

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Evaluasi atap bangunan studi kasus terhadap nilai RTTV

4.1.1 Penentuan faktor radiasi matahari representatif

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.

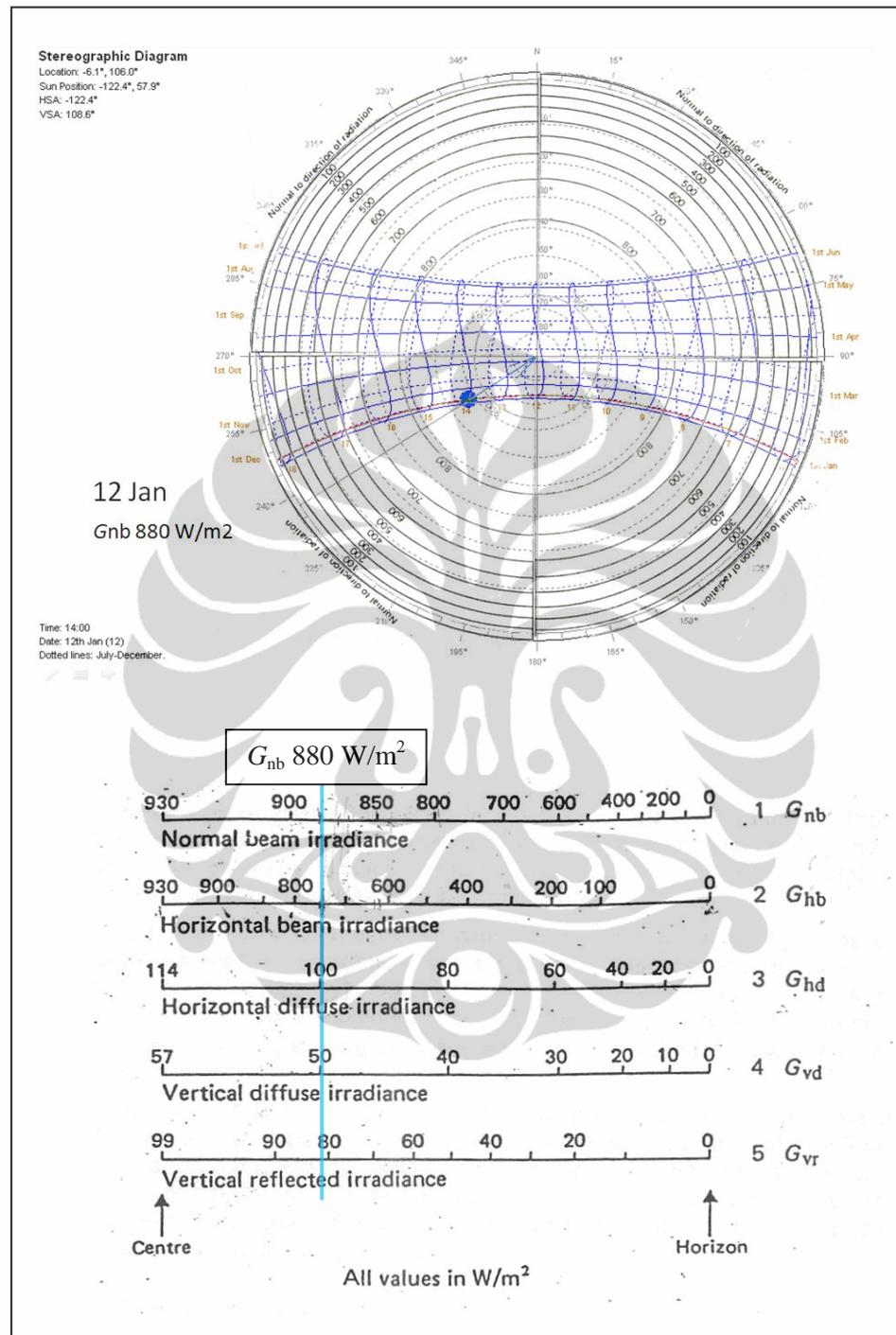
Dalam menentukan nilai *SF* yang representatif, maka terlebih dahulu harus mengetahui waktu-waktu yang mewakili radiasi (iradians) minimum dan maksimum dalam setahun. Waktu-waktu tersebut ialah tanggal 12 dan 21 Januari, 12 dan 21 Maret, 12 dan 21 Juli, dan 12 dan 21 September¹⁴. Semuanya diambil pada saat jam terpanas yaitu jam 14.00.

- a. Irradians pada bidang dengan kemiringan 30° untuk Kota Depok tanggal 12 Januari jam 14.00.

Langkah yang dilakukan untuk mengetahui nilai irradiance pada tiap tanggal representatif dibutuhkan data diagram matahari (*solar chart*) untuk Kota Depok, yaitu dengan memasukkan *latitude* atau garis lintang $-6,1^\circ$ dan *longitude* atau bujur 106° . Kemudian di-*overlay* dengan diagram kalkulator radiasi pada bidang normal.

¹⁴ Berdasarkan peraturan nasional bidang konservasi energi tahun 1993

Hal ini bertujuan untuk mencari variabel yang dibutuhkan untuk menemukan jumlah radiasi pada bidang miring atap.



Gambar 4.1 Hasil overlay sun-path dan diagram iradians bidang normal untuk radiasi

Kota Depok pada tanggal 12 Januari jam 14.00. diperoleh $G_{nb} 880 \text{ W/m}^2$

(Sumber : Sun-path dari software Ecotect v5.6, diagram kalkulator iradians dikutip dari *Manual of Tropical Housing and Building*, Koenigsberger and Szokolay, 1974, dan *Radiation scales* dikutip dari SV Szokolay, *Environmental Science Hand Book for Architect and Builders*, London: The Construction Press Lancaster, 1980)

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:

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

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

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

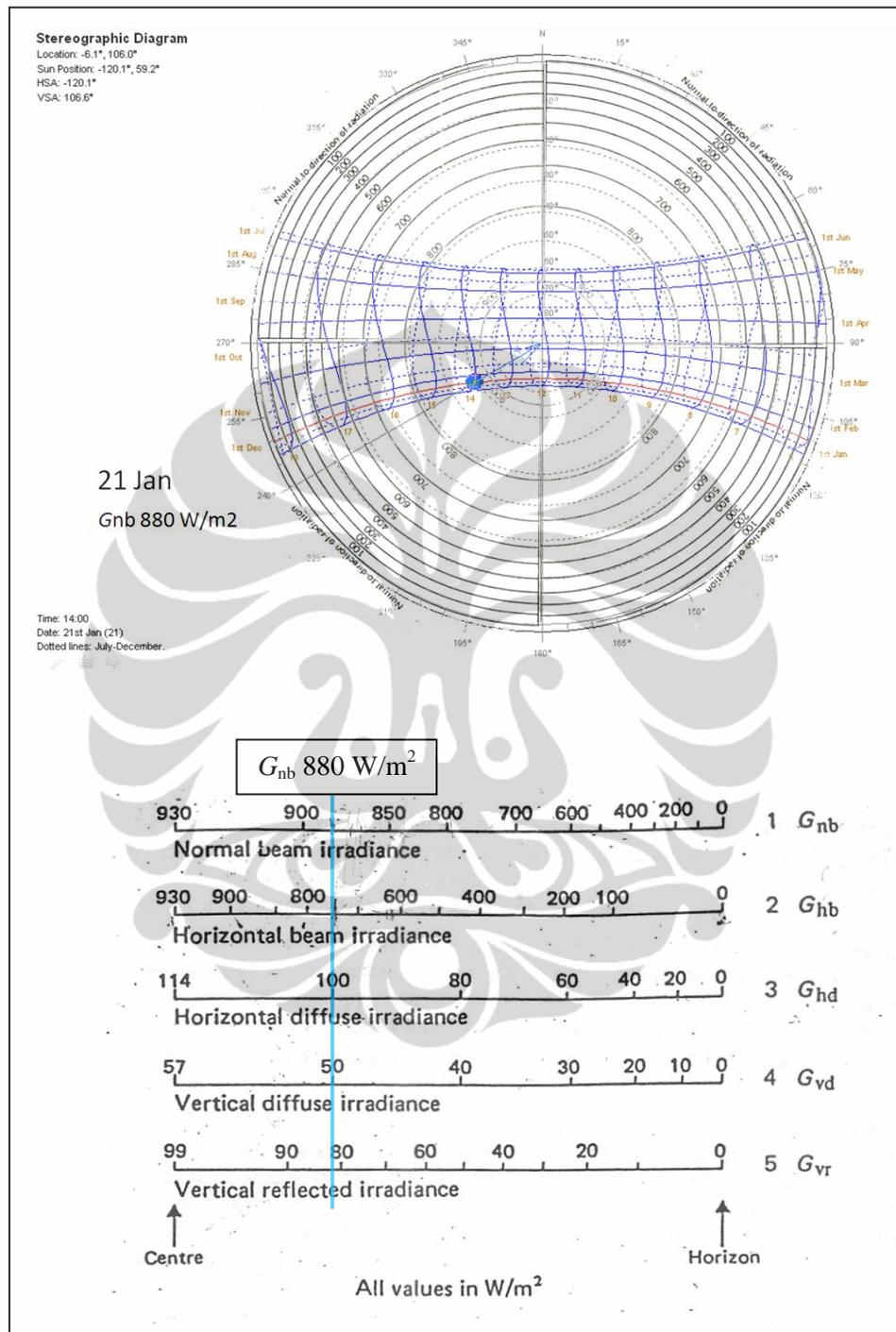
Nilai iradians yang dipantulkan (*reflected*) pada bidang dengan kemiringan 30° (atap) dengan $\rho = 0,2$ (reflektansi untuk iklim tropis lembab) adalah:

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

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

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

- b. Irradians pada bidang dengan kemiringan 30° untuk Kota Depok tanggal 21 Januari jam 14.00.



Gambar 4.2 Hasil *overlay sun-path* dan diagram iradians bidang normal untuk radiasi

Kota Depok pada tanggal 21 Januari jam 14.00. diperoleh $G_{nb} 880 \text{ W/m}^2$

(Sumber : *Sun-path* dari software *Ecotect v5.6*, diagram kalkulator iradians dikutip dari *Manual of Tropical Housing and Building*, Koenigsberger and Szokolay, 1974, dan *Radiation scales* dikutip dari SV Szokolay, *Environmental Science Hand Book for Architect and Builders*, London: The Construction Press Lancaster, 1980)

Dari diagram lintasan matahari, diketahui posisi matahari menunjukkan sudut bayangan matahari vertikal(VSA) atau $\beta = 106,6^\circ$ dan *altitude* atau $\gamma = 59,2^\circ$. 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 21 Januari jam 14.00 adalah:

$$\begin{aligned} G_{pb} &= G_{hb} (\cos \beta / \sin \gamma) \\ &= 750 (\cos 106,6 / \sin 59,2) \\ &= 750 (0,29 / 0,86) \\ &= 252,9 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

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

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

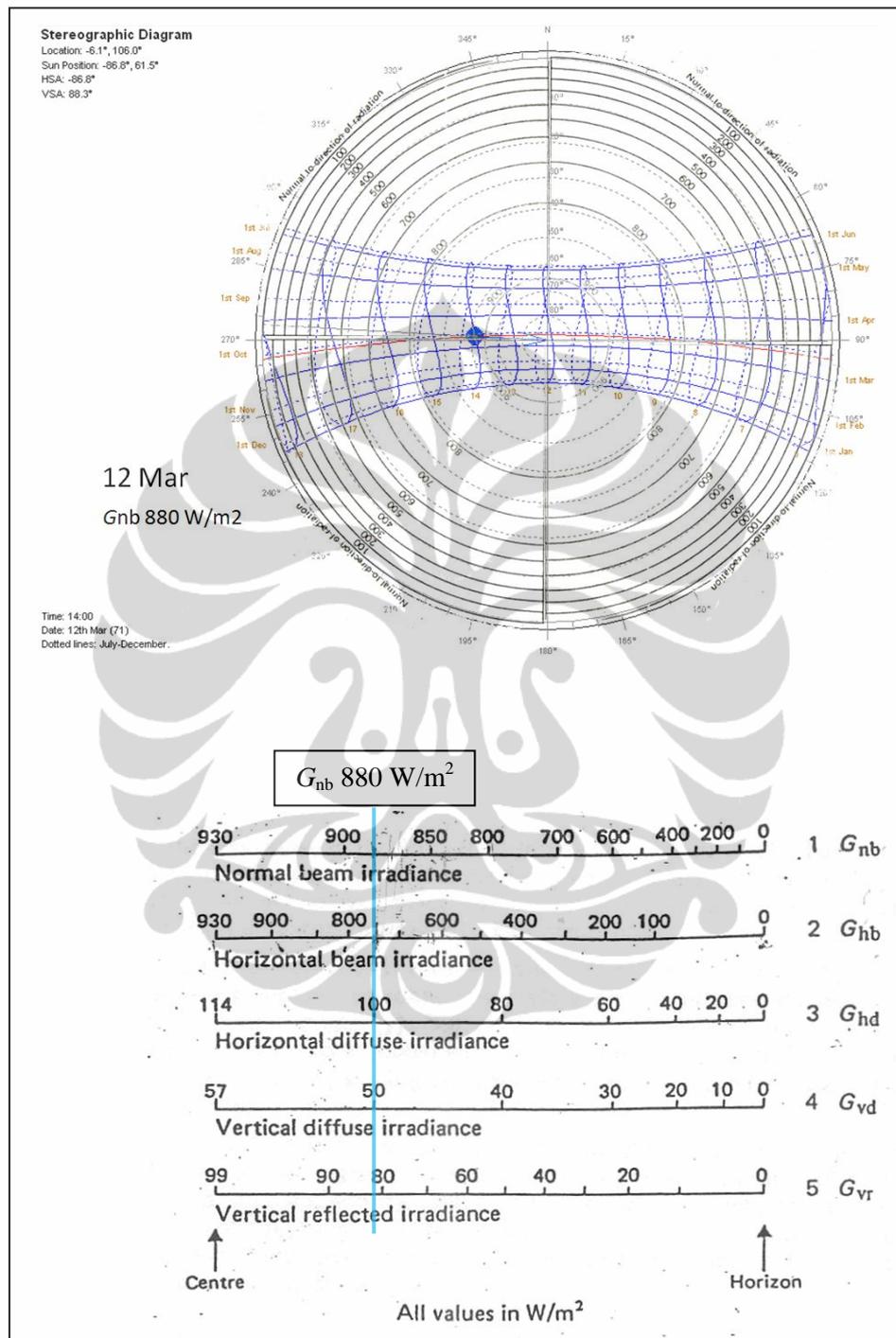
Nilai iradians yang dipantulkan (*reflected*) pada bidang dengan kemiringan 30° (atap) dengan $\rho = 0,2$ (reflektansi untuk iklim tropis lembab) adalah:

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

Maka total nilai iradians pada bidang dengan kemiringan 30° (atap) untuk kawasan Kota Depok tanggal 21 Januari jam 14.00 adalah:

$$\begin{aligned} G_p &= G_{pb} + G_{pd} + G_{pr} \\ &= 252,9 + 93,25 + 11,475 \\ &= 357,63 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

- c. Irradians pada bidang dengan kemiringan 30° untuk Kota Depok tanggal 12 Maret jam 14.00.



Gambar 4.3 Hasil *overlay sun-path* dan diagram iradians bidang normal untuk radiasi

Kota Depok pada tanggal 12 Maret jam 14.00. diperoleh $G_{nb} 880 \text{ W/m}^2$

(Sumber : *Sun-path* dari software *Ecotect v5.6*, diagram kalkulator iradians dikutip dari *Manual of Tropical Housing and Building*, Koenigsberger and Szokolay, 1974, dan *Radiation scales* dikutip dari SV Szokolay, *Environmental Science Hand Book for Architect and Builders*, London: The Construction Press Lancaster, 1980)

Dari diagram lintasan matahari, diketahui posisi matahari menunjukkan sudut bayangan matahari vertikal(VSA) atau $\beta = 88,3^\circ$ dan *altitude* atau $\gamma = 61,5^\circ$. 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 Maret jam 14.00 adalah:

$$\begin{aligned} G_{pb} &= G_{hb} (\cos \beta / \sin \gamma) \\ &= 750 (\cos 88,3 / \sin 61,5) \\ &= 750 (0,03 / 0,88) \\ &= 25,57 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

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

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

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

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

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

$$\begin{aligned} G_p &= G_{pb} + G_{pd} + G_{pr} \\ &= 25,57 + 93,25 + 11,475 \\ &= 130,29 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

Dari diagram lintasan matahari, diketahui posisi matahari menunjukkan sudut bayangan matahari vertikal(VSA) atau $\beta = 84,2^\circ$ dan *altitude* atau $\gamma = 60,3^\circ$. 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 21 Maret jam 14.00 adalah:

$$\begin{aligned} G_{pb} &= G_{hb} (\cos \beta / \sin \gamma) \\ &= 750 (\cos 84,2 / \sin 60,3) \\ &= 750 (0,91 / 0,87) \\ &= 86,21 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

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

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

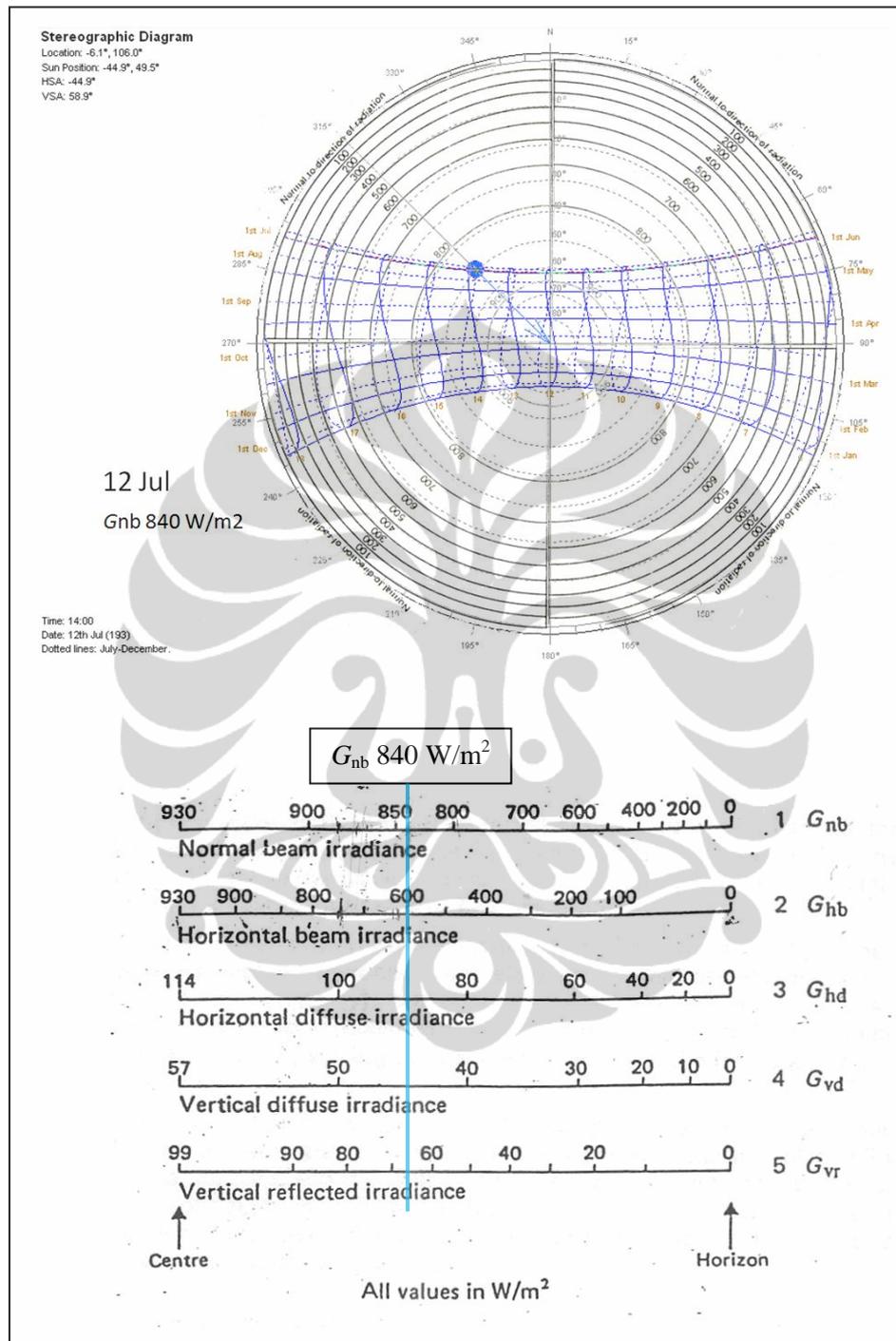
Nilai iradians yang dipantulkan (*reflected*) pada bidang dengan kemiringan 30° (atap) dengan $\rho = 0,2$ (reflektansi untuk iklim tropis lembab) adalah:

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

Maka total nilai iradians pada bidang dengan kemiringan 30° (atap) untuk kawasan Kota Depok tanggal 21 Maret jam 14.00 adalah:

$$\begin{aligned} G_p &= G_{pb} + G_{pd} + G_{pr} \\ &= 86,21 + 93,25 + 11,475 \\ &= 190,93 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

- e. Irradians pada bidang dengan kemiringan 30° untuk Kota Depok tanggal 12 Juli jam 14.00.



Gambar 4.5 Hasil *overlay sun-path* dan diagram iradians bidang normal untuk radiasi

Kota Depok pada tanggal 12 Juli jam 14.00. diperoleh $G_{nb} 840 \text{ W/m}^2$

(Sumber : *Sun-path* dari software *Ecotect v5.6*, diagram kalkulator iradians dikutip dari *Manual of Tropical Housing and Building*, Koenigsberger and Szokolay, 1974, dan *Radiation scales* dikutip dari SV Szokolay, *Environmental Science Hand Book for Architect and Builders*, London: The Construction Press Lancaster, 1980)

Dari diagram lintasan matahari, diketahui posisi matahari menunjukkan sudut bayangan matahari vertikal(VSA) atau $\beta = 58,9^\circ$ dan *altitude* atau $\gamma = 49,5^\circ$. Dari diagram skala radiasi diperoleh nilai G_{hb} sebesar 600 W/m^2 dan G_{hd} sebesar 88 W/m^2 . Maka nilai iradians pada bidang tertentu untuk tanggal 12 Juli jam 14.00 adalah:

$$\begin{aligned} G_{pb} &= G_{hb} (\cos \beta / \sin \gamma) \\ &= 600 (\cos 58,9 / \sin 49,5) \\ &= 600 (0,52 / 0,76) \\ &= 410,53 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} G_{pd} &= G_{hd} (1 + \cos \psi) / 2 \\ &= 88 (1 + \cos 30) / 2 \\ &= 82,06 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

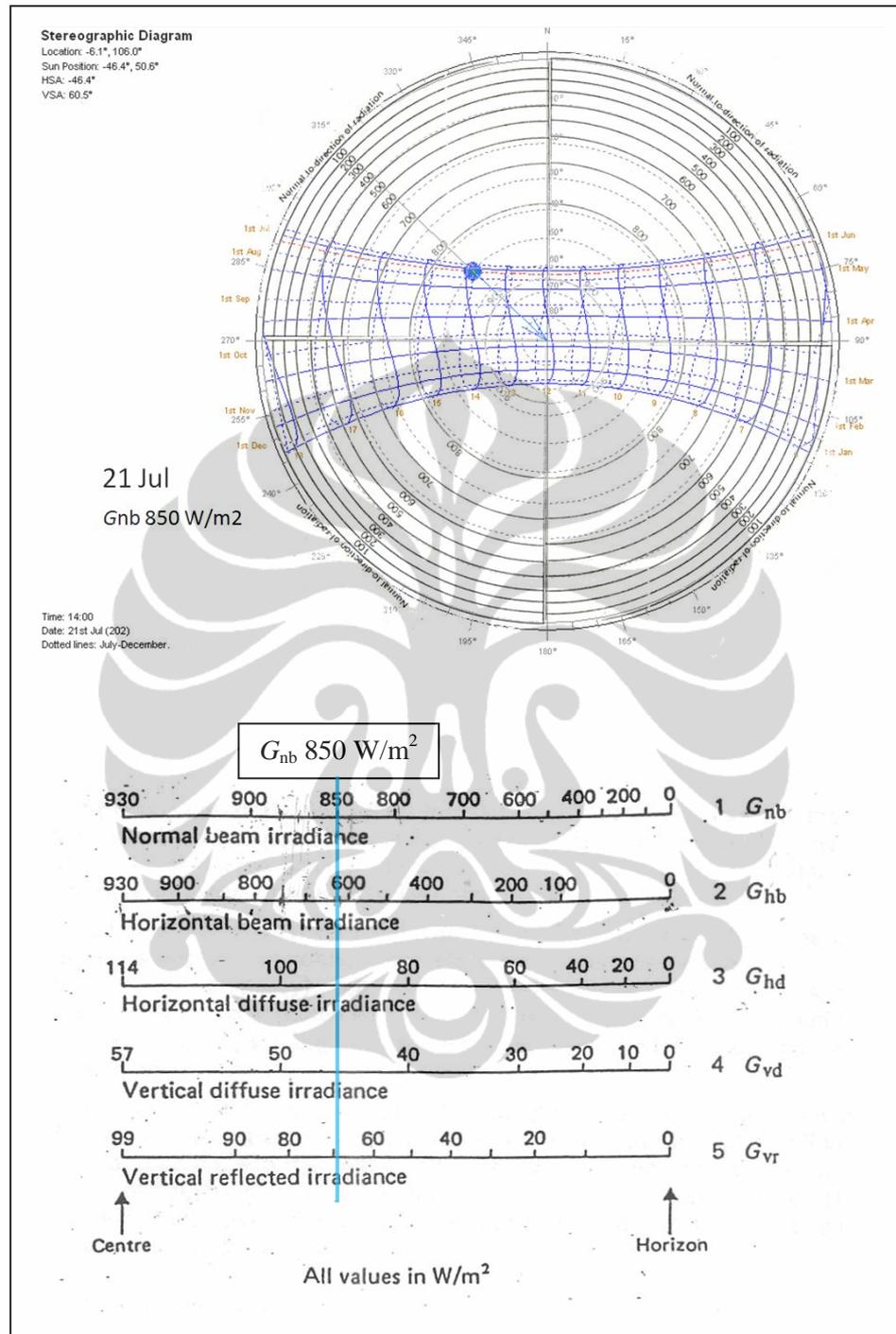
Nilai iradians yang dipantulkan (*reflected*) pada bidang dengan kemiringan 30° (atap) dengan $\rho = 0,2$ (reflektansi untuk iklim tropis lembab) adalah:

$$\begin{aligned} G_{pr} &= \rho G_h (1 - \cos \psi) / 2 \\ &= 0,2 (G_{hb} + G_{hd}) (1 - \cos 30) / 2 \\ &= 0,2 (600 + 88) (1 - 0,865) / 2 \\ &= 9,288 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} G_p &= G_{pb} + G_{pd} + G_{pr} \\ &= 410,53 + 82,06 + 9,288 \\ &= 501,87 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

- f. Irradians pada bidang dengan kemiringan 30° untuk Kota Depok tanggal 21 Juli jam 14.00.



Gambar 4.6 Hasil *overlay sun-path* dan diagram iradians bidang normal untuk radiasi Kota Depok pada tanggal 21 Juli jam 14.00. diperoleh $G_{nb} 850 \text{ W/m}^2$

(Sumber : *Sun-path* dari software *Ecotect v5.6*, diagram kalkulator iradians dikutip dari *Manual of Tropical Housing and Building*, Koenigsberger and Szokolay, 1974, dan *Radiation scales* dikutip dari SV Szokolay, *Environmental Science Hand Book for Architect and Builders*, London: The Construction Press Lancaster, 1980)

Dari diagram lintasan matahari, diketahui posisi matahari menunjukkan sudut bayangan matahari vertikal(VSA) atau $\beta = 60,5^\circ$ dan *altitude* atau $\gamma = 50,6^\circ$. Dari diagram skala radiasi diperoleh nilai G_{hb} sebesar 620 W/m^2 dan G_{hd} sebesar 91 W/m^2 . Maka nilai irradians pada bidang tertentu untuk tanggal 21 Juli jam 14.00 adalah:

$$\begin{aligned} G_{pb} &= G_{hb} (\cos \beta / \sin \gamma) \\ &= 620 (\cos 60,5 / \sin 50,6) \\ &= 620 (0,49 / 0,77) \\ &= 394,55 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} G_{pd} &= G_{hd} (1 + \cos \psi) / 2 \\ &= 91 (1 + \cos 30) / 2 \\ &= 84,86 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

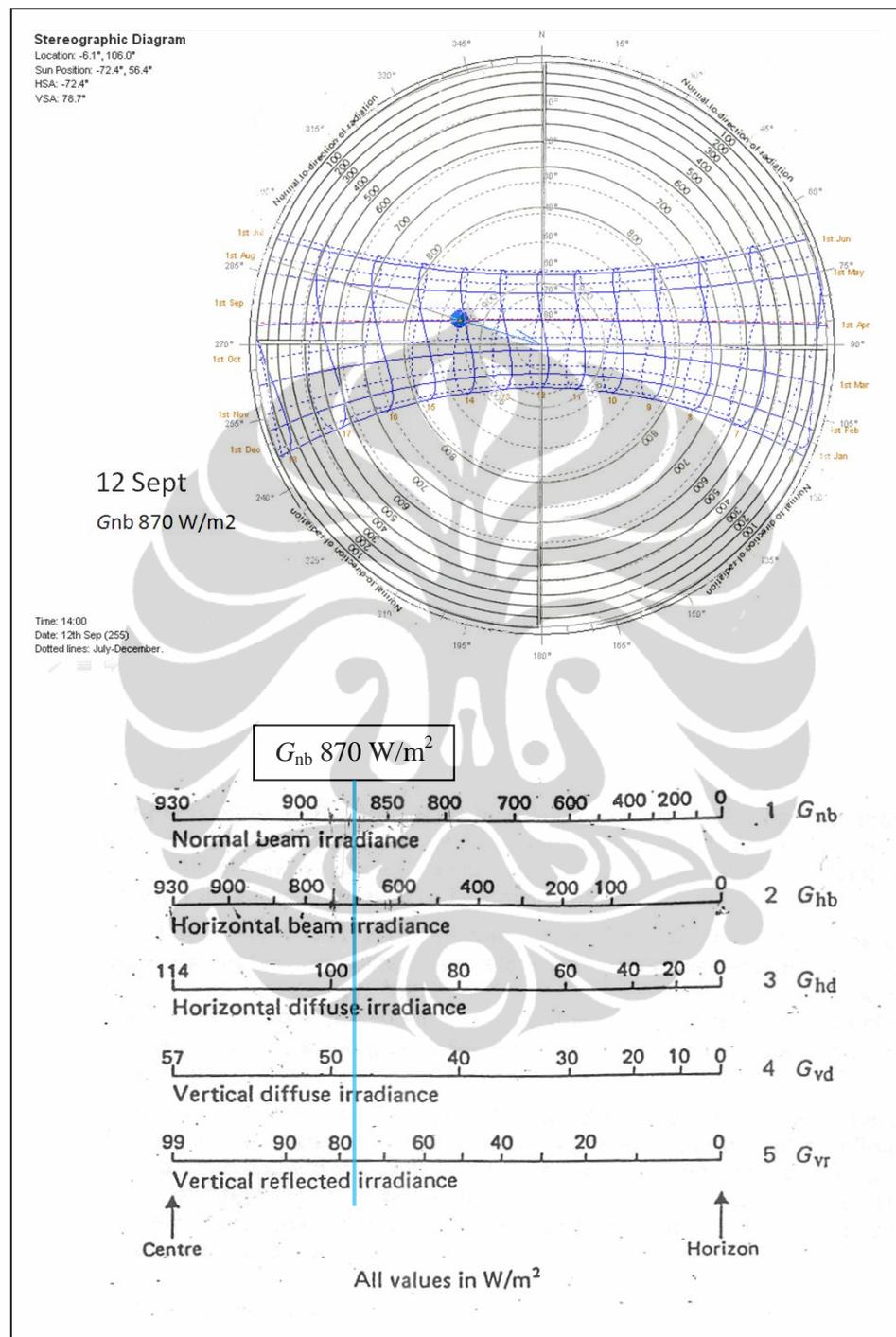
Nilai irradians yang dipantulkan (*reflected*) pada bidang dengan kemiringan 30° (atap) dengan $\rho = 0,2$ (reflektansi untuk iklim tropis lembab) adalah:

$$\begin{aligned} G_{pr} &= \rho G_h (1 - \cos \psi) / 2 \\ &= 0,2 (G_{hb} + G_{hd}) (1 - \cos 30) / 2 \\ &= 0,2 (620 + 91) (1 - 0,865) / 2 \\ &= 9,6 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

Maka total nilai irradians pada bidang dengan kemiringan 30° (atap) untuk kawasan Kota Depok tanggal 21 Juli jam 14.00 adalah:

$$\begin{aligned} G_p &= G_{pb} + G_{pd} + G_{pr} \\ &= 394,55 + 84,86 + 9,6 \\ &= 489,01 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

- g. Irradians pada bidang dengan kemiringan 30° untuk Kota Depok tanggal 12 September jam 14.00.



Gambar 4.7 Hasil *overlay sun-path* dan diagram iradians bidang normal untuk radiasi

Kota Depok pada tanggal 12 September jam 14.00. diperoleh $G_{nb} 870 \text{ W/m}^2$

(Sumber : *Sun-path* dari software *Ecotect v5.6*, diagram kalkulator iradians dikutip dari *Manual of Tropical Housing and Building*, Koenigsberger and Szokolay, 1974, dan *Radiation scales* dikutip dari SV Szokolay, *Environmental Science Hand Book for Architect and Builders*, London: The Construction Press Lancaster, 1980)

Dari diagram lintasan matahari, diketahui posisi matahari menunjukkan sudut bayangan matahari vertikal(VSA) atau $\beta = 78,7^\circ$ dan *altitude* atau $\gamma = 56,4^\circ$. Dari diagram skala radiasi diperoleh nilai G_{hb} sebesar 700 W/m^2 dan G_{hd} sebesar 95 W/m^2 . Maka nilai irradians pada bidang tertentu untuk tanggal 12 September jam 14.00 adalah:

$$\begin{aligned} G_{pb} &= G_{hb} (\cos \beta / \sin \gamma) \\ &= 700 (\cos 78,7 / \sin 56,4) \\ &= 700 (0,2 / 0,83) \\ &= 168,67 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} G_{pd} &= G_{hd} (1 + \cos \psi) / 2 \\ &= 95 (1 + \cos 30) / 2 \\ &= 88,59 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

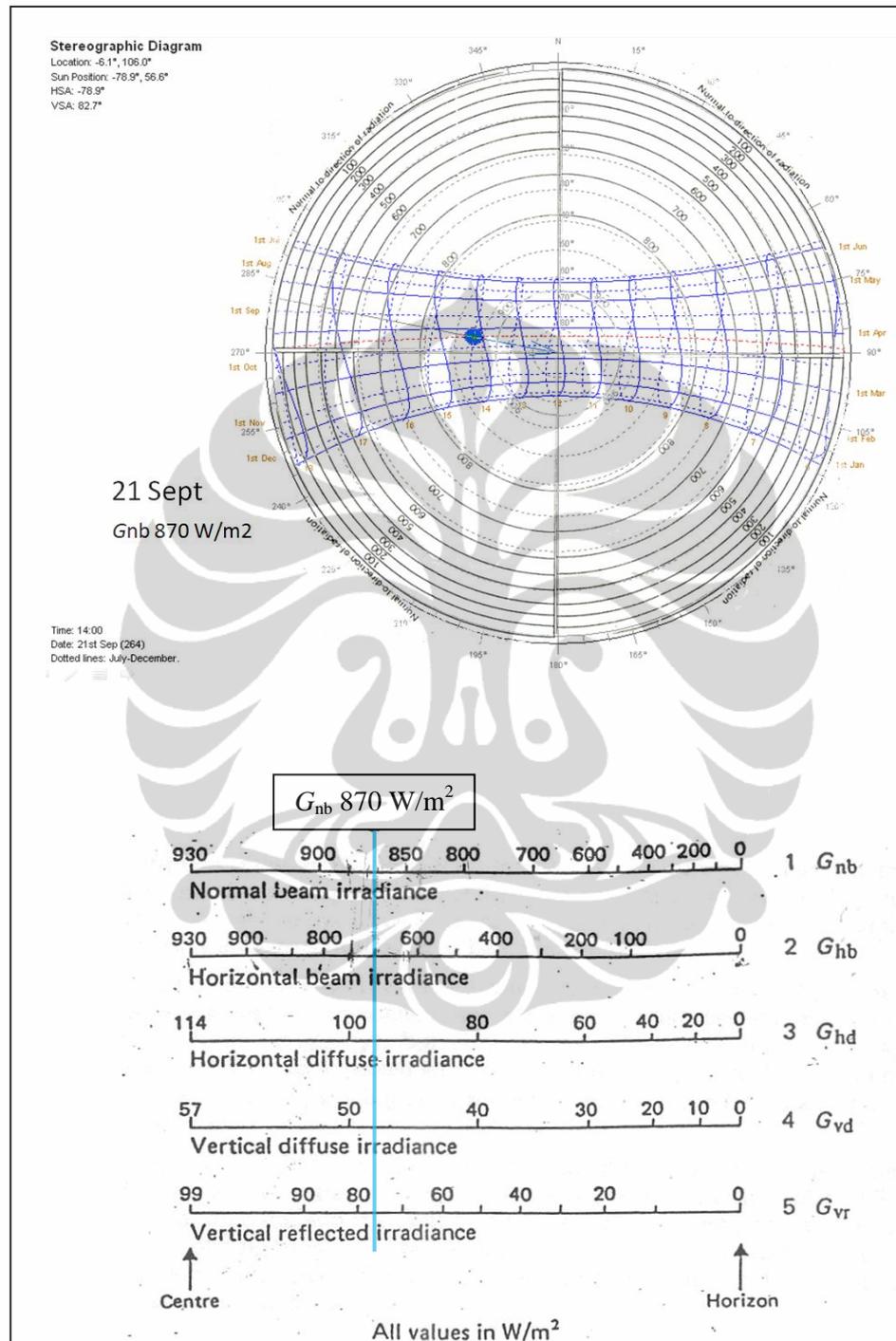
Nilai irradians yang dipantulkan (*reflected*) pada bidang dengan kemiringan 30° (atap) dengan $\rho = 0,2$ (reflektansi untuk iklim tropis lembab) adalah:

$$\begin{aligned} G_{pr} &= \rho G_h (1 - \cos \psi) / 2 \\ &= 0,2 (G_{hb} + G_{hd}) (1 - \cos 30) / 2 \\ &= 0,2 (700 + 95) (1 - 0,865) / 2 \\ &= 10,73 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} G_p &= G_{pb} + G_{pd} + G_{pr} \\ &= 168,67 + 88,59 + 10,73 \\ &= 268 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

- h. Irradians pada bidang dengan kemiringan 30° untuk Kota Depok tanggal 21 September jam 14.00.



Gambar 4.8 Hasil overlay sun-path dan diagram iradians bidang normal untuk radiasi

Kota Depok pada tanggal 21 September jam 14.00. diperoleh G_{nb} 870 W/m^2

(Sumber : Sun-path dari software Ecotect v5.6, diagram kalkulator iradians dikutip dari *Manual of Tropical Housing and Building*, Koenigsberger and Szokolay, 1974, dan *Radiation scales* dikutip dari SV Szokolay, *Environmental Science Hand Book for Architect and Builders*, London: The Construction Press Lancaster, 1980)

Dari diagram lintasan matahari, diketahui posisi matahari menunjukkan sudut bayangan matahari vertikal(VSA) atau $\beta = 82,7^\circ$ dan *altitude* atau $\gamma = 56,6^\circ$. Dari diagram skala radiasi diperoleh nilai G_{hb} sebesar 700 W/m^2 dan G_{hd} sebesar 95 W/m^2 . Maka nilai irradians pada bidang tertentu untuk tanggal 21 September jam 14.00 adalah:

$$\begin{aligned} G_{pb} &= G_{hb} (\cos \beta / \sin \gamma) \\ &= 700 (\cos 82,7 / \sin 56,6) \\ &= 700 (0,13 / 0,83) \\ &= 109,64 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} G_{pd} &= G_{hd} (1 + \cos \psi) / 2 \\ &= 95 (1 + \cos 30) / 2 \\ &= 88,59 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} G_{pr} &= \rho G_h (1 - \cos \psi) / 2 \\ &= 0,2 (G_{hb} + G_{hd}) (1 - \cos 30) / 2 \\ &= 0,2 (700 + 95) (1 - 0,865) / 2 \\ &= 10,73 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

Maka total nilai irradians pada bidang dengan kemiringan 30° (atap) untuk kawasan Kota Depok tanggal 21 September jam 14.00 adalah:

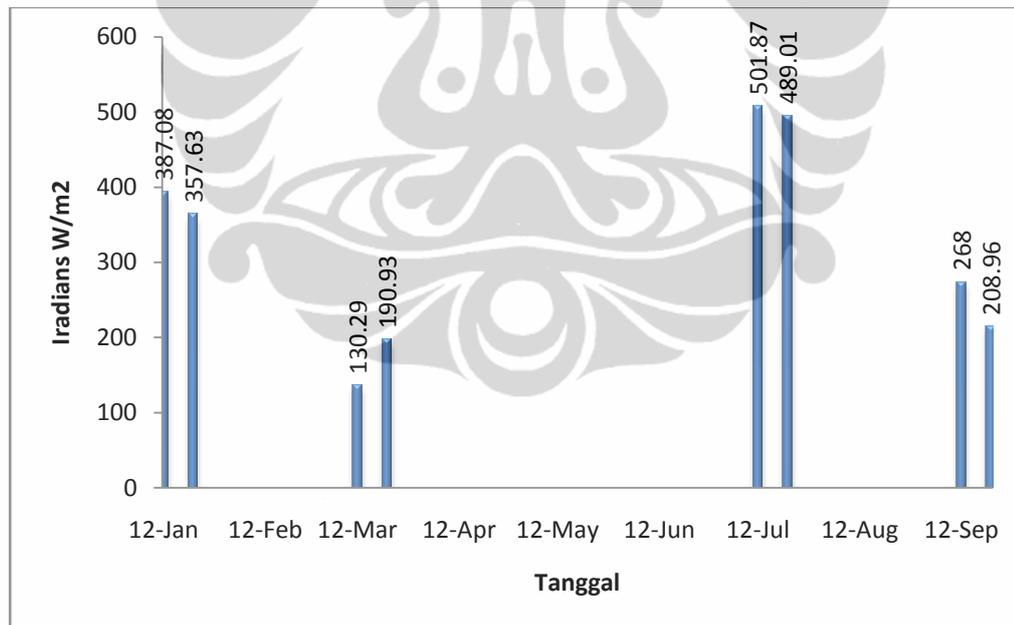
$$\begin{aligned} G_p &= G_{pb} + G_{pd} + G_{pr} \\ &= 109,64 + 88,59 + 10,73 \\ &= 208,96 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas dapat terlihat rentang SF maksimum dan minimum untuk Kota Depok sebagai berikut:

Tabel 4.1 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

Sumber: Berdasarkan perhitungan menurut skala radiasi Szokolay



Gambar 4.9 Grafik iradians pada bidang miring 30° pada tanggal representatif untuk Kota Depok jam 14.00, asumsi untuk kondisi langit cerah. Terlihat bahwa SF maksimum terjadi pada tanggal 12 Juli dan minimum terjadi pada tanggal 12 Maret

(Sumber : Berdasarkan perhitungan menurut skala radiasi Szokolay, pengolahan data menggunakan *Microsoft Excel 2007*)

4.1.2 Perhitungan RTTV terhadap atap bangunan perumahan studi kasus

a. Bangunan perumahan dengan penutup atap *metal sheet* tanpa insulasi

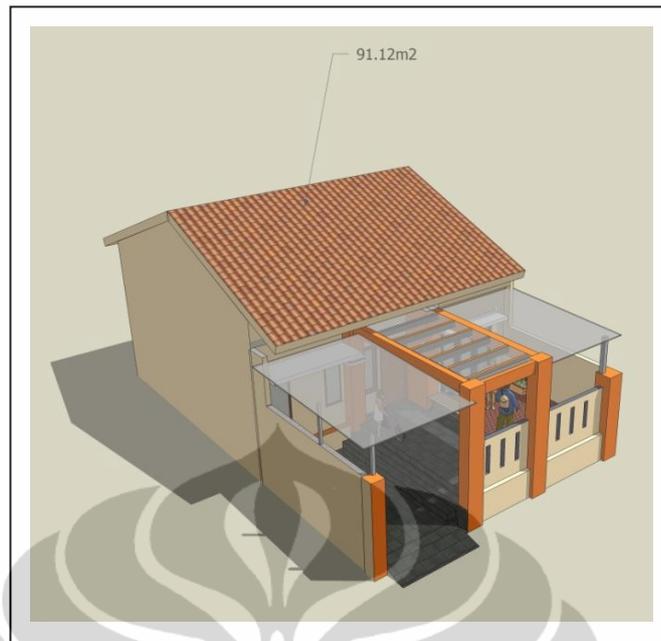
Variabel yang dibutuhkan :

- Luas atap tak tembus cahaya(A_r)



Gambar 4.10 Foto eksisting rumah dengan atap *metal sheet* tanpa insulasi di kawasan Perumahan Deptan Atsiri Permai yang berlokasi di jalan Cipayung Depok (Sumber: Dokumen pribadi penulis, November 2009)

Bangunan yang berukuran 8 m x 8 m ini dibuat modelnya dengan menggunakan *software Google SketchUp 6*. Kemudian diperoleh luas atap *metal sheet* bangunan studi kasus ini sebesar 91,12m². (Lihat gambar 4.11 di bawah)



Gambar 4.11 Skematik bangunan studi kasus yang menggunakan *metal sheet* tanpa insulasi menunjukkan luas atap sekitar 91,12 m²
(Sumber: Dokumen penulis menggunakan *software Google Sketchup 6*, 2009)

- Luas atap tembus cahaya (A_s)
Dimensi *skylight* pada atap diketahui sebesar 1 m x 0,4 m = 0,4 m²
- Beda suhu ekuivalen (ΔT_{eq})
Atap genteng *metal sheet* ini memiliki berat per meter persegi 3,08 kg/m².¹⁵
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
- Transmittansi atap tak tembus cahaya (U_r)
Berdasarkan data dari Koenigsberger (lihat lampiran halaman 92), nilai transmittansi atap *metal sheet* tanpa insulasi dengan plafond bahan gipsum adalah 3,18 W/m² degC.
- Transmittansi lubang atap atau bidang yang tembus cahaya (U_s)
Berdasarkan data dari Koenigsberger (lihat lampiran halaman 93), nilai transmittansi bidang transparan adalah 4,48 W/m² degC

¹⁵ www.iklanwebid.com/.../specialist-galvalume-rangka-atap.html, diakses pada tanggal 14 Desember 2009

- Beda suhu antara kondisi perencanaan luar dan dalam (ΔT) diambil 5°C .¹⁶
- Koefisien peneduh (SC) lubang cahaya atap transparan menurut Koenigsberger adalah 0,84
- Faktor radiasi matahari (SF) diambil dari variabel yang telah dihitung di atas, yaitu minimum $130,29 \text{ W/m}^2$, rata-rata (ketentuan dari Departemen Pekerjaan Umum) yaitu 316 W/m^2 , dan maksimum yaitu $501,87 \text{ W/m}^2$

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

$$\begin{aligned} \text{RTTV} &= \{ [(A_r)(U_r)(\Delta T_{\text{eq}})] + [(A_s)(U_s)(\Delta T)] + [(A_s)(\text{SC})(\text{SF})] \} / (A_r + A_s) \text{ W/m}^2 \\ &= [(91,12)(3,18)(24) + (0,4)(4,48)(5) + (0,4)(0,84)(130,29)] / (91,12 + 0,4) \\ &= \mathbf{76,56 \text{ W/m}^2} \end{aligned}$$

RTTV saat SF rata-rata adalah :

$$\begin{aligned} \text{RTTV} &= \{ [(A_r)(U_r)(\Delta T_{\text{eq}})] + [(A_s)(U_s)(\Delta T)] + [(A_s)(\text{SC})(\text{SF})] \} / (A_r + A_s) \text{ W/m}^2 \\ &= [(91,12)(3,18)(24) + (0,4)(4,48)(5) + (0,4)(0,84)(316)] / (91,12 + 0,4) \\ &= \mathbf{77,24 \text{ W/m}^2} \end{aligned}$$

RTTV saat SF maksimum adalah :

$$\begin{aligned} \text{RTTV} &= \{ [(A_r)(U_r)(\Delta T_{\text{eq}})] + [(A_s)(U_s)(\Delta T)] + [(A_s)(\text{SC})(\text{SF})] \} / (A_r + A_s) \text{ W/m}^2 \\ &= [(91,12)(3,18)(24) + (0,4)(4,48)(5) + (0,4)(0,84)(501,87)] / (91,12 + 0,4) \\ &= \mathbf{77,93 \text{ W/m}^2} \end{aligned}$$

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/m^2 . Hal ini berarti bila bangunan menggunakan sistem pengkondisian udara maka akan boros energi.

b. Bangunan perumahan dengan penutup atap genteng keramik tanpa insulasi

Variabel yang dibutuhkan :

- Luas atap tak tembus cahaya (A_r)

¹⁶ SNI T-14-1993-03 tentang rancangan teknis konservasi energi pada bangunan gedung.

Bangunan ini berukuran 6,50 m x 6,50 m. Dari pemodelan bangunan yang dibuat dengan menggunakan *software Google Sketchup 6*, diperoleh luas atap *metal sheet* bangunan studi kasus sebesar 60,43 m². (Lihat gambar 4.13 di bawah)



Gambar 4.12 Foto eksisting rumah dengan atap genteng keramik tanpa insulasi di kawasan Perumahan Mutiara Darussalam yang berlokasi di jalan Pitara Depok (Sumber: Dokumen pribadi penulis, November 2009)



Gambar 4.13 Skematik bangunan studi kasus yang menggunakan genteng keramik tanpa insulasi menunjukkan luas atap sekitar 60,43 m² (Sumber: Dokumen penulis menggunakan *software Google Sketchup 6*, 2009)

- Luas atap tembus cahaya (A_s)
Dimensi *skylight* pada atap diketahui sebesar $0,6 \text{ m} \times 0,6 \text{ m} = 0,36 \text{ m}^2$
- Beda suhu ekuivalen (ΔT_{eq})
Berdasarkan data dari Puslitbangkim Bandung, atap genteng keramik ini memiliki berat per meter persegi sekitar 23 kg/m^2 . Berdasarkan data dari Departemen Pekerjaan Umum, atap ini dikategorikan sebagai konstruksi atap ringan, maka beda suhu ekuivalen untuk atap yang ringan ($< 50 \text{ Kg/m}^2$) adalah $24 \text{ }^\circ\text{C}$
- Transmittansi atap tak tembus cahaya (U_r)
Berdasarkan data dari Koenigsberger (lihat lampiran halaman 92), nilai transmittansi atap genteng keramik tanpa insulasi dengan plafond bahan gipsum adalah $1,7 \text{ W/m}^2 \text{ degC}$.
- Transmittansi lubang atap atau bidang yang tembus cahaya (U_s)
Berdasarkan data dari Koenigsberger (lihat lampiran halaman 93), nilai transmittansi bidang transparan adalah $4,48 \text{ W/m}^2 \text{ degC}$
- Beda suhu antara kondisi perencanaan luar dan dalam (ΔT) diambil 5°C .¹⁷
- Koefisien peneduh (SC) lubang cahaya atap transparan menurut Koenigsberger adalah 0,84
- Faktor radiasi matahari (SF) diambil dari variabel yang telah dihitung di atas, yaitu minimum $130,29 \text{ W/m}^2$, rata-rata (ketentuan dari Departemen Pekerjaan Umum) yaitu 316 W/m^2 , dan maksimum yaitu $501,87 \text{ W/m}^2$

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

$$\begin{aligned} \text{RTTV} &= \{ [(A_r)(U_r)(\Delta T_{eq})] + [(A_s)(U_s)(\Delta T)] + [(A_s)(SC)(SF)] \} / (A_r + A_s) \text{ W/m}^2 \\ &= [(60,43)(1,7)(24) + (0,36)(4,48)(5) + (0,36)(0,84)(130,29)] / (60,43 + \\ &\quad 0,36) \\ &= \mathbf{41,34 \text{ W/m}^2} \end{aligned}$$

RTTV saat SF rata-rata adalah :

$$\begin{aligned} \text{RTTV} &= \{ [(A_r)(U_r)(\Delta T_{eq})] + [(A_s)(U_s)(\Delta T)] + [(A_s)(SC)(SF)] \} / (A_r + A_s) \text{ W/m}^2 \\ &= [(60,43)(1,7)(24) + (0,36)(4,48)(5) + (0,36)(0,84)(316)] / (60,43 + 0,36) \end{aligned}$$

¹⁷ ibid.

$$= 42,3 \text{ W/m}^2$$

RTTV saat SF maksimum adalah :

$$\begin{aligned} \text{RTTV} &= \{ [(A_r)(U_r)(\Delta T_{eq})] + [(A_s)(U_s)(\Delta T)] + [(A_s)(SC)(SF)] \} / (A_r + A_s) \text{ W/m}^2 \\ &= [(60,43)(1,7)(24) + (0,36)(4,48)(5) + (0,36)(0,84)(501,87)] / (60,43 + \\ &\quad 0,36) \\ &= 43,19 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

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/m^2 . 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 $\leq 35 \text{ W/m}^2$.

c. Bangunan perumahan dengan penutup atap genteng keramik yang dilengkapi insulasi

Variabel yang dibutuhkan :

- Luas atap tak tembus cahaya (A_r)

Bangunan ini berukuran $8 \text{ m} \times 6,5 \text{ m}$. Dari pemodelan bangunan yang dibuat dengan menggunakan *software Google Sketchup 6*, diperoleh luas atap metal sheet bangunan studi kasus sebesar $68,8 \text{ m}^2$. (Lihat gambar 4.15 di bawah)



Gambar 4.14 Foto eksisting rumah dengan atap genteng keramik yang dilengkapi insulasi di kawasan Perumahan Mutiara Darussalam yang berlokasi di jalan Pitara Depok (Sumber: Dokumen pribadi penulis, November 2009)



Gambar 4.15 Skematik bangunan studi kasus yang menggunakan genteng keramik yang dilengkapi insulasi menunjukkan luas atap sekitar $68,8 \text{ m}^2$ (Sumber: Dokumen penulis menggunakan *software Google Sketchup 6*, 2009)

- Luas atap tembus cahaya (A_s)

Dimensi *skylight* pada atap diketahui sebesar $0,6 \text{ m} \times 0,6 \text{ m} = 0,36 \text{ m}^2$

- Beda suhu ekuivalen (ΔT_{eq})
Berdasarkan data dari Puslitbangkim Bandung, atap genteng keramik ini memiliki berat per meter persegi sekitar 23 kg/m^2 . Berdasarkan data dari Departemen Pekerjaan Umum, atap ini dikategorikan sebagai konstruksi atap ringan, maka beda suhu ekuivalen untuk atap yang ringan ($< 50 \text{ Kg/m}^2$) adalah $24 \text{ }^\circ\text{C}$
- Transmittansi atap tak tembus cahaya (U_r)
Berdasarkan data dari Koenigsberger (lihat lampiran halaman 91), nilai transmittansi atap genteng keramik yang dilengkapi dengan insulasi dan plafond bahan gipsum adalah $0,62 \text{ W/m}^2 \text{ degC}$.
- Transmittansi lubang atap atau bidang yang tembus cahaya (U_s)
Berdasarkan data dari Koenigsberger (lihat lampiran halaman 93), nilai transmittansi bidang transparan adalah $4,48 \text{ W/m}^2 \text{ degC}$
- Beda suhu antara kondisi perencanaan luar dan dalam (ΔT) diambil 5°C .¹⁸
- Koefisien peneduh (SC) lubang cahaya atap transparan menurut Koenigsberger adalah 0,84
- Faktor radiasi matahari (SF) diambil dari variabel yang telah dihitung di atas, yaitu minimum $130,29 \text{ W/m}^2$, rata-rata (ketentuan dari Departemen Pekerjaan Umum) yaitu 316 W/m^2 , dan maksimum yaitu $501,87 \text{ W/m}^2$

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

$$\begin{aligned} \text{RTTV} &= \{ [(A_r)(U_r)(\Delta T_{eq})] + [(A_s)(U_s)(\Delta T)] + [(A_s)(SC)(SF)] \} / (A_r + A_s) \text{ W/m}^2 \\ &= [(68,8)(0,62)(24) + (0,36)(4,48)(5) + (0,36)(0,84)(130,29)] / (68,8 + \\ &\quad 0,36) \\ &= \mathbf{15,50 \text{ W/m}^2} \end{aligned}$$

RTTV saat SF rata-rata adalah :

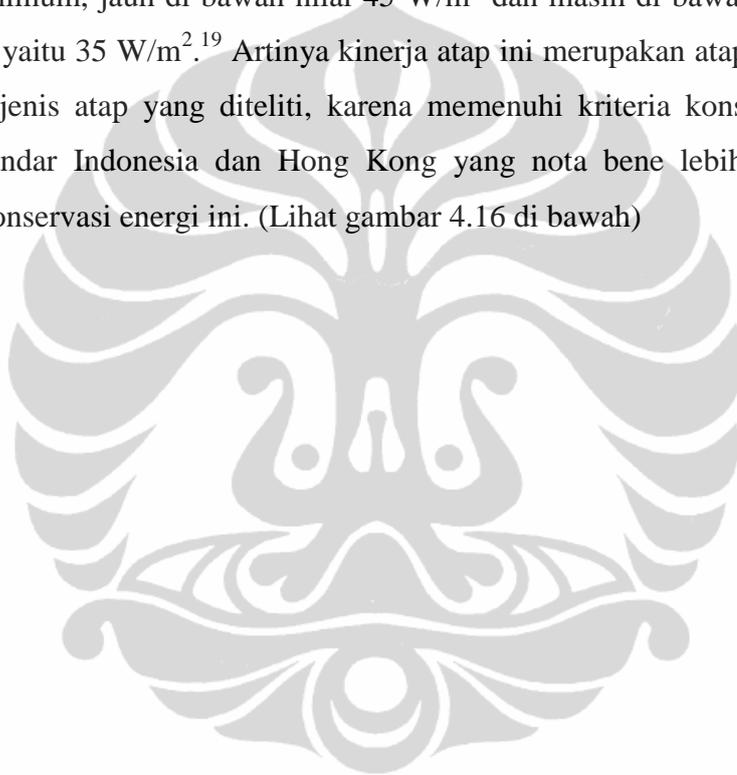
$$\begin{aligned} \text{RTTV} &= \{ [(A_r)(U_r)(\Delta T_{eq})] + [(A_s)(U_s)(\Delta T)] + [(A_s)(SC)(SF)] \} / (A_r + A_s) \text{ W/m}^2 \\ &= [(68,8)(0,62)(24) + (0,36)(4,48)(5) + (0,36)(0,84)(316)] / (68,8 + 0,36) \\ &= \mathbf{16,30 \text{ W/m}^2} \end{aligned}$$

¹⁸ ibid.

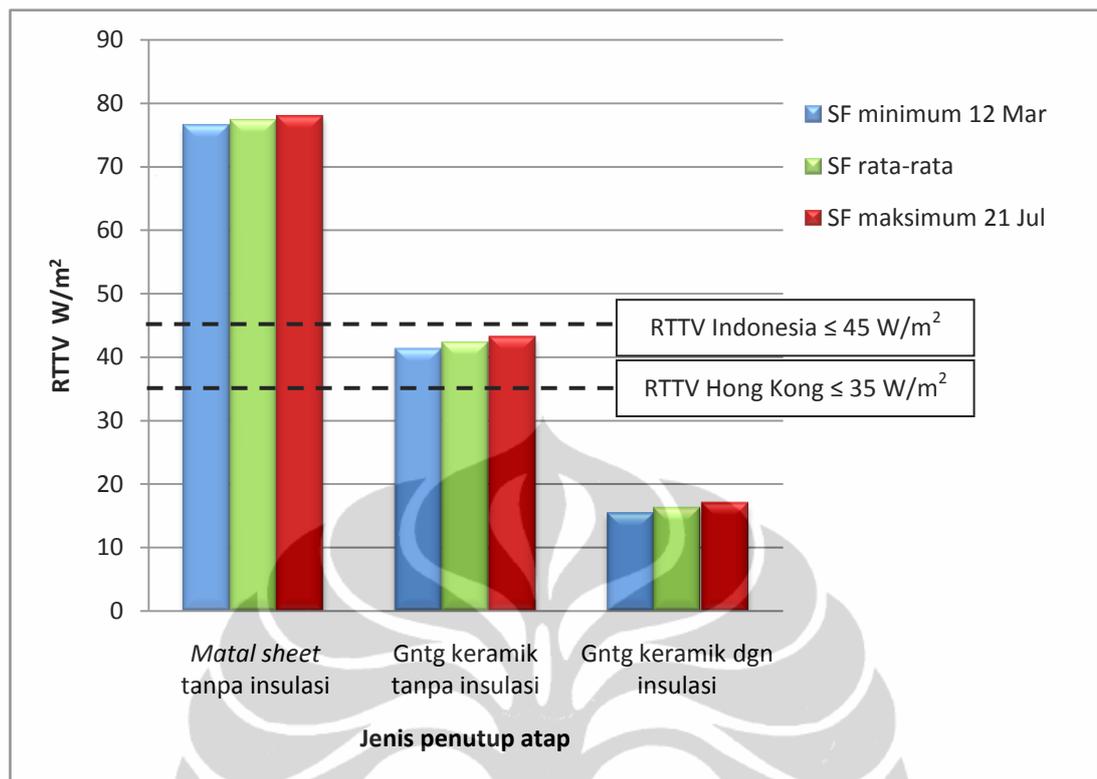
RTTV saat SF maksimum adalah :

$$\begin{aligned}
 \mathbf{RTTV} &= \{ [(A_r)(U_r)(\Delta T_{eq})] + [(A_s)(U_s)(\Delta T)] + [(A_s)(SC)(SF)] \} / (A_r + A_s) \mathbf{W/m^2} \\
 &= [(68,8)(0,62)(24) + (0,36)(4,48)(5) + (0,36)(0,84)(501,87)] / (68,8 + \\
 &\quad 0,36) \\
 &= \mathbf{17,11 \text{ W/m}^2}
 \end{aligned}$$

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/m².¹⁹ 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 nota bene lebih ketat dalam ketentuan konservasi energi ini. (Lihat gambar 4.16 di bawah)



¹⁹ Satwiko, Prasasto. *Fisika Bangunan 2*, Yogyakarta : Penerbit Andi, 2004



Gambar 4.16 Grafik komparasi kinerja atap bangunan studi kasus terhadap nilai RTTV pada SF maksimum, rata-rata dan minimum jam 14.00. Dari grafik tersebut terlihat bahwa atap genteng keramik dengan insulasi merupakan atap yang paling memenuhi kriteria konservasi energi
(Sumber: Pengolahan data menggunakan *Microsoft Excel 2007*)

4.2 Evaluasi atap bangunan studi kasus terhadap fluktuasi suhu udara yang terjadi pada ruang antara atap dan plafond.

Tahap ini perlu dilakukan untuk memperoleh bukti empiris dari perhitungan RTTV di atas. Pengukuran dengan menggunakan HOB0 H8 ini dilakukan pada ruang di antara atap dan plafond bangunan. Pengukuran dilakukan secara simultan pada tiga bangunan studi kasus agar diperoleh perbandingan yang akurat. Alat ukur ditempatkan tepat di atas plafond pada bagian tengah. Kemudian fluktuasi diukur selama 3 hari dengan frekuensi pengukuran tiap jam. Berikut ini tabel komparasi fluktuasi suhu udara tersebut.

Tabel 4.2 Komparasi fluktuasi suhu udara yang terjadi pada ruang di antara atap dan plafond

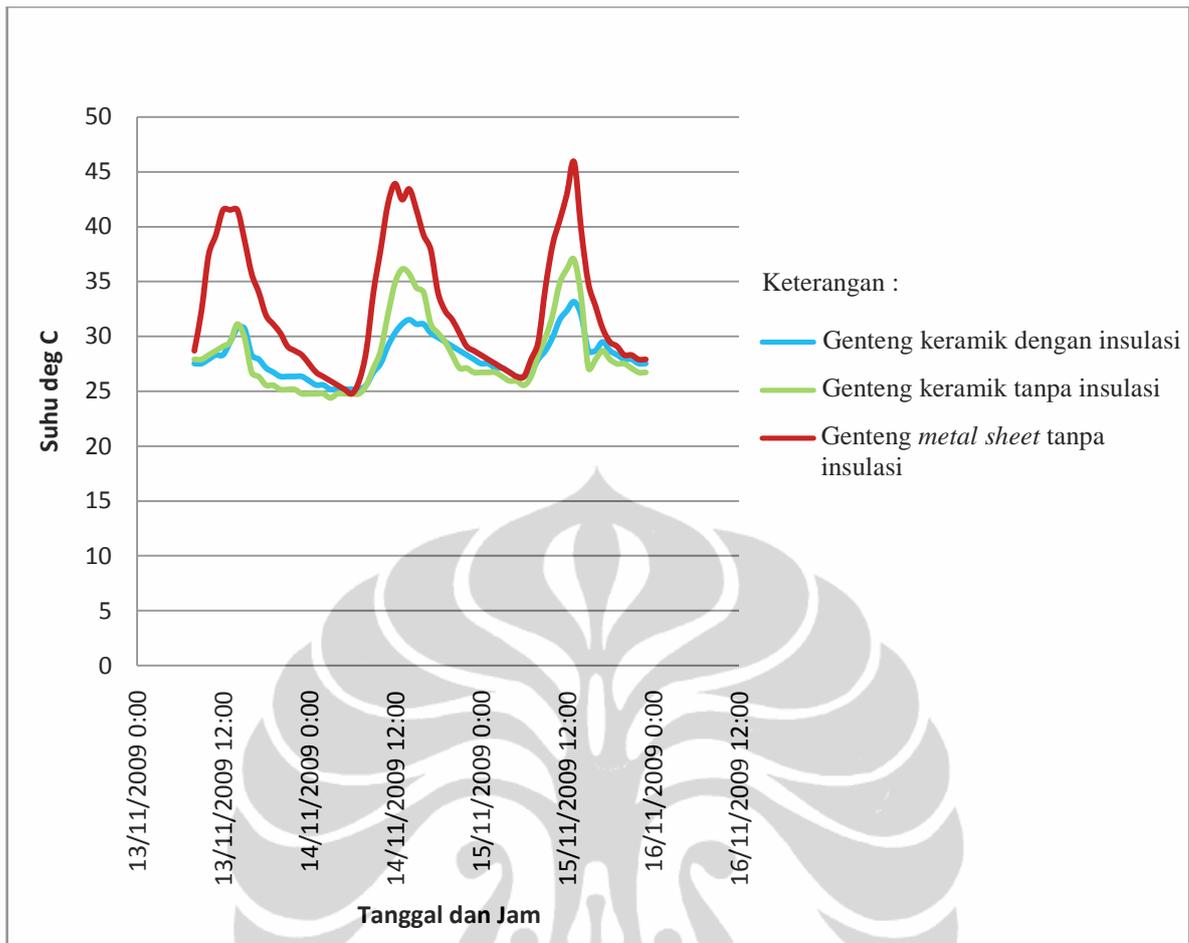
Tanggal dan waktu	Fluktuasi suhu pada genteng dengan insulasi (degC)	Fluktuasi suhu pada genteng tanpa insulasi (degC)	Fluktuasi suhu pada <i>metal sheet</i> tanpa insulasi (degC)
13/11/2009 8:00	27.52	27.91	28.7
13/11/2009 9:00	27.52	27.91	32.34
13/11/2009 10:00	27.91	28.31	37.44
13/11/2009 11:00	28.31	28.7	39.22
13/11/2009 12:00	28.31	29.1	41.52
13/11/2009 13:00	29.5	29.5	41.52
13/11/2009 14:00	30.71	31.12	41.52
13/11/2009 15:00	30.71	29.9	38.77
13/11/2009 16:00	28.31	26.73	35.7
13/11/2009 17:00	27.91	26.34	34.01
13/11/2009 18:00	27.12	25.56	31.93
13/11/2009 19:00	26.73	25.56	31.12
13/11/2009 20:00	26.34	25.17	30.31
13/11/2009 21:00	26.34	25.17	29.1
13/11/2009 22:00	26.34	25.17	28.7
13/11/2009 23:00	26.34	24.79	28.31
14/11/2009 0:00	25.95	24.79	27.52
14/11/2009 1:00	25.56	24.79	26.73
14/11/2009 2:00	25.56	24.79	26.34
14/11/2009 3:00	25.17	24.4	25.95
14/11/2009 4:00	25.17	24.79	25.56
14/11/2009 5:00	25.17	24.79	25.17
14/11/2009 6:00	25.17	24.79	24.79
14/11/2009 7:00	25.17	24.79	25.95
14/11/2009 8:00	25.56	25.56	28.7
14/11/2009 9:00	26.73	27.12	34.01
14/11/2009 10:00	27.52	28.7	37.88
14/11/2009 11:00	29.1	31.93	41.99
14/11/2009 12:00	30.31	34.85	43.91
14/11/2009 13:00	31.12	36.13	42.46
14/11/2009 14:00	31.52	35.7	43.42
14/11/2009 15:00	31.12	34.43	41.52
14/11/2009 16:00	31.12	34.01	39.22
14/11/2009 17:00	30.31	31.12	37.88
14/11/2009 18:00	29.9	30.31	34.01
14/11/2009 19:00	29.5	29.5	32.34
14/11/2009 20:00	29.1	28.31	31.52
14/11/2009 21:00	28.7	27.12	30.31
14/11/2009 22:00	28.31	27.12	29.1
14/11/2009 23:00	27.91	26.73	28.7

(Sambungan tabel 4.2)

15/11/2009 0:00	27.52	26.73	28.31
15/11/2009 1:00	27.52	26.73	27.91
15/11/2009 2:00	27.12	26.73	27.52
15/11/2009 3:00	27.12	26.34	27.12
15/11/2009 4:00	26.73	25.95	26.73
15/11/2009 5:00	26.34	25.95	26.34
15/11/2009 6:00	26.34	25.56	26.34
15/11/2009 7:00	26.73	26.34	27.91
15/11/2009 8:00	27.91	28.31	29.5
15/11/2009 9:00	28.7	29.9	34.43
15/11/2009 10:00	29.9	31.93	38.32
15/11/2009 11:00	31.52	34.85	40.59
15/11/2009 12:00	32.34	36.13	42.94
15/11/2009 13:00	33.17	37	45.89
15/11/2009 14:00	31.93	33.59	39.67
15/11/2009 15:00	28.7	27.12	34.85
15/11/2009 16:00	28.7	27.91	32.76
15/11/2009 17:00	29.5	28.7	30.71
15/11/2009 18:00	28.7	27.91	29.5
15/11/2009 19:00	28.31	27.52	29.1
15/11/2009 20:00	27.91	27.52	28.31
15/11/2009 21:00	27.91	27.12	28.31
15/11/2009 22:00	27.52	26.73	27.91
15/11/2009 23:00	27.52	26.73	27.91

Sumber : Data pengukuran HOBO, Nov 2009

Dari grafik fluktuasi suhu udara pada ruang antara atap dan plafond di bawah ini (lihat gambar 4.17 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 4.17 Grafik komparasi fluktuasi suhu udara yang terjadi pada ruang antara atap dan plafond pada bangunan studi kasus.

(Sumber : pengolahan data menggunakan *Microsoft Excel 2007*)

Sebaliknya, atap yang paling memenuhi persyaratan konservasi energi ialah atap genteng keramik yang dilengkapi dengan insulasi dari *aluminium foil*. Kinerja atap ini bahkan masih jauh di bawah standar yang ditentukan oleh Negara Hong Kong yang lebih ketat dalam konservasi energi. Dalam hal ini nilai RTTV untuk atap genteng keramik yang dilengkapi insulasi saat SF maksimum ialah $17,11 \text{ W/m}^2$, nilai ini masih jauh di bawah 35 W/m^2 .

4.3 Solusi usulan desain

4.3.1 Atap *metal sheet* tanpa insulasi

Pengujian atap *metal sheet* tanpa insulasi terhadap rumus RTTV menunjukkan nilai pada saat SF maksimum sebesar $77,93 \text{ W/m}^2$. Nilai ini jauh di atas 45 W/m^2 , sehingga usulan perbaikan menjadi signifikan. Beberapa usulan agar nilainya tidak melebihi 45 W/m^2 dapat dilakukan dengan solusi antara lain:

- Mengganti dengan atap yang memiliki nilai transmitansi yang lebih kecil dari $3,18 \text{ W/m}^2$
- Menambahkan lapisan insulasi panas di bawah lapisan penutup atap *metal sheet*. Hal ini akan membuat nilai transmitansi atap menjadi lebih kecil dari sebelumnya. Menurut data dari Koenigsberger, penutup atap *metal sheet* yang dilengkapi dengan insulasi dari *aluminium foil* akan membuat transmitansi atap turun menjadi $1,00 \text{ W/m}^2$ (lihat lampiran halaman 91). Bila diujikan kembali terhadap rumus RTTV maka:

RTTV untuk atap genteng *metal sheet* setelah dilengkapi dengan insulasi, maka nilainya pada jam 14.00 saat SF minimum adalah:

$$\begin{aligned} \text{RTTV} &= \{ [(A_r)(U_r)(\Delta T_{eq})] + [(A_s)(U_s)(\Delta T)] + [(A_s)(SC)(SF)] \} / (A_r + A_s) \text{ W/m}^2 \\ &= [(91,12)(1)(24) + (0,4)(4,48)(5) + (0,4)(0,84)(130,29)] / (91,12 + 0,4) \\ &= \mathbf{24,47 \text{ W/m}^2}, \text{ sebelumnya } \mathbf{76,56 \text{ W/m}^2} \end{aligned}$$

RTTV saat SF rata-rata adalah :

$$\begin{aligned} \text{RTTV} &= \{ [(A_r)(U_r)(\Delta T_{eq})] + [(A_s)(U_s)(\Delta T)] + [(A_s)(SC)(SF)] \} / (A_r + A_s) \text{ W/m}^2 \\ &= [(91,12)(1)(24) + (0,4)(4,48)(5) + (0,4)(0,84)(316)] / (91,12 + 0,4) \\ &= \mathbf{25,15 \text{ W/m}^2}, \text{ sebelumnya } \mathbf{77,24 \text{ W/m}^2} \end{aligned}$$

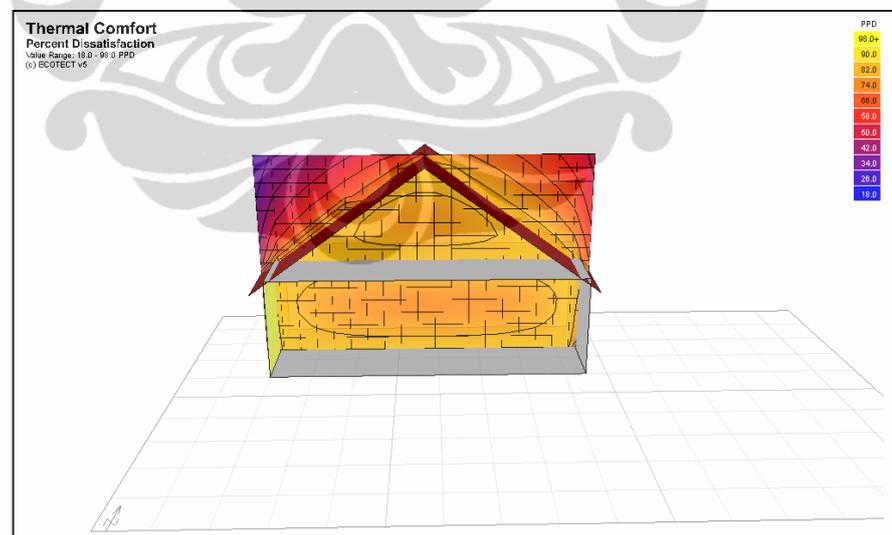
RTTV saat SF maksimum adalah :

$$\begin{aligned} \text{RTTV} &= \{ [(A_r)(U_r)(\Delta T_{eq})] + [(A_s)(U_s)(\Delta T)] + [(A_s)(SC)(SF)] \} / (A_r + A_s) \text{ W/m}^2 \\ &= [(91,12)(1)(24) + (0,4)(4,48)(5) + (0,4)(0,84)(501,87)] / (91,12 + 0,4) \\ &= \mathbf{25,83 \text{ W/m}^2}, \text{ sebelumnya } \mathbf{77,93 \text{ W/m}^2} \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas, nilai RTTV yang diperoleh menjadi lebih memenuhi standar, baik RTTV Indonesia $\leq 45 \text{ W/m}^2$ maupun Hong Kong $\leq 35 \text{ W/m}^2$, yang lebih ketat dalam memberikan standar kebijakan konservasi energi.

Dari simulasi menggunakan *software Ecotect v5.6*, terlihat perbedaan antara kondisi eksisting yang menggunakan *metal sheet* tanpa insulasi, dan setelah memakai insulasi.

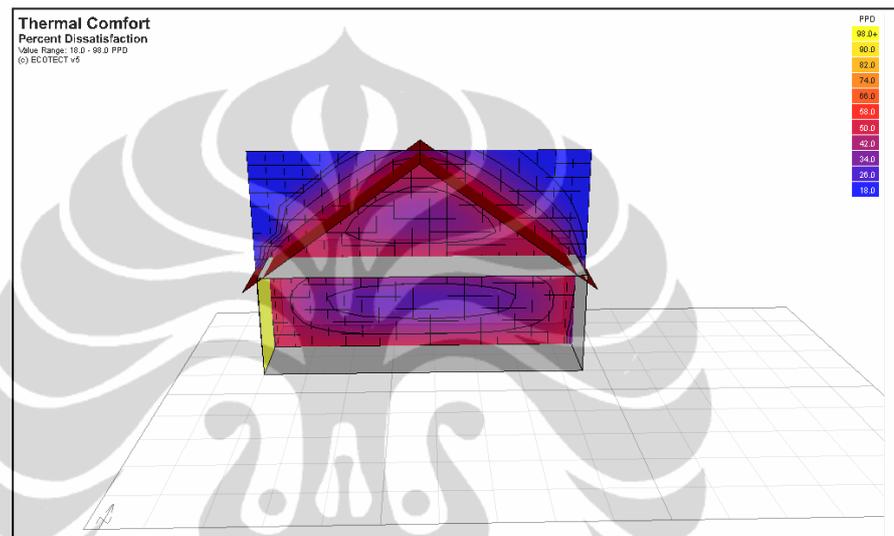
Gambar 4.18 di bawah ini menunjukkan gradien termal pada atap *metal sheet* tanpa insulasi pada jam 14.00, dibuat dengan pemodelan melalui *software Ecotect v5.6*. Analisa kenyamanan termal yang dilakukan dengan *software* ini adalah dilihat dari segi PPD (*Predicted Percentaged of Dissatisfied*), yaitu prosentase kenyamanan termal ditinjau dari faktor ketidakpuasan penghuni.²⁰ Semakin mendekati 100%, maka semakin tidak nyaman. Pada gambar tersebut terlihat bahwa daerah yang dilingkupi oleh atap tersebut, PPD sebagian besar berwarna oranye-kuning (82% - 98%). Artinya sebagian besar masih dilingkupi oleh daerah panas.



Gambar 4.18 Gradien termal yang terjadi pada atap *eksisting*, yaitu *metal sheet* tanpa insulasi, menunjukkan sebagian besar dilingkupi oleh area panas.
(Sumber : Analisa menggunakan *software Ecotect v5.6*)

²⁰ Satwiko, Prasasto. *Fisika Bangunan 1*, Yogyakarta : Penerbit Andi, 2004

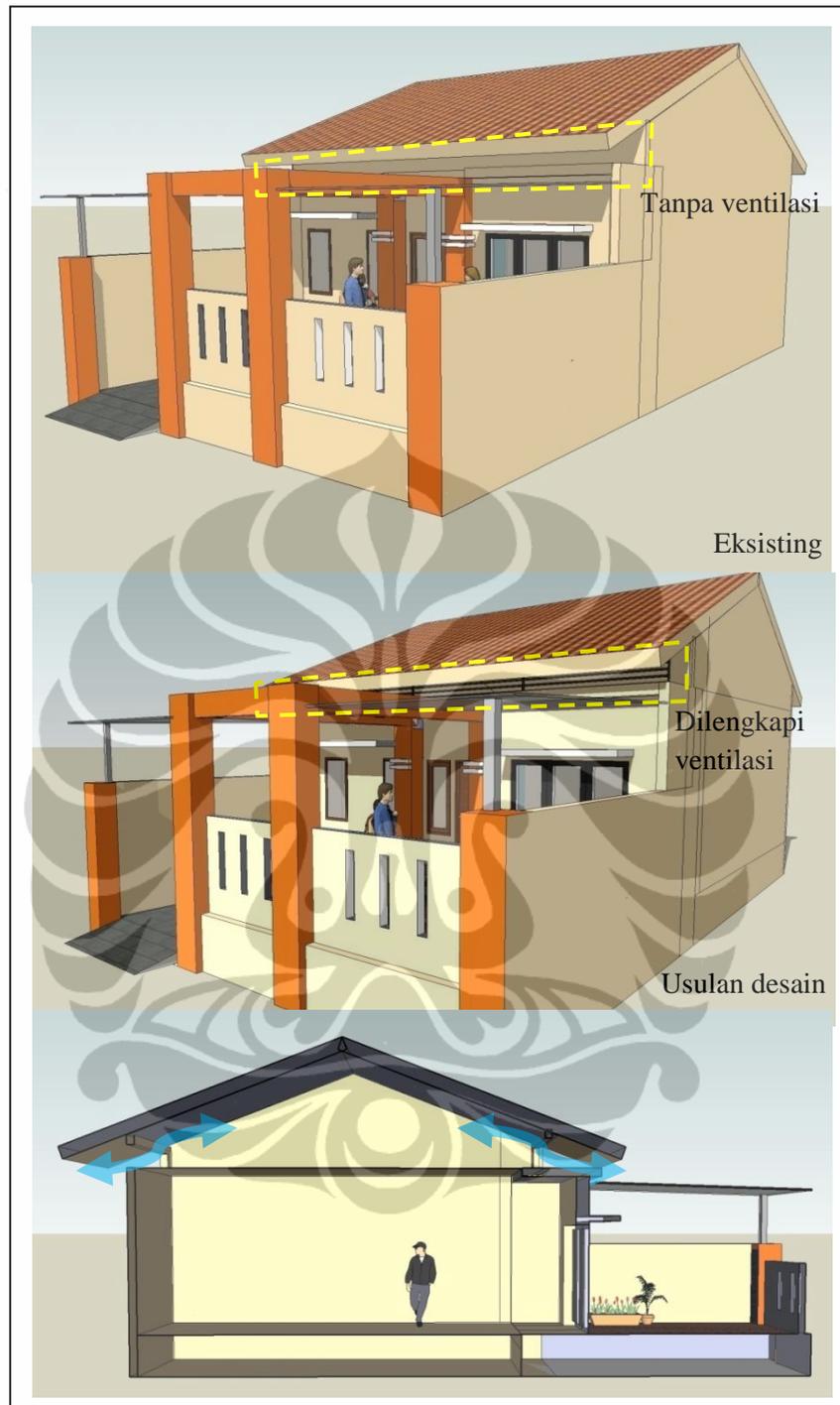
Sedangkan pada gambar 4.19 di bawah ini, menunjukkan perubahan hasil yang signifikan dari gambar 4.18 setelah menambah insulasi pada atap *metal sheet* tersebut. Analisa dengan *software Ecotect v5.6* ini menunjukkan bahwa setelah menambah insulasi, gradien termal pada atap *metal sheet* menjadi lebih dingin. Hal ini ditunjukkan melalui area PPD yang dilingkupi atap tersebut sebagian besar berwarna ungu-merah marun (34%-50%). Artinya bangunan menjadi lebih nyaman dari sebelumnya.



Gambar 4.19 Gradien termal yang terjadi pada atap *metal sheet* yang telah diusulkan dilengkapi dengan insulasi, menunjukkan perubahan yang signifikan, yaitu sebagian besar dilingkupi oleh area yang lebih dingin.

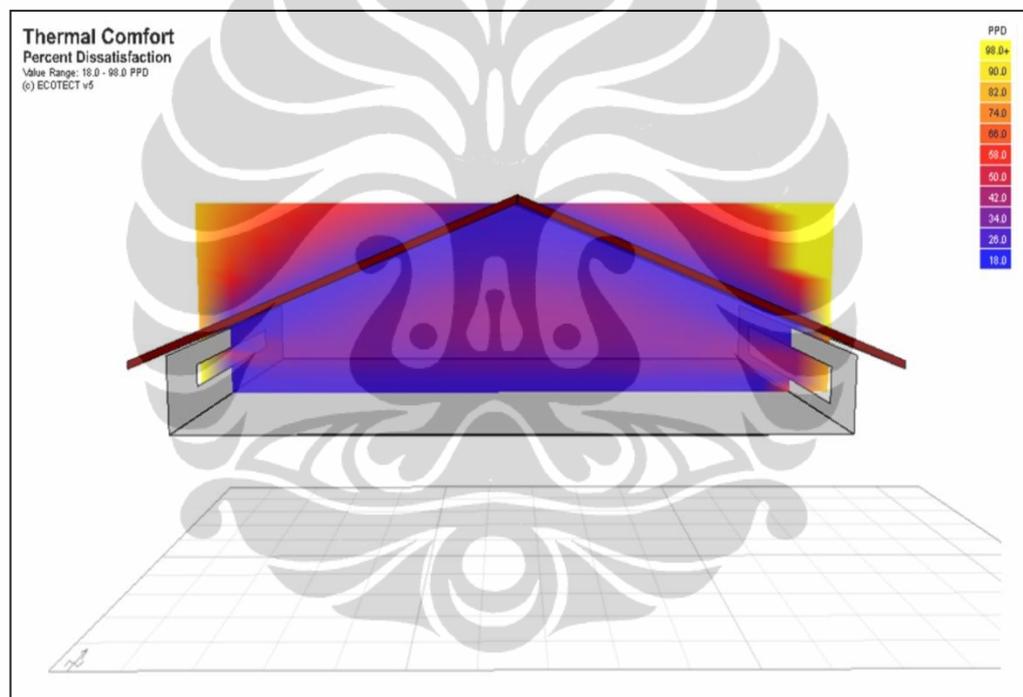
(Sumber : Analisa menggunakan *software Ecotect v5.6*)

- c. Usulan arsitektural, yaitu dengan menambahkan ventilasi pada kedua sisi atap, sebagai upaya memberikan ventilasi silang bagi udara di antara atap dan plafond. Sehingga panas yang diteruskan dari atap dapat lebih cepat diangkut akibat proses konveksi alami. Gambar 4.20 di bawah ini menunjukkan skematik usulan arsitektural, yaitu dengan penerapan ventilasi pada atap, agar terjadi ventilasi silang.



Gambar 4.20 Usulan desain pada bangunan dengan atap *metal sheet* tanpa insulasi, selain dengan menambahkan insulasi, juga dapat menambahkan ventilasi pada kedua sisi atap yang menghadap timur-barat, agar terjadi konveksi alami.
(Sumber : Pemodelan dengan menggunakan *software Google SketchUp.6*)

Gambar 4.21 di bawah ini menunjukkan simulasi gradien termal pada atap *metal sheet* yang telah dilengkapi dengan insulasi dan ventilasi. Analisa kenyamanan termal melalui *software Ecotect v5.6* menunjukkan bahwa setelah menambah insulasi dan ventilasi, gradien termal pada atap menjadi lebih dingin. Hal ini ditunjukkan melalui area PPD yang dilingkupi atap tersebut sebagian besar berwarna biru-ungu (18% - 34%). Artinya bangunan menjadi lebih nyaman dari sebelumnya. Dengan demikian, solusi arsitektural dengan penambahan ventilasi atap ini, mampu meminimalkan panas yang terkungkung pada ruang antara atap dan plafond, karena panas akan lebih cepat diangkut ke luar akibat proses konveksi alami.



Gambar 4.21 Gradien termal yang terjadi pada atap *metal sheet* yang telah diusulkan dilengkapi dengan insulasi dan ventilasi, menunjukkan perubahan yang signifikan, yaitu sebagian besar dilingkupi oleh area yang lebih dingin dari sebelumnya.
(Sumber : Analisa menggunakan *software Ecotect v5.6*)

4.3.2 Atap genteng keramik tanpa insulasi

Pengujian atap genteng keramik tanpa insulasi pada rumus RTTV pada saat SF maksimum menghasilkan nilai 43,19 W/m², masih di bawah nilai 45 W/m². Artinya menurut standar konservasi energi di Indonesia, atap ini telah memenuhi syarat. Sehingga usulan perbaikan tidak signifikan untuk dilakukan.

Akan tetapi bila kita ingin mengacu pada peraturan konservasi energi yang lebih ketat, seperti yang diterapkan di Negara Hong Kong, maka nilai ini sudah dianggap boros energi. Karena nilai yang ditetapkan tidak boleh melebihi 35 W/m^2 . Maka bila usulan perbaikan menjadi keharusan, solusi yang mungkin dilakukan adalah:

- a. Menambahkan lapisan insulasi panas di bawah lapisan penutup atap genteng keramik.

Hal ini akan membuat nilai transmitansi atap menjadi lebih kecil dari sebelumnya. Menurut data dari Koenigsberger, penutup atap genteng keramik yang dilengkapi dengan insulasi dari *aluminium foil* akan membuat transmitansi atap turun menjadi $0,62 \text{ W/m}^2$ (lihat lampiran halaman 91). Bila diujikan kembali terhadap rumus RTTV maka:

RTTV untuk atap genteng keramik setelah dilengkapi dengan insulasi, maka nilainya pada jam 14.00 saat SF minimum adalah:

$$\begin{aligned} \text{RTTV} &= \{ [(A_r)(U_r)(\Delta T_{eq})] + [(A_s)(U_s)(\Delta T)] + [(A_s)(SC)(SF)] \} / (A_r + A_s) \text{ W/m}^2 \\ &= [(60,43)(0,62)(24) + (0,36)(4,48)(5) + (0,36)(0,84)(130,29)] / (60,43 + \\ &\quad 0,36) \\ &= \mathbf{15,57 \text{ W/m}^2}, \text{ sebelumnya } \mathbf{41,34 \text{ W/m}^2} \end{aligned}$$

RTTV saat SF rata-rata adalah :

$$\begin{aligned} \text{RTTV} &= \{ [(A_r)(U_r)(\Delta T_{eq})] + [(A_s)(U_s)(\Delta T)] + [(A_s)(SC)(SF)] \} / (A_r + A_s) \text{ W/m}^2 \\ &= [(60,43)(0,62)(24) + (0,36)(4,48)(5) + (0,36)(0,84)(316)] / (60,43 + 0,36) \\ &= \mathbf{16,5 \text{ W/m}^2}, \text{ sebelumnya } \mathbf{42,3 \text{ W/m}^2} \end{aligned}$$

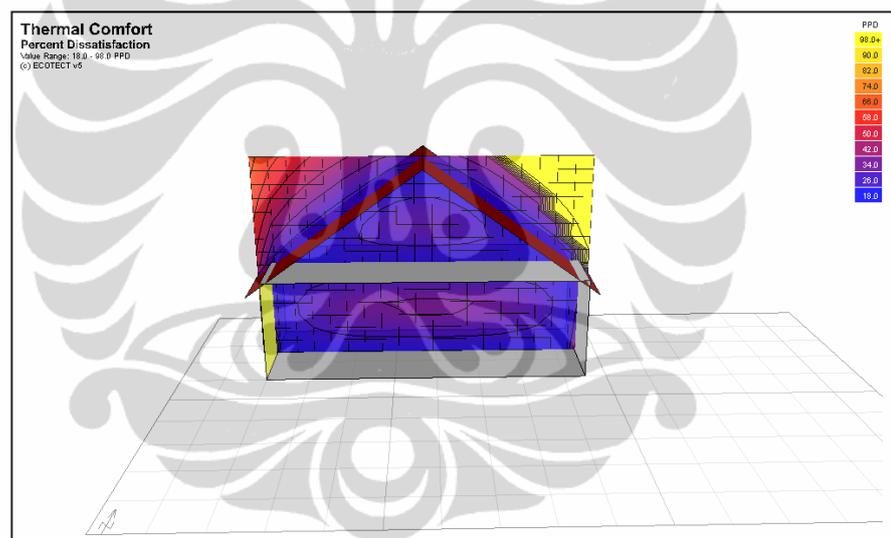
RTTV saat SF maksimum adalah :

$$\begin{aligned} \text{RTTV} &= \{ [(A_r)(U_r)(\Delta T_{eq})] + [(A_s)(U_s)(\Delta T)] + [(A_s)(SC)(SF)] \} / (A_r + A_s) \text{ W/m}^2 \\ &= [(60,43)(0,62)(24) + (0,36)(4,48)(5) + (0,36)(0,84)(501,87)] / (60,43 + \\ &\quad 0,36) \\ &= \mathbf{17,42 \text{ W/m}^2}, \text{ sebelumnya } \mathbf{43,19 \text{ W/m}^2} \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas, nilai RTTV yang diperoleh menjadi lebih memenuhi standar, baik RTTV Indonesia $\leq 45 \text{ W/m}^2$ maupun Hong Kong $\leq 35 \text{ W/m}^2$, yang lebih ketat dalam memberikan standar kebijakan konservasi energi.

Dari simulasi menggunakan *software Ecotect v5.6*, terlihat perbedaan antara kondisi eksisting yang menggunakan genteng keramik tanpa insulasi, dan setelah memakai insulasi.

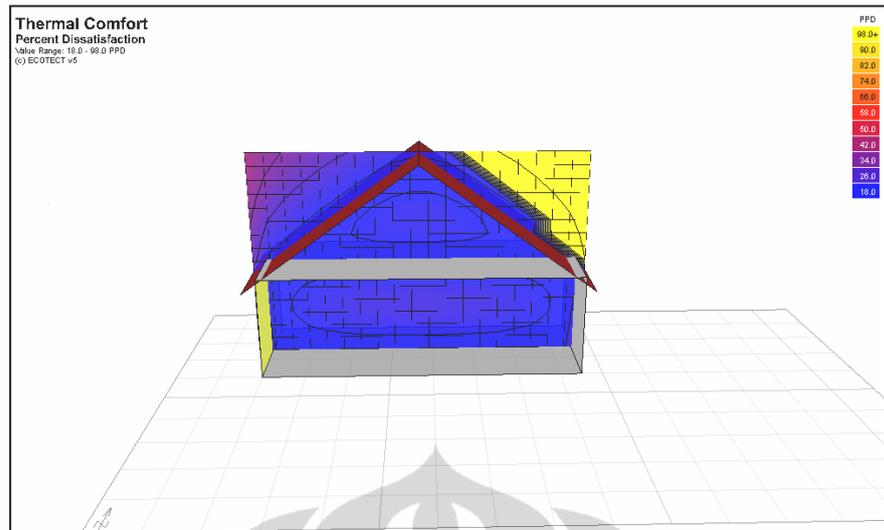
Gambar 4.22 di bawah ini menunjukkan gradien termal pada atap genteng keramik tanpa insulasi pada jam 14.00, dibuat dengan pemodelan melalui *software Ecotect v5.6*. Analisa kenyamanan termal dari segi PPD ini menunjukkan daerah yang dilingkupi oleh warna biru-ungu (18%-35%). Artinya sebagian besar sudah cenderung nyaman, karena nilainya jauh di bawah 50%.



Gambar 4.22 Gradien termal yang terjadi pada atap *eksisting*, yaitu genteng keramik tanpa insulasi, menunjukkan sebagian kecil masih dilingkupi oleh area panas.

(Sumber : Analisa menggunakan *software Ecotect v5.6*)

Gambar 4.23 di bawah ini menunjukkan gradien termal pada atap genteng keramik setelah dilengkapi insulasi pada jam 14.00, dibuat dengan pemodelan melalui *software Ecotect v5.6*. Analisa kenyamanan termal dari segi PPD ini menunjukkan daerah yang sebagian besar dilingkupi oleh warna biru (18%-20%). Artinya lebih nyaman dari atap genteng keramik tanpa insulasi.



Gambar 4.23 Gradien termal yang terjadi pada atap usulan, yaitu genteng keramik dilengkapi dengan insulasi, menunjukkan perubahan yang signifikan. Area yang panas menjadi hampir tidak ada.

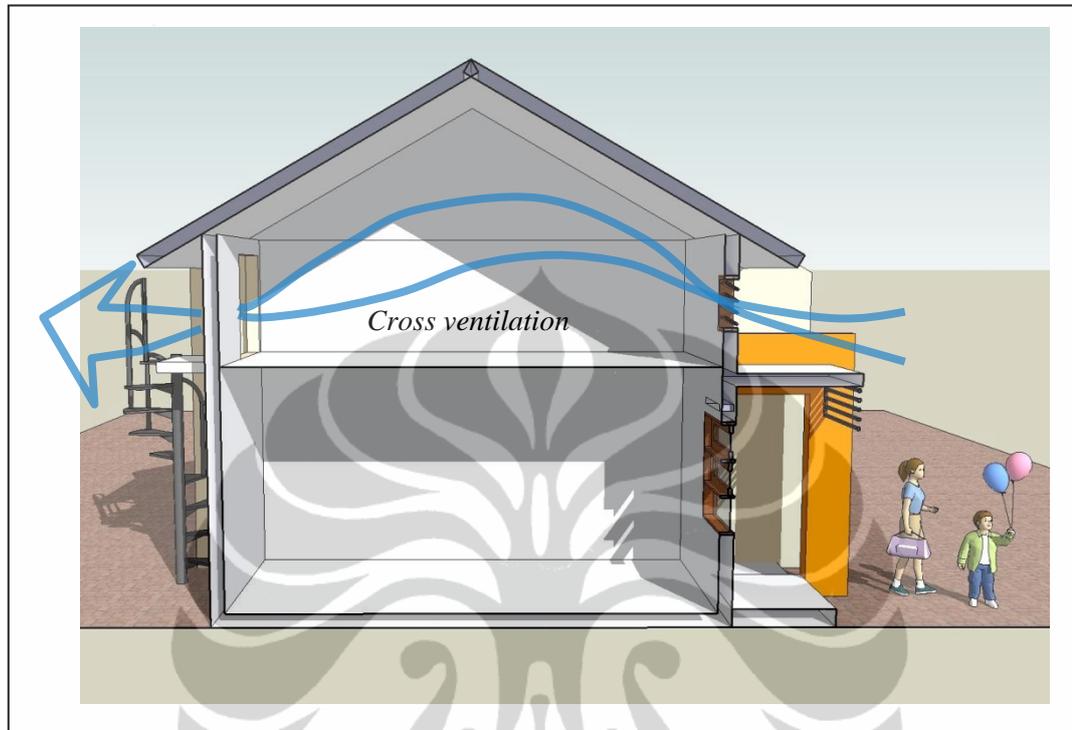
(Sumber : Analisa menggunakan *software Ecotect v5.6*)

- b. Solusi arsitektural, yaitu untuk memaksimalkan proses pengangkutan panas di ruang antara atap dan plafond, maka dapat mengganti kaca pada ventilasi atap yang berada di atas *slab* atap teras dengan ventilasi *screen*, agar terjadi ventilasi silang. Hal ini bertujuan agar proses konveksi alami dapat dioptimalkan. (Lihat gambar 4.24 di bawah ini).



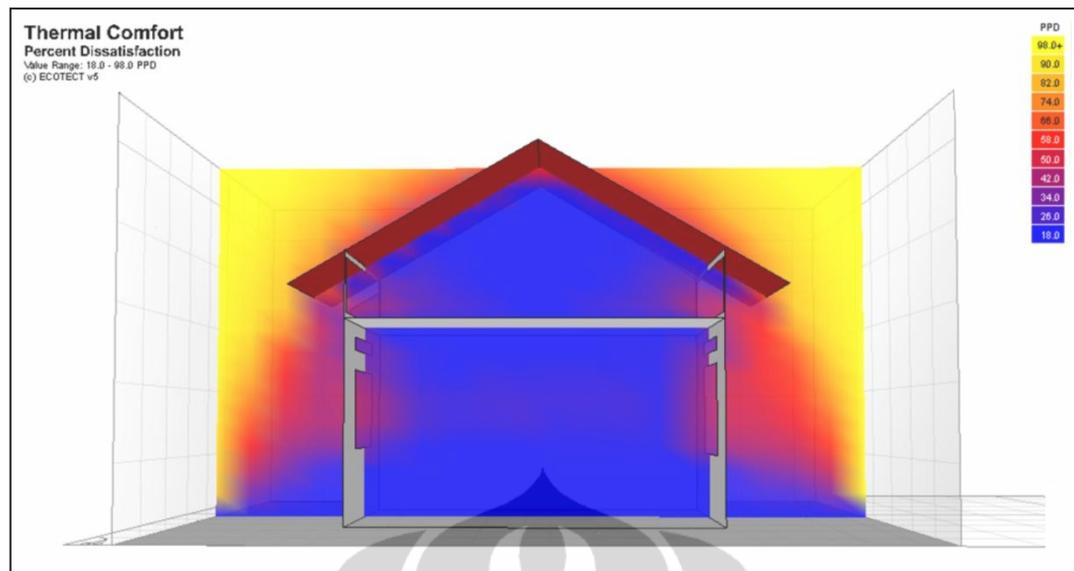
Gambar 4.24 Usulan desain dengan mengganti kaca pada ventilasi atap yang terdapat di atas *slab* atap teras dengan *screen*, untuk memaksimalkan proses pengangkutan panas melalui konveksi alami.
 (Sumber : Pemodelan dengan menggunakan *software Google SketchUp 6*, dan *rendering* melalui *software V-Ray for SketchUp 6*)

Gambar 4.25 di bawah ini menunjukkan gambar potongan skematik usulan arsitektural, yaitu dengan mengganti ventilasi kaca dengan ventilasi *screen*, untuk mengoptimalkan ventilasi silang.



Gambar 4.25 Usulan desain dengan mengganti kaca pada ventilasi atap dengan *screen*. Hal ini agar proses pengangkutan panas melalui konveksi alami dapat dimaksimalkan. (Sumber : Pemodelan dengan menggunakan *software Google SketchUp.6*)

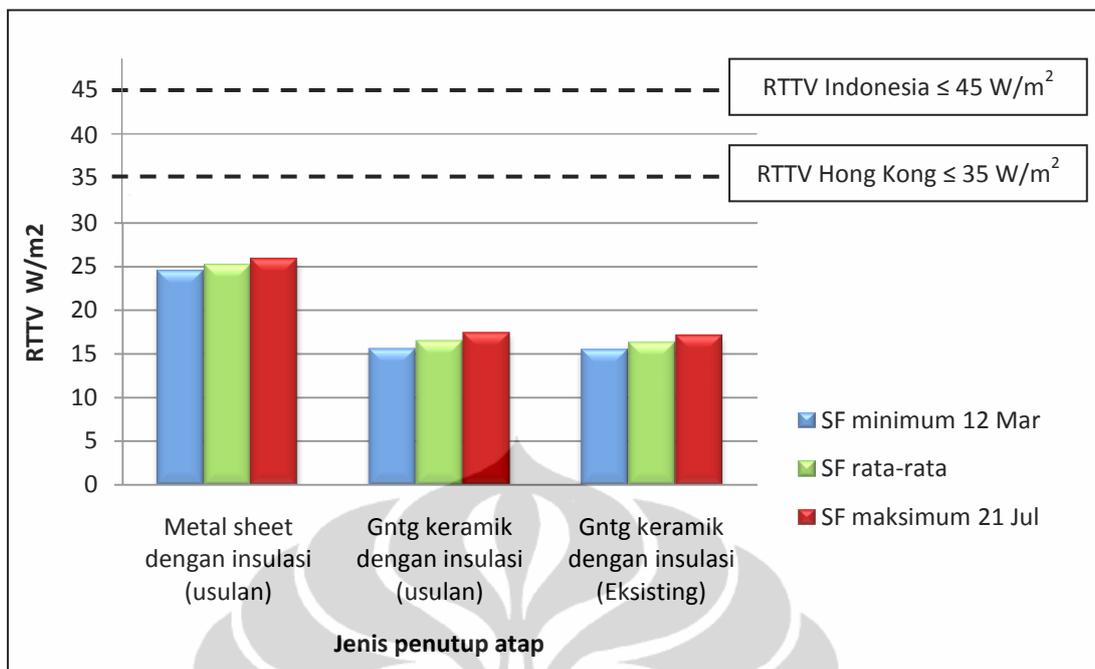
Gambar 4.26 di bawah ini menunjukkan simulasi gradien termal pada atap genteng keramik yang telah dilengkapi dengan insulasi dan ventilasi. Analisa kenyamanan termal melalui *software Ecotect v5.6* menunjukkan bahwa setelah menambah insulasi dan ventilasi, gradien termal pada atap ini menjadi lebih dingin. Hal ini ditunjukkan melalui area PPD yang dilingkupi atap tersebut sebagian besar berwarna biru-ungu (18% - 34%). Artinya bangunan menjadi lebih nyaman dari sebelumnya. Dengan demikian, solusi arsitektural dengan penambahan ventilasi atap ini, mampu memaksimalkan proses pengangkutan panas yang terkungkung pada ruang antara atap dan plafond, karena panas akan lebih cepat diangkut ke luar akibat proses konveksi alami.



Gambar 4.26 Gradien termal yang terjadi pada atap genteng keramik yang telah diusulkan dilengkapi dengan insulasi dan ventilasi, menunjukkan perubahan yang signifikan, yaitu sebagian besar dilingkupi oleh area yang lebih dingin dari sebelumnya. (Sumber : Analisa menggunakan *software Ecotect v5.6*)

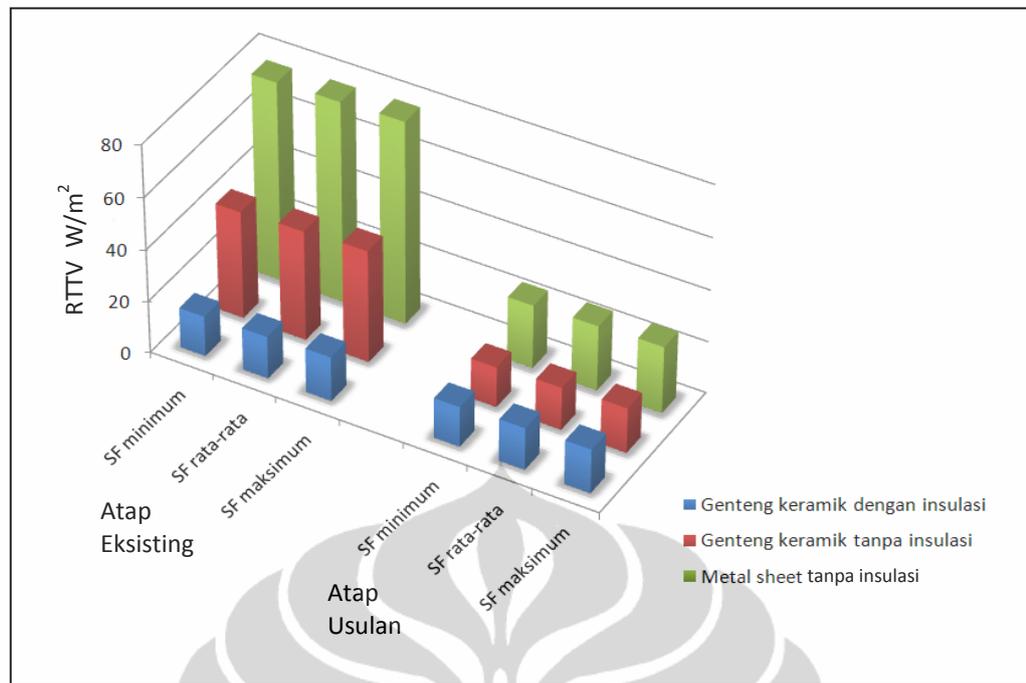
4.4 Analisa nilai RTTV setelah usulan

Jika dilihat dari grafik di bawah (lihat gambar 4.27 di bawah ini), maka dapat dikatakan bahwa material atap merupakan aspek yang sangat menentukan tinggi-rendahnya nilai RTTV. Dalam hal ini yang berperan adalah nilai transmitansi material atap yang tak tembus cahaya (U_r).



Gambar 4.27 Grafik perbandingan nilai RTTV setelah menambah insulasi *aluminium foil* pada atap *metal sheet* dan genteng keramik tanpa insulasi, menjadikan nilai RTTV jauh lebih kecil dan sangat memenuhi standar konservasi energi. (Sumber : Pengolahan data dengan *Microsoft Excel 2007*)

Pada atap *metal sheet* tanpa insulasi yang memiliki nilai transmitansi paling besar, ketika diusulkan untuk menambahkan insulasi *aluminium foil*, maka nilai RTTV menjadi jauh lebih rendah (lihat gambar 4.28 di bawah ini). Hal ini terjadi karena nilai transmitansinya menjadi lebih kecil. Begitu pula pada atap genteng keramik tanpa insulasi, jika dilengkapi dengan insulasi *aluminium foil*, nilai RTTV jadi lebih memenuhi standar konservasi energi, bahkan dengan standar Negara Hong Kong sekalipun.



Gambar 4.28 Grafik perbandingan nilai RTTV sebelum dan setelah menambah insulasi *aluminium foil* pada atap *metal sheet* dan genteng keramik tanpa insulasi, menjadikan nilai RTTV jauh lebih kecil dan sangat memenuhi standar konservasi energi. (Sumber : Pengolahan data dengan *Microsoft Excel 2007*)

4.5 Faktor yang harus diperhatikan agar nilai RTTV tidak melebihi 45 W/m²

Faktor ini lebih mengacu pada keterkaitan arsitektural dengan aspek fisika bangunan. Dari berbagai analisa yang telah dilakukan di atas, maka dapat dikatakan bahwa faktor yang menentukan agar nilai RTTV tidak melebihi 45 W/m² adalah :

a. Material atap yang digunakan (U_r)

Dalam hal ini yang berperan penting adalah nilai transmitansi material atau kemampuan material atap dalam menghantar panas. Semakin kecil nilai transmitansi atap, maka nilai RTTV akan semakin kecil. Pada analisa di atas, upaya yang dilakukan untuk memperkecil nilainya adalah dengan menambahkan *aluminium foil* sebagai insulasi atap. Hal ini sangat dibutuhkan terutama pada material atap yang mengandung logam seperti genteng *metal sheet* yang memiliki nilai transmitansi cukup besar.

b. Meminimalkan luas bidang atap yang tembus cahaya (A_s)

Bila atap dilengkapi dengan *skylight*, maka hendaknya luasnya diminimalisir, agar jumlah radiasi matahari yang masuk dapat ditekan. Pada rumus RTTV variabel ini akan menyangkut faktor radiasi matahari (SF). Artinya bila *skylight* pada atap perumahan diminimalisir, atau bahkan tidak ada sama sekali, maka SF semakin tidak berpengaruh. Dalam hal ini yang mempengaruhi hanya nilai transmitansi atap tak tembus cahaya (U_r), berat atap persatuan luas (kg/m^2) yang akan menentukan beda suhu ekuivalen (ΔT_{eq}), dan luas bidang atap *opaque* atau yang tak tembus cahaya (A_r).

c. Faktor eksternal yang tidak menjadi variabel RTTV

Faktor yang dimaksud disini ialah faktor adanya ventilasi dan faktor lingkungan. Kedua faktor ini menurut pandangan penulis cukup berpengaruh pada nilai perpindahan panas dari atap menuju bangunan. Karena studi pada penelitian ini ialah pada bangunan perumahan yang dilengkapi plafond, maka menurut hemat penulis, panas yang diteruskan dari material atap dapat diangkut keluar terlebih dahulu. Hal ini dapat dicapai dengan memaksimalkan ventilasi atap, sehingga panas dapat diminimalisir sebelum diteruskan melalui plafond menuju interior bangunan.

Sedangkan faktor lingkungan disini ialah kehadiran vegetasi disekitar bangunan sebagai pembentuk iklim mikro yang akan menurunkan suhu disekitarnya.