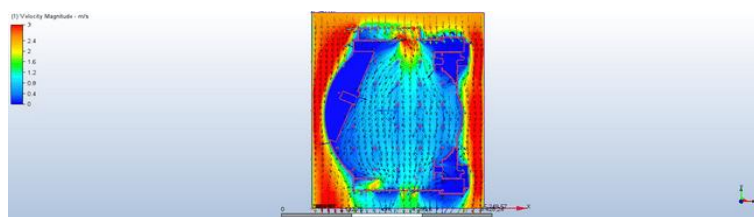
Natural Cooling System desain arsitektur yang menggunakan elemen alami untuk mengatur suhu bangunan tanpa bergantung pada AC (Sugiarto, 2023). Konsep ini menggabungkan prinsip sains termal, desain pasif, dan material ramah lingkungan untuk menciptakan kenyamanan termal yang hemat energi dan berkelanjutan. Elemen utama konsep ini meliputi ventilasi pasif, pengendalian panas matahari (solar control), efek termal massa, dan pendinginan evaporative (Amin, 2017).

4.3.1 Alternatif Beehive Cooling System (Tanah Liat)

Dilakukan pembuatan 3D modelling untuk alternatif rancangan 1 dengan pertimbangan hemat energi dan teknologi terbaru. Tanah liat dipilih sebagai material karena memiliki ketahanan cuaca yang baik, alami, dan estetik. Setelah itu, dilakukan simulasi angin CFD pada ketinggian 8000 mm dari atas tanah dengan kecepatan angin 2,38 m/s.



Gambar 9 Alternatif 1 Teknologi Beehive Cooling System
Sumber : Penulis (2024)



Gambar 10 Simulasi Alternatif 1 Teknologi Beehive Cooling System
Sumber : Penulis (2024)

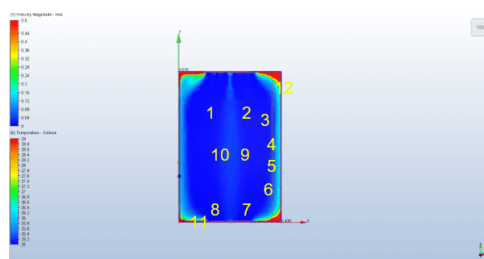
Tabel 5 Data Kuat Kecepatan Angin Alternatif 1 (Software CFD)

titik 1	titik 2	titik 3	titik 4	titik5	titik 6	titik7	titik8	titik9	titik10
1 m/s	1,8 m/s	1,5 m/s	0,7 m/s	0,8 m/s	0,2 m/s	0,7 m/s	0,9 m/s	0,3 m/s	0,6 m/s
titik11	titik12	titik13	titik14	titik15	titik16	titik17	titik18	titik19	titik20
0,7 m/s	0,7 m/s	0,4 m/s	0,8 m/s	0,9 m/s	0,4 m/s	0,1 m/s	0,2 m/s	0,9 m/s	0,9 m/s

Pada simulasi uji teknologi, data yang diambil adalah data kecepatan angin di 20 titik di dalam ruangan.

	Sisi Utara	Sisi Timur	Sisi Selatan
Luas Buka	65%	48%	19%

Penggunaan tanah liat, sebagai material selubung dari beehive cooling system, menghasilkan rata-rata kecepatan angin dalam ruang sebesar 0,7 m/s, meningkatkan kualitas penghawaan dalam ruang sehingga menciptakan ruangan yang sejuk, serta sesuai dengan standar kenyamanan menurut SNI.



Gambar 11 Simulasi Alternatif 1 Teknologi Beehive Cooling System
Sumber : Penulis (2024)

Tabel 6 Data Kuat Suhu Alternatif 1 (Software CFD)

titik 1	titik 2	titik 3	titik 4	Titik 5	titik 6	Titik 7	Titik 8	Titik 9	titik 10	titik 11	titik 12
25°C	25°C	25°C	26°C	26°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	27°C	29°C

Dilakukan juga simulasi menggunakan CFD untuk mengukur suhu setelah diterapkan teknologi Beehive Cooling System. Hasil simulasi tersebut menunjukkan bahwa terjadi

perubahan suhu yang cukup signifikan dengan rata suhu 25.6°C dengan titik terendah 25°C dan titik tertinggi 29°C.

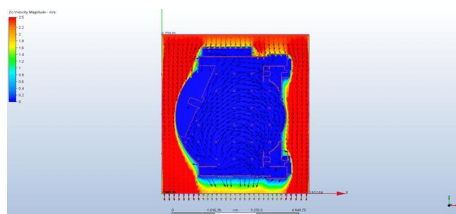
4.3.2 Alternatif 2 Buka Kisi-kisi Natural Ventilation (Aluminium Daur Ulang)

Dilakukan pembuatan 3D modelling untuk alternatif rancangan 2 dengan mempertimbangkan penghawaan alami yang memanfaatkan aliran udara. Aluminium daur ulang dipilih sebagai material karena ketersediaan dan ketahanan cuacanya. Simulasi angin CFD dilakukan pada ketinggian 8000 mm dari atas tanah dengan kecepatan angin 2,38 m/s.



Gambar 12 Alternatif 2 Teknologi Cooling System

Sumber : modelling pada software archicad



Gambar 13 Simulasi Alternatif 1 Teknologi Beehive Cooling System

Sumber : Penulis (2024)

Tabel 7 Data Kuat Kecepatan Angin Alternatif 2 (Software CFD)

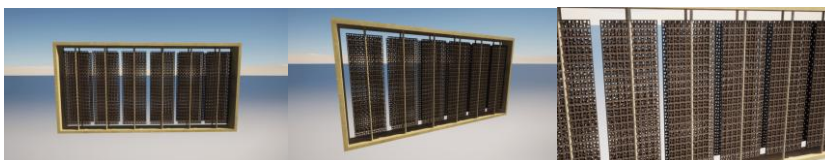
titik 1	titik 2	titik 3	titik 4	titik5	titik 6	titik7	titik8	titik9	titik10
0,5 m/s	0,3 m/s	0,2m/s	0,1m/s	0,1m/s	0,15m/s	0,3m/s	0,1m/s	0,3m/s	0,38m/s

titik11	titik12	titik13	titik14	titik15	titik16	titik17	titik18	titik19	titik20
0,1 m/s	0,2 m/s	0,2 m/s	0,25 m/s	0,1 m/s	0,3 m/s	0,33 m/s	0,16 m/s	0,2 m/s	0,27 m/s

Penggunaan daur ulang alumunium, sebagai material dari kisi-kisi , menghasilkan rata-rata kecepatan angin dalam ruang sebesar 0,2 m/s, meningkatkan kualitas penghawaan dalam ruang menciptakan ruangan yang lebih sejuk, serta sesuai dengan standar kenyamanan menurut SNI.

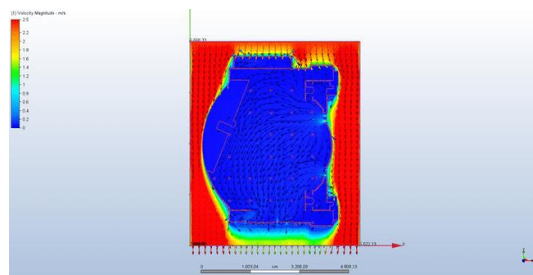
4.3.3 Alternatif 3 Buka Rotating Window (Kayu Daur Ulang)

Dilakukan pembuatan 3D modelling untuk alternatif rancangan 3 dengan mempertimbangkan penghawaan alami yang memanfaatkan aliran udara. Kayu daur ulang dipilih sebagai material karena ketersediaannya sebagai limbah bekas dan aspek estetis yang baik. Simulasi angin CFD dilakukan pada ketinggian 8000 mm dari atas tanah dengan kecepatan angin 2,38 m/s.



Gambar 14 Alternatif 3 Teknologi Cooling System

Sumber : modelling pada software archicad



Gambar 15 Simulasi Alternatif 1 Teknologi Beehive Cooling System
Sumber : Simulasi Angin pada Software Autodesk CFD

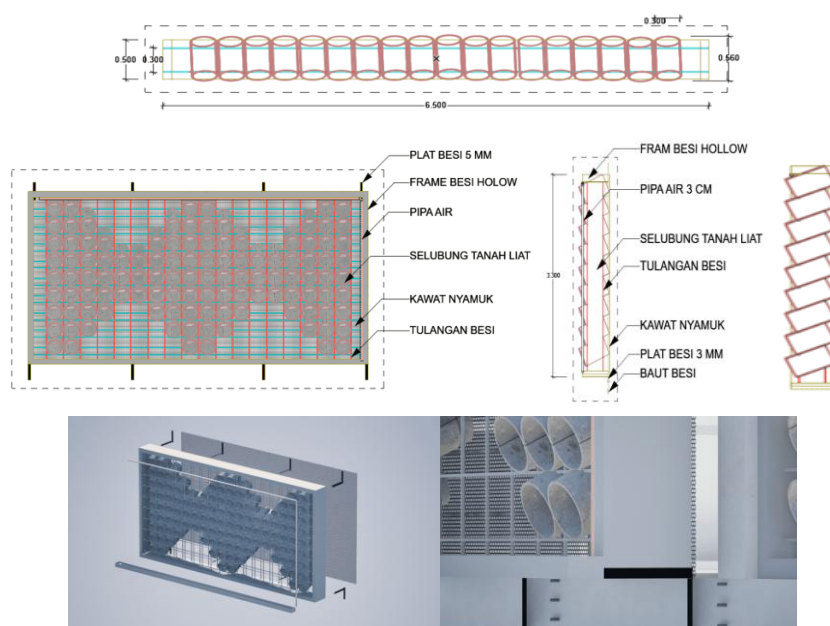
Tabel 8 Data Kuat Kecepatan Angin Alternatif 3 (Software CFD)

titik 1	titik 2	titik 3	titik 4	titik5	titik 6	titik7	titik8	titik9	titik10
0,9 m/s	0,3 m/s	0,12 m/s	0,2 m/s	0,16 m/s	0,11 m/s	0,23 m/s	0,27 m/s	0,2 m/s	0,23 m/s

Titik 11	Titik 12	Titik 13	Titik 14	Titik 15	Titik 16	Titik 17	Titik 18	Titik 19	Titik 20
0,3 m/s	0,28 m/s	0,27 m/s	0,1 m/s	0,14 m/s	0,17 m/s	0,19 m/s	0,21 m/s	0,25 m/s	0,3 m/s

Penggunaan kayu daur ulang, sebagai material bukaan, menghasilkan rata-rata kecepatan angin dalam ruang sebesar 0,2 m/s, meningkatkan kualitas penghawaan dalam ruang menciptakan ruangan yang lebih sejuk, serta sesuai dengan standar kenyamanan menurut SNI.

4.4 Konstruksi Bangunan



Gambar 16 Konstruksi Bangunan
Sumber: Penulis (2024)

4.5 Tabel Pembobotan 3 Alternatif

Tabel dibawah menunjukkan perbandingan bobot dari ketiga rancangan teknologi setelah dilakukan simulasi meliputi tiga aspek yakni utilitas, firmitas dan venusitas.

Tabel 9 Data perhitungan pembobotan

SIMULASI ASPEK	BOBOT	I	II	III
UTILITAS	5	5 25	3 15	2 10
FIRMITAS	3	3 15	4 12	3 9
VENUSITAS	1	4 4	3 3	5 5
HASIL		44	30	24

Dilakukan penilaian dengan pembobotan pada 3 alternatif desain, penilaian yang dilakukan meliputi aspek Utilitas (Fungsi), Firmitas (Kekuatan), Venustas (Estetika). Hasil dari pembobotan pada tabel tersebut menunjukkan bahwa dari ketiga alternatif didapatkan nilai yang paling tinggi pada alternatif pertama (Beehive Cooling System).

4.6 Hipotesis

Tabel 13 Perbandingan Ketiga Alternatif berdasarkan Hasil, Konstruksi dan Estetika

Alternatif	Hasil	Konstruksi	Estetika
Beehive Cooling System	Hasil simulasi menunjukkan kecepatan rata-rata angin di dalam ruangan sebesar 0,7 m/s, dengan titik tertinggi 1,8 m/s dan terendah 0,1 m/s.	Menggunakan rangka yang dipasang ke bangunan dengan pelat besi. Selubung dipasang di antara tulangan yang tersusun, dengan pelat pada tiap selubung untuk menyangga. Pipa dipasang di bagian atas instalasi untuk mengalirkan air sebagai teknologi sistem pendingin.	Estetika muncul dari raw materialnya dan pola penyusunan yang bervariasi.
Bukaan Kisi-kisi Natural Ventilation	Hasil simulasi menunjukkan kecepatan rata-rata angin di dalam ruangan sebesar 0,2 m/s, dengan titik tertinggi 0,38 m/s dan terendah 0,1 m/s.	Menggunakan frame besi, untuk kisi-kisi nya menggunakan composite daur ulang plastik	Estetika yang berharmoni dengan tema bangunan eksisting masjid ulil albab, namun masih cenderung monoton.
Bukaan Rotating Window	Hasil simulasi menunjukkan kecepatan rata-rata angin di dalam ruangan sebesar 0,2 m/s, dengan titik tertinggi 0,28 m/s dan terendah 0,2 m/s.	Menggunakan matrial besi sebagai framenya, panel kayu daur ulang cetak dipasang pada tulangan. Panel dapat diputar sesuai kebutuhan	Memiliki estetika dari motif panel, namun tidak berharmoni dengan tema bangunan eksisting masjid ulil albab.

Sumber : Analisis Penulis, 2024

4.6 Hipotesis

H0 = Tidak ada perbedaan penerapan beehive cooling system pada bangunan Masjid Ulil Albab UII

H1 = Ada perbedaan penerapan beehive cooling system pada bangunan Masjid Ulil Albab UII

Rumusan Hipotesis Penelitian

H0 = Tidak ada perbedaan rata-rata antara kecepatan angin pada bangunan eksisting+beehive cooling system, yang berarti tidak ada pengaruh dari beehive cooling system terhadap kecepatan angin yang masuk kedalam bangunan.

H1 = Ada perbedaan rata-rata antara kecepatan angin pada bangunan eksisting+beehive cooling system, yang berarti Ada pengaruh dari beehive cooling system terhadap kecepatan angin yang masuk ke dalam bangunan.

Paired Samples Test				
		Paired Differences		
		Mean	Std. Deviation	95% Confidence ...
				Lower
Pair 1	Eksisting.UlilAlbab. 15.00.8000 - Simulasi. Alternatif.1.15.00.8000	-.52762	.42486	.09271
Pair 2	Eksisting.UlilAlbab. 15.00.8000 - Simulasi. Alternatif.2.15.00.8000	-.02952	.15680	.03422
Pair 3	Eksisting.UlilAlbab. 15.00.8000 - Simulasi. Alternatif.3.15.00.8000	-.05048	.19747	.04309

Paired Samples Test				
		Paired ...		
		95% Confidence		
		Interval of the ...		
		Upper	t	df
				Sig. (2-tailed)
Pair 1	Eksisting.UlilAlbab. 15.00.8000 - Simulasi. Alternatif.1.15.00.8000	-.33422	-5.691	20
Pair 2	Eksisting.UlilAlbab. 15.00.8000 - Simulasi. Alternatif.2.15.00.8000	.04185	-.863	20
Pair 3	Eksisting.UlilAlbab. 15.00.8000 - Simulasi. Alternatif.3.15.00.8000	.03941	-1.171	20

Gambar 17 Hasil Pengujian Sample T-Test
Sumber: Penulis (2024)

Pedoman Pengambilan Keputusan dalam Uji Paired Sample T-Test

Berikut merupakan pedoman pengambilan keputusan dalam uji Paired Sample T-Test berdasarkan nilai signifikan (sig) hasil output SPS (santoso, 2014) :

1. jika nilai Sig. (2-tailed) < 0,05 maka H0 ditolak dan H1 diterima
2. Sebaliknya, jika nilai Sig. (2-tailed) > 0,05 maka H0 diterima dan H1 ditolak

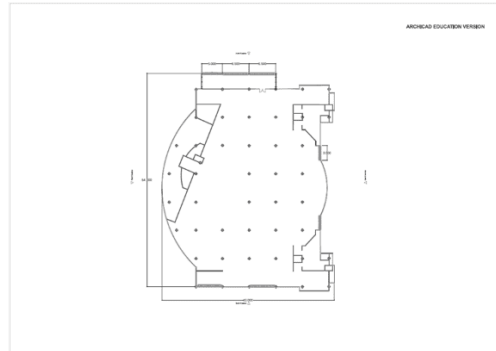
Berdasarkan tabel "Paired Sample T-test", diketahui jika nilai Sig. (2-tailed) kurang dari 0,05. Sehingga dapat ditarik kesimpulan dengan adanya penggunaan beehive cooling system pada bangunan masjid Ulil Albab UII dapat memengaruhi kecepatan angin yang masuk ke dalam bangunan.

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

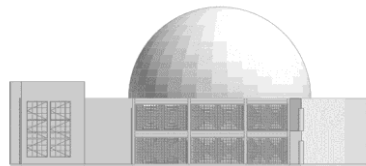
Berdasarkan simulasi menggunakan software Autodesk CFD, ruang dalam Masjid Ulil Albab UII sebelum penerapan teknologi Beehive Cooling System memiliki kualitas penghawaan yang kurang ideal, dengan rata-rata kecepatan angin yang masuk sebesar 0,2 m/s. Ini masih memerlukan teknologi pendingin buatan. Setelah menggunakan teknologi Beehive Cooling System dengan material tanah liat dan pendinginan alami air, kecepatan angin yang masuk meningkat menjadi 0,7 m/s, sehingga udara yang masuk lebih nyaman dan tidak gerah. Data tersebut divalidasi dengan aplikasi SPSS, menunjukkan bahwa teknologi Beehive Cooling System efektif meningkatkan kualitas penghawaan di Masjid Ulil Albab.

5.1.1 Gambar Denah Rancangan Beehive Cooling System Terhadap Bangunan Eksisting

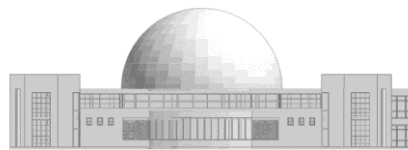


Gambar 18 Gambar Denah Bangunan Eksisting dan Rancangan Beehive Cooling System
Sumber: Software Archicad pada Desember 2024

5.1.1 Gambar Tampak Rancangan Beehive Cooling System Terhadap Bangunan Eksisting



Gambar 17 Gambar Tampak Utara Bangunan Eksisting dan Rancangan Beehive Cooling System
Sumber: Software Archicad pada Desember 2024



Gambar 18 Gambar Tampak Selatan Bangunan Eksisting dan Rancangan Beehive Cooling System
Sumber: Software Archicad pada Desember 2024

DAFTAR PUSTAKA

- Amin, A. (2017). STUDI PENGHAWAAN ALAMI PADA BANGUNAN SEKOLAH DASAR DI PINGGIRAN SUNGAI MUSI PALEMBANG.
- Berliana Hanggara, A., Budi Purnomo, A., & Walaretina, R. (2021). PENERAPAN VENTILASI SILANG PADA RUANG UNIT KEGIATAN MAHASISWA DI GEDUNG PUSGIWA, UNIVERSITAS INDONESIA.
- Custer, J. (2018). ANALISIS AUDIT ENERGI DI BENGKEL LAS POLITEKNIK NEGERI BENGKALIS. Dalam Seminar Nasional Pakar ke 1 Tahun.
- Febriadi, G., & Judullah Afgani, J. (2023). KAJIAN PRINSIP ARSITEKTUR BERKELANJUTAN PADA BANGUNAN PERKANTORAN (STUDI KASUS: SHANGHAI TOWER, SHANGHAI, PUDONG).
- Indah, W., & Aurora, D. (2021). EFEK INDOOR AIR POLLUTION TERHADAP KESEHATAN.
- Marino, G., & Setiyarto, Y. D. (2020). PENGGUNAAN TANAH LIAT UNTUK MENGURANGI JUMLAH SEMEN PADA BETON GEOPOLIMER. Dalam CRANE: Civil Engineering Research Journal (Vol. 1).
<https://ojs.unikom.ac.id/index.php/crane82GinoMarino/CRANE/2020>

- Mufida, E. (2024). THERMAL ENVIRONMENTAL CONTROL & INDOOR HEALTH.
- Prihatmaji, Y. P. (2022). Sustainable Material in Building Sustainability Concept & Model. Dalam Portfolio on Sustainable Building Technology-Modul (Vol. 2).
- Priyoga, I. (2010). DESAIN BERKELANJUTAN (SUSTAINABLE DESIGN).
- PV Chitrao, PK Bhoyar. (2023). "Eco-Friendly Air Conditioners: Cool Ant's Beehive as a Case Study"
- Rizki, R. (2022). PENGARUH EFISIENSI ENERGI DAN AIR PADA BANGUNAN DALAM PENERAPAN ECO-GREEN. Dalam Jurnal Arsitektur (Vol. 19, Nomor 2). <http://journals.ums.ac.id/index.php/sinektika>
- Sang, D., Hadi, N., Arsitektur, J., Arsitektur, S. J., Fahd, M., & Wibowo, R. (2023). EFEKTIVITAS PENGHAWAAN ALAMI DALAM KENYAMANAN TERMAL: INTERVENSI FASAD DAN TEKNOLOGI ECO-COOLER PADA RUANG AULA (Vol. 20, Nomor 1). <http://journals.ums.ac.id/index.php/sinektika>
- Siswanto, B. (2019). PERBANDINGAN NILAI HEAT TRANSFER PADA PENAMBAHAN MATERIAL KOMPOSIT BATU BATA SEBAGAI UPAYA EFISIENSI ENERGY BANGUNAN GEDUNG. Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik dan Kejuruan, 12(2), 136. <https://doi.org/10.20961/jiptek.v12i2.32748>
- Sudarman. (2023). STUDI KUAT TEKAN BATAKO RAMAH LINGKUNGAN (ECO-BRICK) DENGAN KOMPOSIT MATERIAL SAMPAH KONSTRUKSI DAN SAMPAH STEROFOM.
- Sugiarto, A. (2023). PENGARUH PENGHAWAAN ALAMI TERHADAP KENYAMANAN THERMAL BANGUNAN PERKANTORAN DI DAERAH BERIKLIM TROPIS.
- Sugini. (2024). SUSTAINABLE IDEA SUSTAINABILITY IN ARCHITECTURE.
- Supriyanta. (2024). Keterpaduan Struktur dan Desain Arsitektur yang Berkelanjutan.
- Tjokrorahardjo, A. J. (2024). ENERGY EFFICIENCY & CONSERVATION IN SUSTAINABLE BUILDING.
- Tucho, G. T., & Kumsa, D. M. (2020). Challenges of Achieving Sustainable Development Goal 7 From the Perspectives of Access to Modern Cooking Energy in Developing Countries. Dalam Frontiers in Energy Research (Vol. 8). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2020.564104>
- Usadi, D. (2021). SDG' DESA DALAM PERENCANAAN PENGEMBANGAN EKONOMI DESA. Dalam Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi-SNITek.