

OPTIMALISASI SIRKULASI UDARA PADA GEDUNG RAMAH LINGKUNGAN DENGAN SISTEM BANGUNAN RAYAP

KARYA ILMIAH

Merupakan Ujian Keterampilan dan Syarat Kelulusan Sekolah



Disusun oleh:

1. 29830	Cherryl Calista Hartanto	XII MIPA 3 / 06
2. 29934	Grace Nadia Margiono	XII MIPA 3 / 13
3. 29937	Gregorius Putra Nurcahyo	XII MIPA 3 / 15
4. 29964	Jason Matthews	XII MIPA 3 / 18
5. 30144	Sebastian Ie	XII MIPA 3 / 30
6. 30193	Wimar Widiarto	XII MIPA 3 / 33

SMA KATOLIK ST. LOUIS 1

SURABAYA

2025

OPTIMALISASI SIRKULASI UDARA PADA GEDUNG RAMAH LINGKUNGAN DENGAN SISTEM BANGUNAN RAYAP

KARYA ILMIAH

Merupakan Ujian Keterampilan dan Syarat Kelulusan Sekolah



Disusun oleh:

1. 29830	Cherryl Calista Hartanto	XII MIPA 3 / 06
2. 29934	Grace Nadia Margiono	XII MIPA 3 / 13
3. 29937	Gregorius Putra Nurcahyo	XII MIPA 3 / 15
4. 29964	Jason Matthews	XII MIPA 3 / 18
5. 30144	Sebastian Ie	XII MIPA 3 / 30
6. 30193	Wimar Widiarto	XII MIPA 3 / 33

SMA KATOLIK ST. LOUIS 1

SURABAYA

2025

LEMBAR PENGESAHAN NASKAH KARYA ILMIAH

Judul : Optimalisasi Sirkulasi Udara pada Gedung Ramah Lingkungan dengan Sistem Bangunan Rayap

Penyusun : 1. 29830 Cheryl Calista Hartanto XII MIPA 3 / 06
2. 29934 Grace Nadia Margiono XII MIPA 3 / 13
3. 29937 Gregorius Putra Nurcahyo XII MIPA 3 / 15
4. 29964 Jason Matthews XII MIPA 3 / 18
5. 30144 Sebastian Ie XII MIPA 3 / 30
6. 30193 Wimar Widiarto XII MIPA 3 / 33

Pembimbing I : Irmina Indiyarti, S.Pd.

Pembimbing II : Fransiskus Asisi Subono, S.Si., M.Kes.

Tanggal Presentasi : Selasa, 4 Februari 2025

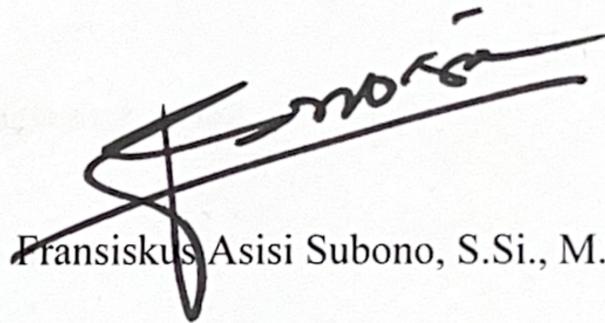
Disetujui oleh:

Pembimbing I



Irmina Indiyarti, S.Pd.

Pembimbing II



Fransiskus Asisi Subono, S.Si., M.Kes.

Kepala Sekolah



Dra. Sri Wahjoeni Hadi S.

ABSTRAK

Hartanto, C. C., Ie, S., Matthews, J., Margiono, G. N., Nurcahyo, G. P., & Widiarto, W. (2025). *Optimalisasi Sirkulasi Udara pada Gedung Ramah Lingkungan dengan Sistem Bangunan Rayap*.

Tanda-tanda pemanasan global dapat dilihat dari peningkatan suhu rata-rata global, yang menyebabkan mencairnya glasier, naiknya permukaan air laut, dan perubahan iklim. Salah satu solusi potensial untuk masalah ini adalah merancang bangunan yang tidak memerlukan AC karena AC merupakan salah satu penyebab utama pemanasan global akibat penggunaan energi yang tinggi dan emisi gas CFC yang merusak lapisan ozon. Salah satu desain yang dapat digunakan adalah desain bangunan bertingkat yang terinspirasi dari sarang rayap yang memiliki kemampuan termoregulasi. Penelitian ini bertujuan untuk menjelaskan cara kerja sistem sarang rayap, menganalisis penerapan desain tersebut, serta membandingkan bangunan yang menggunakan desain sarang rayap dengan bangunan konvensional menggunakan metode analisis data kuantitatif. Penelitian ini menemukan bahwa sistem sarang rayap berpengaruh pada suhu dan kelembapan di dalam bangunan. Suhu dan kelembapan yang dihasilkan mendekati tingkat kenyamanan. Salah satu cara yang mungkin untuk meningkatkan efisiensi desain ini adalah dengan memanfaatkan tanaman hidup, yang dapat membantu menjaga kelembapan.

Kata kunci: suhu, kelembapan, biomimikri, rumah rayap

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nya, kami dapat menyelesaikan proposal proyek ujian praktik berjudul “Optimalisasi Sirkulasi Udara pada Gedung Ramah Lingkungan dengan Sistem Bangunan Rayap” tepat pada waktunya.

Dalam penyusunan laporan ini kami mendapat banyak bantuan, dukungan, dan masukan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini kami ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Dra. Sri Wahjoeni Hadi S. selaku Kepala SMA Katolik St. Louis 1 Surabaya yang telah memberikan kesempatan kepada kami untuk melaksanakan Ujian Praktik Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.
2. Irmina Indiyarti, S.Pd. selaku Pembimbing 1 dan Wali Kelas XII MIPA 3, yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bantuan, dukungan, dan saran terkait penyusunan proposal ini.
3. Fransiskus Asisi Subono, S.Si., M.Kes. selaku Pembimbing 2, yang telah mendampingi kami selama proses penyusunan proyek.
4. Orang tua, teman, dan sahabat atas dukungan dan cinta kasih yang diberikan kepada kami.
5. Serta seluruh pihak yang turut serta mensukseskan penulisan laporan ini.

Surabaya, 4 Februari 2024

Penyusun

(Sebastian Ie)

Ketua Kelompok

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN NASKAH KARYA ILMIAH.....	ii
ABSTRAK.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR SINGKATAN.....	ix
DAFTAR SIMBOL.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Hipotesis.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Biomimikri.....	5
2.1.1 Cara Hidup Rayap.....	6
2.2 Termosifon.....	7
2.2.1 Prinsip Dasar Termosifon.....	7
2.2.2 Cara Kerja Termosifon.....	8
2.2.3 Aplikasi Termosifon.....	9
2.3 Stack Effect.....	9
2.3.1 Buoyancy-Driven Processes.....	10
2.3.2 Wind-Driven Processes.....	10
2.4 Bahan Bangunan.....	11
2.4.1 Kayu Balsa.....	11
2.4.2 Gypsum.....	12
2.4.3 Fiberglass.....	13
2.4.4 Kaca Akrilik.....	13
2.4.5 Pipa PVC.....	14
2.4.6 Atap Spandek.....	15
2.5 Arduino.....	15
2.6 Statistika.....	16
2.7 Bangunan Tiga Dimensi.....	17

BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	19
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	19
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	19
3.2.1 Alat.....	19
3.2.2 Bahan.....	19
3.3 Tahapan Penelitian.....	20
3.3.1 Diagram Alir Penelitian.....	20
3.3.2 Skema Pembuatan Alat.....	21
3.3.3 Variabel Penelitian.....	22
3.4 Metode dan Analisis Data.....	22
3.4.1 Metode Penelitian.....	22
3.4.2 Teknik Analisis Data.....	23
BAB IV PEMBAHASAN.....	24
4.1 Hasil Penelitian.....	24
4.1.1 Cara Kerja Bangunan Sistem Rumah Rayap.....	24
4.1.2 Desain Prototipe.....	25
4.1.3 Hasil Percobaan.....	26
4.2 Pembahasan.....	27
4.2.1 Uji T.....	27
4.2.2 Pembahasan Hasil Percobaan.....	29
4.2.3 Suhu dan Kelembapan Ideal.....	30
4.2.4 Cara Meningkatkan Kelembapan Bangunan.....	31
BAB V KESIMPULAN.....	32
5.1 Kesimpulan.....	32
5.2 Saran.....	32
DAFTAR PUSTAKA.....	34
LAMPIRAN.....	37

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.7.1 Sistem tiga dimensi pada koordinat kartesius.....	20
Gambar 3.3.1.1 Diagram Alir Penelitian.....	22
Gambar 3.3.2.1 Diagram Alir Pembuatan Prototipe.....	23
Gambar 4.1.2.1 Desain Struktur Bangunan Prototipe.....	26
Gambar 4.1.2.2 Desain Struktur Bangunan Non-Prototipe.....	26

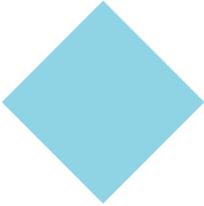
DAFTAR TABEL

Tabel 3.3.2.1 Tabel Pengambilan Data.....	23
Tabel 4.1.3.1 Tabel Data dengan Sistem.....	27
Tabel 4.1.3.2 Tabel Data tanpa Sistem.....	27
Tabel 4.1.3.3 Tabel Selisih Data.....	28
Tabel 4.2.1.1 Tabel Rata-rata dan Varians.....	29

DAFTAR SINGKATAN

Singkatan	Kepanjangan
ABL	<i>Atmospheric Boundary Layer</i>
ABS	<i>Acrylonitrile-butadiene-styrene</i>
AC	<i>Air Conditioner</i>
Arduino IDE	<i>Arduino Integrated Development Environment</i>
CaO	Kalsium Oksida
CaSO ₄	Kalsium Sulfat
Ca(OH) ₂	Kalsium Hidroksida
CH ₄	Gas Metana
CFC	<i>Klorofluorokarbon</i>
CO ₂	Karbon Dioksida
GND	<i>Ground</i>
GRP/FRP	<i>Glass-fibre-reinforced Polyester</i>
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
NO	Nitrogen Monoksida
NO ₂	Nitrogen Dioksida
PB	<i>Polybutylene</i>
PCMs	<i>Phase Change Materials</i>
PE	<i>Polyethylene</i>
PP	<i>Polypropylene</i>
PVC	<i>Polyvinyl Chloride</i>
SO ₂	Belerang Dioksida
TCL Technology	Telephone Communication Limited
USB	<i>Universal Serial Bus</i>

DAFTAR SIMBOL

	<p><i>Start Point</i></p> <p>Menggambarkan permulaan atau juga akhir dari suatu proses diagram alir.</p>
	<p><i>Arrow</i></p> <p>Menggambarkan arah dari proses diagram alir.</p>
	<p><i>Process</i></p> <p>Menunjukkan proses yang terjadi pada diagram alir.</p>
	<p><i>Decision</i></p> <p>Menggambarkan proses keputusan dalam proses diagram alir.</p>

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Judul	Halaman
1.	Dokumentasi Kerja	37
2.	Pengambilan Data	38
3.	Tanaman untuk Meningkatkan Kelembapan Udara	39
4.	Lembar Konsultasi	40

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dunia kini dilanda dengan pemanasan global yang ditandai dengan peningkatan suhu global dan permukaan air laut. Pemanasan global atau *global warming* adalah istilah yang menggambarkan peristiwa kenaikan suhu rata-rata daratan, lautan dan atmosfer bumi secara bertahap. Berdasarkan data *Climate Change Service* (layanan pemantau perubahan iklim bentukan Uni Eropa), suhu rata-rata Bumi lebih tinggi 1,61°C sejak Revolusi Industri. Angka ini melebihi kesepakatan dunia dalam Perjanjian Paris untuk membatasi kenaikan suhu Bumi hanya sebesar 1,5°C. *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) menyimpulkan bahwa sebagian besar peningkatan temperatur rata-rata global sejak pertengahan abad ke-20 kemungkinan besar disebabkan oleh meningkatnya konsentrasi gas-gas rumah kaca akibat aktivitas manusia. Beberapa contoh gas rumah kaca adalah karbondioksida (CO₂), belerang dioksida (SO₂), nitrogen monoksida (NO), nitrogen dioksida (NO₂), gas metana (CH₄), dan klorofluorokarbon (CFC). Dampak nyata dari fenomena pemanasan global adalah peningkatan suhu Bumi, perubahan iklim, mencairnya glasier sehingga air permukaan air laut meningkat, kepunahan spesies flora fauna, hilangnya terumbu karang, curah hujan yang tidak menentu, dan menipisnya lapisan ozon. Oleh karena itu, dibutuhkan sebuah solusi untuk mengurangi emisi gas-gas rumah kaca.

Kelompok kami memutuskan untuk merancang sebuah gedung bertingkat ramah lingkungan yang tidak memerlukan pendingin udara atau *air conditioner* (AC). AC merupakan salah satu penyumbang utama gas CFC yang merusak lapisan ozon kita. CFC dilepaskan ke udara dan, ketika mencapai lapisan stratosfer, terurai akibat sinar ultraviolet, melepaskan atom klorin yang dapat menghancurkan molekul ozon. Penipisan lapisan ozon berpotensi meningkatkan risiko kanker kulit, gangguan mata, dan dampak negatif pada ekosistem. Selain itu, AC juga menggunakan listrik sebagai sumber energi utama. Besar penggunaan energi listrik pada AC bervariasi dan bergantung pada jenis AC. Berdasarkan data dari TCL Technology, AC sentral umumnya mengonsumsi antara 3.000 sampai 3.500 watt.

Gedung bertingkat yang tidak membutuhkan AC dapat dibuat dengan cara mengoptimalkan sirkulasi udara dengan desain bangunan yang terinspirasi oleh rumah rayap yang memiliki kemampuan untuk mengatur suhunya. Hal ini terjadi karena rumah rayap menghasilkan panas yang cukup untuk menghangatkan udara yang mengakibatkan udara panas keluar dari rumah rayap melalui pori-pori yang ada. Hal ini memberikan kesempatan untuk udara segar yang lebih berat dibandingkan udara panas mulai masuk ke dalam rumah rayap, sehingga terjadi pertukaran udara panas dengan udara segar. Pada aplikasinya, panas yang dihasilkan oleh bangunan akan diserap oleh bahan bangunan dengan bantuan kipas untuk membantu proses ini. Pada pagi hari, digunakan kipas yang lebih kecil agar panas diserap oleh bahan bangunan, sedangkan pada malam hari digunakan kipas

yang lebih besar untuk mengusir panas dari bahan bangunan agar dapat kembali menyerap panas hari selanjutnya.

Pada penelitian ini, kami membuat replika bangunan dengan sistem seperti rumah rayap. Kami menggunakan struktur bangunan yang lebih sederhana daripada yang terdahulu dengan harapan bisa memangkas anggaran biaya pembangunan apabila diterapkan pada bangunan nyata. Pada penelitian terdahulu, digunakan sebuah corong yang diletakkan pada tengah bangunan sebagai jalan untuk aliran angin panas keluar ke atas. Kini, kami mengganti struktur tersebut dengan bentuk pipa yang lebih sederhana, mudah dibentuk, dan hemat ruang.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, dapat disimpulkan rumusan masalah sebagai berikut.

1. Bagaimana cara kerja dari sistem rumah rayap?
2. Bagaimana desain gedung yang memanfaatkan struktur rumah rayap?
3. Bagaimana perbandingan suhu pada prototipe bangunan dengan bangunan konvensional?

1.3 Hipotesis

H1: Struktur bangunan rumah rayap memiliki pengaruh pada suhu dan kelembapan gedung.

H0: Struktur bangunan rumah rayap tidak dapat memengaruhi suhu dan kelembapan gedung.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, dapat disimpulkan tujuan penelitian sebagai berikut.

1. Menjelaskan cara kerja dari sistem rumah rayap.
2. Menganalisis penerapan desain gedung yang memanfaatkan struktur rumah rayap.
3. Mendeskripsikan perbandingan suhu antara bangunan dengan sistem rumah rayap dengan bangunan konvensional.

1.5 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian tersebut, dapat disimpulkan manfaat penelitian sebagai berikut.

1. Mengetahui cara kerja dari sistem rumah rayap.
2. Memahami penerapan desain gedung yang memanfaatkan struktur rumah rayap.
3. Memberi solusi dalam upaya penghematan energi dengan bangunan sistem rumah rayap.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Biomimikri

Biomimikri adalah istilah yang digunakan untuk mendeskripsikan mekanisme, material, dan sistem yang dibuat oleh manusia dengan cara membuat produk yang merupakan tiruan dari suatu proses atau material alami. Biomimikri bertujuan untuk menghasilkan produk atau teknologi yang lebih efisien, berkelanjutan, dan selaras dengan ekosistem alami.

Istilah biomimikri pertama kali diperkenalkan oleh Otto Schmitt pada pertengahan abad ke-20, seorang ahli biofisika dan insinyur yang terinspirasi oleh prinsip-prinsip yang ditemukan dalam sistem biologis. Biomimikri memungkinkan manusia untuk belajar dari solusi yang telah dioptimalkan oleh alam selama jutaan tahun evolusi. Dengan mempelajari cara alam bekerja, seperti bagaimana tanaman memanfaatkan energi matahari secara efisien, bagaimana serangga berkomunikasi, atau bagaimana burung terbang, para ilmuwan dan insinyur dapat mengembangkan inovasi teknologi yang mengatasi tantangan kehidupan modern.

Tujuan utama dari biomimikri adalah untuk menciptakan teknologi atau sistem yang tidak hanya efektif tetapi juga ramah lingkungan. Misalnya, desain sayap pesawat yang terinspirasi dari bentuk tubuh burung, material tahan air yang meniru permukaan daun teratai, atau sistem ventilasi bangunan yang terinspirasi dari struktur sarang rayap. Dengan mendasarkan

pengembangan teknologi pada prinsip-prinsip alami, biomimikri menawarkan pendekatan yang dapat membantu manusia mencapai keseimbangan dengan alam, mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, serta meningkatkan efisiensi dalam berbagai aspek kehidupan.

2.1.1 Cara Hidup Rayap

Rayap adalah serangga sosial yang hidup dalam koloni besar dengan struktur sosial yang sangat terorganisir. Koloni rayap terdiri dari beberapa kasta sebagai berikut.

1. Ratu dan raja, yang bertugas untuk reproduksi, menghasilkan telur secara terus-menerus.
2. Prajurit, yang melindungi koloni dari serangan predator, seperti semut.
3. Pekerja, yang membangun sarang, merawat ratu dan raja, mencari makanan, dan memberi makan anggota koloni lainnya.

Sarang rayap dibangun dengan sangat efisien, menggunakan lumpur, kayu, dan air liur. Struktur ini berfungsi sebagai tempat tinggal, perlindungan, dan pengaturan suhu dan kelembapan internal. Salah satu mekanisme unik yang dimiliki oleh rumah rayap adalah sistem ventilasi alami. Sarang rayap mempertahankan suhu yang stabil untuk mendukung aktivitas biologis koloni, termasuk reproduksi, pertumbuhan jamur (yang sering menjadi sumber makanan tambahan), dan kenyamanan anggota koloni. Sistem ventilasi ini juga membantu

mengeluarkan gas karbon dioksida yang dihasilkan oleh aktivitas koloni dan memastikan pasokan oksigen yang cukup.

2.2 Termosifon

Termosifon atau *thermosyphon*, juga dikenal sebagai cerobong surya dan cerobong termal, adalah sebuah saluran pasif yang memanfaatkan kondisi lingkungan di luar gedung untuk menghasilkan udara sejuk di dalam gedung dan mengeluarkan udara panas atau sebaliknya. Termosifon banyak dijumpai pada bangunan dengan sistem bangunan kompleks untuk menciptakan suasana nyaman dalam ruangan, misalnya pada gedung-gedung yang mengonsumsi energi secara aktif.

2.2.1 Prinsip Dasar Termosifon

Cerobong atau pipa termosifon yang digunakan pada struktur rumah rayap bekerja berdasarkan prinsip konveksi alami dan perpindahan panas melalui konveksi untuk menciptakan aliran udara serta meningkatkan ventilasi atau pembangkit energi. Oosthuizen (1999) menjelaskan bahwa konveksi alami adalah perpindahan panas di antara sebuah permukaan dan fluida yang bergerak di atasnya dengan gerakan fluida disebabkan gaya apung (*buoyancy force*) yang timbul karena perbedaan massa jenis (*density*) akibat perbedaan tekanan dalam aliran. Proses perpindahan panas dalam termosifon melibatkan kombinasi dari konveksi bebas yang disebabkan oleh gaya apung dan mekanisme perubahan fase (*phase change mechanisms*) seperti evaporasi dan kondensasi (Zhao, 2018). Perpindahan panas melalui

konveksi terjadi ketika udara panas menjadi kurang padat dibandingkan dengan udara dingin akibat mengalami penurunan massa jenis. Udara panas kemudian akan keluar melalui cerobong termosifon.

Cerobong termosifon memiliki bagian yang menyerap dan menyimpan panas yang menggunakan bahan *Phase Change Materials* (PCMs) sehingga dapat bekerja secara terus menerus. PCMs digunakan untuk menyimpan panas dan melepas panas ketika dibutuhkan, sehingga menciptakan aliran udara yang baik dan efisiensi dalam penggunaan energi.

2.2.2 Cara Kerja Termosifon

Pada bangunan bertingkat tinggi yang menerapkan desain gedung yang memanfaatkan struktur rumah rayap, cerobong termosifon dikonstruksi pada bagian atas bangunan yang terbuka ke luar. Struktur ini menciptakan aliran induksi atau *induced flow*, yang juga disebut sebagai *stack effect*, yang berperan mengeluarkan udara panas dari dalam ruangan. Cerobong termosifon berbentuk pipa terdiri dari tiga bagian utama, yaitu evaporator, adiabatik, dan kondensor. Evaporator merupakan bagian yang menerima udara panas dari luar gedung dan menyerapnya untuk dibawa ke kondensor, yaitu bagian yang melepas panas ke lingkungan, sedangkan bagian adiabatik terletak di antara evaporator dan kondensor yang terisolasi bagian luar, sehingga tidak ada pertukaran temperatur dengan lingkungan.

Panas dari lingkungan yang diserap oleh evaporator menimbulkan pergerakan ke atas karena adanya perbedaan massa jenis dan suhu. Udara panas mengalami penurunan massa jenis, menjadi kurang padat dibandingkan dengan udara dingin. Akibatnya, udara panas akan naik ke bagian atas pipa termosifon, dan lalu keluar melalui cerobong yang terbuka ke luar.

2.2.3 Aplikasi Termosifon

Termosifon diaplikasikan dalam desain bangunan dengan struktur rumah rayap untuk meniru cara rayap dalam mengatur aliran udara pada rumahnya dengan memanfaatkan gradien suhu harian. L. Mahadevan menunjukkan dalam penelitiannya mengenai ventilasi alami dalam rumah rayap, bahwa sirkulasi udara dalam rumah rayap dipicu oleh fluktuasi temperatur, sehingga menghasilkan sistem ventilasi alami yang efisien.

Struktur rumah rayap telah diaplikasikan pada Eastgate Centre di Zimbabwe yang dikembangkan oleh arsitek Mick Pearce. Struktur ini mengaplikasikan termosifon untuk mengatur sirkulasi suhu dengan memanfaatkan perbedaan suhu di dalam dan luar bangunan. Mick Pearce menjelaskan bahwa rumah rayap memanfaatkan prinsip ventilasi alami, di mana udara panas akan didorong keluar dan udara sejuk akan ditarik masuk. Bangunan ini terbukti mengurangi konsumsi energi hingga 35% dibandingkan dengan bangunan konvensional.

2.3 Stack Effect

Stack effect adalah fenomena yang didorong oleh *buoyancy* yang umumnya terjadi di bangunan bertingkat tinggi. Faktor utama penyebab *stack effect* adalah perbedaan suhu di dalam dan luar ruangan yang menimbulkan perbedaan massa jenis di dua kolom, serta perbedaan tinggi antara kedua kolom. Sherman (1998) menjelaskan bahwa walau terdapat faktor-faktor lain yang dapat mempengaruhi perbedaan massa jenis, seperti kelembapan dan variasi dalam massa udara, namun pengaruhnya kecil dibandingkan dengan perbedaan suhu sehingga bisa diabaikan. Selain itu, dampak dari *wind pressure* di luar dinding bangunan juga merupakan faktor penentu performa bangunan secara keseluruhan.

2.3.1 Buoyancy-Driven Processes

Di wilayah-wilayah beriklim dingin, udara di dalam ruangan yang relatif lebih panas meningkat karena gaya *buoyancy*. Ini menimbulkan perbedaan tekanan yang menarik udara dari dasar bangunan dan mendorongnya ke tingkatan-tingkatan atas bangunan. Udara dingin yang masuk dari luar bangunan akan dihangatkan oleh bangunan dan terjadi proses *stack effect*.

Sebaliknya, di wilayah-wilayah beriklim panas, terjadi proses *reverse stack effect*. Udara di dalam ruangan yang relatif lebih dingin menimbulkan penumpukan tekanan di bagian bawah bangunan. Tekanan ini mendorong udara keluar dan menarik udara masuk di

tingkatan-tingkatan atas bangunan. Melalui proses ini, udara panas yang ditarik akan didinginkan oleh bangunan.

2.3.2 *Wind-Driven Processes*

Kecepatan udara yang bekerja di bagian bawah dan atas bangunan berbeda karena adanya *atmospheric boundary layer* (ABL). Ini berdampak pada pergerakan udara masuk dan keluar dari bangunan (infiltrasi dan eksfiltrasi). Tekanan angin positif memiliki kemampuan untuk memperkuat infiltrasi dan melawan eksfiltrasi. Sebaliknya, tekanan angin negatif memiliki kemampuan untuk memperkuat eksfiltrasi dan melawan infiltrasi.

2.4 Bahan Bangunan

2.4.1 Kayu Balsa

Indonesia merupakan salah satu penghasil kayu balsa terbesar di seluruh dunia. Kayu balsa adalah kayu memiliki karakteristik unik dengan massanya yang ringan, seperti gabus. Kayu balsa memiliki massa jenis (*density*) yang beragam bergantung pada usia dan habitat pohon. Pada umumnya massa jenis (*density*) berada di antara 2,5 sampai 24 lb/ft³ (40-380 kg/m³), sedangkan kayu lainnya memiliki massa jenis (*density*) sekitar 93,6 lb/ft³ (1.500 kg/m³), hal ini membuat kayu balsa merupakan kayu teringan yang dapat dicari.

Aplikasi dari kayu balsa sendiri sering dijumpai dalam kebutuhan interior dan arsitektur. Setiap tahun pemanfaatan kayu balsa melonjak cepat ketika jenis kayu ini bisa digunakan untuk pembuatan model

rumah yang bisa tahan dari getaran gempa (Miculas, Moldovan, Ciocan, 2013). Hal ini disebabkan karena kayu balsa memiliki *strength and stiffness-to-weight ratios* (sebuah ukuran kekuatan dan kekakuan sebuah objek yang dibagi dengan massa atau beratnya) yang tinggi sehingga memudahkannya dalam penerapan untuk prototipe sebuah bangunan, seperti bangunan tahan gempa, karena memungkinkan untuk menerima beban yang besar meski material yang ringan serta menjaga stabilitas struktur tanpa meningkatkan massa total dari prototipe.

2.4.2 Gypsum

Menurut A. Rusdianto, gipsum memiliki komposisi kalsium oksida (CaO) yang paling tinggi yaitu 32,57%, dan diikuti kalsium 23,28%, air 20,93%, sulfur 18,62%, dan hidrogen 3,34%. Komposisi utama dari produk gipsum sendiri adalah kalsium sulfat (CaSO₄) yang ada dalam bentuk senyawa *hydrous* dan *non-hydrous: dihydrate* (CaSO₄·2H₂O), *hemihydrate* (CaSO₄·½H₂O), dan *anhydrate* (CaSO₄). Apabila dibandingkan dengan kalsium hidroksida atau *lime* (Ca(OH)₂), pH gipsum bersifat netral dibandingkan kalsium hidroksida yang cenderung bersifat basa kuat.

Phase Change Materials (PCMs) adalah bahan yang dapat mengalami perubahan fase ketika dipanaskan atau didinginkan di atas suhu transisi fase. Bahan bangunan yang terintegrasi dengan PCM dapat meningkatkan ruang penyimpanan energi panas. Dampak yang

ditimbulkan PCM terhadap beton, tembok ringan, dan *wallboard* bervariasi. Sebagai contoh, ketika menggunakan PCMs aliran panas dari sebuah *wallboard* dapat diminimalisir dari 8,5% menjadi 77,9%. Penggabungan PCM dengan gipsum merupakan salah satu hal yang sering dijumpai dalam konstruksi bangunan disebabkan gipsum yang relatif murah, tahan api, estetik, dan ramah lingkungan. Blok gipsum mengandung PCM berbasis komposit yang bersifat *form-stable* dapat meningkatkan kemampuan untuk menjaga suhu dalam ruangan di zona nyaman dalam jangka waktu yang lebih lama sehingga menurunkan kegunaan energi bangunan (Karaipekli dan Sari, 2016). Perubahan suhu dalam sebuah ruangan dapat direduksi dengan papan PCM-gipsum yang dipasang di atap (Singh dan Bhat, 2018).

2.4.3 Fiberglass

Fiberglass atau serat kaca merupakan penggabungan antara *resin* dengan serat kaca yang membentuk sebuah serat yang diperkuat dengan plastik. Serat kaca pada umumnya terbuat dari silika, terutama pasir, *limestone*, abu batu dan boraks. *Fiberglass* sendiri tersedia dalam banyak rupa, seperti *woven fabric*, *non-ending fiber*, *chopped fiber*, and *discontinuous fiber*. Insulasi termal adalah kontributor besar dalam meningkatkan bangunan yang efisien energi, terutama untuk bangunan yang didominasi beban selubung, seperti rumah. Jumlah energi yang diperlukan untuk mendinginkan atau memanaskan sebuah bangunan sebagian besar dipengaruhi oleh seberapa efektif selubung bangunan

terisolasi secara termal. Properti insulasi termal dari material serat kaca diperkirakan baik disebabkan diameter serat kaca yang sangat kecil. Serat kaca telah diaplikasikan untuk menginsulasi saluran pipa. Papan serat kaca mempunyai banyak keunggulan, seperti densitas yang kecil, konduktivitas termal yang kecil, ketahanan terhadap uap kecil, absorpsi bunyi yang tinggi, dan penghambat api. Properti yang paling penting suatu insulasi termal adalah konduktivitas termal.

2.4.4 Kaca Akrilik

Polimer akrilik atau yang lebih dikenal dengan akrilik memiliki monomer yang berupa ester dari akrilik dan asam *methacrylic*. Monomer monomer tersebut dapat memiliki multifungsi juga, seperti *trimethylolpropane triacrylate* atau *butylene glycol diacrylate*. Polimer dari kategori ini terkenal akan kejernihan dan stabilitas properti mereka setelah penuaan di bawah kondisi yang parah. Akrilik memiliki transmisi cahaya yang tinggi dengan indeks bias (*refractive index*) sebesar 1,49 dan bisa dengan mudah dibentuk dengan panas tanpa kehilangan kejernihan optik. Akrilik sendiri tidak mudah terdampak ketika terkena solusi *aqueous* dari sebagian besar bahan kimiawi laboratorium yang terdapat pada deterjen, pembersih, alkali, dan *aliphatic hydrocarbons*. Akrilik sendiri memiliki konduktivitas termal sebesar $1,2 \times 10^{-4} \text{ cal/cm-sec-}^\circ\text{C}$ dan cenderung tidak mudah terbakar.

2.4.5 Pipa PVC

Plastik merupakan alternatif yang sering digunakan dalam aplikasi sistem pipa komersial dan industri. Jenis jenis plastik yang sering dikenal adalah *polyvinyl chloride* (PVC), *polyethylene* (PE), *polypropylene* (PP), *acrylonitrile-butadiene-styrene* (ABS), *polybutylene* (PB), dan *glass-fibre-reinforced polyester* (GRP atau FRP). Untuk sistem perpipaan untuk suplai air minum, distribusi gas, dan pembuangan limbah, PVC, PE dan PP merupakan material polimer yang populer (PlasticsEurope, 2017). Dalam sistem perpipaan sendiri sering ditemui, terdapat pipa yang terbuat dari baja (*steel*) serta ada juga yang terbuat dari PVC. Konduktivitas termal dari PVC ($\lambda = 0,14-0,28$ W/m°C) sendiri lebih rendah dibandingkan baja ($\lambda = 373,2$ W/m°C), sehingga pipa PVC lebih efektif dalam menyalurkan suhu. Dari sudut pandang ekonomi, pipa PVC lebih murah dan mudah ditemukan di pasar dan tersedia banyak ragam diameter pipa.

2.4.6 Atap Spandek

Atap spandek adalah sebuah jenis atap yang terbuat dari material spandek, yang dimana material spandek merupakan campuran dari 55% aluminium (Al), 43,5% seng/zinc (Zn), dan 1,5% silikon (Si). Penerapan atap spandek ini umumnya ditemukan pada atap rumah, karena materialnya yang ringan, murah, kuat, mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan, serta cenderung tahan terhadap korosi.

2.5 Arduino

Arduino adalah *platform* elektronik *open-source* yang digunakan untuk membuat *hardware* dan *software* yang mudah digunakan. Arduino ditemukan pertama kali pada institut Ivrea Interaction Design sebagai alat yang mudah untuk prototipe yang menargetkan siswa yang tidak memiliki latar belakang di elektronik dan *programming*. Arduino menyediakan sebuah platform integrasi yang lebih mudah yang dapat dijalankan di hampir semua komputer pribadi dan pengguna dapat menuliskan program untuk Arduino menggunakan bahasa pemrograman C atau C++. Sebuah Arduino sendiri mengandung sebuah *microcontroller* yang berfungsi sebagai otak dari *development board* yang dapat mengirimkan informasi atau memberi perintah kepada perangkat di sekitar yang terkoneksi. *Microcontroller* yang terdapat di setiap papan sendiri beragam, seperti ATmega328p atau ATmega168p. Elemen sebuah papan Arduino terbagi menjadi 2 kategori, yaitu *hardware* dan *software*. *Hardware* dari papan Arduino terdiri dari *microcontroller*, *power supply* eksternal, USB *plug*, *internal programmer*, *reset button*, pin *analog*, pin I/O digital, serta pin *power* dan GND. Sedangkan pada *software* Arduino, kode program yang ditulis untuk sebuah papan Arduino dikenal dengan *sketch* dan *software* yang digunakan untuk menulis *sketch* untuk nantinya diunggah ke papan Arduino disebut Arduino IDE. Arduino IDE terdapat berbagai bagian, yaitu *text editor*, *message area*, *text*, dan *console toolbar*.

2.6 Statistika

Statistika dapat diartikan sebagai cabang ilmu yang berfokus pada metode pengumpulan, pengolahan, analisis, interpretasi, dan penyajian data, terutama dalam bentuk angka. Gasperz (1989) menekankan bahwa statistika digunakan untuk mendukung pengambilan keputusan berbasis fakta. Dajan (1995) menguraikan statistika sebagai teknik untuk menangani data numerik, mulai dari pengumpulan hingga interpretasinya. Menurut Furqon (1999), statistika juga mencakup proses pengambilan sampel dan analisis data. Sementara itu, Somantri (2006) menggambarkannya sebagai ilmu yang membantu menyajikan data secara terstruktur. Berdasarkan berbagai pendapat ini, dapat disimpulkan bahwa statistika adalah ilmu yang mempelajari cara mengelola data untuk menghasilkan informasi yang bermakna.

Statistika berdasarkan penyajiannya terbagi menjadi dua jenis, yaitu statistika deskriptif dan statistika inferensial. Statistika deskriptif berfokus pada pengumpulan, pengolahan, dan penyajian data tanpa melakukan interpretasi atau penarikan kesimpulan. Metode ini bertujuan untuk menyajikan data secara ringkas dan jelas melalui tabel, grafik, atau visualisasi lain seperti histogram, *pie chart*, ogive, dan diagram batang-daun. Untuk data numerik, statistika deskriptif mencakup ukuran pemusatan (mean, median, modus), distribusi (*fractile*, *skewness*), dan penyebaran (variasi atau keruncingan). Pendekatan ini bertujuan memberikan gambaran data secara informatif dan mudah dipahami tanpa melibatkan analisis lebih mendalam.

Statistika inferensial, atau yang sering disebut sebagai statistika induktif, merupakan cabang ilmu statistika yang berfokus pada pembuatan kesimpulan dan pengambilan keputusan berdasarkan analisis data. Pendekatan ini menggunakan data sampel, yaitu sebagian kecil dari keseluruhan populasi, untuk memperkirakan karakteristik atau parameter populasi.

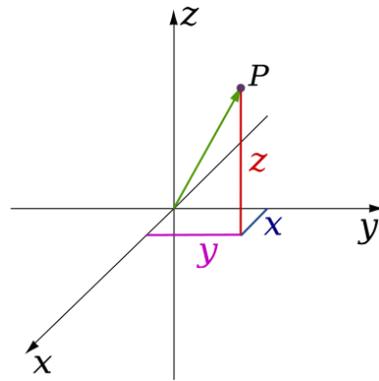
Setelah data dikumpulkan, berbagai metode statistik diterapkan untuk menganalisisnya, diikuti dengan interpretasi hasil untuk menghasilkan kesimpulan yang relevan. Jika sampel yang digunakan mewakili populasi dengan baik, generalisasi yang dibuat melalui statistika inferensial dapat dianggap valid. Proses ini mencakup estimasi parameter, pengujian hipotesis, dan prediksi berdasarkan data yang tersedia.

2.7 Bangunan Tiga Dimensi

Benda tiga dimensi adalah benda yang menempati ruang tiga dimensi. Tiga dimensi adalah dimensi yang terdiri dari unsur X, Y, dan Z atau panjang, lebar dan tinggi. Sesuai dengan ruang yang ditempatinya, maka benda tiga dimensi adalah benda yang memiliki unsur panjang, lebar dan tinggi. Dalam perkembangan ilmu pengetahuan, benda dan ruang tiga dimensi memainkan peran yang penting dalam cabang ilmu seperti matematika, fisika, seni, arsitektur dan lainnya.

Benda tiga dimensi memiliki sifat-sifat unik yang dapat diukur seperti volume dan luas permukaan benda. Volume adalah seberapa besar benda

tersebut menempati suatu ruangan. Di sisi lain, luas permukaan adalah total luas yang ada pada permukaan benda tersebut.



Gambar 2.7.1 Sistem tiga dimensi pada koordinat kartesius

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini telah dilaksanakan pada tanggal 7, 8, dan 14 Desember 2024 di Jalan Wisma Permai Barat 1 LL/8.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat

1. Lem tembak beserta isinya
2. Cutter beserta isinya
3. Gunting
4. Penggaris
5. Stopkontak
6. Papan Arduino
7. Kabel jumper
8. *Solderless breadboard*
9. Sensor DHT11

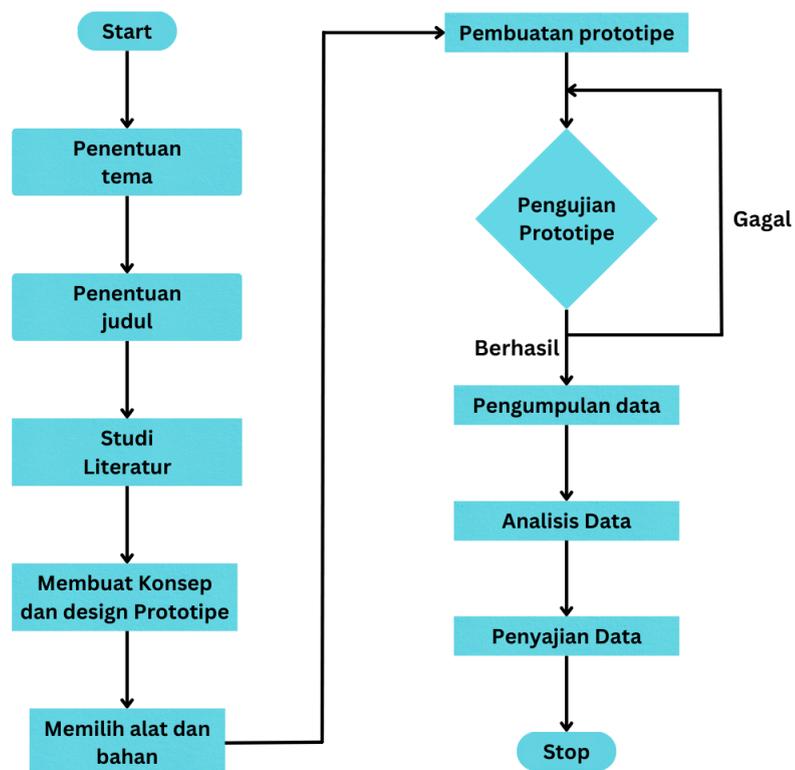
3.2.2 Bahan

1. Kayu balsa
2. Papan gipsum
3. *Fiberglass matt*
4. Kaca akrilik

5. Pipa PVC
6. Atap spandek

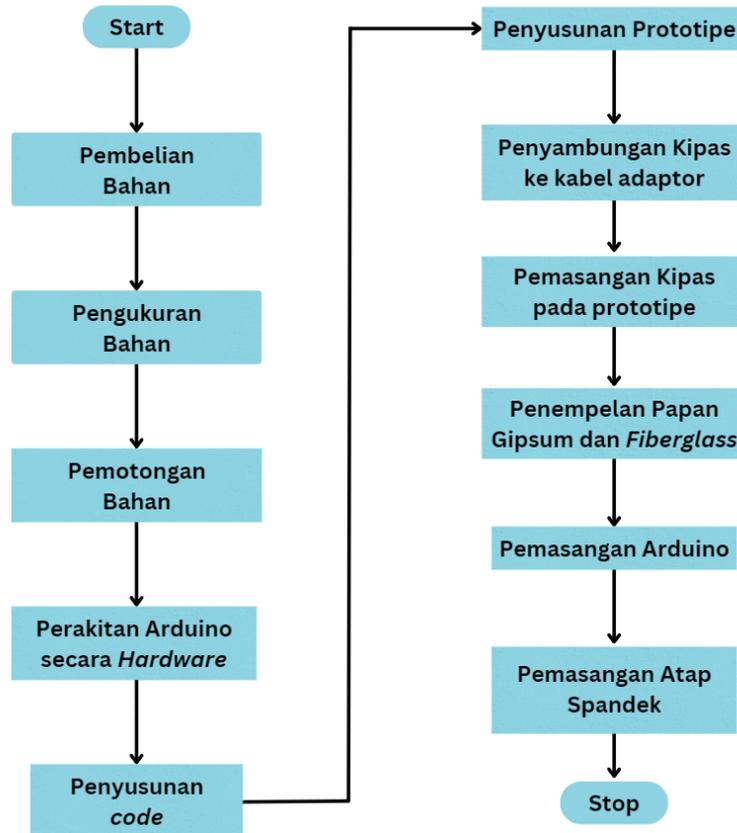
3.3 Tahapan Penelitian

3.3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.3.1.1 Diagram Alir Penelitian

3.3.2 Skema Pembuatan Alat



Gambar 3.3.2.1 Diagram Alir Pembuatan Prototipe

Data ke-	Bangunan dengan sistem rayap		Bangunan konvensional	
	Suhu	Kelembapan	Suhu	Kelembapan
1				
2				
3				
4				

Tabel 3.3.2.1 Tabel Pengambilan Data

3.3.3 Variabel Penelitian

Variabel penelitian adalah segala sesuatu yang berubah-ubah dan dapat diukur secara ilmiah. Terdapat tiga jenis variabel dalam penelitian ini, di antaranya sebagai berikut.

1. Variabel bebas : Sistem pendingin pada gedung (nominal).
2. Variabel kontrol : Lingkungan (nominal).
3. Variabel terikat : Suhu (interval) dan kelembapan udara (interval).

3.4 Metode dan Analisis Data

3.4.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Studi pustaka, yaitu dengan mengadakan kajian pustaka terhadap berbagai sumber referensi yang berkaitan dengan masalah yang dibahas.
2. Membuat prototipe desain

3. Mengumpulkan data variabel terikat
4. Mengolah data
5. Menyajikan hasil analisis

3.4.2 Teknik Analisis Data

Teknik analisis data yang akan digunakan adalah teknik analisis kuantitatif. Teknik ini digunakan untuk rumusan masalah. Data-data yang diperoleh akan dianalisis sehingga dapat memberikan jawaban dan kesimpulan yang sesuai rumusan masalah

BAB IV

PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

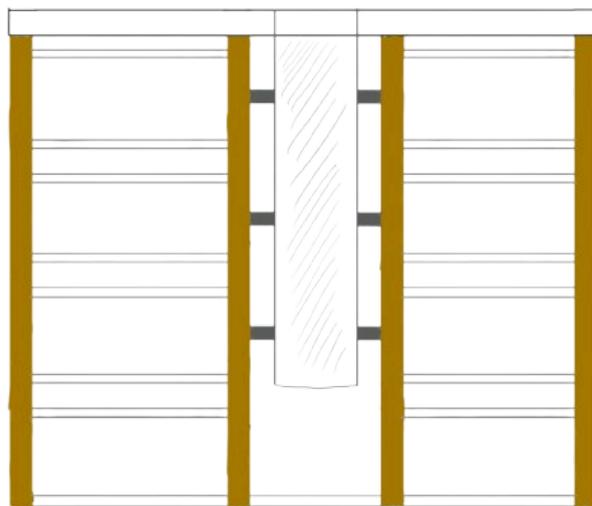
4.1.1 Cara Kerja Bangunan Sistem Rumah Rayap

Prototipe ini dirancang dengan memanfaatkan kapasitas kalor, yakni besaran yang mengukur banyaknya energi kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu suatu zat. Prinsip ini kami gunakan untuk mengatur dan melembabkan perubahan suhu sepanjang hari, sehingga menciptakan suhu yang nyaman. Sistem ventilasi yang diterapkan bekerja dengan mengandalkan kipas berkapasitas rendah yang berfungsi untuk menyedot udara dingin dari luar bangunan dan membantu mendorong udara panas keluar. Udara dingin ini kemudian dialirkan ke dalam ruangan-ruangan melalui saluran atau lubang-lubang ventilasi yang telah dirancang khusus.

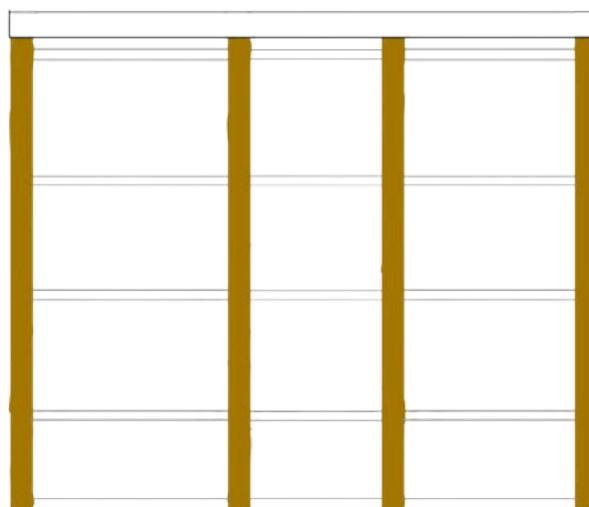
Di sisi lain, udara panas yang berada dalam ruangan akan dikeluarkan melalui sebuah pipa besar yang ditempatkan di tengah bangunan dengan bantuan kipas berkapasitas rendah. Proses ini dimungkinkan karena perbedaan massa jenis antara udara panas dan udara dingin; udara panas, yang memiliki massa jenis lebih rendah, akan secara alami naik ke bagian atas bangunan menuju lubang keluar yang tersedia. Mekanisme ini memanfaatkan prinsip termosifon serta

dikenal sebagai proses *reverse stack effect*, di mana aliran udara terjadi secara pasif dengan memanfaatkan perbedaan suhu dan tekanan di dalam dan luar bangunan. Proses ini tidak hanya efisien secara energi tetapi juga mendukung sirkulasi udara yang lebih sehat dan seimbang.

4.1.2 Desain Prototipe



Gambar 4.1.2.1 Desain Struktur Bangunan Prototipe



Gambar 4.1.2.2 Desain Struktur Bangunan Non-Prototipe

4.1.3 Hasil Percobaan

Pengambilan data dilakukan sebanyak 6 kali (6 hari) dalam waktu 40 menit, dengan rentang pengambilan data 5 menit per data.

Data Suhu dan Kelembapan dengan Sistem		
Tanggal	Suhu Rata-rata (°C)	Kelembapan(%)
7 Januari 2025	26	68,125
8 Januari 2025	24,625	67,125
9 Januari 2025	28	57,5
10 Januari 2025	26,375	57,75
13 Januari 2025	24,25	60,875
14 Januari 2025	23,375	62,625
Rata-rata	25,4375	62,33

Tabel 4.1.3.1 Tabel Data dengan Sistem

Data Suhu dan Kelembapan tanpa Sistem		
Tanggal	Suhu (°C)	Kelembapan (%)
7 Januari 2025	26,875	63,375
8 Januari 2025	26	67,5
9 Januari 2025	29,5	55,5
10 Januari 2025	27,75	54,375
13 Januari 2025	26	57,5
14 Januari 2025	24	59,875
Rata-rata	26,6875	59,687

Tabel 4.1.3.2 Tabel Data tanpa Sistem

Selisih Suhu dan Kelembapan		
Tanggal	Suhu (°C)	Kelembapan (%)
7 Januari 2025	0,875	4,75
8 Januari 2025	1,375	6,375
9 Januari 2025	1,5	2
10 Januari 2025	1,375	3,375
13 Januari 2025	1,75	3,375
14 Januari 2025	0,625	2,75
Rata-rata	1,25	2,7425

Tabel 4.1.3.3 Tabel Selisih Data

Berdasarkan data di atas, dapat disimpulkan bahwa bangunan sistem rumah rayap memiliki pengaruh terhadap suhu dan kelembapan udara.

4.2 Pembahasan

4.2.1 Uji T

Kami menggunakan uji T (Independent Test, One-tailed negative) untuk menentukan apakah perbedaan suhu antara kedua bangunan terjadi karena faktor sistem atau hanya kebetulan.

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n} + \frac{S_2^2}{n}}}$$

H0 : Tidak ada perbedaan yang signifikan.

H1 : Kelompok pertama memiliki rata-rata lebih kecil dari kelompok kedua.

	Data 1 (dengan sistem)	Data 2 (tanpa sistem)
\bar{X}	25,4	26,6444444
S	1,629277587	1,785746031
S^2	2,654545455	3,188888889

Tabel 4.2.1.1 Tabel Rata-rata dan Varians

Perhitungan *t value* :

$$t = \frac{25,4 - 26,6444444}{\sqrt{\frac{2,654545455}{45} + \frac{3,188888889}{45}}}$$

$$t = -3,484593838$$

Perhitungan derajat kebebasan :

$$df = n_1 + n_2 - 2$$

$$df = 45 + 45 - 2$$

$$df = 88$$

Berdasarkan tabel t ($df = 88$; $p = 0,05$), t kritis bernilai -1,662. Terbukti bahwa t value (-3,84) berada jauh dibawah t kritis (-1,662). Ini menunjukkan bahwa H0 ditolak dan H1 diterima dengan signifikan yang besar.

4.2.2 Pembahasan Hasil Percobaan

Data percobaan di atas menunjukkan bahwa sistem rumah rayap memiliki pengaruh terhadap suhu dan kelembapan pada bangunan. Berdasarkan data tersebut, kami dapat menyimpulkan bahwa perubahan suhu berbanding terbalik dengan kelembapan udara. Pada bangunan prototipe dengan sistem, terlihat bahwa suhu ruangnya lebih rendah dibandingkan dengan bangunan tanpa sistem, sedangkan kelembapan udaranya lebih tinggi. Ini membuktikan bahwa prinsip sistem yang melembapkan udara untuk menurunkan suhu berhasil. Akan tetapi, perubahan suhu kurang signifikan karena hanya berubah sebesar $1,25^{\circ}\text{C}$ secara keseluruhan. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, yakni skala, bahan, dan keakuratan alat ukur sensor.

Skala prototipe kami cukup kecil dibandingkan bangunan asli, yakni sebesar 45 cm x 15 cm x 50 cm. Berdasarkan rumus perpindahan kalor, banyaknya kalor yang dilepaskan atau diterima oleh suatu benda, bergantung pada massa dari benda tersebut. Dalam konteks kali ini, benda yang kami maksud adalah dinding bangunan. Prototipe bangunan yang kecil tidak bisa merepresentasikan bagaimana sistem ini akan bekerja jika diaplikasikan pada bangunan yang lebih besar dengan efektif.

Bahan yang digunakan juga dapat menjadi alasan mengapa perubahan suhu tidak signifikan. Kami menggunakan gipsum untuk

dinding prototipe bangunan karena sifatnya yang *form-stable* sehingga mampu menjaga suhu ruangan. Bangunan-bangunan umumnya menggunakan batu bata untuk dindingnya. Batu bata memiliki kemampuan untuk meredam dan meratakan panas pada seluruh permukaan. Akan tetapi, kami tidak dapat menggunakan batu bata karena batu bata memiliki massa yang besar sehingga akan sulit untuk memindahkan prototipe. Oleh sebab itu, kami memilih untuk menggunakan alternatif lain yang lebih praktis.

Terakhir, keakuratan alat ukur merupakan faktor penentu dari penelitian ini. Kami menggunakan Arduino yang memiliki akurasi sebesar 1°C saja, sehingga pengambilan data suhu tidak bisa cukup akurat untuk melihat perbedaan dalam skala yang lebih kecil. Pada percobaan kali ini, kami menggunakan sensor Arduino karena ukurannya yang relatif lebih kecil dibandingkan dengan alat ukur lainnya. Selain itu, penggunaan program dalam Arduino juga dapat meminimalisir terjadinya kesalahan pada sisi manusiawi.

4.2.3 Suhu dan Kelembapan Ideal

Menurut Standar Kenyamanan Termal Indonesia (D.P. SNI 1993) terdapat 3 kategori temperatur ideal di Indonesia:

1. Sejuk nyaman: suhu ruangan $20,5^{\circ}\text{C}$ - $22,8^{\circ}\text{C}$ dan kelembapan relatif 50%-80%

2. Nyaman optimal: suhu ruangan $22,8^{\circ}\text{C}$ - $25,8^{\circ}\text{C}$ dan kelembapan relatif 70%-80%
3. Hampir nyaman: suhu ruangan $25,8^{\circ}\text{C}$ - $27,1^{\circ}\text{C}$ dan kelembapan relatif 60%-70%

Berdasarkan data percobaan, dapat disimpulkan bahwa rata-rata suhu bangunan yang menggunakan sistem rumah rayap senilai $25,4375^{\circ}\text{C}$ berada di kisaran suhu nyaman optimal ($22,8^{\circ}\text{C}$ - $25,8^{\circ}\text{C}$). Sebaliknya, bangunan tanpa sistem memiliki suhu rata-rata $26,6875^{\circ}\text{C}$ sehingga berada di kisaran suhu hampir nyaman ($25,8^{\circ}\text{C}$ - $27,1^{\circ}\text{C}$) dan melebihi batas maksimum suhu optimal sebesar $0,8875^{\circ}\text{C}$. Kelembapan di bangunan sistem rayap berada di bawah kategori nyaman optimal dengan selisih 7,67% dari batas terendahnya yaitu 70%. Selisih persentase kelembapan bangunan tanpa sistem dengan batas 70% sebesar 10,313%. Ini menunjukkan bahwa suhu bangunan prototipe sudah sesuai dengan suhu ideal bangunan, sedangkan persentase kelembapan masih di bawah nilai ideal.

4.2.4 Cara Menaikkan Kelembapan Bangunan

Seperti yang tertera di pembahasan, kelembapan bangunan prototipe masih di bawah batas terendah kategori nyaman optimal. Salah satu cara yang dapat kami lakukan untuk mengatasi permasalahan ini adalah memanfaatkan berbagai varietas tumbuhan yang memiliki laju transpirasi yang cepat untuk menaikkan persentase kelembapan.

Transpirasi adalah proses penguapan air dari daun tumbuhan. Uap air dari tumbuhan ini akan dilepaskan ke udara sehingga dapat meningkatkan kelembapan ruangan. Beberapa contoh tanaman yang dapat digunakan adalah tanaman pakis, tanaman palem jari dan tanaman english ivy.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

1. Bangunan sistem rayap bekerja dengan memanfaatkan mekanisme termosifon atau *reverse stack effect*.
2. Bangunan menggunakan sistem rayap memiliki pengaruh terhadap suhu dan kelembapan.
3. Suhu pada bangunan dengan sistem rayap masuk dalam kategori nyaman optimal.
4. Kelembapan pada bangunan dengan sistem rayap masuk dalam kategori hampir nyaman.
5. Kelembapan di dalam bangunan dapat ditingkatkan dengan memanfaatkan transpirasi dari tanaman.

5.2 Saran

1. Membuat prototipe bangunan dengan skala lebih besar.
2. Membuat prototipe bangunan dengan bahan yang lebih menyerupai bangunan asli.
3. Menggunakan alat ukur yang lebih akurat.
4. Menggunakan tumbuhan untuk meningkatkan kelembapan bangunan.

DAFTAR PUSTAKA

- Siagian, H.F.A.S. 2023. *Pemanasan Global, Penyebab, Dampak, dan Cara Menyikapi serta Menanggulangnya*. <https://www.djkn.kemenkeu.go.id/kpkn1-lahat/baca-artikel/16465/Pemanasan-Global-Penyebab-Dampak-dan-Cara-Menyikapi-serta-Menanggulangnya.html> [17 Oktober 2024]
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2018. *Mengukur dan Reduksi Gas Rumah Kaca*. http://perpustakaan.menlhk.go.id/pustaka/home/index.php?page=detail_news&newsid=474 [17 Oktober 2024]
- Sihitne, R. T. 2015. *Bahan Perusak Ozon (BPO): Apa dan Bagaimana Penanganannya*. <https://sib3pop.menlhk.go.id/index.php/articles/view?slug=bahan-perusak-ozon-bpo-apa-dan-bagaimana-penanganannya> [18 Oktober 2024]
- Turner, S. J. and Soar, R. C. 2008. Beyond biomimicry: What termites can tell us about realizing the living building. *ResearchGate*. 255650482.
- Questline Inc. 2024. *Solar Chimneys: Clean and Cost-Effective Heating and Cooling*. <https://www.questline.com/blog/solar-chimneys-clean-heating-cooling/> [8 November 2024]
- Fachrudin, A. R. 2018. Unjuk Kerja Thermosyphon Dengan Variasi Fluida Kerja. *Jurnal Informasi Teknik dan Niaga*. Vol 8 No 2: 67-131.
- Boonyaputthipong, C. and Elnimeiri, M. M. Stack Effect Ventilation in Different Climates. *Journal of Building Energy & Environment*. Vol 1, No 1: 24-29.
- Cammelli, Stefano and Mijorski, Sergey. 2016. Stack Effect in High-Rise Buildings: A Review. *International Journal of High-Rise Buildings*. Vol 5, No 4: 327-338

- Silva, Andre Da and Kyriakides, Stelios. 2007. Compressive Response and Failure of Balsa Wood. *International Journal of Solids and Structures*. Vol 44: 8685-8717.
- Supriadi, Katrina Aliya. 2023. Pengaruh Jenis Perendaman terhadap Perkecambahan Benih Balsa (*Ochroma bicolor* Rowlee). *Perpustakaan Universitas Siliwangi*. 8581.
- F., Kuznik, K., Johannes, D., David. 2015. Integrating Phase Change Materials (PCMs) in Thermal Energy Storage Systems for Buildings. *Advances in Thermal Energy Storage Systems*. 325-353.
- Bake, M., Ashish, S., Liu, S. 2021. Development of Gypsum Plasterboard Embodied with Microencapsulated. *Materials Science for Energy Technologies*. 4: 166-176.
- Lushnikova, N. and Dvorkin, L. 2016. *Sustainability of Construction Materials 2nd Edition*. Cambridge: Woodhead Publishing.
- Jumiati, E., Daulay, A. H., Fadillah, N. 2021. Karakterisasi Sifat Fisis dan Mikrostruktur Papan Gypsum dengan Variasi Komposisi Lateks. (*JIIF*) *Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika*. Vol 5 No 2.
- Jain, G., Sonkar, T., Kumar, N., Kumar, N., Pant, R. 2019. A Study of Fiberglass with Different Compositions. *ResearchGate*.
- Sastri, V.R. 2010. Engineering Thermoplastics: Acrylics, Polycarbonates, Polyurethanes, Polyacetals, Polyesters, and Polyamides. *Plastics in Medical Devices*. Chapter 7, 121-173.
- International Polymer Solutions. 2019. *Acrylic*. <https://www.ipolymer.com/pdf/Acrylic.pdf> [16 November 2024]
- Sakhri, N., Menni, Y., Houari A. 2020. Effect of the Pipe Material and Burying Depth on the Thermal Efficiency of Earth-to-Air Heat Exchangers. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*.

- Makris, K. F., Langeveld, J., Clemens., F. H. L. R. 2019. A Review on the Durability of PVC Sewer Pipes: Research vs Practice. *Structure and Infrastructure Engineering*. Vol 16 No 6: 1601-1613.
- Arduino. 2022, *What is Arduino?*. <https://docs.arduino.cc/learn/starting-guide/whats-arduino/> [17 November 2024]
- Kondaveeti, H. K., Kumaravelu, N. K., Vanambathina, S. D., Mathe, S. E., Vappangi, S. 2021. A Systematic Literature Review on Prototyping with Arduino: Applications, Challenges, Advantages, and Limitations. *Computer Science Review*. 40:
- Budiana, E.P., Kristiawan, B., Sulistyono, A. 2007. Simulasi Numerik Konveksi Alami dalam Kotak 2D dengan Variasi Kemiringan dengan Metode Beda Hingga. *Mekanika: Majalah Ilmiah Mekanika*. Vol 6, No 1.
- Zhao, Z., Zhang, Y., Zhang, Y., Zhou, Y., Hu, H. 2018. Numerical Study on the Transient Thermal Performance of a Two-Phase Closed Thermosyphon. *Energies* . Volume 11, Issue 6.
- Zamora, B. 2023. A Review on Solar Chimneys: From Natural Convection Fundamentals to Thermohydraulic Best-Performance Proposals. *Processes* 2023. Volume 11, Issue 11.
- McClure, P. 2023. *Termite Mounds an Inspiration for Future Climate-Regulating Buildings*. <https://newatlas.com/architecture/termite-mounds-climate-regulating-buildings/>. [23 November 2024]
- Wolverton, M. 2019. *What Termites Can Teach Engineers*. <https://www.asme.org/topics-resources/content/what-termites-can-teach-engineers>. [23 November 2024]
- National Geographic. 2018. *See How Termites Inspired a Building That Can Cool Itself*. <https://youtu.be/620omdSZzBs?si=YzWSA3ZZKWNjaZTS>. [23 November 2024]

- Zhang, H., Tao, Y., Shi, L. 2021. Solar Chimney Applications in Buildings. *Encyclopedia 2021*. 1:409-422.
- Vincent, J.F.V., Bogatyreva, O., Bogatyrev, R.N., Bowyer, A., Pahl, A.K. 2006. Biomimetics: its Practice and Theory. *Journal of the Royal Society Interface*. 3:471-482.
- Galih Ananta Catur Purnama. 2024. *Difference Between Spandex and Galvalume Roof*. https://www.dimulti.id/SNI/difference-between-spandex-and-galvalume-roof/#3_Structure_and_Function. [27 November 2024]
- PT Benteng Api Technic TBK. 2020. *Fungsi Batu Bata Tahan Api*. <https://bentengapi.com/fungsi-batu-tahan-api>. [18 Januari 2025]
- Mustamin M.T., Alauddin A., Quraisy S. 2023. Perbandingan Karakteristik Temperatur Pada Ruang Kelas Terhadap Standar Kenyamanan Termal. *VISTA : Journal of Vernacular Innovation Sustainable Transformation Architecture*. Vol 1 No 1.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi Kerja



Pengukuran Gypsum



Pemotongan Gypsum



Pembangunan Dasar Bangunan



Pembangunan Lantai Atas



Penempelan Gypsum pada Rangka



Pemotongan Atap Seng



Foto Bangunan Tanpa Sistem

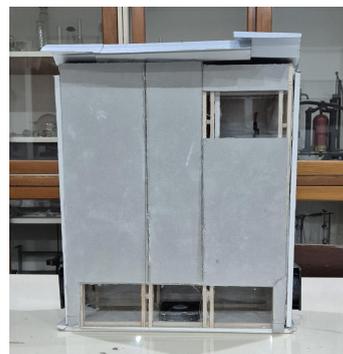


Foto Bangunan Dengan Sistem

Lampiran 2. Pengambilan Data



Foto saat Pengambilan Data Bersama

Lampiran 3. Tanaman untuk Meningkatkan Kelembapan Udara



Tanaman Pakis



Tanaman Palem Jari



Tanaman English Ivy

Lampiran 4. Lembar Konsultasi

**FORM KONSULTASI PEMBUATAN KARYA TULIS
SMA KATOLIK ST. LOUIS 1 SURABAYA**

Judul Penelitian : Optimalisasi Sirkulasi Udara pada Gedung Rumah Lingkungan

Pembimbing 1 : Imina Indiyanti, S.Pd.

Pembimbing 2 : Fransiskus Aesel Sukono, S.Si., M.Ke.

Penyusun : XII MIPA - 3 / Kelompok...

Nama	No. Absen	Nama	No. Absen
1. Cheryl Galista	6	4. Jason Matthews	18
2. Grace Nadia	13	5. Sebastian Ie	30
3. Gregorius Putra	15	6. Wimar Widarto	33

No.	Hari, Tanggal	Kegiatan Konsultasi	Tanda Tangan
1	Rabu, 16 Oktober 2024	konsultasi judul	
2	Jumat, 25 Oktober 2024	konsultasi proposal	
3	Rabu, 6 November 2024	konsultasi proposal	
4	Jumat, 15 November 2024	konsultasi proposal	
5	Senin, 2 Desember 2024	konsultasi proposal	
6			