OPTIMISASI KINERJA HUNIAN SEMENTARA COOL SHELTER TERINTEGRASI PANEL SURYA DI WILAYAH TERDAMPAK BENCANA

RISET UNGGULAN ITB 2026

Tim Peneliti Kolaborasi ITB–UPI–Unimal

KK Rekayasa Kinerja Lingkungan Binaan, FTI ITB • KK Teknologi Bangunan, SAPPK ITB
Laboratorium Sains, Material dan Teknologi Bangunan, UPI • Universitas Malikussaleh

ABSTRAK

Bencana banjir di Sumatra pada akhir 2025 meningkatkan kebutuhan hunian sementara yang cepat dibangun, tetapi tetap sehat dan nyaman. Penelitian ini mengevaluasi lima unit hunian sementara Cool Shelter berbahan baja ringan dengan lapisan reflektif di Aceh melalui pemantauan lapangan, validasi model, dan optimisasi multiobjektif. Kondisi panas berlebih dievaluasi menggunakan *Standard Effective Temperature* (SET), yang mempertimbangkan suhu udara, radiasi, kelembapan, serta kecepatan udara. Saat kondisi jendela tertutup, suhu udara dalam ruang mencapai 34,6 °C—hingga 3,2 K lebih tinggi daripada suhu luar. Hal ini menunjukkan bahwa lapisan reflektif saja belum mencegah panas berlebih pada siang hari. Pada orientasi eksisting, desain dengan peringkat terbaik diprediksi menurunkan proporsi jam panas berlebih (SET > 30 °C) dari 81,9% menjadi 18,4%, sementara ketersediaan pencahayaan alami meningkat dari 84,3% menjadi 100%. Enam panel surya atap menghasilkan 7.934 kWh/tahun sekaligus menaungi atap.

Kata kunci : hunian sementara, kenyamanan termal, pencahayaan alami panel surya, optimisasi

PENDAHULUAN

Banjir dan longsor pada November 2025 berdampak pada Aceh, Sumatera Utara, dan Sumatera Barat. Hunian sementara berbahan baja ringan dapat dibangun dengan cepat, tetapi dapat digunakan sebagai tempat tinggal jangka panjang. Karena itu, kualitas lingkungan dalam ruang—terutama paparan panas, ventilasi, dan cahaya alami—berpengaruh langsung terhadap kesehatan penghuni.

Bukti kinerja termal hunian baja berlapis reflektif yang telah dihuni di iklim tropis lembap masih terbatas. Indeks kenyamanan yang hanya menggunakan suhu udara dapat mengabaikan radiasi panas dari selubung logam, kelembapan, dan pergerakan udara dari kipas. Selubung bangunan dan panel surya atap juga perlu dioptimalkan karena panel surya menghasilkan listrik sekaligus menaungi atap.

Lima unit Cool Shelter telah dibangun dan dihuni di Langkahan (Aceh Utara) dan Pante Bidari (Aceh Timur). Setiap unit berupa satu ruang berukuran 12 × 4 m (48 m²), tinggi plafon 2,7 m, rangka baja ringan, dan pelapis galvalum berlapis cat reflektif surya. Orientasi eksisting Adalah 60° dari sumbu x model (30° dari utara).

PERTANYAAN PENELITIAN

1. Bagaimana kondisi termal dalam ruang dari hunian sementara?
2. Kombinasi parameter selubung, bukaan, peneduh, ventilasi, dan panel surya seperti apa yang dapat menurunkan panas berlebih sekaligus tetap menjaga pencahayaan dan energi?
3. Bagaimana kinerja desain rekomendasi pada iklim saat ini dan iklim masa depan?

METODOLOGI

PEMANTAUAN LAPANGAN

Pemantauan suhu udara, kelembapan, WBGT, suhu permukaan dinding, kecepatan angin, radiasi mathari, iluminansi, dan iradiasi spektral (Maret–Agustus 2026). Validasi 24 data rerata per jam (10–11 Agustus 2026).

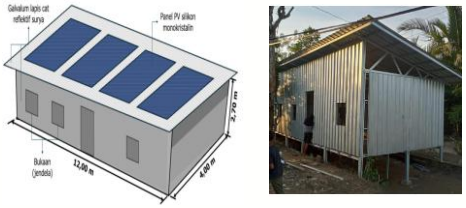
PEMODELAN

Rhino 3D, Grasshopper/Ladybug Tools, EnergyPlus (termal, energi, panel surya), dan Radiance (pencahayaan alami). Kriteria validasi: CV(RMSE) ≤ 30%.

OPTIMISASI

pengambilan 512 sampel menggunakan metode Sobol, yang selanjutnya digunakan untuk membangun model pengganti (surrogate model) berbasis Gaussian Process. Model tersebut kemudian digunakan untuk mendukung 30 simulasi independen pada orientasi 60°. Hasil simulasi selanjutnya dioptimasi menggunakan algoritma NSGA-II dengan 200 populasi selama 300 generasi. Untuk menentukan desain yang paling sesuai, dilakukan evaluasi terhadap 1.000 skenario pembobotan, kemudian dipilih 10 desain terbaik berdasarkan peringkat rata-rata.

METRIK: Percentage of overheating hours (POH) dan Energy use intensity (EUI) diminimalkan; UDIa dan E_PV dimaksimalkan.



Gambar 1 : Objek penelitian (cool shelter)

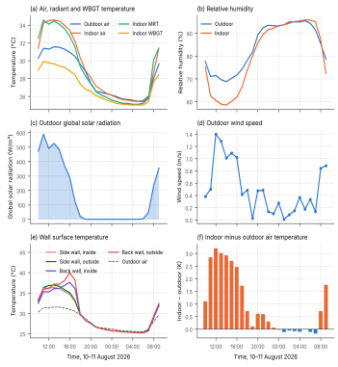
VARIABEL DESAIN

- WWR depan/belakang dan sisi: 5–50%; operabilitas jendela: 0,3–0,8.
- Insulasi dinding/atap: 0–0,1 m; absorptansi surya dan emisivitas termal: 0,1–0,9.
- Peneduh jendela: 0–1,0 m; teritisan: 0,1–1,2 m.
- Tinggi ventilasi: 0,1–0,8 m; kecepatan udara kipas: 0,3–0,9 m/s.
- Panel surya: 0–6 unit (4,00 × 1,65 m; 6,6 m²/unit; faktor penurunan 0,85).

HASIL DAN PEMBAHASAN

PENGUKURAN LAPANGAN

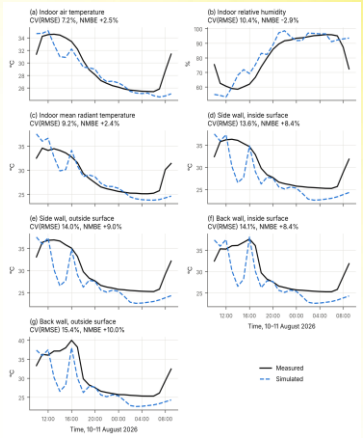
Suhu udara dalam ruang mencapai 34,6 °C, sedangkan di luar 31,6 °C; suhu dalam ruang hingga 3,2 K lebih tinggi (rata-rata +2,5 K pada pukul 10.00–17.00). MRT mencapai 34,6 °C dan WBGT 29,9 °C. Permukaan luar dinding mencapai 36,9–40,0 °C; permukaan dalam hanya 0,7–2,4 K lebih rendah.



Gambar 2 : Hasil pengukuran lapangan (indoor dan outdoor)

VALIDASI MODEL

Ketujuh variabel memenuhi CV(RMSE) ≤ 30%: suhu udara dalam 7,18%; kelembapan relatif 10,45%; MRT 9,22%; permukaan dinding 13,56–15,41%. Validasi mencakup satu periode 24 jam; permukaan dinding menunjukkan NMBE +8,4% hingga +10,0%.



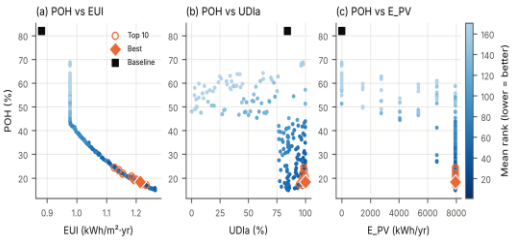
Gambar 3 : Nilai pengukuran dan simulasi untuk validasi

PARETO (200 DESAIN)

Pada orientasi 60° nilai POH 14,8–68,7%; UDIa 0–100%; EUI 0,977–1,264 kWh/m²·tahun; produksi panel surya 0–7.934 kWh/tahun. Pertukaran kinerja paling kuat terjadi antara panas berlebih dan energi kipas; konflik dengan pencahayaan alami dan produksi panel surya lebih lemah.

DESAIN TERBAIK DIBANDINGKAN BASELINE

POH mengalami penurunan 81,9% → 18,4% (turun 63,5 poin persentase); UDIa 84,3% → 100%; EUI 0,881 → 1,213 kWh/m²·tahun. Enam panel surya menghasilkan 7.934 kWh/tahun—sekitar 136 kali kebutuhan listrik tahunan desain terbaik (~58 kWh/tahun). Desain terbaik menempati peringkat pertama pada 17,3% siklus pembobotan; pola desain yang sama pada 10 desain teratas lebih tangguh daripada satu titik desain.



Gambar 4 : Pareto 200 desain pada orientasi 60°

KESIMPULAN

Lapisan reflektif surya saja belum mampu menjaga suhu hunian tertutup agar setara atau lebih rendah daripada suhu luar. Diperlukan strategi terpadu yaitu absorptansi surya rendah dan emisivitas termal tinggi, bukaan yang dapat dioperasikan dan terlindung dari matahari, teritisan dalam, serta pergerakan udara pada tingkat penghuni melalui kipas.

Pada orientasi eksisting, desain dengan peringkat terbaik diprediksi menurunkan panas berlebih sebesar 63,5 poin persentase dan meningkatkan UDIa menjadi 100%. Enam panel surya atap menghasilkan listrik sekaligus menaungi atap tanpa insulasi; penghilangan panel meningkatkan POH prediksi sebesar 3,2 poin. Surplus energi panel surya berpotensi mendukung hunian sekitar atau fasilitas komunal. Namun, operasi kipas pada malam hari saat listrik padam memerlukan penyimpanan energi, yang belum dimodelkan.