

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beberapa penelitian telah banyak mengkaji kondisi lingkungan termal pada ruang dalam bangunan. Konsep kenyamanan termal berpusat pada dua aspek utama yang memengaruhi kesejahteraan penghuni, yaitu faktor fisiologis dan psikologis (Mulyadi et al., 2023). Menurut P. O. Fanger (1970), kenyamanan termal berhubungan dengan laju metabolisme tubuh. Evaluasi kenyamanan termal dapat dilakukan melalui variabel seperti tingkat aktivitas, isolasi pakaian, suhu udara, kelembapan relatif, kecepatan aliran udara, serta intensitas cahaya.

Menurut ASHRAE (2017) (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*), kenyamanan termal didefinisikan sebagai kondisi pikiran seseorang yang mengekspresikan kepuasan terhadap lingkungan termalnya. Dengan demikian, suatu ruang dikatakan nyaman apabila mayoritas penghuninya (sekitar 80–90%) menyatakan nyaman secara termal. Istilah kenyamanan termal dapat diekspresikan dalam berbagai persepsi, seperti gerah, panas, dingin, segar, sejuk, dan pengap (Y. B. Mangunwijaya, 1988).

Sementara itu, menurut Georg Lippsmeier (1994) menunjukkan bahwa pada suhu 26°C, manusia umumnya mulai berkeringat dan mengalami penurunan daya tahan serta kemampuan kerja. Sementara itu, suhu nyaman optimal untuk orang Indonesia berada pada kisaran 22,8°C – 25,8°C dengan kelembapan relatif 70%. Angka ini berada di bawah kondisi suhu udara di Indonesia, yang dapat mencapai 35°C dengan kelembapan hingga 80%.

Provinsi Sulawesi Selatan, termasuk Kota Makassar dan Kabupaten Gowa, memiliki iklim tropis. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik Provinsi Sulawesi Selatan (2021) suhu rata-rata tahunan tercatat sekitar 26,2 °C, dan pada siang hari suhu udara dapat meningkat hingga 35°C. Kondisi ini menunjukkan karakteristik wilayah tropis yang panas dan lembap, sehingga kenyamanan termal di ruang dalam bangunan menjadi isu penting, khususnya di ruang kelas.

Kenyamanan termal pada ruang kelas sangat berpengaruh terhadap konsentrasi, kesehatan, dan produktivitas siswa. Ruang yang panas dan lembap dapat menyebabkan rasa kantuk, kelelahan, dan peningkatan kesalahan dalam proses belajar (Tri et al., 2007). Studi (Shifa et al., 2025), yang menggunakan perangkat lunak CBE *Thermal Comfort Tool* untuk menganalisis kenyamanan termal ruang kelas di Program Studi Arsitektur Universitas Bengkulu, menunjukkan bahwa kenyamanan belum memenuhi standar ASHRAE-55. Nilai *Predicted Mean Vote* (PMV) dan *Predicted Percentage of Dissatisfied* (PPD) tertinggi ditemukan pada ruang kelas tertentu, menegaskan bahwa analisis eksperimental diperlukan untuk menilai kinerja material bangunan secara lebih akurat dalam kondisi terkontrol.

Penelitian lain, seperti studi di Bandung oleh (Paramita et al., 2018), menunjukkan bahwa konfigurasi bangunan memengaruhi iklim mikro dan kenyamanan termal, menekankan pentingnya strategi pasif dalam desain bangunan

tropis untuk mengurangi ketergantungan pada pendinginan mekanis. Hal ini menjadi relevan dalam konteks sekolah dasar, di mana siswa menghabiskan durasi belajar yang panjang setiap harinya.

SD Inpres Toddopuli 1 dipilih sebagai lokasi studi kasus karena ruang kelas A, B, dan C cenderung panas dan gerah, khususnya setelah pukul 10 pagi, akibat selubung bangunan yang hanya memiliki bukaan di satu sisi (selatan). Kondisi ini menyebabkan sirkulasi udara kurang optimal sehingga suhu ruang meningkat. Kondisi termal ruang kelas yang cenderung panas menunjukkan perlunya strategi perbaikan yang efektif untuk meningkatkan kenyamanan termal. Salah satu pendekatan yang dapat dilakukan adalah melalui pemilihan material pada selubung bangunan, khususnya dinding, yang berperan besar dalam proses perpindahan panas. Material dengan kemampuan refleksi panas yang baik, seperti cat dinding reflektif, berpotensi mengurangi panas yang masuk ke dalam ruangan. Cat dinding reflektif mengandung pigmen khusus dan bahan reflektif yang mampu memantulkan panas matahari, termasuk radiasi ultraviolet (UV) dan inframerah (IR) yang umumnya diserap oleh dinding. Dengan mekanisme tersebut, perpindahan panas ke dalam ruang melalui proses konduksi dan konveksi dapat diperlambat, sehingga suhu ruang menjadi lebih stabil. Oleh karena itu, diperlukan analisis lebih lanjut untuk mengevaluasi kinerja material tersebut dalam menurunkan suhu ruang secara terkontrol sebelum diterapkan pada kondisi nyata.

Meskipun tujuan penelitian adalah mengevaluasi pengaruh kinerja cat dinding reflektif terhadap kenyamanan termal, pengujian langsung di sekolah tidak dilakukan, karena pengaplikasian cat secara nyata pada dinding kelas akan mengganggu aktivitas belajar dan memerlukan waktu. Sebagai alternatif, penelitian ini menggunakan *thermal chamber* untuk menstimulasikan kondisi dinding dan lingkungan secara terkendali. Dengan metode ini, variasi warna cat reflektif (putih, abu-abu, dan krem) dapat diuji secara sistematis terhadap suhu permukaan dinding dan suhu udara dalam ruang tanpa mengganggu kegiatan belajar siswa.

Pengujian eksperimental terkait pengendalian suhu ruang melalui intervensi material bangunan telah banyak dilakukan. Salah satunya menggunakan cat reflektif berbahan *nano-ilmenite* untuk penghematan energi pada bangunan di Thailand (Chaisaenrith et al., 2024). Prinsip yang sama diterapkan dalam penelitian ini yaitu menggunakan metode terkendali untuk menilai kinerja termal cat dinding reflektif, sehingga strategi pasif berupa pemilihan material dapat dievaluasi tanpa perlu melakukan modifikasi fisik langsung pada ruang kelas.

Sejauh ini, penelitian mengenai penerapan cat dinding reflektif di Indonesia masih terbatas, khususnya pada bangunan pendidikan dasar yang memiliki aktivitas belajar mengajar dengan durasi panjang setiap harinya. Oleh karena itu, penelitian ini penting dilakukan agar dapat memberikan kontribusi dalam menyediakan data empiris terkait kinerja termal cat dinding reflektif di iklim tropis. Hasil penelitian ini diharapkan tidak hanya bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan di bidang arsitektur bangunan tropis, tetapi juga menjadi rekomendasi praktis bagi sekolah dalam meningkatkan kenyamanan termal ruang kelas secara hemat energi.

Cat dinding reflektif yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari salah

satu produsen lokal di Indonesia dengan variasi warna putih, abu-abu, dan krem. Dalam penelitian ini, hanya tiga warna cat dinding reflektif yang digunakan, terdapat warna lain yang tersedia di pasaran. Namun, baru diperkenalkan setelah periode eksperimen selesai, warna tersebut yaitu terakota klasil, abu fosil, dan mocca latte sehingga tidak termasuk dalam pengujian. Pemilihan ketiga warna ini memungkinkan evaluasi performa termal secara representatif pada variasi warna terang yang umum digunakan pada bangunan di Indonesia dan memungkinkan evaluasi performa termal secara optimal. Cat jenis ini diformulasikan untuk memantulkan panas dari radiasi matahari, sehingga sebagian energi yang seharusnya terserap dapat dipantulkan kembali ke lingkungan. Metode penelitian dilakukan melalui pengujian menggunakan *thermal chamber*, serta pemodelan sekolah menggunakan aplikasi simulasi, sehingga strategi pasif berupa pemilihan material dapat dievaluasi secara sistematis terhadap kinerja termal cat dinding reflektif yang diteliti.

Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja termal cat dinding reflektif sebagai material alternatif terhadap kinerja termal, pada studi kasus SD Inpres Toddopuli 1 dengan pengujian material cat dinding reflektif melalui *thermal chamber* dan berbasis data simulasi.

1.2 Landasan Teori

1.2.1 Kenyamanan Termal

Lingkungan termal berpengaruh besar terhadap kenyamanan manusia, baik dari aspek fisiologis maupun psikologis. Kenyamanan fisik bersifat objektif dan dapat diukur melalui parameter lingkungan, sementara kenyamanan fisiologis dapat diamati melalui respon individu terhadap kondisi termal, termasuk pakaian yang dikenakan dan aktivitas fisik yang dilakukan. Faktor lingkungan yang memengaruhi kenyamanan termal meliputi suhu udara, kelembaban relatif, suhu radiasi rata-rata, serta pergerakan udara (Mulyadi et al., 2023).

Kenyamanan termal merupakan salah satu parameter penting dalam menilai kualitas lingkungan dalam ruangan. Kondisi termal bangunan dipengaruhi oleh faktor desain, iklim, kondisi geografis, serta material konstruksi. Material bangunan berperan penting dalam kinerja termal karena memengaruhi proses perpindahan panas antara bangunan dan lingkungannya. Selubung bangunan dilaporkan dapat menyumbang hingga 50–60% dari total perpindahan panas (Ezike et al., 2018). Oleh karena itu, pemilihan material dengan sifat isolasi termal yang baik dapat membantu mengurangi kebutuhan pendinginan atau pemanasan ruangan sekaligus meningkatkan kenyamanan termal penghuni (Asdrubali et al., 2015; Ornam et al., 2022).

Manusia punya suhu inti tubuh sekitar 37 °C, dan sistem termoregulasi tubuh terus bekerja untuk menjaga keseimbangan panas terhadap lingkungan. Jika kondisi termal lingkungan jauh dari zona nyaman, tubuh harus bekerja ekstra (misalnya berkeringat lebih banyak, atau menggigil) yang bisa menimbulkan kelelahan, stres termal, bahkan gangguan kesehatan (Peter Udobang & Aniekan Otumo, 2023). Contoh: kelembapan tinggi atau aliran udara lokal yang buruk bisa mengganggu kenyamanan dan citra panas tubuh. Studi (Arsad et al., 2023) menunjukkan bahwa

kelembapan berdampak baik secara termal maupun non-termal: mempengaruhi keseimbangan panas tubuh, sensasi kulit, persepsi kualitas udara, dan lain-lain.

Menurut (Nicol & Humphreys, 2002) Idealnya sebuah bangunan mempunyai nilai estetis, berfungsi sebagaimana tujuan bangunan tersebut dirancang, memberikan rasa aman dari gangguan alam dan manusia/makhluk lain serta memberikan kenyamanan termal, visual dan audio. Menurut Georg Lippsmeier (1994) menunjukkan bahwa batas kenyamanan termal berbeda-beda tergantung lokasi geografis dan kelompok manusia yang diteliti, seperti ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 1 Kenyamanan dalam temperatur Efektif/TE

Pengarang	Tempat kelompok	Manusia	Batas kenyamanan
ASHRAE	USA Selatan (30° LU)	India	20,5 °C - 24,5 °C TE
Rao	Calcutta (22°LU)	Malaysia	20 °C - 24,5 °C TE
Webb	Singapura (Khatulistiwa)	Cina	25 °C - 27 °C TE
Mom	Jakarta (6°LS)	Indonesia	20 °C - 26 °C TE
Ellis	Singapura (Khatulistiwa)	Eropa	22 °C - 26 °C TE

Sumber: Bangunan tropis, Lippsmeier, 1994

Temuan-temuan penting ini menjadi dasar beberapa standar internasional mengenai kondisi termal dalam ruangan, termasuk ISO 7730 (International Organization for Standardization, 1994), ASHRAE 55 (ASHRAE, 2017), dan Standar CEN EN15251 (CEN, 2007). Namun, dalam praktiknya, penggunaan pendingin udara berdampak negatif yang signifikan terhadap konsumsi energi tahunan. Hal ini menjadi masalah penting di wilayah tropis, termasuk Indonesia, di mana permintaan pendinginan ruang terus meningkat. Oleh karena itu, pengembangan teknologi pasif dan hemat energi menjadi fokus utama penelitian, termasuk optimasi material bangunan (Ding et al., 2022; Puesan & Mestre, 2017; Shakir et al., 2022). Selain itu, terdapat standar ASHRAE 55 yang menjadi salah satu acuan internasional dalam kenyamanan termal di dalam ruangan. Standar ASHRAE 55 ditunjukkan sebagai berikut.

Tabel 2 parameter kenyamanan termal menurut ASHRAE 55

Parameter	Rentang/Standar ASHRAE 55	Keterangan
Suhu udara (Ta)	23 – 26 °C (untuk iklim tropis, musim panas)	Rentang suhu yang dianggap nyaman bagi sebagian orang yang berada didalam ruangan
Kelembapan relatif (RH)	30 – 60 % (disarankan), 20 -80% (masih diterima)	RH terlalu tinggi membuat gerah, terlalu rendah membuat kulit/kesehatan terganggu

Kecepatan udara (V_a)	< 0.2 m/s untuk kondisi netral	Kecepatan yang lebih tinggi bisa diterima pada suhu udara yang hangat
Temperatur radiasi rata-rata (MRT)	$\pm$ sama dengan suhu udara (23 – 26 °C)	Perbedaan besar pada suhu udara dapat menimbulkan ketidaknyamanan.

Sumber: ASHRAE 55

1.2.2 Standar Nasional Kenyamanan Termal

Berdasarkan acuan suhu nyaman menurut Standar Perencanaan Energi, kriteria yang ditetapkan bersifat lebih sederhana dan aplikatif, sehingga yaitu temperatur efektif (TE) dan kelembaban relatif (RH). Standar ini membagi rentang kenyamanan ke dalam tiga kategori, yakni sejuk nyaman, nyaman optimal, dan hangat nyaman. Suhu nyaman menurut Standar Perencanaan Energi, ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3 Suhu nyaman menurut standar perencanaan energi

Data	Temperatur Efektif (TE)	Kelembaban (RH)
Sejuk nyaman ambang atas	20,5 °C – 22,8 °C (maks 24 °C)	50% - 80%
Nyaman optimal ambang atas	22,8 °C – 25,8 °C (maks 28 °C)	70%
Hangat nyaman ambang atas	25,8 °C – 27,1 °C (maks 31 °C)	60%

Sumber: SNI 03-6572-2001

Berdasarkan (Badan Standardisasi Nasional, 2001) SNI 03-6572-2001 suhu udara ideal untuk mendukung aktivitas belajar di Indonesia berkisar 25–27 °C. Suhu di luar rentang tersebut, terutama yang lebih tinggi, dapat menimbulkan ketidaknyamanan berupa rasa gerah, berkeringat, dan menurunnya konsentrasi belajar. SNI juga merekomendasikan kelembaban relatif sebesar 60–70% untuk menghindari kondisi udara terlalu lembap atau terlalu kering. Kelembaban yang tinggi mempercepat kelelahan dan meningkatkan risiko pertumbuhan mikroorganisme, sedangkan kelembaban rendah dapat mengiritasi saluran pernapasan. Parameter lain adalah kecepatan aliran udara, dengan standar 0,1–0,25 m/s. Aliran udara yang sesuai membantu menjaga sirkulasi tanpa menimbulkan gangguan. Selain itu, ventilasi juga menjadi aspek penting. SNI mensyaratkan bukaan jendela minimal 5% dari luas lantai, idealnya 10–20%, guna menjaga kualitas udara dan menurunkan kadar CO₂ di dalam ruang kelas.

Di sisi lain, (Kementerian Pekerjaan Umum, 2006) Permen PU No. 29/PRT/M/2006 mensyaratkan beberapa kriteria kenyamanan suatu gedung, diantaranya adalah kenyamanan ruang gerak, kenyamanan termal, kenyamanan visual dan kenyamanan audial. Faktor suhu sebagai indikator kenyamanan termal menjadi hal yang penting ketika kita membahas tingkat kenyamanan gedung. Para

arsitek dan insinyur menggunakan standar kenyamanan udara berdasarkan American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) dan ISO 7730, untuk mendesain suatu sistem dimana kondisi lingkungan menjadi nyaman secara fisik.

Untuk menciptakan kenyamanan dalam suatu bangunan, (Bayong Tjasoyono HK, 1987) menyebutkan beberapa pendekatan, yaitu:

- a. Sistem pengaturan suhu, menggunakan sistem pendingin udara atau pemanas ruangan untuk menjaga suhu yang nyaman di dalam ruangan terlepas dari kondisi eksternal.
- b. Isolasi termal meningkatkan isolasi termal bangunan dengan menggunakan bahan isolasi yang tepat di dinding, atap, dan lantai untuk mengurangi perpindahan panas dengan lingkungan luar.
- c. Ventilasi, memastikan adanya sirkulasi udara yang baik di dalam ruangan dengan menggunakan ventilasi alami atau mekanis. Ventilasi yang baik membantu menghilangkan panas berlebih dan menjaga udara tetap segar.
- d. Penggunaan material termal, menggunakan material dengan konduktivitas termal yang rendah untuk mengurangi perpindahan panas antara elemen bangunan, seperti menggunakan bata berinsulasi atau beton bertekstur khusus.

1.2.3 Cat Pendingin Reflektif

Pemilihan material bangunan dengan kinerja termal yang baik dianggap sebagai salah satu strategi pasif untuk meningkatkan kenyamanan dalam ruangan pada wilayah beriklim panas dan lembap. Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa penerapan cat dinding yang mengandung pigmen reflektif surya dapat mengurangi penyerapan panas pada selubung bangunan, sehingga menurunkan jumlah panas yang diteruskan ke ruang dalam (J. Wang et al., 2023; Yuan, Jiao, et al., 2024). Selain itu, perkembangan teknologi cat dengan emisivitas rendah memungkinkan pengurangan perpindahan panas radiasi tanpa mengurangi aspek estetika bangunan (Malewska et al., 2022). Adapun penelitian yang dilakukan oleh (J. Wang et al., 2023) menunjukkan bahwa warna-warna terang, seperti putih, memiliki daya pantul surya yang lebih tinggi dibandingkan warna-warna gelap, sehingga menghasilkan kinerja yang lebih baik dalam menjaga kestabilan suhu dalam ruangan. Pendekatan ini sejalan dengan konsep *radiative cooling*, yang memantulkan radiasi gelombang pendek dari sinar matahari sekaligus memancarkan radiasi gelombang panjang ke lingkungan sekitarnya (He et al., 2024).

Penelitian terbaru mengenai pelapis dengan daya pantul pada selubung bangunan menunjukkan peningkatan yang signifikan terhadap perilaku termal serta pentingnya mempertimbangkan aspek durabilitas dalam paparan iklim tropis. Penelitian oleh (Souza et al., 2024) melaporkan bahwa meskipun pelapis buram dengan daya pantul tinggi mampu menurunkan suhu permukaan dinding secara signifikan, paparan jangka panjang terhadap kelembapan, debu udara, dan radiasi matahari yang intens dapat secara bertahap menurunkan sifat reflektifnya, sehingga mengurangi efektivitas pendinginan dalam jangka panjang. Hal ini menunjukkan perlunya evaluasi terhadap siklus pemeliharaan dan ketahanan terhadap pelapukan saat menerapkan cat reflektif di daerah beriklim panas dan lembap.

Sejalan dengan temuan tersebut, (Ziaemehr et al., 2023) menunjukkan bahwa peningkatan albedo permukaan bangunan dapat secara nyata mengurangi perolehan panas dalam ruangan serta berkontribusi dalam mitigasi intensitas *urban heat island* (UHI) di lingkungan perkotaan padat beriklim tropis. Demikian pula, hasil eksperimen lapangan oleh (Rong et al., 2020) menemukan bahwa penerapan cat putih atau cat dengan daya pantul tinggi pada dinding eksterior di Kuala Lumpur mampu menurunkan suhu permukaan dinding sebesar 6-8 °C dan menghasilkan penghematan energi tahunan sekitar 12,9%. Secara keseluruhan, penelitian-penelitian tersebut menegaskan potensi cat reflektif pendingin terutama dengan warna terang dalam meningkatkan kinerja termal, memperbaiki kenyamanan dalam ruangan, serta mendukung strategi pendinginan pasif pada aplikasi bangunan di wilayah tropis.

Cat dinding reflektif merupakan material pelapis dengan pigmen khusus yang mampu memantulkan sinar matahari, termasuk radiasi UV dan inframerah. Mekanisme utamanya adalah refleksi radiasi, penghambatan konduksi panas, serta emisi panas rendah, sehingga dapat menurunkan suhu ruang tergantung kondisi dan substrat. Cat dinding reflektif yang digunakan dapat membantu menurunkan suhu ruangan. Hal ini disebabkan oleh kemampuannya untuk memantulkan sebagian besar sinar matahari dan radiasi inframerah daripada menyerapnya. Pemantulan panas matahari dengan penggunaan cat dinding reflektif pada bangunan mengandung pigmen khusus dan bahan reflektif yang mampu memantulkan sinar matahari, termasuk sinar UV dan sinar inframerah yang biasanya diserap oleh dinding yang dapat memperlambat perpindahan panas melalui konduksi dan konveksi. Dengan memantulkan sinar ini, cat mengurangi jumlah panas yang diserap oleh dinding, sehingga suhu di dalam ruangan tetap lebih stabil dan sejuk. Adapun spesifikasi cat dinding reflektif (Aquaproof, 2026), ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 4 Spesifikasi cat dinding reflektif

Komponen	Keterangan
Jenis cat	Cat insulasi termal (thermal insulation paint) / cat reflektif panas
Bahan baku	- Acrylic Resin (pengikat) - Microsphere Ceramic (isolator panas) - Pigmen reflektif (pemantul sinar matahari) - Filler (pengisi, seperti titanium dioksida) - Aditif (penstabil, anti-jamur)
Warna	Putih, abu-abu, krem
Ukuran kemasan	4 liter dan 20 liter
Kering sentuh	± 46 menit
Kering sempurna	± 24 jam
Daya sebar	1 liter untuk 1 m ² dengan dua kali pelapisan tanpa dicampur air
Mekanisme kerja	- Refleksi sinar UV dan IR - Hambatan konduksi panas - Emisi panas rendah
Metode aplikasi	Kuas, roller, atau semprot

Bidang aplikasi	Atap seng, dinding luar bangunan, panel logam, bangunan sekolah atau pabrik
Keunggulan	- Menghemat energi - Ramah lingkungan - Mudah digunakan

Sumber: aquaproof.co.id

Berbeda dengan pendinginan aktif menggunakan AC yang boros energi, cat reflektif bekerja secara pasif dengan menekan panas masuk ke bangunan. Teknologi ini dianggap ramah lingkungan karena mampu menurunkan beban pendinginan sekaligus meningkatkan kenyamanan termal. Sejak 1970-an, berbagai penelitian menunjukkan bahwa penggunaan lapisan reflektif pada bangunan dapat menurunkan suhu permukaan dinding, mengurangi beban panas dalam ruangan, serta menekan konsumsi energi (Matheos Santamouris, 2016). Dengan demikian, penerapan cat dinding reflektif melalui pengujian *thermal chamber* dan pengolahan data berbasis simulasi pada daerah iklim tropis, berpotensi meningkatkan kinerja termal dengan menjaga suhu ruang kelas tetap berada dalam batas kenyamanan termal. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengisi kesenjangan tersebut dan memberikan analisis komparatif terhadap berbagai warna cat dinding reflektif itu sendiri.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kondisi termal dan tingkat kenyamanan termal pada ruang kelas SD Inpres Toddopuli 1 berdasarkan data pengukuran lapangan dan persepsi siswa?
2. Bagaimana kinerja termal cat dinding reflektif berdasarkan pengujian eksperimental menggunakan *thermal chamber*?
3. Bagaimana pengaruh penerapan cat dinding reflektif terhadap peningkatan kinerja termal berbasis simulasi sebagai strategi *improvement design*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas maka tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Menganalisis kondisi termal dan tingkat kenyamanan termal pada ruang kelas SD Inpres Toddopuli 1 berdasarkan data pengukuran lapangan dan persepsi siswa.
2. Menganalisis kinerja termal cat dinding reflektif berdasarkan pengujian eksperimental menggunakan *thermal chamber*.
3. Menganalisis pengaruh penerapan cat dinding reflektif terhadap peningkatan kinerja termal berbasis simulasi sebagai strategi *improvement design*.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian sebagai berikut:

1. Manfaat Teoritis
Hasil dari penelitian ini dapat dijadikan sebagai bahan literatur yang memperkaya ilmu pengetahuan maupun kajian pustaka, serta penelitian lebih lanjut yang berhubungan dengan kependidikan, khususnya terkait penggunaan material insulasi terhadap bangunan Sekolah Dasar (SD).

2. Manfaat Praktis

Dapat dijadikan sebagai informasi dan bahan evaluasi mengenai perencanaan dan pelaksanaan bangunan terkait material cat dinding reflektif pada Sekolah Dasar (SD) dan menjadi bahan rujukan bagi peneliti lain yang tertarik pada kajian penggunaan material insulasi pada Sekolah Dasar (SD) dan bangunan lainnya.

1.5 Batasan Penelitian

Adapun batasan penelitian sebagai berikut:

1. Penelitian pada SD Inpres Toddopuli 1 yaitu pada ruang kelas A - C.
2. Penelitian pada ruang kelas A - C dilakukan satu hari.
3. Penelitian pada *thermal chamber* dilakukan tiga hari pada satu model.
4. Penelitian pada *thermal chamber* menggunakan tiga warna cat dinding reflektif yaitu putih, abu-abu, dan krem.
5. Analisis warna tambahan tera klasik, mocca latte, dan abu fosil hanya pada tahap simulasi dan tidak dilakukan pada pengujian eksperimental.
6. Penelitian dilakukan bulan Oktober 2024 - November 2024. Pada kondisi cuaca cerah dengan perkiraan suhu 29 °C - 35 °C.
7. Penelitian dilakukan dari pukul 09.00, 11.00, 12.00, 13.00, 14.00 15.00 dan 16.00 WITA.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika pembahasan untuk mendapatkan hasil yang diinginkan yang sesuai dengan tuntutan permasalahan yang ada, maka pembahasan ini diuraikan dalam beberapa tahap dengan sistematika pembahasan sebagai berikut:

BAB I	Pendahuluan Merupakan uraian tentang pembahasan latar belakang, rumusan masalah, tujuan pembahasan, batasan penelitian, dan sistematika pembahasan.
BAB II	Metode Penelitian Merupakan uraian tentang metode penelitian, lokasi penelitian, populasi dan Teknik sampling, teknik analisis data, jenis dan sumber data, teknik keabsahan data dan kerangka alur penelitian.
BAB III	Hasil Penelitian Merupakan uraian tentang hasil penelitian pada lokasi penelitian dan sampel data yang telah diperoleh.
BAB IV	Pembahasan Merupakan pembahasan data hingga hasil yang telah dianalisis dari penelitian yang telah dilakukan.
BAB V	Kesimpulan dan Saran Merupakan uraian tentang kesimpulan serta saran dari hasil akhir penelitian.

BAB II

METODE PENELITIAN

2.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode campuran (mixed-method Quantitative Approach) yang meliputi pengukuran lapangan, eksperimen menggunakan ruang termal, serta simulasi berbasis perangkat lunak. Pendekatan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menggabungkan metode eksperimen dan simulasi dalam mengevaluasi kinerja termal bangunan secara komprehensif (Allghanny & Pradini, 2026). Selain itu, pengumpulan data melalui pengukuran langsung dan observasi lapangan juga umum digunakan dalam penelitian kenyamanan termal berbasis kuantitatif (Maharani & Prianto, 2022). Pengumpulan data dilakukan melalui beberapa tahap, yaitu: studi literatur terkait penelitian sebelumnya, observasi lapangan, pengukuran parameter fisik ruang kelas seperti kecepatan angin, suhu udara, dan kelembapan udara, serta penyebaran kuesioner kepada pengguna ruang. Kuesioner ini bertujuan memperoleh informasi mengenai aktivitas, perilaku, dan persepsi pengguna terhadap kondisi termal ruang. Semua responden diberikan pertanyaan yang sama agar data yang diperoleh konsisten dan dapat dibandingkan. Beberapa variabel diukur menggunakan skala likert untuk mendapatkan informasi kuantitatif mengenai kenyamanan termal dan aktivitas pengguna ruang. Sementara untuk *thermal chamber* pengukuran parameter fisik meliputi suhu udara, kelembapan udara, dan suhu permukaan dinding.

2.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

2.2.1 Lokasi Penelitian

Pengambilan data penelitian dilakukan di SD Inpres Toddopuli 1, Jalan Jati No.1 A, Paropo, Panakukang, Kota Makassar, Sulawesi Selatan, Kode Pos 90235. Sekolah ini terletak di akses jalan masuk Jalan Jati. Sisi timur dari sekolah ini terdapat Puskesmas Toddopuli, sisi barat terdapat SD Inpres Unggulan Todopuli, sisi utara terdapat SD Inpres Unggulan Toddopuli, sisi selatan terdapat Jalan Penganyoman. Sekolah ini memiliki tata letak memanjang ke arah timur dan barat serta bukaan yang maksimal berada pada sisi utara dan selatan sekolah.



Gambar 1 Lokasi penelitian SD Inpres Toddopuli 1

Gedung sekolah SD Inpres Toddopuli 1 yang terdiri dari 2 bangunan 1 bangunan berlantai 2 yang merupakan ruang kelas A – C serta kantor guru sementara bangunan lainnya merupakan perpustakaan sekolah. Sekolah SD Inpres Toddopuli 1 satu kawasan dengan Sekolah Unggulan Toddopuli. Ruang kelas yang akan dilakukan penelitian adalah ruangan yang menggunakan ventilasi alami yang terletak dilantai 2, kelas yang akan diteliti kelas A – C. Sementara itu, ruang guru tidak diteliti karena menggunakan bantuan ventilasi buatan.

Sekolah ini memiliki denah yang memanjang dengan ukuran panjang 1.850m dan lebar 800 m serta tinggi plafond dari lantai berkisar 3 m. Adapun luas ruangan yang diteliti panjang 1.200 m dan lebar 600 m. Bukaan jendela pada ruang kelas berada pada sisi kanan bangunan sebelah selatan dengan luas rata-rata jendela 2,5 m, sementara itu bukaan pintu kelas terletak pada sisi kanan bangunan sebelah utara dengan luas rata-rata bukaan pintu sebesar 2 m². Selain itu, terdapat ventilasi alami yang berada disebalah kanan dan kiri kelas yang bersampingan dengan pintu dengan luas rata-rata 1 m.



Gambar 2 Denah sekolah lantai 2 SD Inpres Toddopuli 1

Bentuk bangunan yang memanjang ini berpengaruh terhadap pencahayaan alami dan sirkulasi udara di dalam ruang kelas. Arah orientasi bangunan yang menjadi intensitas sinar matahari yang masuk ke dalam ruangan, yang kemudian memengaruhi kondisi termal ruangan secara keseluruhan. Selain itu, ketinggian plafond, luas jendela, serta jenis ventilasi yang digunakan turut berperan dalam kenyamanan termal yang dirasakan oleh para siswa. Namun, terdapat perbedaan yang mencolok dari ketiga ruang kelas dimana bentuk ventilasi yang berbeda.

Tabel 5 Karakteristik ruang kelas

No	Nama ruang	Keterangan
1.	Kelas A	
2.	Kelas B	

3. Kelas C



Sementara itu, penelitian eksperimen pada *thermal chamber* dilakukan di Jalan Yusuf Bauty, Kec. Somba Opu, Kab. Gowa (koordinat: 5°12'44.79"S, 119°28'0.53"E).



Gambar 3 Lokasi penelitian *thermal chamber*

2.2.2 Waktu Penelitian

Proses mulainya penelitian dilakukan pada bulan Oktober 2024 - November 2024, dengan perkiraan cuaca sekitar 29 °C - 35 °C. Pengukuran pada lokasi penelitian pada ruang kelas SD Inpres Toddopuli 1 dilakukan pada bulan Oktober 2024. Proses pengumpulan data berlangsung pada hari sekolah, mulai pukul 09.00, 11.00, 12.00, 13.00, 14.00, 15.00, dan 16.00 WITA. Rentang waktu ini dipilih untuk memperoleh gambaran kondisi termal ruang kelas saat sedang digunakan. Pengisian kuesioner oleh responden dilakukan secara bersamaan dengan proses pengukuran kondisi ruang kelas. Kegiatan pengumpulan data tersebut dilakukan pada setiap kelas selama 1 hari dan tidak berurutan atau dihentikan ketika peneliti merasa data yang dikumpulkan telah cukup.

Sementara itu, penelitian pada *thermal chamber* dilaksanakan selama bulan Oktober - November 2024. Pengujian pertama dilakukan pada *thermal chamber*

dengan tanpa lapisan insulasi cat dinding reflektif, dan model selanjutnya dengan dilapisi cat dinding reflektif berwarna putih, abu-abu, dan krem. Masing-masing pengujian berlangsung selama tiga hari berturut-turut untuk setiap satu model, dilakukan dalam kondisi cuaca cerah dan terik dan tidak dilakukan secara berurutan karena mempertimbangkan kondisi cuaca pada saat pengambilan data.

2.3 Teknik Pengumpulan Data

Berikut adalah beberapa teknik pengumpulan data yang akan digunakan peneliti dalam penelitian ini yaitu:

2.3.1 Data Primer

Dalam penelitian ini, data dikumpulkan melalui data primer yang terdiri dari dua yaitu data lapangan dan data eksperimen.

1. Data Lapangan

Data lapangan dalam penelitian ini diperoleh melalui dua jenis pendekatan, yaitu data objektif yang dihasilkan melalui pengukuran suhu udara, kelembapan, dan kecepatan angin yang menggunakan alat ukur WBGT dan Hobo. Sementara itu, data subjektif diperoleh melalui penyebaran kuesioner kepada siswa kelas A – C SD Inpres Toddopuli 1 untuk menilai tingkat kenyamanan termal berdasarkan persepsi pengguna ruang.

Data objektif pada pengukuran termal dilakukan pada ruang-ruang yang menjadi objek penelitian, yaitu ruang kelas A – C. Pengambilan data menggunakan alat Hobo Temp/RH/Light/External (U12-012) dan WBGT & Heat Index Logger (AZ 87786). Alat-alat ini digunakan untuk mengukur iklim mikro secara akurat. Pengukuran dilakukan dengan menempatkan alat sekitar $\pm 1,00$ meter di atas permukaan lantai, sesuai prinsip bahwa iklim mikro merupakan kondisi udara dekat permukaan bumi pada ketinggian $\pm 2,00$ meter (Mulyadi et al., 2023b). Alat pengukur dibiarkan hingga kondisi suhu dan kelembapan udara stabil sebelum data dicatat. Spesifikasi alat yang digunakan dalam penelitian ruang kelas sebagai berikut.

Tabel 6 Spesifikasi alat ukur pada ruang kelas

No	Alat	Fungsi	Parameter yang diukur	Spesifikasi
1	Hobo Temp/ RH/ Light/ External (U12-012)	Mengukur kondisi termal mikro di dalam ruangan	Suhu udara ($^{\circ}\text{C}$), kelembapan udara (%), intensitas cahaya, kecepatan angin (m/s)	- Suhu: -20°C hingga $70^{\circ}\text{C} \pm 0,35^{\circ}\text{C}$ - Kelembaban: 0–100% $\pm 2,5\%$ RH - Intensitas cahaya: 0–32000 lux - Daya tahan baterai: hingga 1 tahun - Penyimpanan data: internal memory 84.000 pengukuran
2	WBGT & Heat Index Logger (AZ	Mengukur indeks panas dan resiko panas pada ruangan	WBGT, indeks panas (Heat Index), Suhu udara ($^{\circ}\text{C}$) dan kelembapan	- Suhu: $0-50^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ - Kelembaban: 10–95% $\pm 3\%$ RH - Perekaman data otomatis

87786)

udara (%)

- Tampilan digital dan logging data
- Baterai tahan lama hingga 200 jam penggunaan

Sumber: Onset. (n.d.). *Hobo Temp/RH/Light/External (U12-012)*. Retrieved August 25, 2025 (Onset, 2025), from https://www.tempcon.co.uk/hobo-u12-013-hobo-u12-temp-rh-2xext-logger-u12-013?srsId=AfmBOorM5izJwzZu6vbGPnInt1ZZ3y8CoLVLruxi4zJVdQ_XwBnp5YK_AZ Instrument. (n.d.). *WBGT & Heat Index Logger (AZ 87786)*. Retrieved August 25, 2025 (AZ Instrument, 2025), from <https://www.az-instrument.com.tw/en/product-616392/WBGT-Meter-87782-AZ.html>

Pengukuran kecepatan angin dan radiasi dilakukan dengan mencatat rata-rata nilai selama beberapa detik. Data yang diperoleh meliputi suhu udara, kelembaban udara, dan kecepatan angin untuk setiap jam pengukuran yang merepresentasikan kondisi termal nyata yang dipengaruhi lingkungan sekitar. Pengambilan data termal hanya dilakukan pada saat kondisi cuaca cerah untuk memastikan konsistensi hasil. Penentuan titik pengukuran dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4 Letak alat ukur pada SD Inpres Toddopuli 1

Pengukuran pada ruang kelas dilakukan selama tiga hari, dengan masing-masing tiap kelas dilakukan pengukuran selama 1 hari. Periode pengukuran dilakukan mulai pukul 09:00 sampai 16:00 WITA, menyesuaikan dengan waktu aktif kegiatan belajar mengajar di ruang kelas. Pemilihan periode ini bertujuan merekam kondisi termal ruang kelas saat intensitas aktivitas dan paparan panas sinar matahari berada dalam kisaran tinggi. Hal ini penting untuk memperoleh data yang mencerminkan kondisi nyata yang dialami siswa dan guru selama kegiatan berlangsung.

Kuesioner merupakan teknik pengumpulan data yang dilakukan dengan memberikan seperangkat pertanyaan atau pernyataan tertulis kepada responden

untuk dijawab. Teknik ini dipilih karena efisien untuk memperoleh informasi yang spesifik terkait variabel yang diteliti dan untuk mengetahui persepsi pengguna terhadap kondisi termal ruang. Semua responden diberikan pertanyaan yang sama agar data yang diperoleh konsisten dan dapat dianalisis secara kuantitatif. Penelitian oleh (Nur Fajri Alfata et al., 2014) yang kuesioner sebagai salah satu teknik pengumpulan data untuk mengetahui tingkat kenyamanan termal responden. Kuesioner tersebut mencakup tiga aspek utama, yaitu respon termal, keterterimaan termal, dan preferensi termal. Melalui pendekatan ini, peneliti dapat menilai persepsi subjektif pengguna ruang terhadap kondisi lingkungan termal yang berbeda, sehingga data yang diperoleh tidak hanya mencerminkan pengukuran fisik, tetapi juga pengalaman kenyamanan berdasarkan penilaian individu.

Responden dalam penelitian ini adalah siswa pada tiga ruang kelas A, B, dan C di SD Inpres Toddpoli1 yang masing-masing terbagi menjadi dua rombongan belajar, yaitu kelas A+ dan A- begitu pula dengan kelas B dan C. Dengan demikian, total terdapat enam kelas yang diamati. Setiap ruang kelas menggunakan sistem pembelajaran bergantian, di mana kelas A+ mengikuti kegiatan belajar pada pagi hari, sedangkan kelas A- menggunakan ruang yang sama pada siang hari. Kondisi ini menjadi pertimbangan penting karena perbedaan waktu penggunaan ruang dapat memengaruhi kondisi termal di dalam kelas. Total jumlah yang mengisi kuesioner pada saat pengambilan data 118 orang. Data karakteristik responden meliputi rata-rata usia, jenis kelamin, jenis pakaian yang digunakan selama kegiatan belajar, serta aktivitas yang dilakukan di dalam ruang kelas. Informasi ini penting untuk memahami faktor-faktor individu yang dapat memengaruhi persepsi kenyamanan termal.

Dalam proses pengumpulan data, peneliti membagikan instrumen berupa kuesioner kepada para siswa yang telah ditentukan sebagai responden penelitian. Pembagian kuesioner ini dilakukan secara langsung dengan tujuan untuk memperoleh data primer yang relevan dan akurat sesuai dengan fokus penelitian. Adapun, pembagian kuesioner kepada siswa dilakukan secara bersamaan dengan pengukuran pada lokasi penelitian. Sebelum pengisian dilakukan, peneliti terlebih dahulu memberikan penjelasan singkat mengenai tujuan penelitian, tata cara pengisian, serta menjamin kerahasiaan data yang diberikan oleh responden guna menjaga etika penelitian. Pengisian kuesioner terdiri atas beberapa aspek utama, seperti respon termal pada ruang kelas, tingkat kenyamanan penggunaan ruang kelas, dan preferensi terhadap kondisi suhu ruang kelas. Proses ini dilakukan dengan pendampingan, agar apabila terdapat pertanyaan atau kebingungan dari responden terkait isi kuesioner, peneliti dapat memberikan klarifikasi secara langsung.

Setelah seluruh kuesioner dibagikan kepada para siswa yang menjadi responden penelitian, peneliti kemudian mengumpulkan dan merekapitulasi data yang telah diisi. Proses ini dilakukan guna mengidentifikasi pola jawaban, menghitung frekuensi respons, serta menganalisis kecenderungan berdasarkan indikator yang telah ditetapkan dalam instrumen penelitian. Hasil dari pengisian kuesioner tersebut selanjutnya dijadikan dasar untuk menarik kesimpulan awal mengenai persepsi, pemahaman, atau pengalaman siswa terhadap variabel yang diteliti. Adapun data yang berhasil diperoleh disajikan sebagai berikut.

Tabel 7 Frekuensi jenis kelamin siswa

Class	Category	Frequency	Percetange
Class A	Male	23	57.5%
	Female	17	42.5%
Class B	Male	11	37.9%
	Female	18	62.1%
Class C	Male	23	46.9%
	Female	26	53.1%
Total	Male	57	48.3%
	Female	61	51.7%

Subjek dalam penelitian ini terdiri atas siswa dari tiga jenjang, yaitu kelas A, B, dan C di SD Inpres Toddopuli 1, dengan total jumlah responden sebanyak 118 orang. Berdasarkan distribusi jenis kelamin pada Tabel 7, jumlah siswa perempuan secara keseluruhan sedikit lebih banyak dibandingkan siswa laki-laki. Siswa perempuan mencapai 51,7% dari total responden, sedangkan siswa laki-laki berjumlah 48,3%. Distribusi pada masing-masing kelas juga menunjukkan ketidakseimbangan, di mana kelas A didominasi oleh siswa laki-laki, sedangkan kelas B dan C didominasi oleh siswa perempuan.

Tabel 8 Karakteristik siswa

	Age (Years)	Height (cm)	Weight (kg)
Mean	10.72	139.07	34.87
Median	11.00	139.00	35.00
Standard Deviation	1.037	4.485	3.446
Minimum	9	129	21
Maximum	13	149	40
Count (N)	118	118	118

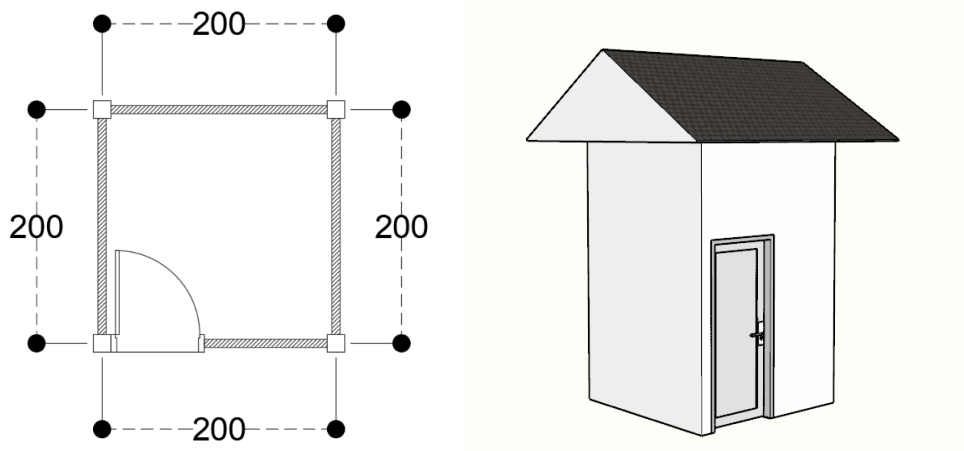
Tabel 8 menunjukkan karakteristik fisik responden berdasarkan usia, tinggi badan, dan berat badan. Rata-rata usia responden sebesar 10 tahun 8 bulan 19 hari dengan rentang usia antara 9 hingga 13 tahun. Rata-rata tinggi badan adalah 139,07 cm, sedangkan rata-rata berat badan adalah 34,87 kg. Nilai median yang hampir sama dengan nilai rata-rata pada seluruh variabel menunjukkan bahwa data terdistribusi secara simetris. Simpangan baku yang tidak terlalu besar mengindikasikan bahwa tidak terdapat penyimpangan ekstrem dalam data. Karakteristik ini penting dalam penelitian termal karena persepsi terhadap suhu dapat bervariasi tergantung pada kondisi fisiologis individu. Data ini memberikan dasar bahwa responden memiliki rentang karakteristik yang relatif seragam, sehingga hasil persepsi suhu yang dikumpulkan dapat dianggap representatif terhadap populasi siswa sekolah dasar.

2. Data Eksperimen

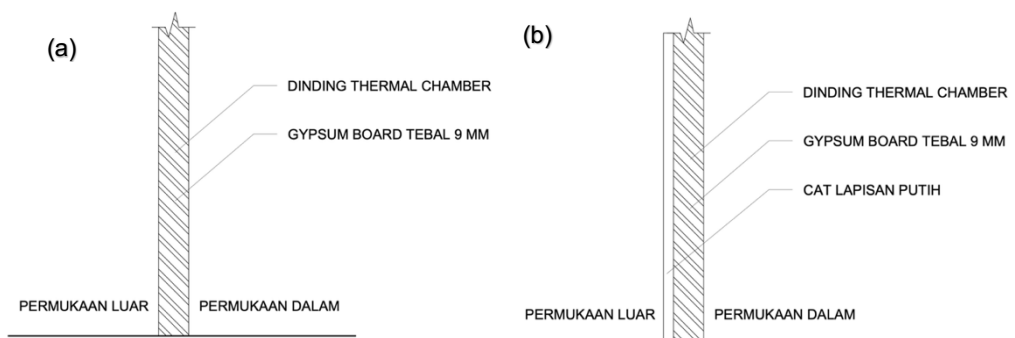
Penelitian ini menggunakan model *thermal chamber* sebagai media eksperimen untuk menstimulasikan kondisi termal. Adapun alasan menggunakan *thermal chamber* pada penelitian ini, yang pertama pengendalian variabel lingkungan. *Thermal chamber* memungkinkan pengaturan variabel lingkungan

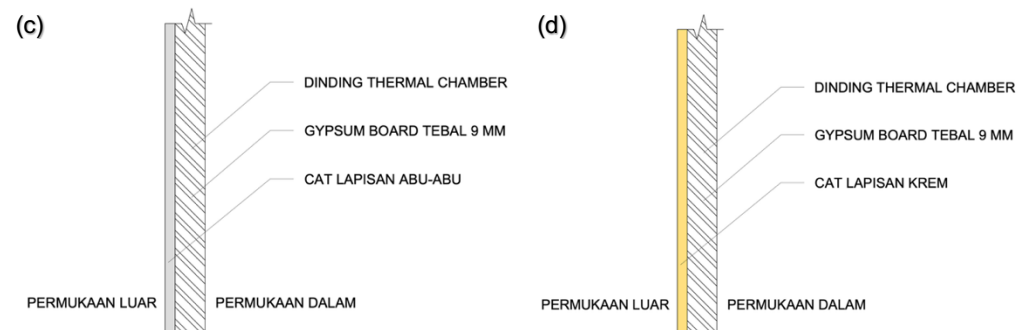
secara konsisten, seperti suhu, kelembapan, dan intensitas cahaya. Hal ini sulit dicapai jika pengukuran dilakukan langsung di sekolah, karena aktivitas harian siswa dapat mengganggu konsentrasi dan memengaruhi kondisi lingkungan, sehingga keakuratan data bisa terpengaruh.

Selain itu alasan lainnya yaitu dari sisi efisiensi waktu dan sumber daya, pengujian di ruang simulasi ini dapat dilakukan dengan lebih fleksibel tanpa harus mengganggu aktivitas pembelajaran di sekolah. Melakukan pengecatan dan pengamatan langsung di sekolah memerlukan izin, penyesuaian waktu dengan kegiatan sekolah, serta pengaturan keamanan lingkungan yang cukup kompleks. Hal ini tentu memerlukan waktu dan tenaga yang lebih besar dibandingkan dengan simulasi terkontrol di laboratorium atau ruang uji. Sementara itu, penelitian lain mengembangkan *environmental chamber* berbiaya rendah untuk simulasi kondisi iklim hangat (Ezike et al., 2018). Pemilihan metode ini dilakukan berdasarkan beberapa pertimbangan teknis dan praktis yang mendukung validitas hasil eksperimen.



Gambar 5 Desain *thermal chamber*





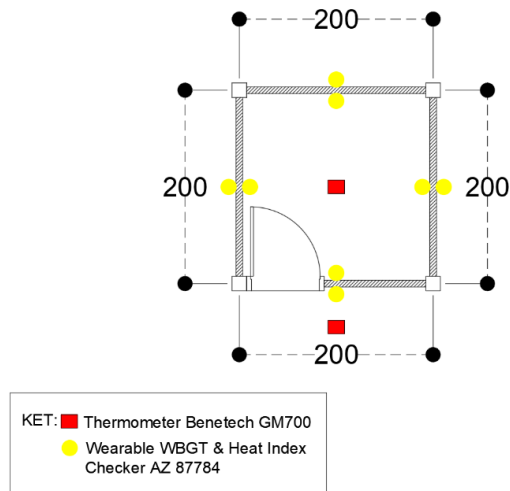
Gambar 6 Konfigurasi dinding *thermal chamber* (a) tanpa lapisan cat; (b) lapisan cat dinding reflektif putih; (c) lapisan cat dinding reflektif abu-abu; (d) lapisan cat dinding reflektif krem

Dalam eksperimen, cat dinding reflektif diaplikasikan pada dinding luar *thermal chamber*, sedangkan bagian dalam tidak dicat, sehingga *chamber* dapat merepresentasikan kondisi termal nyata pada dinding bangunan. Pengukuran pada eksperimen model menggunakan dua jenis alat ukur yaitu *Thermometer Benetech GM700* dan *Wearable WGBT & Heat Index Checker AZ 87784*. Alat ukur *Thermometer Benetech GM700* digunakan untuk mengukur permukaan dinding didalam ruangan dan diluar ruangan pengukuran. Pada saat yang sama, alat ukur *Wearable WGBT & Heat Index Checker AZ 87784* digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan udara. Pengambilan data pengukuran difokuskan pada parameter yang lebih terkontrol untuk melihat pengaruh langsung material cat dinding reflektif terhadap kondisi termal. Pengukuran suhu dilakukan pada saat matahari cerah dan suhu udara sekitar 29 °C - 35 °C. Adapun spesifikasi alat ukur penelitian pada *thermal chamber* sebagai berikut.

Tabel 9 Spesifikasi alat ukur *thermal chamber*

No	Alat	Fungsi	Parameter yang diukur	Spesifikasi
1	Infrared Thermometer Benetech GM700	Mengukur suhu permukaan dinding	Suhu dinding (°C)	Akurasi $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, rentang 0–100°C
2	Wearable WGBT & Heat Index Checker AZ 87784	Mengukur temperature globe (TG), temperature udara (TA), dan kelembapan relative (RH)	Suhu udara (°C) & Kelembapan (%)	Akurasi $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ / $\pm 3\%$ RH

Sumber: Benetech. (n.d.). *Benetech GM700 infrared thermometer*. Retrieved August 25, 2025 (Benetech, 2025), from <https://digilifeweb.com/Infrared-Thermometer-Benetech-GM700?search=Infrared%20Thermometer%20Benetech%20GM700%20>
 AZ Instrument. (n.d.). *WGBT Meter 87784 AZ*. Retrieved August 25, 2025 (AZ Instrument, 2025), from <https://www.az-instrument.com.tw/en/product-616391/WGBT-Meter-87784-AZ.html>



Gambar 7 Letak titik ukur *thermal chamber*

Ukuran *thermal chamber* yang digunakan dalam penelitian ini adalah 2 m x 2 m dengan ketinggian 2,40 m. Ukuran ini dipilih karena mewakili dimensi minimum dari sebuah ruang kecil dalam bangunan, seperti ruang kelas, ruang kerja, atau kamar tidur standar. Pemilihan ukuran ini didasarkan pada studi sebelumnya yang menunjukkan bahwa *thermal chamber* berukuran relatif kecil dapat digunakan secara efektif untuk pengujian material (Savelieva et al., 2018). *Thermal chamber* ini memungkinkan kontrol suhu dan kelembapan yang presisi, yang esensial untuk mengevaluasi kinerja cat dinding reflektif dalam meningkatkan kenyamanan termal.

Thermal chamber dibangun dengan material rangka utama berbahan kanal C 75 × 75 mm sebagai struktur penopang. Permukaan dinding menggunakan gypsum board 120 × 240 cm dengan ketebalan 9 mm, yang ditempelkan dengan plamor sebagai prekat. Penutup chamber menggunakan seng 210 × 80 cm, dan terdapat satu pintu berukuran 60 × 200 cm untuk keluar masuk menempatkan alat penelitian ditujukan pada gambar 8. Untuk pengujian, digunakan tiga variasi cat pendingin reflektif: putih, abu-abu, dan krem, diaplikasikan 1 liter per 1 m dengan dua kali pelapisan, tanpa dicampur air, sesuai spesifikasi produsen. Setelah aplikasi, permukaan yang dicat dibiarkan mengering dan mengeras secara alami selama 24 jam sebelum pengukuran, untuk memastikan kondisi yang stabil dan menghindari bias akibat pengeringan yang tidak sempurna. Sebelum setiap sesi pengukuran, ruang termal dibiarkan tanpa gangguan selama 30 menit sebagai periode aklimatisasi, yang memungkinkan suhu dan kelembapan udara di dalam ruang menjadi stabil.

3. Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan untuk membantu penelitian dalam pengukuran yang kemudian diolah dan dianalisis secara sistematis dan objektif dengan tujuan untuk memecahkan suatu masalah ditunjukkan pada tabel 10.

Tabel 10 Alat dan bahan penelitian

No	Nama Alat	Fungsi	Keterangan
1.	WBGT & Heat Index Logger (AZ 87786)	Untuk mengukur temperatur globe (Tg) (°C), temperatur udara (Ta) (°C), dan kelembapan relatif (RH) (%).	
2.	Hobo Temp/RH/Light/E xternal (U12-012)	Untuk mengukur temperatur udara (°C), kelembaban udara (%), dan kecepatan aliran udara (m/s).	
3.	Weareble WBGT Heat & Index Checker (AZ 87784)	Untuk mengukur temperatur globe (Tg) (°C), temperatur udara (Ta) (°C), dan kelembapan relatif (RH) (%).	
4.	Thermometer Benetech GM700	Untuk mengukur suhu permukaan dinding (°C).	
5.	Meteran	Untuk alat ukur untuk mengatur jarak, panjang dan tinggi.	
6.	Kamera	Untuk mengambil gambar atau	

		mendokumentasikan objek berupa kondisi lapangan yang sedang diteliti.	
7.	Laptop	Untuk menganalisis dan menguji data yang didapatkan dari hasil pengukuran maupun kusioner dengan menggunakan software.	
8.	Alat tulis	Merupakan alat bantu yang digunakan dalam mengumpulkan data dilapangan untuk dimasukkan ke dalam laptop untuk diolah menggunakan software.	

2.3.2 Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh peneliti dari sumber yang telah tersedia dan tidak dikumpulkan secara langsung di lapangan. Data ini meliputi literatur ilmiah seperti buku, jurnal, dan artikel, serta data pendukung lainnya seperti data iklim (suhu udara, kelembapan), standar kenyamanan termal (SNI, ASHRAE), serta informasi teknis terkait material dan bangunan yang relevan dengan penelitian. Data sekunder digunakan sebagai dasar teoritis dan pembanding dalam menganalisis hasil penelitian. Data sekunder ini berfungsi untuk memperkuat landasan teori serta mendukung interpretasi hasil pengukuran dan simulasi dalam penelitian.

2.4 Teknik Analisis Data

2.4.1 Analisis Data Pengukuran Lapangan

1. Perbandingan Suhu Permukaan Dinding (ΔT_a)

Untuk menilai pengaruh aplikasi cat pendingin reflektif terhadap suhu dinding pada *thermal chamber*, dikalkulasi menggunakan data hasil pengukuran dengan persamaan rumus satu.

$$\Delta T = T_{\text{tanpa lapisan cat}} - T_{\text{dengan lapisan cat}} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana $T_{\text{tanpa lapisan cat}}$ °C menunjukkan suhu dinding tanpa lapisan cat dinding reflektif dan $T_{\text{dengan lapisan cat}}$ °C menunjukkan suhu dinding dengan lapisan cat dinding reflektif.

2. Perbandingan Nilai Mean Radiant Temperature (MRT)

Data pengukuran objektif terkait kondisi lingkungan termal yang diperoleh dihitung menggunakan perhitungan MRT, dengan persamaan dua.

$$T_{\text{mrt}} = [(t_g + 273.15)^4 + \frac{1.10 \times 10^8 \cdot v^{0.6}}{\varepsilon \cdot D^{0.4}} (T_g - T_a)]^{1/4} - 273 \dots (2)$$

Dimana (T_g) menunjukkan suhu bola hitam °C, (T_a) menunjukkan temperatur udara °C, (v) menunjukkan kecepatan aliran udara m, $\varepsilon = 0.95$ emisivitas bola, dan $D = 0.075$ diameter bola.

3. Persamaan Predicted Mean Vote (PMV) dan Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD)

Hubungan persamaan PMV dan PPD mengikuti standar dari ISO 7730:2005 dan ASHARE Standard 55, dengan persamaan tiga dan empat.

$$\text{PMV} = [0.303 e^{-0.036M} + 0.028] \cdot [(M-W) - 3.05 (5.733 - 0.007 (M-W) - p_a) - 0.42 ((M-W) - 58.15) - 1.7] \dots (3)$$

Dimana M adalah metabolic rate (W/m^2), W adalah external work (W/m^2), p_a adalah tekanan uap air (Pa), T_a adalah suhu udara (°C), T_r adalah MRT (°C), T_{cl} adalah suhu permukaan pakaian (°C), f_{cl} adalah clothing area, dan h_{cl} adalah convective heat transfer coefficient (W/m^2K).

$$\text{PPD} = 100 - 95e^{(-0.03353 \text{PMV}^4 - 0.2179 \text{PMV}^2)} \dots (4)$$

4. Pengukuran Heat Flux

Untuk mengetahui perubahan aliran panas melalui permukaan akibat penggunaan cat dinding reflektif serta mengetahui estimasi beban pendingin, dikalkulasi menggunakan data hasil pengukuran dengan persamaan rumus lima.

$$q = k \frac{\Delta T}{d} \dots (5)$$

Dimana q adalah heat flux (W/m^2), k menunjukkan konduktivitas termal ($W/m.K$), ΔT menunjukkan selisih suhu antara sisi luar dan dalam panel, dan d = ketebalan panel.

5. Perbandingan effect size

Selain melihat nilai signifikansi (p-value), penelitian ini juga menghitung effect size untuk memperkuat interpretasi hasil uji statistik. Pada uji *paired sample t-test*, effect size dihitung menggunakan Cohen's d dengan rumus:

$$d = \frac{t}{\sqrt{n}} \dots (6)$$

Dimana; t adalah nilai statistik hasil uji paired t-test dan n adalah jumlah pasangan observasi. Kriteria interpretasi Cohen's d adalah 0.2 = kecil, 0.5 = sedang, 0.8 = besar. Untuk uji non-parametrik Wilcoxon, effect size (r) dihitung dengan rumus:

$$r = \frac{Z}{\sqrt{N}} \dots (7)$$

Dimana Z adalah nilai Z yang dihasilkan dari output Wilcoxon di SPSS, N adalah jumlah pasangan observasi. kriteria interpretasi effect size (r) adalah 0.1 = kecil, 0.3 = sedang, 0.5 = besar.

2.4.2 Analisis Data SPSS

Analisis SPSS digunakan dalam penelitian ini untuk mengolah data dalam bentuk frekuensi, persentase, dan distribusi respon. Program ini dipilih karena dapat menghasilkan analisis statistik yang akurat, cepat, dan mudah diinterpretasikan, sehingga membantu peneliti dalam mengidentifikasi pola dan hubungan dari hasil penelitian. Hasil analisis ini kemudian divisualisasikan dalam bentuk diagram atau tabel untuk mempermudah interpretasi terhadap hasil olah data yang dilakukan.

2.4.3 Analisis Simulasi Ecotect

Penggunaan software Ecotect dipilih karena program ini mampu mensimulasikan kondisi lingkungan bangunan seperti radiasi matahari, suhu udara, dan sirkulasi panar pada permukaan bangunan. Melalui analisis ini, peneliti dapat memperoleh gambaran visual dan numerik mengenai distribusi suhu serta efek material cat dinding reflektif. Dengan demikian, penggunaan software Ecotect memberikan indentifikasi sejauh mana material cat dinding reflektif berkontribusi terhadap kinerja termal pada bangunan.

2.5 Populasi dan Sampling

Populasi adalah suatu wilayah generalisasi yang terdiri atas objek/subjek yang mempunyai kuantitas dan karakteristik tertentu yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari dan kemudian ditarik kesimpulan (Sugiyono, 2013). Populasi dalam penelitian ini adalah siswa kelas A - C SD Inpres Toddopuli 1.

Sementara, sampel adalah bagian dari jumlah dan karakteristik yang dimiliki oleh populasi tersebut (Sugiyono, 2013). Prosedur pengambilan sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah non-probability sampling dengan teknik *consecutive* sampling. Teknik *consecutive* sampling yang di mana pemilihan sampel dilakukan dengan memilih semua individu yang ditemui dan memenuhi kriteria pemilihan sampai jumlah sampel yang diinginkan terpenuhi. Pertimbangan untuk sampel dalam penelitian ini adalah responden dengan kriteria inklusi dan eksklusi.

1. Kriteria Inklusi

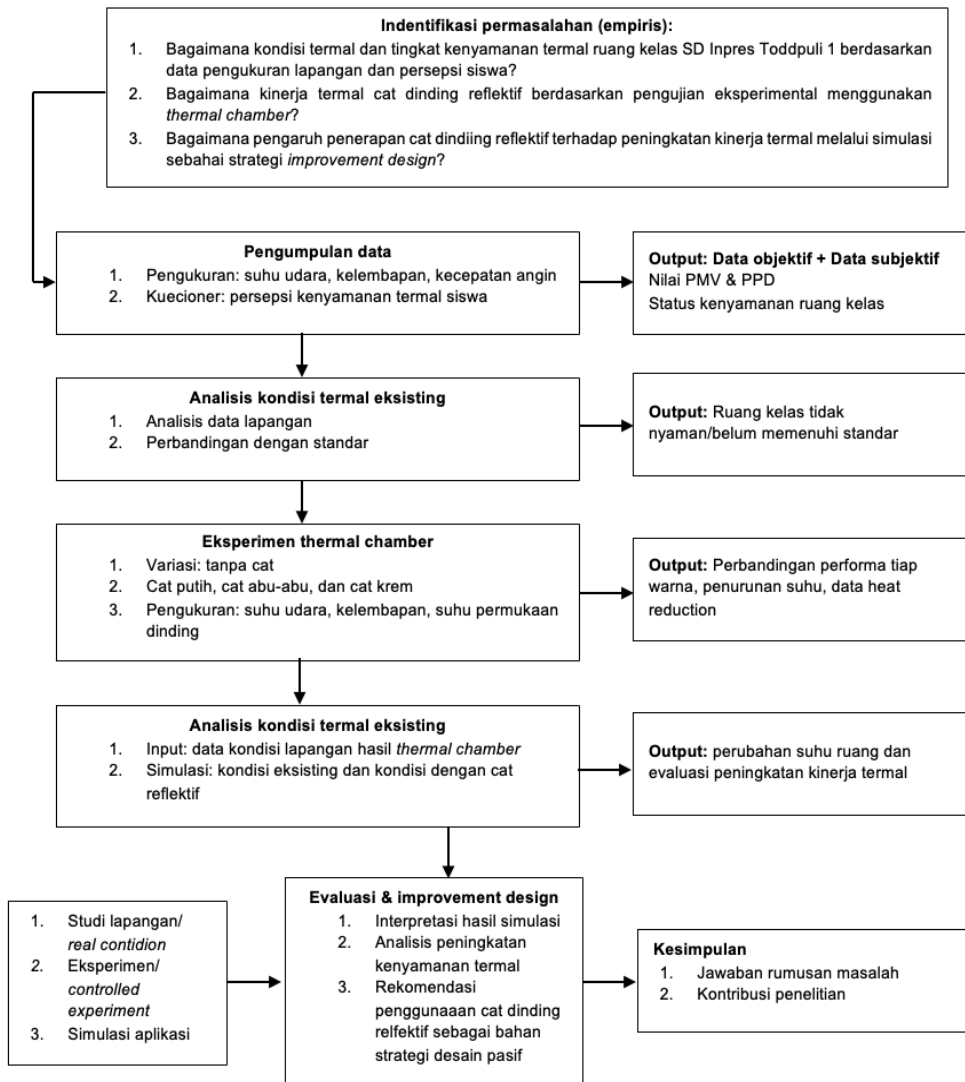
Kriteria inklusi adalah syarat umum yang harus dipenuhi responden untuk dapat diikuti dalam proses penelitian (Rilatupa, 2008). Adapun kriteria inklusi penelitian ini adalah: Seluruh siswa dari kelas A - C yang melakukan kegiatan belajar atau sering menggunakan tiga ruangan yang dijadikan sebagai objek penelitian.

2. Kriteria Eksklusi

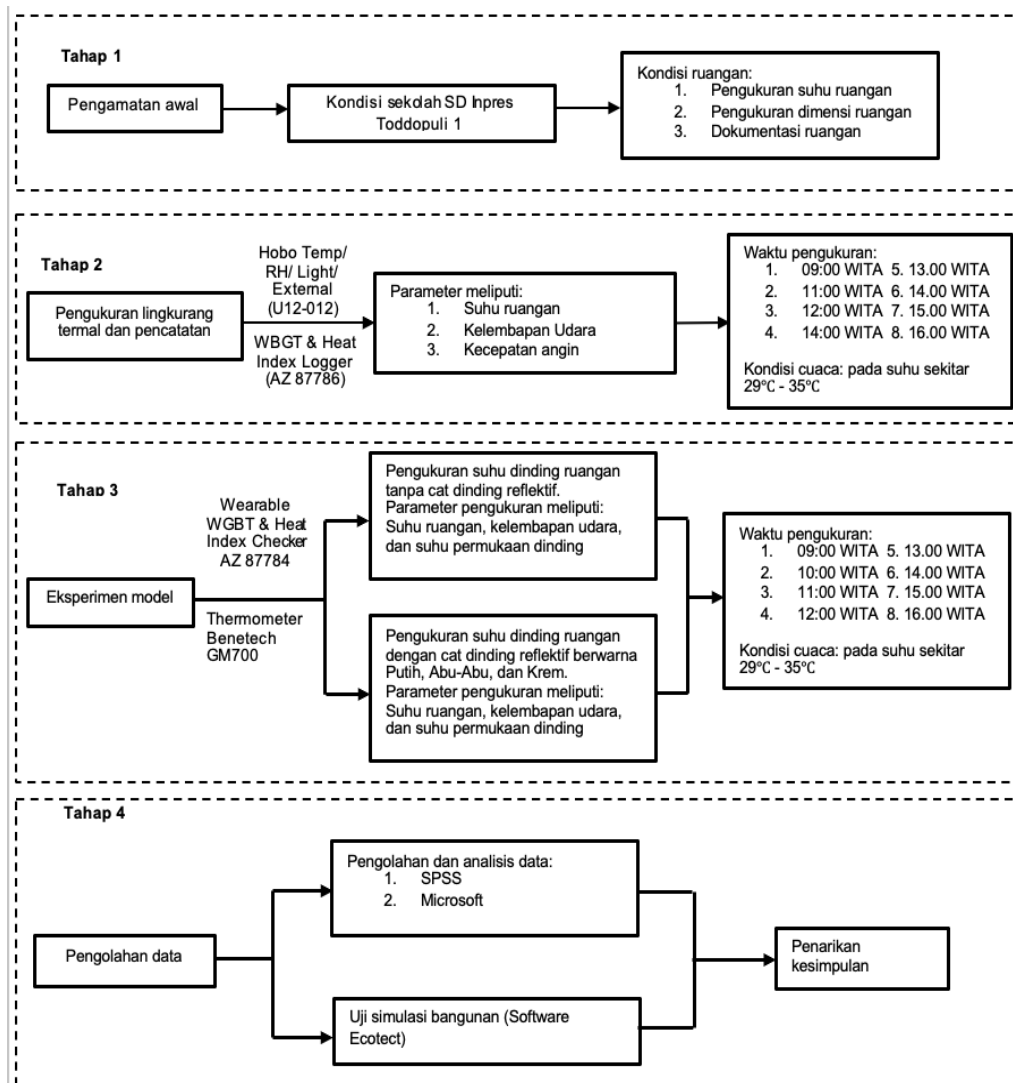
Kriteria eksklusi adalah syarat yang menyebabkan responden yang masuk dalam kriteria inklusi tidak dapat diikuti sertakan dalam proses penelitian (Rilatupa, 2008). Kriteria eksklusi dalam penelitian ini yaitu:

- a. Siswa yang sakit.
- b. Siswa yang tidak mengisi kuesioner secara lengkap.
- c. Siswa yang tidak melakukan kegiatan belajar atau tidak menggunakan ruangan.

2.8 Kerangka Alur Penelitian



Gambar 8 Kerangka alur penelitian



Gambar 9 Tahap penelitian