

Evaluasi Performa Material Penutup Atap Terhadap Penghematan Energi Bangunan

Azwan Aziz

Program Studi Teknik Sipil, Sekolah Tinggi Teknologi Dumai
Jl. Utama Karya Bukit Batrem II
Email: az.one2003@gmail.com

ABSTRAK

Atap sebagai komponen penutup bangunan rumah, khususnya di daerah tropis, merupakan permukaan bangunan yang paling banyak terekspos oleh radiasi sinar matahari. Oleh sebab itu perannya harus dioptimalkan dalam membendung radiasi panas matahari agar kenyamanan termal ruangan di bawahnya dapat tercapai. Untuk itu, pemilihan material penutup atap dan konstruksi yang tepat menjadi penting dalam mengoptimalkan perannya dalam membendung dan mengangkut panas. Metode penelitian yang digunakan ialah kuantitatif. Hal ini karena dalam penelitian ini banyak melibatkan perhitungan kinerja atap terhadap nilai perpindahan panas, yaitu RTTV (*Roof Thermal Transmittance Value*), dan perhitungan radiasi. Bangunan yang distudi dipilih yang menggunakan atap dengan material yang berbeda, yaitu *metal sheet* tanpa insulasi, genteng keramik tanpa insulasi, dan genteng keramik yang dilengkapi insulasi. Hasil perhitungan RTTV menunjukkan bahwa atap yang paling memenuhi kriteria konservasi energi adalah atap genteng keramik yang menggunakan insulasi, dan yang paling boros energi adalah atap metal sheet tanpa insulasi.

Kata kunci: Material Penutup Atap, RTTV, Faktor Penentu, Penghematan Energi

ABSTRACT

The roof as a covering component of a house, especially in tropical areas, is the surface of the building that is most exposed to solar radiation. Therefore, its role must be optimized in blocking solar heat radiation so that thermal comfort in the room below can be achieved. For this reason, choosing the right roof covering material and construction is important in optimizing its role in containing and transporting heat. The research method used is quantitative. This is because this research involves a lot of roof performance calculations regarding heat transfer values, namely RTTV (Roof Thermal Transmittance Value), and radiation calculations. The buildings studied were selected to use roofs with different materials, namely metal sheets without insulation, ceramic tiles without insulation, and ceramic tiles equipped with insulation. The RTTV calculation results show that the roof that best meets the energy conservation criteria is a ceramic tile roof that uses insulation, and the most energy-wasting roof is a metal sheet roof without insulation.

Keywords: *Roof Covering Material, RTTV, Determining Factor, Energy Saving*

Pendahuluan

Upaya mencapai kenyamanan termal bangunan, semua material komponen bangunan (lantai, dinding, atap dan komponen pelengkapannya), bentuk massa bangunan, dan orientasi bangunan terhadap matahari, masing-masing memiliki kontribusi. Semua itu pada akhirnya akan berdampak terhadap bagaimana perilakunya dalam menghadapi iklim setempat. Dalam hal ini faktor iklim yang berperan penting antara lain ialah karakter radiasi matahari, kecepatan angin rata-rata, suhu, kelembaban, dan curah hujan. Dampak yang paling signifikan akan terjadi pada permukaan bangunan yang paling banyak terekspos sinar matahari, sehingga hasilnya akan berbeda pada jenis bangunan yang berbeda. Sebagai contoh, pada bangunan berlantai banyak, selubung bangunan vertikal atau dinding terluarnya akan cenderung lebih diperhatikan untuk meninjau kenyamanan termalnya. Sedangkan pada bangunan bentang lebar dan *landed* seperti perumahan, atap menjadi aspek penting dalam menentukan kenyamanan termal bangunannya.

Atap sebagai komponen penutup bangunan rumah, khususnya di daerah tropis, merupakan permukaan bangunan yang paling banyak terekspos oleh radiasi sinar matahari.(Lippsmeier 1994) Begitu juga di Indonesia, karena Indonesia termasuk region klimatik *hot-humid* yang berkarakter radiasi tinggi (80% per tahun), *Relative Humidity* yang tinggi (60%-80%), presipitasi tinggi (150 cm/thn), namun velositas angin yang tak stabil, di perkotaan sering 0 m/dtk atau terlalu besar, >30 m/dtk(Soegijanto 2000) Oleh sebab itu perannya harus dioptimalkan dalam membendung radiasi panas matahari agar kenyamanan termal ruangan di bawahnya dapat tercapai, untuk itu, pemilihan material penutup atap dan konstruksi yang tepat menjadi penting dalam mengoptimalkan perannya dalam membendung dan mengangkut panas. Fakta akibat perubahan iklim pada saat ini mendorong lahirnya berbagai inovasi produk industri yang terus berkembang dalam dunia arsitektur dan bahan bangunan. Konsep pembangunan arsitektur hijau menekankan peningkatan efisiensi dalam penggunaan air, energi, dan material bangunan. (Abrar, 2021)

Kelebihan panas dalam bangunan perlu dikurangi supaya ruangan menjadi lebih sejuk, sehingga bila menggunakan sistem pengkondisian udara (AC) pun, beban panas yang harus dikeluarkan oleh mesin AC pada saat proses pengkondisian udara tidak terlalu besar sehingga dapat mengurangi energi listrik. Penggunaan AC memberi banyak keuntungan, namun kekurangannya terutama pada penggunaan energi yang boros, dapat mencapai 60% dari total energi bangunan.(Budhyowati 2022) Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) menyatakan bahwa bangunan menjadi bagian dari beban lingkungan yang besar. Bangunan menggunakan 50% total pengeluaran energi di Indonesia. Lebih dari 70% konsumsi listrik dan sekitar 50% digunakan dalam proses sistem pengkondisian udara.(Kementerian ESDM 2014)

Penyebab beban panas terbesar pada hunian di Perumahan di perkotaan yang beriklim tropis lembab, disebabkan oleh panas yang masuk ke dalam bangunan melalui atap. Pengurangan beban panas dapat dilakukan dengan penggunaan

material dan tipe konstruksi atap yang memiliki nilai transmitansi yang kecil. (Dien, Kindangen, and Wuisang 2021)

Seiring dengan peningkatan angka pertumbuhan penduduk, kebutuhan pembangunan perumahan di kota-kota besar di Indonesia seperti Kota Depok semakin pesat. Salah satu perumahan yang gencar di bangun adalah real estate. Perumahan yang cenderung dirancang dengan bentuk yang seragam ini rata-rata menggunakan plafond. Pada penelitian ini bangunan perumahan real estate yang akan diteliti adalah yang menggunakan penutup atap dari bahan genteng keramik dan genteng *metal sheet*, serta plafond dari material gipsium. Tiap material atap maupun plafond masing-masing memiliki nilai transmitansi yang spesifik, yang pada akhirnya semua akan berdampak pada nilai RTTV (*Roof Thermal Transmittance Value*), atau nilai perpindahan panas pada atap.

RTTV adalah salah satu paket kebijakan pemerintah RI dalam bidang konservasi energi pada atap, yang telah dimulai sejak tahun 1993. Sedangkan untuk selubung/dinding bangunan, parameter perhitungannya menggunakan OTTV (*Overall Thermal Transmittance Value*), yaitu nilai perpindahan panas menyeluruh pada dinding bangunan. Hal ini mengacu pada peraturan SNI T -14 - 1993 - 03, yaitu mengenai peraturan teknis konservasi energi pada bangunan. Indikator keberhasilan pencapaian konservasi energi ialah apabila nilai OTTV maupun RTTV $\leq 45 \text{ W/m}^2$.

Nilai RTTV ditentukan oleh beberapa variabel yang signifikan, diantaranya adalah material atap tak tembus cahaya yang menentukan nilai transmitansi, dan luas bidang atap yang tembus cahaya (*skylight*). Atap perumahan sebagian besar menggunakan konstruksi atap pelana. Atap ini paling sering dipakai karena biayanya yang relatif paling murah dan pemeliharaannya pun mudah. Kebocoran lebih mudah dideteksi, karena biasanya hanya terjadi pada bubungan yang merupakan satu-satunya sambungan pada atap ini. Penutup atap genteng keramik merupakan salah satu penutup atap yang banyak digunakan pada bangunan perumahan. Pada beberapa kawasan bahkan telah mengadopsi atap *metal sheet*, karena lebih ringan dan mudah dalam pemasangannya. Tetapi selama ini di Indonesia belum pernah dilakukan peninjauan jenis penutup atap perumahan terhadap nilai RTTV. Belum terdapat penelitian yang menilai atap perumahan di Indonesia, khususnya untuk jenis atap genteng keramik dan *metal sheet*, terhadap pemenuhan aspek konservasi energi, yaitu tidak melebihi nilai 45 W/m^2 .

Dalam memenuhi persyaratan teknis konservasi energi pada bangunan, perhitungan nilai total perpindahan panas pada atap atau RTTV menjadi penting, karena atap bangunan perumahan merupakan permukaan bangunan yang paling banyak terekspos sinar matahari. Hal ini bertujuan agar jumlah panas yang terhantar melalui atap akibat konduksi panas menuju bangunan dapat diminimalisir.

Tiap jenis penutup atap, baik yang dilengkapi dengan insulasi maupun tidak, masing-masing memiliki kontribusi terhadap RTTV. Penggunaan insulasi jenis *Aluminium Bubble* dapat digunakan di atas plafond agar maksimal dalam membendung panas. (Budhyowati et al. 2023) Teknik insulator dipengaruhi dari cara pemasangan insulator, material insulator, ketebalan insulator, maupun orientasi bangunan mempengaruhi penurunan suhu ruang. Dimana cara pemasangan terbaik adalah jika insulator dipasang miring mengikuti bentuk atap dan tepat di bawah

atap terluar. Selain itu semakin tebal insulator maka semakin lambat perambatan panasnya, sehingga ruangan di bawahnya tidak secara langsung terasa panas. (Marina, 2020)

Variabel penentu utama dalam menghitung perpindahan panas pada atap adalah nilai transmitansi atau *U-value*. Semakin besar nilai *U-value* atap, maka nilai RTTV akan semakin besar pula. Artinya perpindahan panas yang terjadi pada atap akan semakin besar. Hal ini mengindikasikan bahwa pada jam terpanas yaitu sekitar pukul 14.00, panas yang masuk ke dalam bangunan melalui atap menghasilkan panas maksimal. Hasilnya akan berfluktuasi mengikuti nilai radiasi matahari pada saat pengukuran. Sehingga variabel yang juga berperan penting di sini adalah *SF(Solar Factor)*, yang akan menentukan nilai RTTV pada saat radiasi maksimum dan minimum.

Penerapan teknik pendinginan pasif bersamaan dalam menciptakan kenyamanan dalam suatu bangunan bahkan penghematan energi bangunan karena suatu beban panas radiasi matahari untuk bangunan di daerah tropis adalah dengan mengoptimalkan aspek lapisan reflektif pada atap, isolasi termal pada langit-langit dan sirkulasi udara alami di zona loteng. (Ruliyanto and Prianto 2023)

Sebagai hipotesis, penulis menduga bahwa pada kondisi jam terpanas (jam 14.00), penutup atap genteng *metal sheet* tanpa insulasi yang memiliki nilai transmitansi lebih besar dari pada genteng keramik dengan insulasi akan cenderung menghasilkan nilai RTTV yang melebihi nilai standar yang ditentukan, yaitu $\leq 45 \text{ W/m}^2$. Artinya dalam hal ini bila bangunan dengan atap *metal sheet* tanpa insulasi menggunakan sistem pengkondisian udara, maka akan boros energi.

Metode Penelitian

Tahapan metode penelitian diawali dengan melakukan survei lapangan. Teknik pengambilan sampel dilakukan secara *purposive*, yaitu dengan cara mengambil sampel yang representatif. Pemilihan sampel yang mewakili ini didasari oleh alasan karena atap sampel memenuhi variabel yang terdapat pada rumus RTTV. Faktor lokasi, lingkungan(vegetasi), ventilasi yang tidak menjadi variabel perhitungan RTTV, tidak ditinjau lebih lanjut dalam penelitian ini. Dari dua kawasan perumahan di Depok Jawa Barat, diambil tiga sampel rumah yang mewakili, yaitu yang menggunakan atap genteng *metal sheet* tanpa insulasi di Perumahan Deptan Atsiri Permai Baru, sedangkan yang menggunakan genteng keramik tanpa insulasi dan dengan insulasi berada di kawasan Perumahan Mutiara Darussalam. Kemudian dilakukan pengukuran fluktuasi suhu ruang di antara atap dan plafondnya.

Pada penelitian ini, penulis memilih alat ukur HOBO H8 logger Model H08-003-02. Alasan pemilihan instrumen ini adalah karena:

1. Mampu merekam data fluktuasi temperatur udara dalam frekwensi tertentu selama yang dibutuhkan.
2. Berukuran kecil(4 cm x 5,5 cm x 1 cm) dan ringan, relatif mudah dalam pengoperasian-nya, karena alat bisa ditinggal selama merekam data temperatur.



Gambar 1. Alat Ukur Temperatur Ruang HOBO H8 Logger Model H08-003-02

Metode kuantitatif dilakukan pada saat mengevaluasi jenis penutup atap terhadap rumus RTTV. Pada tahap ini variabel yang dimasukkan ke dalam rumus RTTV adalah luas permukaan atap, nilai transmitansi atap atau *U-value*, dan faktor radiasi sinar matahari atau *solar factor* (SF). Kemudian mencari solusi usulan desain agar nilai RTTV agar dapat tercapai $< 45 \text{ W/m}^2$.

Hasil dan Pembahasan

Sebelum masuk pada tahap perhitungan RTTV, faktor radiasi sinar matahari atau *solar factor* (SF) adalah salah satu variabel yang harus diketahui untuk menghitung nilai RTTV. Faktor ini akan mempengaruhi nilai RTTV bila atap yang dihitung dilengkapi dengan lubang cahaya (*skylight*). Sementara untuk atap yang tidak memiliki bidang yang tembus cahaya, maka nilai SF tidak menjadi variabel hitungan. Dalam hal ini yang berperan hanya nilai transmitansi atap, luas permukaan atap, dan beda suhu ekuivalen.

Atap bangunan studi kasus yang dipilih adalah tipikal atap pelana yang dilengkapi dengan sedikit lubang cahaya (luas bidang yang tembus cahaya $< 0,5 \text{ m}^2$), baik pada atap genteng keramik, maupun atap *metal sheet*. Sehingga pada perhitungan RTTV nilai SF akan dilibatkan, dalam menentukan nilai SF yang representatif, maka terlebih dahulu harus mengetahui waktu-waktu yang mewakili radiasi (iradians) minimum dan maksimum dalam setahun. Waktu-waktu tersebut ialah tanggal 12 dan 21 Januari, 12 dan 21 Maret, 12 dan 21 Juli, dan 12 dan 21 September. (Departemen Pekerjaan Umum 1993) Semuanya diambil pada saat jam terpanas yaitu jam 14.00, dari diagram lintasan matahari, diketahui posisi matahari menunjukkan sudut bayangan matahari vertikal (VSA) atau $\beta = 108,6^\circ$ dan *altitude* atau $\gamma = 57,9^\circ$. Dari diagram skala radiasi diperoleh nilai G_{hb} sebesar 750 W/m^2 dan G_{hd} sebesar 100 W/m^2 . Maka nilai iradians pada bidang tertentu untuk tanggal 12 Januari jam 14.00 adalah:

$$\begin{aligned} G_{pb} &= G_{hb} (\cos \beta / \sin \gamma) & (1) \\ &= 750 (\cos 108,6 / \sin 57,9) \\ &= 750 (0,32/0,85) \\ &= 282,35 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

Nilai iradians yang disebarkan (*diffuse*) pada bidang dengan kemiringan 30° (atap) adalah:

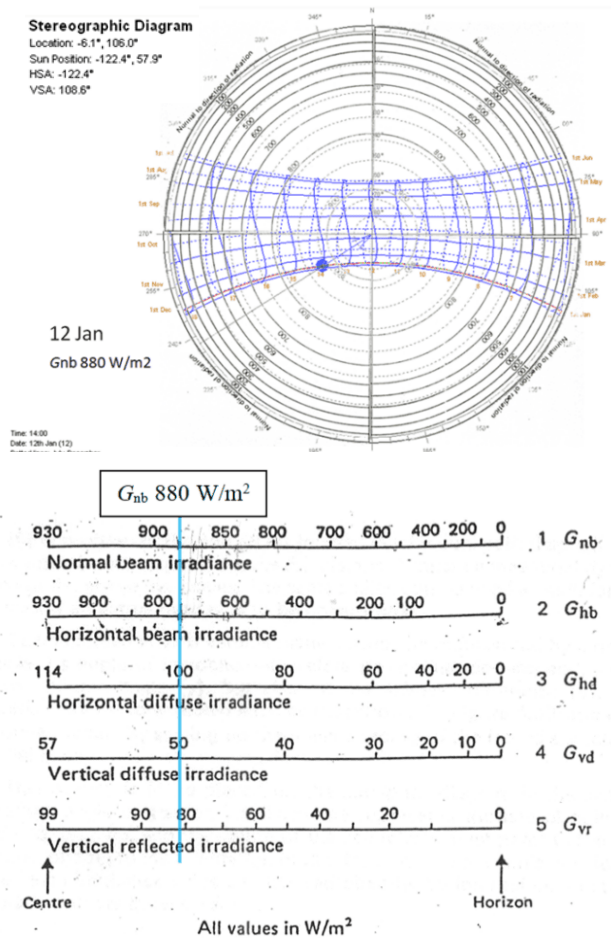
$$\begin{aligned}
 G_{pd} &= G_{hd} (1 + \cos \psi) / 2 & (2) \\
 &= 100 (1 + \cos 30) / 2 \\
 &= 93,25 \text{ W/m}^2
 \end{aligned}$$

Nilai iradians yang dipantulkan (*reflected*) pada bidang dengan kemiringan 30° (atap) dengan $\rho = 0,2$ (reflektansi untuk iklim tropis lembab) adalah:

$$\begin{aligned}
 G_{pr} &= \rho G_h (1 - \cos \psi) / 2 & (3) \\
 &= 0,2 (G_{hb} + G_{hd}) (1 - \cos 30) / 2 \\
 &= 0,2 (750 + 100) (1 - 0,865) / 2 \\
 &= 11,475 \text{ W/m}^2
 \end{aligned}$$

Maka total nilai iradians pada bidang dengan kemiringan 30° (atap) untuk kawasan Kota Depok tanggal 12 Januari jam 14.00 adalah:

$$\begin{aligned}
 G_p &= G_{pb} + G_{pd} + G_{pr} & (4) \\
 &= 282,35 + 93,25 + 11,475 \\
 &= 387,08 \text{ W/m}^2
 \end{aligned}$$



Gambar 2. Hasil *overlay sun-path* dan diagram iradians bidang normal (Szokolay 1980) untuk radiasi Kota Depok pada tanggal 12 Januari jam 14.00. diperoleh $G_{nb} 880 \text{ W/m}^2$

Setelah dihitung waktu-waktu yang mewakili radiasi(iradians) minimum dan maksimum dalam setahun, yaitu tanggal 12 dan 21 Januari, 12 dan 21 Maret, 12 dan 21 Juli, dan 12 dan 21 September, maka diperoleh data rentang SF maksimum dan minimum untuk Kota Depok yang dapat dilihat pada tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1. Iradians pada bidang miring 30° untuk Kota Depok jam 14.00 pada tanggal representatif dalam setahun dengan asumsi terjadi pada kondisi langit cerah

Tanggal	Iradians W/m ²
12 Januari	387,08
21 Januari	357,63
12 Maret	130,29
21 Maret	190,93
12 Juli	501,87
21 Juli	489,01
12 September	268
21 September	208,96

Dari tabel di atas terlihat bahwa SF maksimum terjadi pada tanggal 12 Juli dan minimum terjadi pada tanggal 12 Maret.(Szokolay 1980)

Variabel yang dibutuhkan pada perhitungan atap *metal sheet* tanpa insulasi :

Luas atap tak tembus cahaya(A_r)



Gambar 3. Foto Eksisting Rumah dengan Atap *Metal Sheet* Tanpa Insulasi

Bangunan yang berukuran 8 m x 8 m ini dibuat modelnya dengan menggunakan *software SketchUp 2020*. Kemudian diperoleh luas atap *metal sheet* bangunan studi kasus ini sebesar 91,12m². (Lihat Gambar 4. di bawah)



Gambar 4. Skematik Bangunan Studi Kasus yang Menggunakan *Metal Sheet* Tanpa Insulasi Menunjukkan Luas Atap Sekitar 91,12 m²

1. Luas atap tembus cahaya(A_s)
 Dimensi *skylight* pada atap diketahui sebesar 1 m x 0,4 m = 0,4 m²
2. Beda suhu ekuivalen (ΔT_{eq})
 Atap genteng *metal sheet* ini memiliki berat per meter persegi 3,08 kg/m². Berdasarkan data dari Departemen Pekerjaan Umum, atap ini dikategorikan sebagai konstruksi atap ringan, beda suhu ekuivalen untuk atap yang ringan(< 50 Kg/m²) adalah 24 °C
3. Transmittansi atap tak tembus cahaya(U_r)
 Berdasarkan data (Koenigsberger, T. G. Ingersoll 1974), nilai transmittansi atap *metal sheet* tanpa insulasi dengan plafond bahan gipsum adalah 3,18 W/m² degC.
4. Transmittansi lubang atap atau bidang yang tembus cahaya (U_s)
 Berdasarkan data (Koenigsberger, T. G. Ingersoll 1974), nilai transmittansi bidang transparan adalah 4,48 W/m² degC
5. Beda suhu antara kondisi perencanaan luar dan dalam(ΔT) diambil 5°C (SNI T-14-1993-03)
6. Koefisien peneduh (SC) lubang cahaya atap transparan adalah 0,84 (Koenigsberger, T. G. Ingersoll 1974)
7. Faktor radiasi matahari (SF) diambil dari variabel yang telah dihitung di atas, yaitu minimum 130,29 W/m², rata-rata(ketentuan dari Departemen Pekerjaan Umum) yaitu 316 W/m², dan maksimum yaitu 501,87 W/m²

Dari variabel di atas, maka RTTV untuk atap genteng *metal sheet* tanpa insulasi pada jam 14.00 saat SF minimum adalah:

$$RTTV = \{[(A_r)(U_r)(\Delta T_{eq})] + [(A_s)(U_s)(\Delta T)] + [(A_s)(SC)(SF)]\} / (A_r + A_s) \text{ W/m}^2 \quad (5)$$

$$= [(91,12)(3,18)(24) + (0,4)(4,48)(5) + (0,4)(0,84)(130,29)] / (91,12 + 0,4) = \mathbf{76,56 \text{ W/m}^2}$$

RTTV saat SF rata-rata adalah :

$$= [(91,12)(3,18)(24) + (0,4)(4,48)(5) + (0,4)(0,84)(316)] / (91,12 + 0,4) = \mathbf{77,24 \text{ W/m}^2}$$

RTTV saat SF maksimum adalah :

$$= [(91,12)(3,18)(24) + (0,4)(4,48)(5) + (0,4)(0,84)(501,87)] / (91,12 + 0,4) = \mathbf{77,93 \text{ W/m}^2}$$

Dari perhitungan di atas terlihat bahwa kinerja atap *metal sheet* tanpa insulasi terhadap nilai RTTV, baik pada saat radiasi maksimum maupun minimum, jauh melebihi nilai 45 W/m². Hal ini berarti bila bangunan menggunakan sistem pengkondisian udara maka akan boros energi.

Variabel yang dibutuhkan pada perhitungan atap genteng keramik tanpa insulasi :

Luas atap tak tembus cahaya(A_r)

Bangunan ini berukuran 6,50 m x 6,50 m. Dari pemodelan bangunan yang dibuat dengan menggunakan *software SketchUp 2020*, diperoleh luas atap *metal sheet* bangunan studi kasus sebesar 60,43 m². (Lihat Gambar 5. di bawah)



Gambar 5. Foto Eksisting Rumah dengan Luas Atap Sekitar 60,43 m²

8. Luas atap tembus cahaya(A_s)

Dimensi *skylight* pada atap diketahui sebesar 0,6 m x 0,6 m = 0,36 m²

9. Variable ΔT_{eq} , U_r , U_s , ΔT , SC , SF sama seperti sebelumnya

Dari variabel di atas, maka RTTV untuk atap genteng keramik tanpa insulasi pada jam 14.00 saat SF minimum adalah:

$$RTTV = \{ [(A_r)(U_r)(\Delta T_{eq})] + [(A_s)(U_s)(\Delta T)] + [(A_s)(SC)(SF)] \} / (A_r + A_s) \text{ W/m}^2 \quad (6)$$

$$= [(60,43)(1,7)(24) + (0,36)(4,48)(5) + (0,36)(0,84)(130,29)] / (60,43 + 0,36) = 41,34 \text{ W/m}^2$$

RTTV saat SF rata-rata adalah :

$$= [(60,43)(1,7)(24) + (0,36)(4,48)(5) + (0,36)(0,84)(316)] / (60,43 + 0,36) = 42,3 \text{ W/m}^2$$

RTTV saat SF maksimum adalah :

$$= [(60,43)(1,7)(24) + (0,36)(4,48)(5) + (0,36)(0,84)(501,87)] / (60,43 + 0,36) = 43,19 \text{ W/m}^2$$

Dari perhitungan di atas terlihat bahwa kinerja atap genteng keramik tanpa insulasi terhadap nilai RTTV, baik pada saat radiasi maksimum maupun minimum, masih dibawah nilai 45 W/m². Artinya sudah memenuhi kriteria konservasi energi menurut standar Indonesia. Akan tetapi sebenarnya nilai RTTV ini pada saat SF rata-rata dan maksimum, masih melebihi standar RTTV Hong Kong, yaitu ≤ 35 W/m².

Variabel yang dibutuhkan pada perhitungan atap genteng keramik dengan insulasi :

Luas atap tak tembus cahaya(A_r)

Bangunan ini berukuran 8 m x 6,50 m. Dari pemodelan bangunan yang dibuat dengan menggunakan *software SketchUp 2020*, diperoleh luas atap *metal sheet* bangunan studi kasus sebesar 68,8 m². (Lihat Gambar 6. di bawah)



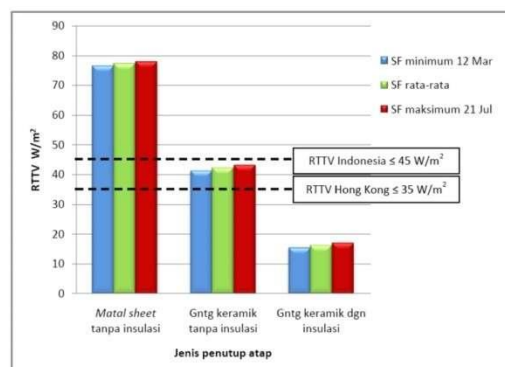
Gambar 6. Foto Eksisting Rumah dengan Luas Atap Sekitar 68,8 m²

10. Luas atap tembus cahaya(A_s)
 Dimensi *skylight* pada atap diketahui sebesar 0,6 m x 0,6 m = 0,36 m²
11. Variable ΔT_{eq} , U_r , U_s , ΔT , SC , SF sama seperti sebelumnya

Dari variabel di atas, maka RTTV untuk atap genteng keramik dengan insulasi pada jam 14.00 saat SF minimum adalah:

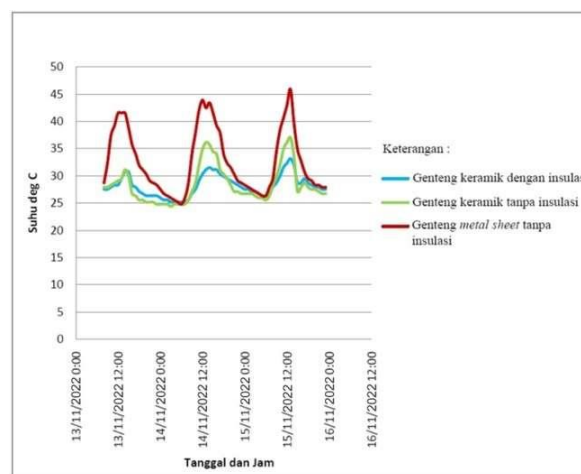
$$\begin{aligned}
 RTTV &= \{ [(A_r)(U_r)(\Delta T_{eq})] + [(A_s)(U_s)(\Delta T)] + [(A_s)(SC)(SF)] \} / (A_r + A_s) \text{ W/m}^2 \quad (7) \\
 &= [(68,8)(0,62)(24) + (0,36)(4,48)(5) + (0,36)(0,84)(130,29)] / (68,8 + 0,36) = \mathbf{15,50 \text{ W/m}^2} \\
 \text{RTTV saat SF rata-rata adalah :} \\
 &= [(68,8)(0,62)(24) + (0,36)(4,48)(5) + (0,36)(0,84)(316)] / (68,8 + 0,36) = \mathbf{16,30 \text{ W/m}^2} \\
 \text{RTTV saat SF maksimum adalah :} \\
 &= [(68,8)(0,62)(24) + (0,36)(4,48)(5) + (0,36)(0,84)(501,87)] / (68,8 + 0,36) = \mathbf{17,11 \text{ W/m}^2}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas terlihat bahwa kinerja atap genteng keramik yang dilengkapi dengan insulasi terhadap nilai RTTV, baik pada saat radiasi maksimum maupun minimum, jauh di bawah nilai 45 W/m² dan masih di bawah nilai RTTV Hong Kong yaitu 35 W/m². Artinya kinerja atap ini merupakan atap yang terbaik dari ketiga jenis atap yang diteliti, karena memenuhi kriteria konservasi energi menurut standar Indonesia dan Hong Kong yang lebih ketat dalam ketentuan konservasi energi ini.



Gambar 7. Grafik Komparasi Kinerja Atap Bangunan

Dari grafik fluktuasi suhu udara pada ruang antara atap dan plafond di bawah ini (lihat Gambar 8. di bawah), terlihat bahwa atap genteng *metal sheet* tanpa insulasi adalah atap yang paling panas pada saat jam 14.00. Rentang perbedaan suhu pada jam 14.00-15.00 terhadap atap genteng keramik tanpa insulasi sangat besar, yaitu 8 – 10 °C. Hal ini terjadi karena transmitansi atap *metal sheet* tanpa insulasi jauh lebih besar dari genteng keramik tanpa insulasi, yaitu $3,18 \text{ W/m}^2 > 1,7 \text{ W/m}^2$. Sehingga panas matahari yang masuk menjadi lebih banyak. Dalam hal ini hipotesis penulis di awal terbukti, bahwa atap genteng *metal sheet* tanpa insulasi akan memiliki nilai RTTV yang melebihi standar konservasi energi, dan pada uji fluktuasi suhu akan lebih panas dari pada atap genteng keramik tanpa insulasi pada saat jam 14.00.



Gambar 8. Grafik komparasi fluktuasi suhu udara yang terjadi pada ruang antara atap dan plafond pada bangunan studi kasus

Simpulan

Hasil penelitian dan pengolahan data mengenai perhitungan RTTV, maka penutup atap yang memenuhi kriteria konservasi energi dapat disimpulkan bahwa jenis atap di antara atap *metal sheet* tanpa insulasi, genteng keramik tanpa insulasi, dan genteng keramik dengan insulasi, yang memenuhi nilai RTTV di bawah 45 W/m^2 adalah atap genteng keramik, baik yang dilengkapi insulasi maupun tidak. Nilai RTTV terkecil dicapai oleh atap genteng keramik yang dilengkapi insulasi. Hal ini terjadi karena atap yang dilengkapi insulasi *aluminium foil* memiliki nilai transmitansi atap (U_r) yang paling kecil. Dengan demikian maka bangunan yang paling memenuhi aspek konservasi energi adalah bangunan dengan atap genteng keramik yang dilengkapi insulasi, sedangkan yang sangat tidak memenuhi persyaratan konservasi energi ialah bangunan yang menggunakan atap *metal sheet* tanpa insulasi.

Daftar Pustaka

- Budhyowati, M.Y. Noorwahyu et al. 2023. "Efektifitas Penggunaan Plafon Sebagai Pendingin Ruang Dalam." *Jurnal Teknik Sipil Terapan* 4(3): 142.
- Budhyowati, M Y Noorwahyu. 2022. "Kajian Konstruksi Atap Bangunan Hemat Energi." *Jurnal Teknik Sipil Terapan* 4(2): 45.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1993. *Standar Tata Cara Perencanaan Teknis Konservasi Energi Pada Bangunan Gedung (SK SNI T-14- 1993-03)*. Bandung: Yayasan Lembaga Penelitian Masalah Bangunan.
- Dien, Michael, Jeffrey Kindangen, and Cynthia Wuisang. 2021. "Penggunaan Material Atap Terhadap Beban Panas Pada Hunian Di Perumahan Sederhana Di Kota Manado." *Jurnal Spasial* 8(3): 303–10. <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/spasial/article/download/35840/33459>.
- Kementrian ESDM. 2014. "Outlook Energi Indonesia." *Dewan Energi Nasional Republik Indonesia* Jakarta.
- Koenigsberger, T. G. Ingersoll, Alan Mayhew and S. V. Szokolay. 1974. *Manual of Tropical Housing and Building*. London: Longman Group Limited.
- Lippsmeier, George. 1994. *Bangunan Tropis*. Edisi ke 2. ed. Syahmir Nasution. Penerbit Erlangga.
- Marina. 2020. "Dampak Lapisan Konstruksi Atap Terhadap Suhu Ruang." *AGREGAT* 5(2).
- Ruliyanto, Ruliyanto, and Eddy Prianto. 2023. "Pengaruh Atap Transparan Terhadap Kinerja Termal Gedung Persipda Kota Salatiga." *Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil (Proteksi)* 5(2): 67–83.
- Soegijanto. 2000. *Bangunan Di Indonesia Dengan Iklim Tropis Lembab Di Tinjau Dari Aspek Fisika Bangunan*. ed. Fakultas Teknologi Industri. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Szokolay, S.V. 1980. *Environmental Science Hand Book for Architect and Builders*. London: The Construction Press Lancaster.