



TRANSFER  
**TRANSFER  
PANAS  
PADA DESAIN  
BANGUNAN TROPIS**

**Penulis:**  
**L.M.F. PURWANTO  
BUDIJANTO CHANDRA**



***TRANSFER PANAS  
PADA DESAIN  
BANGUNAN TROPIS***

Penulis :

Prof. Dr.-Ing. L.M.F. Purwanto

Budijanto Chandra, S.T., M.Ars.

UNIVERSITAS KATOLIK SOEGIJAPRANATA

## Transfer Panas Pada Desain Bangunan Tropis

Penulis :

Prof. Dr.-Ing. L.M.F. Purwanto  
Budijanto Chandra, S.T., M.Ars.

Program Studi Doktor Arsitektur Konsentrasi Arsitektur Digital  
Fakultas Arsitektur dan Desain  
Universitas Katolik Soegijapranata

Hak Cipta dilindungi undang-undang. Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronik maupun mekanis, termasuk memfotocopy, merekam atau dengan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari Penulis dan Penerbit.

©Universitas Katolik Soegijapranata 2023

ISBN :  
Desain Sampul : L.M.F Purwanto & Hartoyo SP  
Perwajahan Isi : Hartoyo SP  
Ukuran buku : B5  
Font : Cambria 12  
Tanggal Terbit : April 2023

PENERBIT:

Universitas Katolik Soegijapranata  
Anggota APPTI No. 003.072.1.1.2019  
Anggota IKAPI No 209/ALB/JTE/2021  
Jl. Pawiyatan Luhur IV/1 Bendan Duwur Semarang 50234  
Telpon (024)8441555 ext. 1409  
Website : [www.unika.ac.id](http://www.unika.ac.id)  
Email Penerbit : [ebook@unika.ac.id](mailto:ebook@unika.ac.id)

# PRAKATA

Syukur kepada Allah di Surga, atas kesehatan, kekuatan dan tenaga dalam menyusun buku ini, yang dianugerahkan-Nya secara berlimpah.

Buku Transfer Panas Pada Desain Bangunan Tropis, jarang ditemukan, karena selalu diterapkan hanya di negara empat musim. Akibatnya jarang sekali penelitian terkait transfer panas di negara Indonesia. Padahal panas di luar bangunan yang menerpa dinding sangat signifikan dalam mempengaruhi temperatur di dalam bangunan. Upaya untuk menahan laju panas dapat dilakukan agar tercapai *Passive thermal control* terlebih dahulu sebelum melakukan pengkondisian udara di dalam bangunan. Dengan demikian upaya, energi dan peralatan yang digunakan dapat secara tepat dan efisien manfaatnya.

Semoga buku ini bermanfaat dan masukan, kritik yang membangun sangat diperlukan agar semakin lengkap di kemudian hari.

Semarang, 26 April 2023

***L.M.F. Purwanto & Budijanto Chandra***

# DAFTAR ISI

Prakata	iii
Daftar Isi	iv
Daftar Gambar	v
Daftar Tabel	viii
Daftar Simbol	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1. Latar belakang	1
I.2. Metode Pembahasan	1
BAB II TRANSFER PANAS	3
II.1. Konsep Dasar Transfer Panas	3
II.2. Transfer Panas pada Bangunan Tropis	54
BAB III PENERAPAN OTTV PADA BANGUNAN	59
III.1. Dasar perhitungan OTTV	59
III.2. Pendekatan perhitungan OTTV dengan software	63
BAB IV PROGRAM SIMULASI TRANSFER PANAS	67
IV.1. Psi-Therm software	67
IV.2. Software WUFI-2D	74
IV.3. Software HT-Flux	77
BAB V PENUTUP	79
DAFTAR PUSTAKA	81
LAMPIRAN	82

# DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Proses perpindahan panas	3
Gambar 2.	GHP 900 – Thermal Conductivity Tester	6
Gambar 3.	Perhitungan tahanan	10
Gambar 4.	Tampilan awal software WINDOW 8.	14
Gambar 5.	Tampilan data dari Glass Library	14
Gambar 6.	Tampilan layar <i>Glazing System Library</i>	15
Gambar 7.	Memilih jenis kaca	15
Gambar 8.	Menghitung nilai $U_{\text{value}}$	16
Gambar 9.	Hasil dari $U_{\text{value}}$	16
Gambar 10.	Pemilihan kaca ganda ( <i>Double glazing</i> )	17
Gambar 11.	Jembatan termal bidang dan garis	18
Gambar 12.	Transfer panas melalui dinding secara konduksi pada daerah empat musim	21
Gambar 13.	Konduksi pada dinding dan atap	21
Gambar 14.	Konduksi bagus dan jelek	22
Gambar 15.	Pergerakan udara yang menerpa bangunan	26
Gambar 16.	Konveksi di dalam ruang	27
Gambar 17.	Ventilasi silang	28
Gambar 18.	Penentuan bukaan dan kecepatan angin pada ventilasi silang	29
Gambar 19.	<i>Stack effect/chimney effect</i>	30
Gambar 20.	Posisi bumi terhadap matahari	37
Gambar 21.	Berlangsungnya sinar matahari pada bidang horisontal	49
Gambar 22.	Berlangsungnya sinar matahari pada bidang vertikal yang menghadap ke selatan dan utara	53

Gambar 23.	Berlangsungnya sinar matahari pada bidang vertikal yang menghadap ke timur dan barat	54
Gambar 24.	Transfer panas melalui dinding secara konduksi pada daerah tropis	56
Gambar 25.	Temperatur udara luar, temperatur permukaan dinding luar, temperatur permukaan dinding dalam, temperatur udara dalam pada dinding timur dan barat	57
Gambar 26.	Konduksi pada dinding dan atap	57
Gambar 27.	Variabel variabel perhitungan OTTV	61
Gambar 28.	Flow chart perhitungan OTTV	62
Gambar 29.	Simulasi penurunan nilai OTTV dengan desain pasif	63
Gambar 30.	Alat perhitungan OTTV Pergub DKI 38/2012	64
Gambar 31.	Tampilan gedung dan kamera termal sisi barat dan selatan	65
Gambar 32.	Tampilan depan software Psi-Therm	68
Gambar 33.	Garis bantu pada penggambaran di Psi-Therm	69
Gambar 34.	Pemilihan bahan bangunan	70
Gambar 35.	Konstruksi yang akan dihitung transfer panas	70
Gambar 36.	Gambar realita konstruksi	71
Gambar 37.	Temperatur di luar dan di dalam bangunan	71
Gambar 38.	Perhitungan $U_{\text{value}}$	72
Gambar 39.	Penggambaran Jaring <i>Finite Element</i>	73
Gambar 40.	Hasil perhitungan Psi-Therm	74
Gambar 41.	Tampilan depan Software Meteonorm	75
Gambar 42.	Data Iklim tiap kota	75
Gambar 43.	WUFI-2D grafik temperatur pada kaca bening	76
Gambar 44.	WUFI-2D grafik temperatur pada kaca tahan panas	76



Gambar 45.	Hasil dari WUFI-2D pada kaca bening	77
Gambar 46.	Temperatur pada dinding dan penutup atap genteng tanah liat dengan plafond gypsum	78
Gambar 47.	Laju sebaran panas (heat flux) pada dinding dan penutup atap genteng tanah liat dengan plafond gypsum	79

# DAFTAR TABEL

Tabel 1:	Hantaran jenis dan tahanan jenis	4
Tabel 2:	Nilai Konduktansi dan Tahanan pada berbagai bahan bangunan	7
Tabel 3:	Nilai tahanan perpindahan permukaan panas $R_s$ untuk dinding dan atap	12
Tabel 4:	Koefisien perpindahan panas konveksi di luar bangunan	13
Tabel 5:	Nilai tahanan perpindahan permukaan panas konvensional	13
Tabel 6:	Nilai konduktivitas panas $\lambda$ pada beberapa bahan bangunan	23
Tabel 7:	Koefisien perpindahan panas konveksi	27
Tabel 8:	Koefisien serapan panas pada bidang	32
Tabel 9:	Faktor Koreksi eksentris pada orbit bumi $E_o$	33
Tabel 10:	Sudut Deklinasi Matahari	34
Tabel 11:	Posisi dari matahari relatif pada bidang miring	36
Tabel 12:	Posisi dari matahari relatif pada bidang datar	37
Tabel 13:	Normal Temperature and surface Pressure	42
Tabel 14:	Nilai $k_{a\lambda}$ dan $\lambda$	45
Tabel 15:	Tingkat cerah-kusamnya langit menurut Ångström	46
Tabel 16:	Bagian dari pancaran yang diteruskan terhadap total pancaran matahari	47
Tabel 17:	Albedo permukaan tanah	48
Tabel 18:	Standar nilai OTTV Peraturan Daerah Bangunan Gedung Hijau	62
Tabel 19:	Perhitungan OTTV Gedung GrahaTelkomsigma	66

# DAFTAR SIMBOL

$r$	=	Nilai tahanan jenis bahan [mK/W]
$k$	=	Hantaran Jenis [W/mK]
$C$	=	Hantaran bahan [W/m <sup>2</sup> K]
$R$	=	Tahanan bahan [m <sup>2</sup> K/W]
$d$	=	ketebalan [m]
$T$	=	Temperatur absolut, jika satuan Celcius harus ditambah 273,15 untuk menjadi Kelvin [K]
$q$	=	nilai laju panas [W/m <sup>2</sup> ]
$R_{Sd}$	=	Tahanan perpindahan permukaan panas dalam bangunan [m <sup>2</sup> K/W]
$R_{St}$	=	Tahanan perpindahan permukaan panas luar bangunan [m <sup>2</sup> K/W]
$U_{\text{Value}}$	=	<i>Thermal Transmittance</i> [W/m <sup>2</sup> K]
$h_r$	=	Koefisien perpindahan panas radiasi [W/m <sup>2</sup> K]
$h_c$	=	Koefisien perpindahan panas konveksi [W/m <sup>2</sup> K]
$v$	=	kecepatan angin di dekat permukaan dinding luar [m/s]
$T_{mn}$	=	suhu termodinamika rata-rata permukaan dan sekitarnya [K]
$h_{ce}$	=	Koefisien perpindahan panas konveksi di luar bangunan [W/m <sup>2</sup> K]
$h_{ci}$	=	Koefisien perpindahan panas konveksi di dalam bangunan [W/m <sup>2</sup> K]
$h_r$	=	Koefisien perpindahan panas radiasi [W/m <sup>2</sup> K]
$R_s$	=	Tahanan perpindahan permukaan panas [m <sup>2</sup> K/W]
fRsi	=	Faktor temperature [-]
$T_{ud}$	=	Temperatur udara dalam [K]
$T_{pd}$	=	Temperatur permukaan dinding dalam [K]
$T_{ul}$	=	Temperatur udara luar [K]

- $\psi_{\text{value}}$  = Pengukuran yang digunakan untuk menentukan laju kehilangan panas melalui sambungan [W/mK]
- $q_{\text{konversi}}$  = Laju perpindahan panas konveksi [W]
- $h_c$  = Koefisien perpindahan panas konveksi [W/m<sup>2</sup>K]
- $T_s$  = Temperatur permukaan [K]
- $T_f$  = Temperatur fluida [K]
- $L^{2D}$  = Koefisien termal 2D [W/mK]
- $\Phi$  = Nilai heat flow [W]
- $\Delta T$  = Beda temperatur [K]
- $l$  = Panjang [m]
- CLTD = Cooling Load Temperature Difference [°C]
- Q = menahan masuknya panas dari luar bangunan kemampuan selubung bangunan [W]
- $q_{\text{konduksi}}$  = Laju perpindahan panas konduksi [W]
- $k$  = Konduktivitas panas (*thermal conductivity*) bahan [W/m.K]
- $A$  = Luas penampang tegak lurus terhadap arah aliran panas [m<sup>2</sup>]
- $\frac{dT}{dX}$  = Gradien temperatur pada penampang tersebut [K/m]
- $q_1$  = aliran panas dari temperatur udara luar sampai ke temperatur permukaan dinding luar [W/m<sup>2</sup>]
- $q_1^*$  = aliran panas dari temperatur udara luar sampai ke temperatur permukaan dinding dalam [W/m<sup>2</sup>]
- $q$  = aliran panas dari temperatur permukaan dinding luar sampai ke temperatur permukaan dinding dalam [W/m<sup>2</sup>]
- $q^*$  = aliran panas dari temperatur udara luar sampai ke temperatur udara dalam [W/m<sup>2</sup>]
- $q_d$  = aliran panas dari temperatur permukaan dinding dalam sampai ke temperatur udara dalam [W/m<sup>2</sup>]
- $q_d^*$  = aliran panas dari temperatur permukaan dinding luar sampai ke temperatur udara dalam [W/m<sup>2</sup>]
- $W_1$  = kecepatan angin yang masuk ke dalam ruangan [m/s]

$W_2$	=	kecepatan angin yang keluar ruangan mengikuti pergerakan udara [m/s]
$W_A$	=	Pergerakan udara di daerah pemberhentian di dalam ruang [m/s]
$\Delta T$	=	selisih $T_1$ (temperatur di jendela bawah) dan $T_2$ (temperatur di jendela atas) [ $^{\circ}\text{C}$ ]
$T_1$	=	temperatur dalam Kelvin [K]
$J_1$	=	Luas Jendela bawah [ $\text{m}^2$ ]
$J_2$	=	Luas Jendela atas [ $\text{m}^2$ ]
$C_x$	=	Faktor koreksi
$\rho$	=	kerapatan udara [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]
$H$	=	jarak antara dua garis pengukuran [m]
$g$	=	gaya gravitasi sebesar $9,806.65 \text{ m}/\text{s}^2$
$Q$	=	stack effect aliran rata rata [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]
$C$	=	konstanta. Diambil nilai 0.65 sampai 0.70
$h$	=	tinggi atau jarak [m]
$T_l$	=	temperatur absolut di luar [K]
$T_d$	=	temperatur absolut di dalam [K]
$q_{radiasi}$	=	laju pertukaran panas radiasi [W]
$\epsilon$	=	Nilai emisivitas suatu benda ( $0 \leq \epsilon \leq 1$ )
$\sigma$	=	Konstanta proporsionalitas, disebut juga konstanta Stefan Boltzmann yang memiliki nilai $5,67 \times 10^{-8}$
$T$	=	Temperatur benda (K)
$\Gamma$	=	sudut hari [radian]
$d_n$	=	hari ke n
$\delta$	=	sudut zenith
$\epsilon$	=	solar altitude
$\omega$	=	sudut jam
$\varphi$	=	letak geografis

$\beta$	=	nilai deklinasi
$\omega_{mtr}$	=	Sudut matahari saat terbit [ $^{\circ}$ ]
$\omega_{mtg}$	=	Sudut matahari saat tenggelam [ $^{\circ}$ ]
$\varphi$	=	garis lintang, lintang utara positif, lintang selatan negatif dan di katulistiwa adalah nol [ $^{\circ}$ ].
$N_d$	=	lamanya penyinaran matahari dalam satu hari [h]
$\omega_s$	=	Sudut matahari saat terbit pada bidang horisontal [ $^{\circ}$ ]
$I_o$	=	radiasi ekstraterestrial [ $W/m^2$ ]
$I_{SC}$	=	Solar konstanta ( $1367W/m^2$ ) [ $W/m^2$ ]
$E_o$	=	Faktor Koreksi Eksentrisitas [ $(r_o/r)^2$ ]
$\theta_z$	=	sudut Zenit terhadap bidang normal [ $^{\circ}$ ], sudut ini maksimal $89,5^{\circ}$ , jika lebih besar dari $89,5^{\circ}$ akan membuat kesalahan yang cukup mengganggu dalam perhitungan.
$\alpha$	=	ketinggian matahari [ $^{\circ}$ ]
$\omega$	=	Sudut matahari menurut jam, tengah hari adalah nol, pagi hari diberi simbol positif dan siang hari diberi simbol negatif [ $^{\circ}$ ]
$\varphi$	=	Posisi Lintang, Lintang utara diberi simbol positif dan Lintang Selatan diberi simbol negatif [ $^{\circ}$ ]
$I_b$	=	radiasi total pada bidang horisontal [ $W/m^2$ ]
$I_n$	=	radiasi langsung matahari [ $W/m^2$ ]
$\tau_o$	=	Transmisi melalui penyebaran ozon [-]
$U_3$	=	Konsentrasi ozon pada lapisan atmosfer [cm (NTP)]
$m_r$	=	Massa udara dalam tekanan standart [-]
$l$	=	ketebalan lapisan vertikal ozon [cm (NTP)]
$\tau_r$	=	Transmisi melalui molekul udara kering [-]
$m_a$	=	Massa udara dalam tekanan aktual [-]
$p$	=	tekanan atmosfer [mbar]
$z$	=	Ketinggian lokasi dari atas permukaan air laut [m]
$\alpha_w$	=	Absorpsi melalui uap air [-]

- $U_1$  = konsentrasi uap air di atmosfer [cm(NTP)]  
 $w$  = Curah hujan [cm]  
 $T$  = temperatur ambient [K]  
 $w'$  = curah hujan pada kondisi aktual [cm]  
 $t_d$  = temperatur pada titik kondensasi [°C]  
 $y$  = -0,02290 dari April sampai Juni  
           +0,02023 dari Juli bis Maret  
 $\tau_a$  = Transmisi melalui penyebaran aerosol [-]  
 $\varepsilon$  = Panjang gelombang pada rumus tingkat cerah-kusamnya langit menurut Ångström [-]  
 $k_{a\lambda}$  = nilai koefisien dari penguapan melalui penyebaran (difus) dan absorpsi melalui aerosol [-]  
 $\lambda$  = Panjang gelombang [ $\mu\text{m}$ ]  
 $T_{\text{Å}}$  = tingkat cerah-kusamnya langit menurut Ångström [-]  
 $\alpha$  = eksponen dari panjang gelombang  
 $I_d$  = Radiasi difus pada bidang horisontal [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]  
 $I_{dr}$  = Radiasi difus yang diperoleh dari penyebaran molekul di atmosfer [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]  
 $I_{da}$  = Radiasi difus yang dihasilkan dari penyebaran aerosol di atmosfer [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]  
 $I_{dm}$  = Radiasi difus yang dihasilkan dari pemantulan antara permukaan bumi dan atmosfer [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]  
 $\omega_o$  = pancaran albedo tunggal [-], untuk daerah perkotaan nilainya 0,6 dan daerah pedesaan nilainya 0,9  
 $F_c$  = Bagian dari pancaran yang diteruskan terhadap total pancaran matahari [-]  
 $\rho_g$  = Albedo permukaan tanah [-]  
 $\rho'_a$  = Albedo pada kondisi langit tak berawan [-]  
 $I$  = Radiasi global keseluruhan pada bidang horisontal [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]  
 $I_{o\beta\gamma}$  = Radiasi ekstraterestris pada bidang miring dengan berbagai orientasi bangunan [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]

- $\theta$  = sudut orientasi bidang [°]
- $\gamma$  = sudut azimut, selatan adalah nol, sisi timur adalah positif dan barat adalah negatif [°]
- $\beta$  = Sudut kemiringan dinding terhadap bidang horisontal [°]
- $I_{\beta\gamma}$  = Radiasi total pada bidang miring dengan berbagai orientasi bangunan [W/m<sup>2</sup>]
- $I_r$  = radiasi difus terhadap pantulan permukaan bumi pada bidang miring dengan berbagai orientasi bangunan [W/m<sup>2</sup>]
- $\Delta$  = sudut Azimut pada bidang miring terhadap matahari [°]
- $I_s$  = radiasi langit difus pada bidang miring dengan berbagai orientasi bangunan [W/m<sup>2</sup>]
- $F$  = Fungsi modulasi [-]
- $I_{\alpha\beta}$  = Radiasi difus pada bidang miring dengan berbagai orientasi bangunan [W/m<sup>2</sup>]
- $I_{\beta\gamma}$  = Radiasi global pada bidang miring dengan berbagai orientasi bangunan [W/m<sup>2</sup>]
- OTTV = besaran transfer termal secara menyeluruh dari dinding luar ke dalam bangunan berdasar arah orientasi tertentu (Watt/m<sup>2</sup>).
- $\alpha$  = absorbtansi radiasi matahari.
- $U_w$  = transmitansi termal dinding tak tembus cahaya (Watt/m<sup>2</sup>.°K).
- $WWR$  = perbandingan luas jendela dengan luas seluruh inding luar pada orientasi yangditentukan.
- $T_{Dek}$  = beda temperatur ekivalen (°K).
- $SC$  = koefisien peneduh dari sistem fenestrasi.
- SF = faktor radiasi matahari (Watt /m<sup>2</sup>).
- $U_f$  = transmitansi termal fenestrasi (Watt/m<sup>2</sup>.°K).
- $\Delta T$  = beda temperatur perencanaan antara bagian luar dan bagian dalam (diambil 5°K).



# BAB I

## PENDAHULUAN

### *1.1. Latar Belakang*

Desain Bangunan di daerah tropis sejatinya perlu untuk memperhitungkan transfer panas melalui dinding dan atap sebagai selubung bangunan yang terpapar sinar matahari yang berakibat masuknya panas matahari dan mempengaruhi penambahan beban panas di dalam bangunan. Mereduksi masuknya panas ke dalam bangunan adalah salah satu langkah bijaksana, sehingga kenyamanan termal di dalam bangunan dapat tercapai dan jika ruang di dalam bangunan menggunakan pengkondisian udara buatan, maka akan dapat menekan konsumsi energi berlebih, karena beban panas di dalam ruangan merupakan bagian dari pengkondisian udara yang membutuhkan energi besar untuk menurunkan sampai pada temperatur yang diinginkan.

Transfer panas dapat dihitung bagian per bagian dengan pendekatan rumus fisika bangunan, namun saat ini banyak software yang dapat membantu mensimulasikan, tidak hanya dalam perhitungan matematis semata, namun dapat pula menampilkan simulasi gambar perpindahan panas dengan pendekatan *finite element*. Tampilan menjadi menarik dan dapat dipahami secara visual dan bahkan dapat digunakan untuk membandingkan antara kondisi awal dan kondisi setelah dilakukan upaya pengembangan desain dari selubung bangunan dari obyek pengamatan.

### *1.2. Metode Pembahasan*

Konsep dasar dari transfer panas (*heat transfer*) dibahas pada bab awal dan pemahaman terkait dengan dasar-dasar perhitungan transfer panas yang akan mengantarkan pemahaman pada penggunaan software simulasi komputer. Software yang dapat digunakan antara lain; WUFI (**W**ärme **U**nd **F**euchte **I**nstationär) yang dikembangkan oleh Fraunhofer Institute for building physics Jerman, Therm yang dikembangkan oleh Berkeley Lab, Psi-Therm 7 yang dikembangkan oleh NSAI Inggris, HT-Flux yang dikembangkan oleh **HTflux Engineering GmbH Austria**, dan masih banyak software simulasi yang diulas. Dari software ini dapat dipahami konsep dasar perhitungannya dan tahapan penggunaan secara detail dalam pembahasan buku ini.

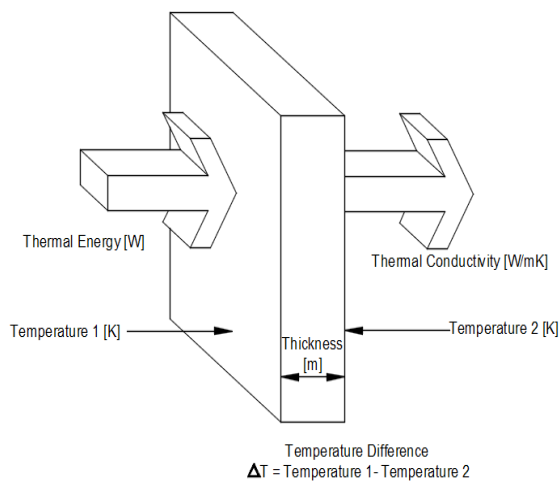


# BAB II

## TRANSFER PANAS

### II.1. Konsep Dasar Transfer Panas

Prinsip dasar pada transfer panas (*heat transfer*) adalah pemahaman pada bahan bangunan dinding ataupun atap. Pada transfer panas, yang perlu diperhitungkan adalah bahan bangunan, ketebalan bangunan, temperatur udara dan temperatur permukaan dinding, baik dari dalam maupun luar bangunan. Perpindahan panas tersebut dapat digambarkan pada gambar berikut ini:



**Gambar 1.** Proses perpindahan panas[1]

Pada perhitungan Transfer Panas pada dinding bangunan, dimulai pada pemahaman terhadap:

#### 1. Nilai hantaran jenis bahan $k$ (*thermal conductivity*)

Ukuran kemampuan sebuah material untuk meneruskan panas. Semakin besar nilainya semakin cepat meneruskan panas. Satuannya adalah W/mK

## 2. Nilai tahanan jenis bahan r (*resistivity*)

Ukuran kemampuan sebuah material untuk menahan panas. Semakin besar nilainya akan semakin besar kemampuan melakukan isolasi panas atau menahan laju panas. *Resistivity* adalah kebalikan dari *Conductivity* dengan satuan mK/W.

$$r = \frac{1}{k} \text{ [mK/W] (II.1)}$$

Untuk nilai *Conductivity* dan *Resistivity* dapat dilihat pada tabel berikut ini:

**Tabel 1:** Hantaran jenis dan tahanan jenis[2]

No	Bahan Bangunan	Hantaran Jenis ( <i>conductivity</i> ) k W/mK	Tahanan Jenis ( <i>resistivity</i> ) r= 1/k mK/W
1	Asbes biasa	0,034	29,41
2	Asbes disemprot cat	0,046	21,74
3	Asbes plat ringan	0,216	4,63
4	Asbes plat sedang	0,360	2,78
5	Asbes plat kerapatan tinggi	0,576	1,74
6	Aspal	0,576	1,74
7	Dinding Batu Bata : ringan	0,806	1,24
8	Dinding Batu Bata : sedang	1,210	0,83
9	Dinding Batu Bata : padat	1,470	0,68
10	Dinding Batu Bata : bata ringan	0,370	2,70
11	Dinding Batu Bata : industri	1,150	0,87
12	Beton biasa, kerapatan tinggi	1,440	0,69
13	Beton dengan agregat Klinker	0,403	2,48
14	Beton dengan agregat lempung tiup	0,345	2,90
15	Beton dengan agregat slang busa	0,245	4,08
16	Lembaran kayu gabus : alamiah	0,043	23,26

No	Bahan Bangunan	Hantaran Jenis (conductivity) k W/mK	Tahanan Jenis (resistivity) r= 1/k mK/W
17	Lembaran kayu gabus : granulasi kembali & dipanggang	0,039	25,64
18	Selimut rumput laut	0,043	23,26
19	Glass Woll : bentuk selimut isian	0,043	23,26
20	Glass Woll : bentuk lembaran lebar	0,042	23,81
21	Mineral Woll : Flanel (felt)	0,037	27,03
22	Mineral Woll : lembaran kokoh	0,049	20,41
23	Onzote (ebonit tiup)	0,029	34,48
24	Papan plesteran (plasterboard), gips	0,159	6,29
25	Plesteran : gips	0,461	2,17
26	Plesteran : vermiculite (olahan mika)	0,201	4,98
27	Plywood	0,138	7,25
28	Lembaran busa polystyrene	0,033	30,30
29	Pasangan adukan semen-pasir	0,532	1,88
30	Batu granit	2,920	0,34
31	Batu kapur	1,530	0,65
32	Batu pasir	1,295	0,77
33	Papan merang	0,093	10,75
34	Kayu lunak	0,138	7,25
35	Kayu keras	0,160	6,25
36	Papan serpihan kayu (chipboard/partikelboard)	0,108	9,26
37	Softboard serat kayu	0,065	15,38
38	Lembaran Wood Wool ringan	0,082	12,20
39	Lembaran Wood Wool padat	0,115	8,70
40	Timah hitam	34	0,0294
41	Besi tuang	50	0,0200

No	Bahan Bangunan	Hantaran Jenis ( <i>conductivity</i> ) k W/mK	Tahanan Jenis ( <i>resistivity</i> ) r= 1/k mK/W
42	Baja	58	0,0172
43	Perunggu	64	0,0156
44	Seng	110	0,0091
45	Aluminium	220	0,0045
46	Tembaga	350	0,0029
47	Perak	407	0,0025
48	Udara	0,026	38,46
49	Air	0,580	1,72

Pada bahan bangunan baru, untuk mendapatkan nilai Hantaran Jenis (*conductivity*) dapat digunakan peralatan seperti pada gambar berikut, sesuai dengan ISO 8302, ASTM C177, EN 1946-2, EN 12664, EN 12667 and EN 12939



**Gambar 2.** GHP 900 – Thermal Conductivity Tester

### 3. Hantaran bahan C (*conductance*)

Ukuran kemampuan sebuah material untuk meneruskan panas yang dipengaruhi oleh ketebalan dari bahan. Pada perhitungan ini nilai C adalah kebalikan dari nilai R dengan pendekatan:

$$C = \frac{1}{R} \text{ [W/m}^2\text{K]} \text{ (II.2)}$$

#### 4. Tahanan bahan R (*thermal resistance*)

Ukuran kemampuan sebuah material untuk menahan panas yang dipengaruhi oleh ketebalan dari bahan. Rumus dasar dari Tahanan benda ini dihitung dengan rumus:

$$R = \frac{\Delta T}{q} = \frac{d}{k} \text{ [m}^2\text{K/W]} \text{ (II.3)}$$

Di mana

d = ketebalan [m]

T = Temperatur [K]

q = nilai laju panas [ $\text{W/m}^2$ ]

k = hantaran jenis [ $\text{W/mK}$ ]

Setiap bahan bangunan memiliki nilai hantaran bahan/konduktansi (*conductance*) dan tahanan bahan (*thermal resistance*) yang berbeda-beda dan dapat dilihat pada tabel berikut ini:

**Tabel 2:** Nilai Konduktansi dan Tahanan pada berbagai bahan bangunan[2]

No	Bahan Konstruksi	Konduktansi C $\text{W/m}^2\text{K}$	Tahanan bahan R $\text{m}^2\text{K/W}$
<b>A.</b>	<b>Dinding</b>		
1	Dinding batu bata padat tanpa plesteran 11,4 cm	3,64	0,27
2	Dinding batu bata padat diplester dua sisi 11,4 cm	3,24	0,31
3	Dinding batu bata padat tanpa plesteran 22,8 cm	2,67	0,37
4	Dinding batu bata padat diplester dua sisi 22,8 cm	2,44	0,41
5	Beton biasa; padat 15,2 cm	3,58	0,28
6	Beton biasa; padat 20,3 cm	3,18	0,31
7	Batu, kepadatan sedang, berpori 30,5 cm	2,84	0,35
8	Batu, kepadatan sedang, berpori 45,7 cm	2,27	0,44

No	Bahan Konstruksi	Konduktansi C W/m <sup>2</sup> K	Tahanan bahan R m <sup>2</sup> K/W
9	Bata berlubang 28 cm, kulit luar fletton, bagian luar diplester	1,70	0,59
10	Bata dengan papan isolasi kayu gabus 25 cm diplester	0,85	1,18
11	Bata dengan papan isolasi papan fibreboard 25 cm diplester	1,19	0,84
12	Bata dengan papan isolasi plat wood wool 25 cm diplester	0,85	1,18
13	Bata diplester rumput laut setebal 1,6 cm sebelah dalam bata dengan papan kokoh disebelah dalam dipasang rusuk:	1,47	0,84
	papan asbes 1,3 cm	1,19	0,84
	papan serat 1,3 cm (fibreboard) papan merang, diplester 5 cm	0,95 0,74	1,05 1,35
14	Bata sisi sebelah dalam blok-blok beton ringan aerasi 10 cm	1,13	0,88
15	Bata sisi sebelah dalam blok-blok beton ringan klinker 10 cm	1,30	0,77
16	Blok beton aerasi, berlubang 25 cm (10+5+10) sisi luar diaci semen sisi dalam diplester	1,19	0,84
17	Blok beton klinker, berlubang 25 cm (10+5+10) sisi luar diaci semen sisi dalam diplester	1,08	0,93
18	Blok beton aerasi berlubang 22,8 cm bersisi rata satu sisi sisi luar diaci semen sisi dalam diplester	1,70	0,59
19	Blok beton klinker berlubang 22,8 cm bersisi rata satu sisi sisi luar diaci semen sisi dalam diplester	1,59	0,63
20	Lembaran semen asbes gelombang pada rangka besi	6,53	0,15
	+ papan serat (fibreboard) 1,3 cm	2,04	0,49
	+ plat merang atau wood wool 5 cm	1,19	0,84
	+ blok beton aerasi 7,6 cm	2,10	0,48

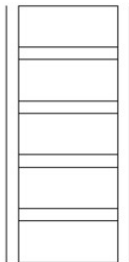


No	Bahan Konstruksi	Konduktansi C W/m <sup>2</sup> K	Tahanan bahan R m <sup>2</sup> K/W
<b>B. Atap, berlekuk-lekuk</b>			
1	Lembaran asbes semen bergelombang	7,95	0,13
	+ papan kayu 1,3 cm	2,16	0,46
	+ pelat merang atau wood wool 5 cm	1,25	0,80
	+ quilt 2,5 cm pada papan penahan 1,3 cm	0,85	1,18
2	Lembaran plat besi gelombang atau genteng metal pada rusuk	8,52	0,12
	+ plafond plester	3,18	0,31
3	Genting atau sirap batu tulis pada pasangan papan dan felt dengan plafond plesteran	1,70	0,59
4	Deck aluminium, 1,3 cm papan serat dengan dua lapis felt yang diberi bitumen	2,16	0,46
5	Deck aluminium, 5 cm plat merang atau wood wool	1,25	0,80
<b>C. Atap Datar</b>			
1	Plat beton bertulang 10 cm, screed 0,63 - 1,2 cm, 3 lapis felt yang diberi bitument	3,35	0,30
2	Seperti diatas dengan isolasi diatasnya:		
	Lapisan gabus 2,5 cm	1,08	0,93
	Plat merang atau wood wool 5 cm	1,13	0,88
	Dua lapis papan serat 1,2 cm	1,25	0,80
3	Seperti diatas dengan screed ringan/normal Beton aerasi 7,6 cm sampai 12,7 cm	1,36	0,74
	Beton selang busa	1,47	0,68
4	Pasangan papan kayu 2,5 cm pada pasangan papan berdiri 17,8 cm ditambah 3 lapisan felt yang diberi bitumen dan plafond plesteran	1,82	0,55

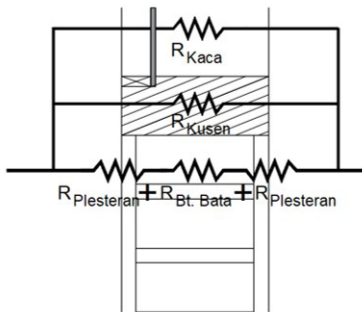
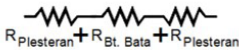
No	Bahan Konstruksi	Konduktansi C W/m <sup>2</sup> K	Tahanan bahan R m <sup>2</sup> K/W
5	Seperti diatas dengan plat isolasi diatas pasangan papan kayu		
	Kayu gabus 2,5 cm	0,85	1,18
	Papan serat 1,3 cm	1,25	0,80
	Plat merang atau wood wool 5 cm	0,91	1,10
<b>D.</b>	<b>Lantai</b>		
1	Beton di atas tanah atau urugan Hardcore	1,13	0,88
	+ grano, terasso atau ubin di atasnya	1,13	0,88
	+ ubin berupa wood block	0,085	11,76
2	Pasangan papan kayu di atas pasangan papan berdiri sebagai penahan, ruang di bawahnya diventilasi dari satu sisi	1,70	0,59
	+ lapisan parket, lenolium atau karet di atasnya	1,42	0,70
3	Pasangan papan kayu diatas pasangan papan berdiri sebagai penahan, ruang di bawahnya diventilasi dari beberapa sisi	2,27	0,44
	+ lapisan parket, lenolium atau karet di atasnya	1,98	0,51
	+ papan serat 2,5 cm di bawah papan kayu	1,08	0,93
	+ papan kayu gabus 2,5 cm di bawah papan	0,95	1,05
	+ papan kayu gabus 2,5 cm di bawah pasangan papan berdiri	0,79	1,27
	+ papan merang 5 cm di bawah pasangan papan berdiri	0,85	1,18
	+ aluminium foil dua sisi, draped	1,42	0,70

No	Bahan Konstruksi	Konduktansi C W/m <sup>2</sup> K	Tahanan bahan R m <sup>2</sup> K/W
<b>E. Jendela</b>			
1	Kaca Tunggal	3,97 - 7,38	0,14 - 0,25
2	Kaca double dengan 6 mm ruang antara	2,67 - 3,80	0,26 - 0,37
3	Kaca double dengan 20 mm ruang antara	2,32 - 3,18	0,31 - 0,43

Untuk menghitung tahanan pada dinding yang berlapis, seperti dinding batu bata yang dipleser depan dan belakang, maka harus dilakukan penjumlahan dengan pendekatan:



$$\text{Penjumlahan } R_{\text{Seri}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots \text{ dst}$$



Untuk kaca, kusen dan dinding dihitung dengan R paralel:

$$\text{Penjumlahan } R_{\text{paralel}} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + \dots \text{ dst}$$

**Gambar 3.** Perhitungan tahanan

Pada penjumlahan Paralel akan menghasilkan nilai  $R_{\text{total}}$  yang lebih kecil. Jika nilai R lebih kecil maka akan ada perpindahan panas yang lebih cepat dari luar bangunan ke dalam bangunan. Kejadian ini sering disebut sebagai *Thermal Bridge*, yang berarti bahan bangunan tersebut menjadi semacam *by pass* yang merugikan fungsi isolasi dinding.

Nilai R selanjutnya akan ditambahkan dengan nilai tahanan perpindahan permukaan panas dalam dan luar bangunan, yang dikenal dengan rumus  $R_{value}$  dan seringkali pula disebut sebagai  $RSI_{value}$  yang dikaitkan dengan satuan International System of Units (SI), dengan rumus :

$$R_{value} = R_{Sd} + \sum R + R_{Sl} \quad [m^2K/W] \quad (II.4)$$

Dimana

$$R = \frac{d}{k}$$

Di mana:

$R_{Sd}$  = Tahanan perpindahan permukaan panas dalam bangunan [ $m^2K/W$ ]

$R$  = resistance [ $m^2K/W$ ]

$k$  = thermal conductivity [ $W/mK$ ]

$d$  = ketebalan bahan [m]

$R_{Sl}$  = Tahanan perpindahan permukaan panas luar bangunan [ $m^2K/W$ ]

## 5. $U_{value}$ (*Thermal Transmittance*)

*Thermal Transmittance* atau  $U_{value}$  adalah total dari seluruh nilai resistance dari bahan dinding atau atap dan ditambah dengan tahanan perpindahan permukaan panas  $R_s$ .

$$U_{value} = \frac{1}{R_{Sd} + \sum R + R_{Sl}} \quad [W/m^2K] \quad (II.5)$$

Di mana

$$R = \frac{d}{k}$$

$R_{Sd}$  = Tahanan perpindahan permukaan panas dalam bangunan [ $m^2K/W$ ]

$R$  = resistance [ $m^2K/W$ ]

$k$  = thermal conductivity [W/mK]

$d$  = ketebalan bahan [m]

$R_{sl}$  = Tahanan perpindahan permukaan panas luar bangunan [ $m^2K/W$ ]

Untuk menghitung nilai tahanan permukaan panas dapat digunakan tabel berikut ini:

**Tabel 3:** Nilai tahanan perpindahan permukaan panas  $R_s$  untuk dinding dan atap [3]

Jenis permukaan		Tahanan perpindahan permukaan panas $R_s$ [ $m^2K/W$ ]
Permukaan dalam	Emisivitas tinggi (permukaan halus yang tidak mengkilap)	0,120
	Emisivitas rendah (permukaan dalam yang sangat reflektif, seperti aluminium foil)	0,299
Permukaan luar	Emisivitas tinggi	0,044

Nilai tahanan perpindahan permukaan panas  $R_s$  yang sesuai dengan lokasi geografis, maka dapat dihitung dengan rumus:

$$R_s = \frac{1}{h} = \frac{1}{h_c + h_r} \quad [m^2K/W] \quad (II.6)$$

Di mana:

$h_r$  = Koefisien perpindahan panas radiasi [ $W/m^2K$ ]

$h_c$  = Koefisien perpindahan panas konveksi [ $W/m^2K$ ]

Koefisien perpindahan panas konveksi di permukaan luar, dihitung dengan pendekatan:

$$h_{ce} = 4 + 4 \cdot v \quad [W/m^2K] \quad (II.7)$$

Di mana :

$v$  = kecepatan angin di dekat permukaan dinding luar [m/s]

Sedangkan untuk Koefisien perpindahan panas konveksi di permukaan dalam, dihitung dengan pendekatan:

**Tabel 4:** Koefisien perpindahan panas konveksi di dalam bangunan [4]

	Arah perpindahan panas		
	ke atas	horisontal	ke bawah
$h_{ci}$	5,0	2,5	0,7

Koefisien perpindahan panas radiasi dihitung dengan rumus:

$$h_r = 0,9 \times (4 \times (5,67 \times 10^{-8}) \times T_{mn}^3) \text{ [W/m}^2\text{K]} \text{ (II.8)}$$

Dimana:

$T_{mn}$  = suhu termodinamika rata-rata permukaan dan sekitarnya [K]

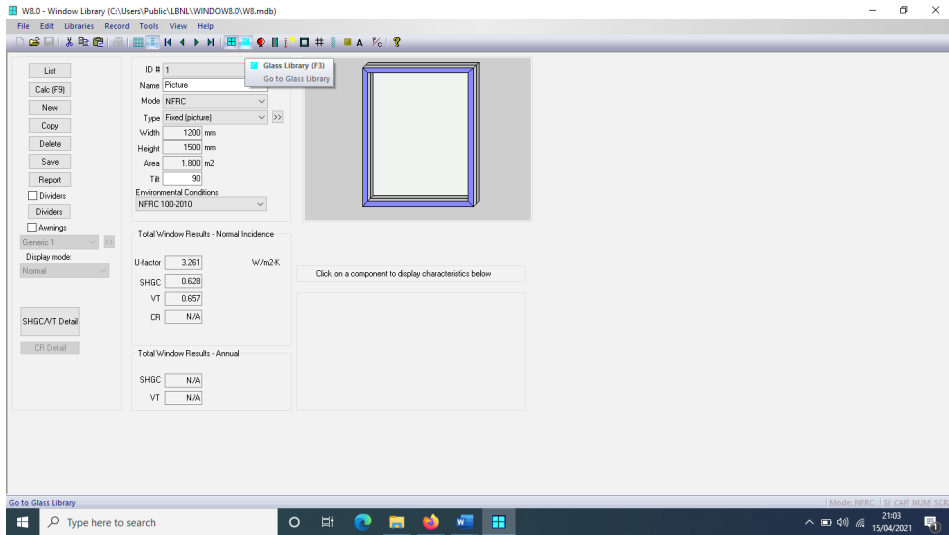
Menurut ISO 6946:2017 nilai tahanan perpindahan permukaan panas, yang mana perlu disesuaikan atau diperiksa ulang, kesesuaiannya dengan iklim tropis lembab seperti pada rumus diatas. Nilai tahanan menurut ISO 6946:dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 5:** Nilai tahanan perpindahan permukaan panas konvensional [4]

tahanan perpindahan permukaan panas $R_s$	Arah perpindahan panas		
	ke atas	horisontal	ke bawah
$R_s$ dalam	0,10	0,13	0,17
$R_s$ luar	0,04	0,04	0,04

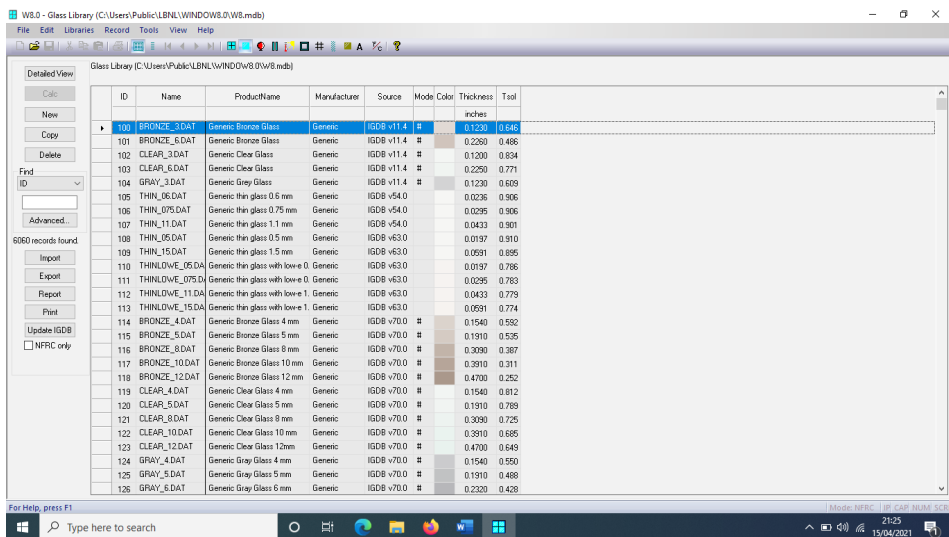
Untuk menghitung  $U_{value}$  kaca secara mudah dapat menggunakan software WINDOW 8.0 yang dikembangkan oleh Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) di website: <https://windows.lbl.gov/therm-8-window-8>

Setelah terinstall dengan baik, maka tampilan awal saat setelah software WINDOW 8. dibuka akan muncul tampilan layar seperti berikut ini:



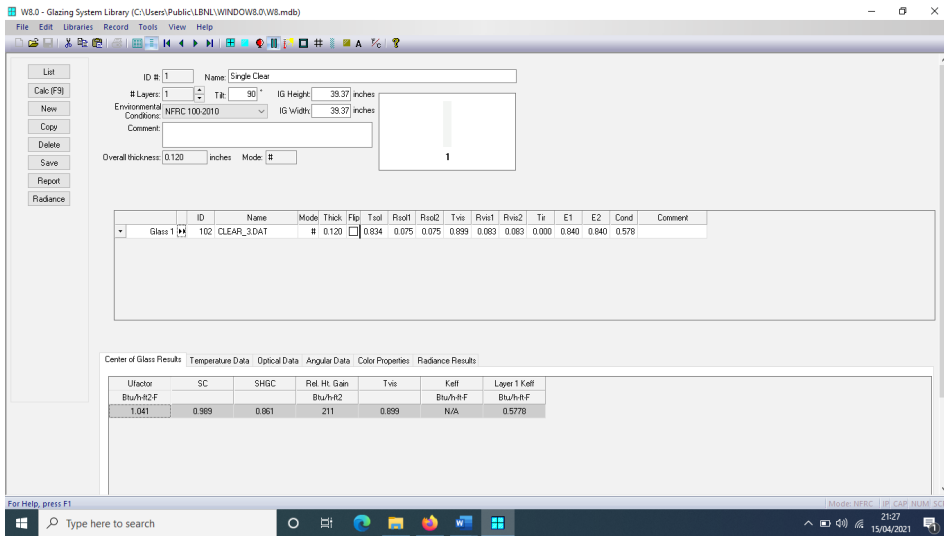
**Gambar 4.** Tampilan awal software WINDOW 8.

Lalu klik di *Glass library* untuk mengetahui jenis kaca yang akan dipilih dan dicari  $U_{value}$  nya



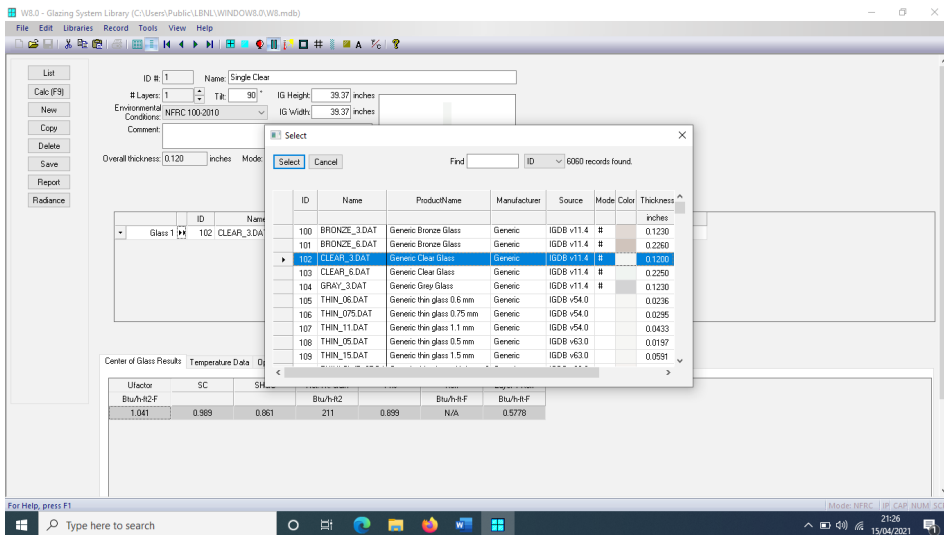
**Gambar 5.** Tampilan data dari Glass Library

Untuk menghitung dengan mengklik tombol *Glazing System Library*.



**Gambar 6.** Tampilan layar *Glazing System Library*

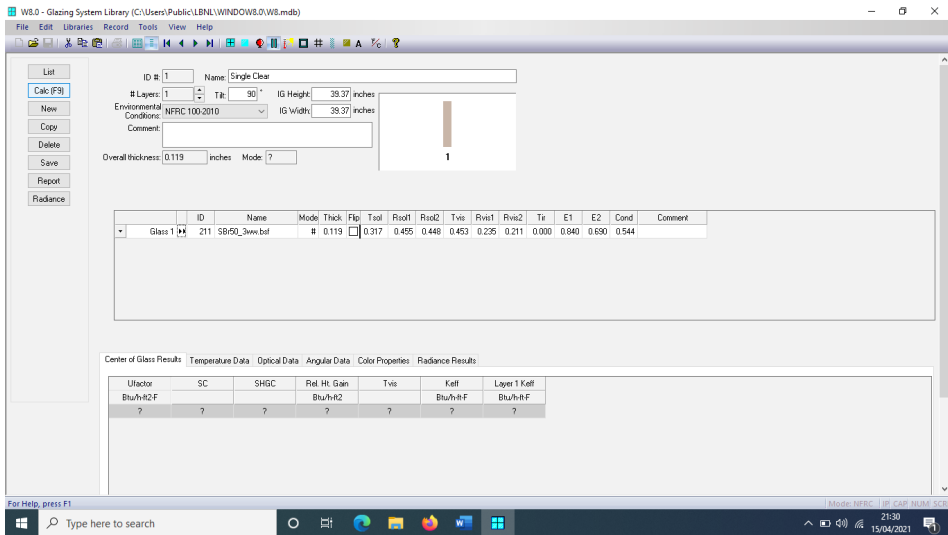
Untuk mengganti jenis kaca dengan mengklik tombol disebelah tulisan Glass1 dan akan muncul kotak dialog seperti gambar berikut:



**Gambar 7.** Memilih jenis kaca

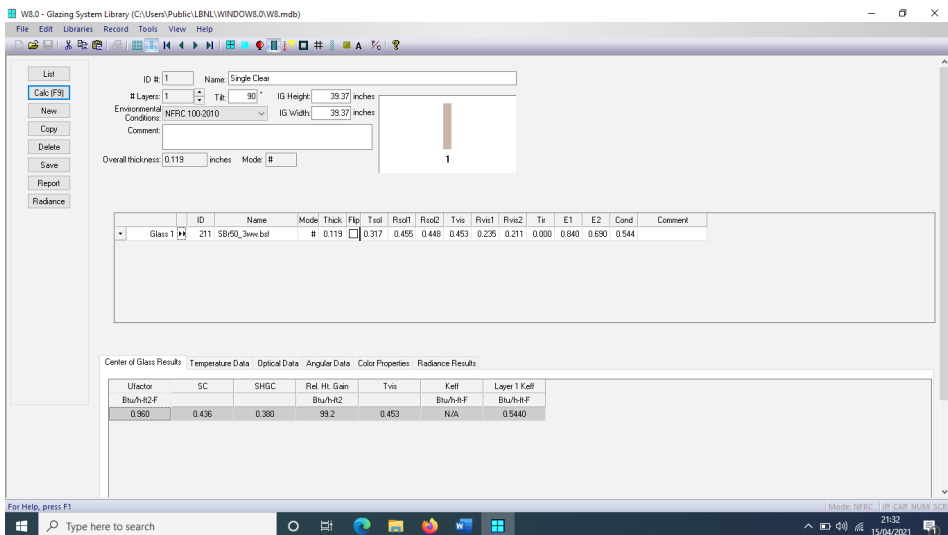


Lalu pilih kaca yang kita inginkan dengan melakukan double click pada kaca yang dipilih maka akan muncul pilihan kaca yang dipilih di layar perhitungan kita



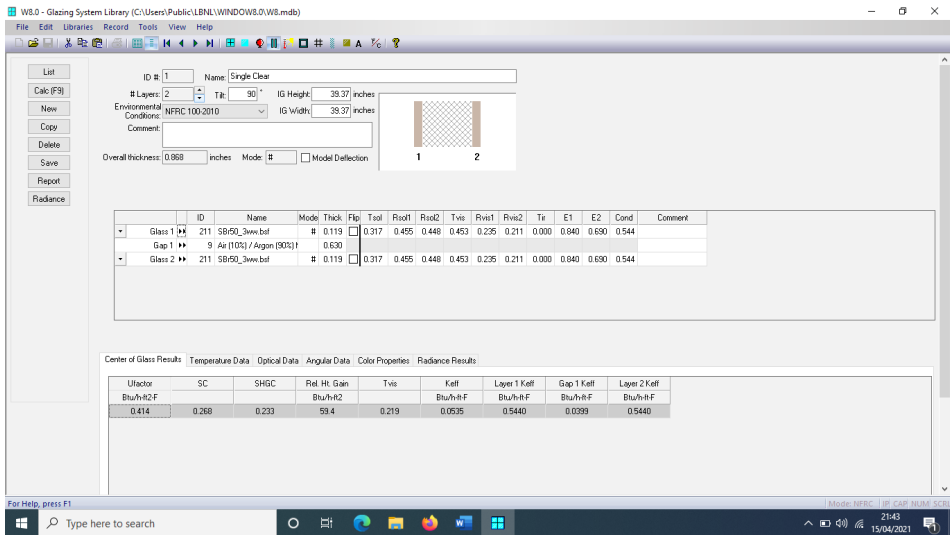
**Gambar 8.** Menghitung nilai  $U_{value}$

Pada layar tersebut nilai  $U_{value}$  masih kosong maka tekan tombol Calc dan akan muncul nilai  $U_{value}$  yang dibutuhkan.



**Gambar 9.** Hasil dari  $U_{value}$

Untuk penggunaan kaca ganda (*double glazing*) dapat menekan pada tombol Layer dan selanjutnya menekan Calc lagi untuk mendapatkan nilai  $U_{\text{value}}$  yang baru

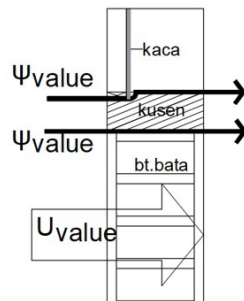


**Gambar 10.** Pemilihan kaca ganda (*Double glazing*)

Dengan penggunaan software WINDOW 8 ini akan dapat memudahkan dan mencari nilai  $U_{\text{value}}$  untuk jenis kaca yang berbeda-beda dan data tersebut didapat dari berbagai vendor kaca yang sudah tersertifikasi.

## 6. Jembatan Thermal (*Thermal Bridge*)

Pada pemahaman tentang jembatan termal, dipahami ada dua bentuk yaitu  $U_{\text{value}}$  sebagai jembatan termal bidang dan  $\psi_{\text{value}}$  sebagai jembatan termal garis. Jembatan termal bidang memperhitungkan bidang sebagai upaya untuk memperhitungkan kemampuan untuk menahan transfer panas dari luar bangunan ke dalam bangunan. Jembatan termal garis adalah memperhitungkan kebocoran termal melalui sambungan konstruksi, seperti antara dinding dan kusen, sambungan kusen dengan kaca dan sambungan yang lain. Kedua jembatan termal tersebut dapat dilihat pada gambar samping ini:



**Gambar 11.** Jembatan termal bidang dan garis

Jembatan termal menjadi hal yang perlu diperhitungkan terutama bagi bangunan yang menerapkan kenyamanan termal di dalam bangunannya, baik dengan pendekatan alami (*passive thermal control*) ataupun menggunakan pendekatan pengkondisian udara buatan. Kebocoran panas dari luar bangunan yang masuk ke dalam bangunan akan meningkatkan beban energi dalam menurunkan panas di dalam bangunan. Pendekatan untuk *Thermal Bridge* harus memperhitungkan faktor temperatur/*temperature factor* (*fRsi*), yaitu perbedaan antara temperatur permukaan bagian dalam suatu dinding/atap dan temperatur udara bagian luar, terkait dengan perbedaan temperatur antara udara bagian dalam dan udara bagian luar. Temperatur permukaan harus ditentukan dengan beberapa resistansi permukaan yang ditentukan dengan baik.  $fRsi = 0$ : suhu di jembatan termal identik dengan suhu di luar, dengan hasil yang buruk dalam hal kenyamanan. Nilai *fRsi* berkisar 0-1. Nilai yang terbaik adalah 1 dan jika tidak memungkinkan maka harus diupayakan sedekat mungkin dengan nilai 1.

$$fRsi = \frac{(T_{pd} - T_{ud})}{(T_{ul} - T_{ud})} \quad [-] \quad (II.9)$$

Di mana:

$T_{ud}$  = temperatur udara dalam [K]

$T_{pd}$  = temperatur permukaan dinding dalam [K]

$T_{ul}$  = temperatur udara luar [K]

Untuk di daerah tropis

$$T_{ul} < T_{pl}$$

$$T_{ud} < T_{pd}$$

Aturan umum untuk tempat tinggal adalah:  $fR_{si} \geq 0,75$ . Tujuan dari persyaratan minimum nilai  $fR_{si}$  adalah untuk mencegah kerusakan struktur akibat kondensasi.

Nilai Psi atau nilai  $\psi$  adalah pengukuran yang digunakan untuk menentukan laju kehilangan panas melalui sambungan (di mana dua elemen termal bertemu, misalnya dinding luar dan lantai dasar). Kehilangan panas pada persimpangan ini disebut sebagai jembatan termal tidak berulang yang dapat membentuk hingga 25% dari total kehilangan panas bahan bangunan. Pendekatan perhitungan Psi-value ( $\psi_{value}$ ) dapat di hitung dengan rumus:

$$\Psi_{value} = L^{2D} - \sum (U_{value} \times l) \quad [W/mK] \text{ (II.10)}$$

atau

$$\Psi_{value} = \frac{\Phi}{\Delta T} - \sum (u_{value} \times l) \quad [W/mK] \text{ (II.11)}$$

Dimana:

$L^{2D}$  = koefisien termal 2D yang diambil dari  $U_{value}$  x panjang [W/mK]

$\Phi$  = nilai heat flow [W]

$\Delta T$  = beda temperatur [K]

$U_{value}$  = Thermal Transmittance [W/m<sup>2</sup>K]

$l$  = panjang [m]

## 7. Kehilangan panas (*Heat Loss*) dan peningkatan panas (*Heat Gain*)

Kehilangan panas pada bangunan di daerah tropis adalah keberhasilan desain selubung bangunan untuk menahan masuknya panas dari luar bangunan masuk ke dalam bangunan. Seberapa besar kemampuan selubung bangunan dapat dihitung dengan pendekatan rumus sebagai berikut:

$$Q = U_{value} \times A \times \Delta T \quad [W] \text{ (II.12)}$$

Pada bangunan di daerah tropis dengan temperatur diluar lebih tinggi dari temperatur di dalam bangunan, maka dapat di kembangkan menjadi rumus:

$$Q = U_{value} \times A \times CLTD \text{ [W] (II.13)}$$

Dimana:

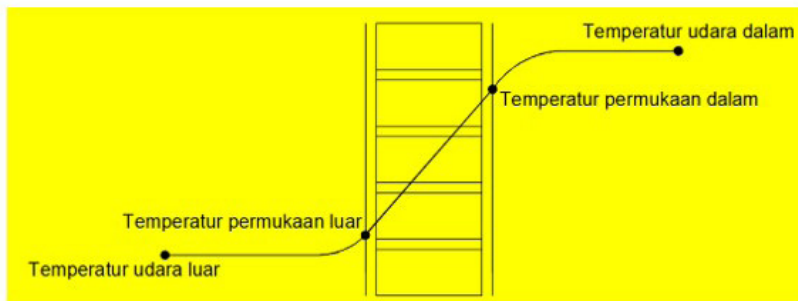
CLTD = Cooling Load Temperature Difference dari ASHRAE

Untuk kaca dihitung dengan pendekatan :Solar Gain Factor x luas jendela. Untuk penerangan dan peralatan elektronik lainnya dihitung dengan pendekatan; beban keseluruhan x 3,413 BTU/kWh. Sementara beban penghuni bangunan dihitung dengan pendekatan: jumlah penghuni x 200 sampai 400 BTU/orang/per-jam. Sementara untuk beban ventilasi dihitung dengan: CFM x 60 Menit/jam x jumlah penghuni x 0.018 x perbedaan temperatur.

Pada sebuah selubung bangunan (dinding, atap atau benda padat lainnya) yang memisahkan ruang dalam dengan ruang luar yang memiliki perbedaan temperatur, maka aliran panas selalu mengalir dari temperatur yang tinggi ke arah temperatur yang lebih rendah atau dapat dikatakan mengarah pada penurunan temperatur. Perpindahan panas (*heat transfer*) dari tempat dengan temperatur yang lebih tinggi ke tempat dengan temperatur yang lebih rendah terjadi melalui tiga cara yaitu:

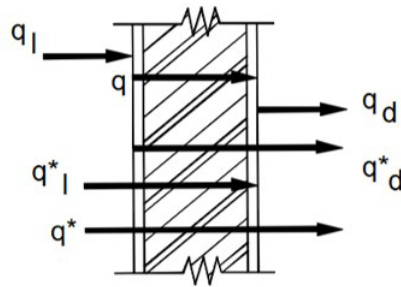
### A. *Konduksi*

Perpindahan panas melalui konduksi (*Conduction*), terutama terjadi dalam benda padat, tetapi dapat juga terjadi dalam cairan dan gas.



**Gambar 12.** *Transfer panas melalui dinding secara konduksi pada daerah empat musim*

Pada dinding dan atap, perhitungan dapat dihitung bagian perbagian terkait dengan laju perpindahan panas yang terjadi. Perpindahan panas secara konduksi pada bangunan dapat digambarkan sebagai berikut:



**Gambar 13.** Konduksi pada dinding

Pada perpindahan panas konduksi pada dinding satu lapis saja seperti gambar 13 dapat dituangkan dalam rumus dasar:

$$q_{konduksi} = -kA \frac{dT}{dX} \text{ [W]} \text{ (II.14)}$$

Di mana:

$q_{konduksi}$  = Laju perpindahan panas konduksi [W]

$k$  = Konduktivitas panas (*thermal conductivity*) bahan [W/m.K]

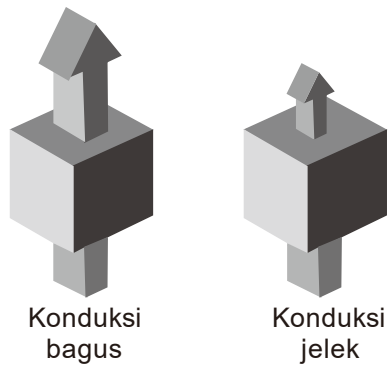
$A$  = Luas penampang tegak lurus terhadap arah aliran panas [m<sup>2</sup>]

$\frac{dT}{dX}$  = Gradien temperatur pada penampang tersebut [K/m]

Satuan temperatur yang digunakan adalah Kelvin (K), dimana 1 K = 273,15°C

Jika dari hasil perhitungan didapat hasil minus (-) berarti panas mengalir dari dalam bangunan menuju luar bangunan. Beda temperatur dihitung temperatur dalam bangunan dikurangi temperatur di luar bangunan.

Konduksi bahan dibagi menjadi dua yaitu konduksi bagus dan konduksi jelek. Konduksi bagus adalah bahan yang menyalurkan panas dengan kehilangan panas yang sedikit, sebaliknya bahan dengan konduksi jelek adalah bahan yang menahan laju panas dan panas yang diteruskan menjadi lebih kecil dari panas sumber. Konduksi jelek dapat dimanfaatkan sebagai bahan isolasi panas. Kedua jenis tersebut seperti pada gambar berikut ini:



**Gambar 14.** Konduksi bagus dan jelek

Ukuran karakteristik konduksi panas (*thermal conductivity*) pada bahan adalah nilai konduktivitas panas  $\lambda$  dalam satuan W/mK.

**Tabel 6:** Nilai konduktivitas panas  $\lambda$  pada beberapa bahan bangunan

<b>Material</b>	<b>nilai konduktivitas panas <math>\lambda</math></b>
Mortar semen kapur	0,87
Plesteran	0,35
Spesi lantai	1,40
Beton biasa	2,10
Beton ringan	0,81-1,40
Beton ringan berongga	0,22-1,20
Beton berongga	0,19-0,20
Gypsum board	0,21
Papan semen serat	0,58
Batu bata	0,30-0,96
Dinding batu kapur	0,50-1,30
Dinding beton ringan	0,29-0,99
Dinding beton berongga	0,22-0,29
Kayu	0,13-0,20
Aspal	0,70
Kaca	0,80
Baja	60
Aluminium	200
Udara	0,02
Logam	50-500

Konduksi sendiri terbagi menjadi dua jenis yaitu:

- Konduksi *steady state* merupakan konduksi pada perbedaan temperatur saat konduksi berlangsung spontan dan setelah mencapai titik keseimbangan, maka temperatur pada benda tidak berubah lagi.
- Konduksi *transient* adalah temperatur dari benda berubah seiring dengan perubahan waktu. Pada Software WUFI akan dapat dilakukan simulasi perpindahan panas ini sesuai dengan waktu pengukuran yang sudah ditetapkan..

Rumus dasar dari alur aliran panas (*heat flux*) pada perpindahan panas konduksi pada dinding atau atap yang berlapis seperti gambar 13 dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$q = \frac{\Delta T}{\sum R} \quad (\text{II.15})$$

yang diambil dari pendekatan rumus  $q_{\text{konduksi}} = -kA \frac{dT}{dX}$

aliran panas (*heat flux*) terbagi dalam:

$q_1$  = aliran panas dari temperatur udara luar sampai ke temperatur permukaan dinding luar

$q_1^*$  = aliran panas dari temperatur udara luar sampai ke temperatur permukaan dinding dalam

$q$  = aliran panas dari temperatur permukaan dinding luar sampai ke temperatur permukaan dinding dalam

$q^*$  = aliran panas dari temperatur udara luar sampai ke temperatur udara dalam

$q_d$  = aliran panas dari temperatur permukaan dinding dalam sampai ke temperatur udara dalam

$q_d^*$  = aliran panas dari temperatur permukaan dinding luar sampai ke temperatur udara dalam

Untuk Bangunan di negara empat musim, temperatur di luar bangunan lebih dingin dari temperatur di luar bangunan, maka pendekatan perhitungannya adalah:

$$q_d = q_1 = q \quad [\text{W/m}^2] \quad (\text{II.16})$$



pada gambar 13, diketahui  $q_d$  adalah perhitungan dari permukaan dinding dalam ke udara di dalam bangunan dengan pendekatan sebagai berikut;

$$q_d = \frac{T_{ud} - T_{pd}}{R_{sd}} \text{ [W/m}^2\text{]} \text{ (II.17)}$$

Pendekatan  $q_l$  adalah dari udara luar ke permukaan luar dinding

$$q_l = \frac{T_{pl} - T_{ul}}{R_{sl}} \text{ [W/m}^2\text{]} \text{ (II.18)}$$

Perhitungan  $q$  adalah dari permukaan dinding luar ke permukaan dinding dalam dengan pendekatan sebagai berikut:

$$q = \frac{T_{pd} - T_{pl}}{R} \text{ [W/m}^2\text{]} \text{ (II.19)}$$

Aliran panas dari temperatur udara luar sampai ke temperatur permukaan dinding dalam, dihitung dengan pendekatan:

$$q^*_l = \frac{T_{pd} - T_{ul}}{R + R_{sl}} \text{ [W/m}^2\text{]} \text{ (II.20)}$$

Sedangkan aliran panas dari temperatur permukaan dinding luar sampai ke temperatur udara dalam dihitung dengan pendekatan:

$$q^*_d = \frac{T_{ud} - T_{pl}}{R_{sd} + R} \text{ [W/m}^2\text{]} \text{ (II.21)}$$

Perhitungan  $q^*$  merupakan pendekatan dengan menjumlah  $q_l, q$  dan  $q_d$  sebagai berikut:

$$q^* = q_l + q + q_d \text{ [W/m}^2\text{]} \text{ (II.22)}$$

$$q^* = \frac{T_{ud} - T_{pd}}{R_{sd}} + \frac{T_{pd} - T_{pl}}{R} + \frac{T_{pl} - T_{ul}}{R_{sl}} \text{ [W/m}^2\text{]} \text{ (II.23)}$$

$$q^* = \frac{T_{ud} - T_{pd} + T_{pd} - T_{pl} + T_{pl} - T_{ul}}{R_{sd} + R + R_{sl}} \text{ [W/m}^2\text{]} \text{ (II.24)}$$

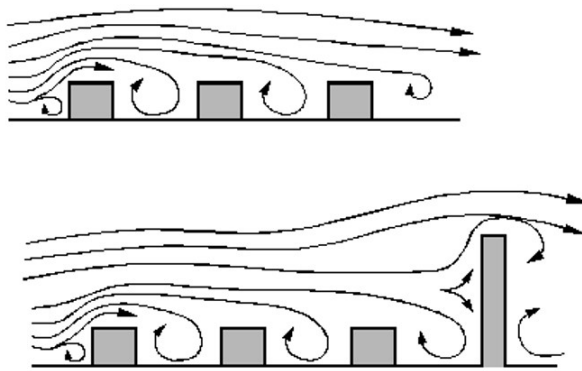
Maka dapat menjadi sederhana sebagai berikut:

$$q^* = \frac{T_{ud} - T_{ul}}{\frac{1}{U_{value}}} \text{ [W/m}^2\text{]} \text{ (II.25)}$$

$$q^* = U_{value} (T_{ud} - T_{ul}) \text{ [W/m}^2\text{]} \text{ (II.26)}$$

## B. Konveksi

Konveksi (*Convection*) adalah perpindahan panas yang terjadi dari permukaan benda padat atau fluida yang diam menuju fluida yang bergerak atau sebaliknya, yang terjadi akibat adanya perbedaan temperatur. Proses ini terjadi misalnya pada saat permukaan bangunan dilapisi oleh udara, seperti pada gambar di bawah ini:



**Gambar 15.** Pergerakan udara yang menerpa bangunan

Perpindahan panas konveksi terdapat dua kategori yaitu:

- Konveksi paksa (*forced convection*), yaitu konveksi yang disebabkan oleh pengaruh luar.
- Konveksi alamiah (*natural convection*) yaitu konveksi yang terjadi oleh efek gaya apungnya (*bouyancy forced effect*). Pada fluida, temperatur akan berbanding terbalik dengan massa jenis (*density*). Semakin tinggi temperatur suatu fluida maka massa jenisnya akan semakin rendah dan berlaku juga sebaliknya.

Konveksi dapat dihitung dengan pendekatan rumus:

$$q_{konveksi} = h_c \cdot A(T_s - T_f) \text{ [W]} \text{ (II.27)}$$

Di mana:

$q_{konveksi}$  : Laju perpindahan panas konveksi [W]

$h_c$  = Koefisien perpindahan panas konveksi [W/m<sup>2</sup>K]

A = Luas penampang tegak lurus terhadap arah aliran panas [m<sup>2</sup>]

$T_s$  = Temperatur permukaan [K]

$T_f$  = Temperatur fluida [K]

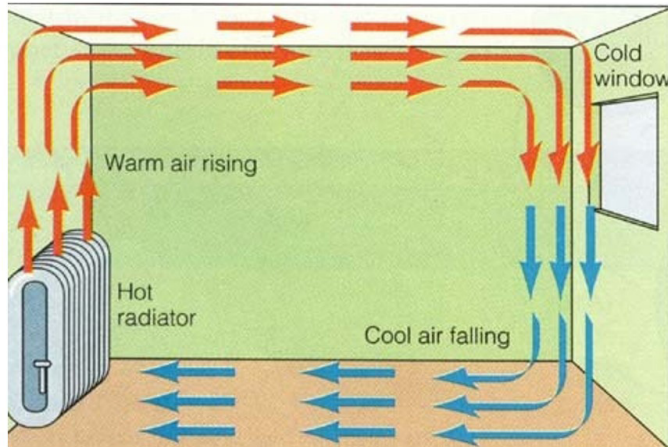
Untuk nilai koefisien perpindahan panas konveksi dapat dilihat pada tabel berikut ini:

**Tabel 7:** Koefisien perpindahan panas konveksi

Sistem	h [W/m <sup>2</sup> K]
Konveksi alami (gas)	10
Konveksi alami (cairan)	100
Gas mengalir	50-100
Cairan mengalir (Viskositas rendah)	1.000-5.000
Cairan mengalir (Viskositas tinggi)	100-500
Cairan mendidih	20.000
Lemari es mengembun	20.000

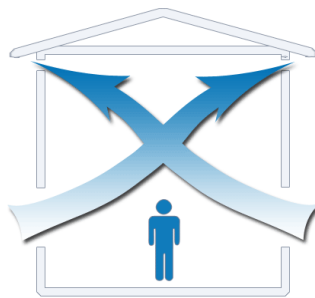
Konveksi yang berlaku di udara yang dapat diperhitungkan dalam desain bangunan antara lain; pengaruh angin darat dan angin laut pada bangunan di daerah pesisir pantai, angin lembah dan angin gung pada bangunan di lerengan, penerapan chimney effect atau stack effect pada bangunan bertingkat.

Pada bangunan, konveksi dapat digambarkan pada perpindahan udara panas dan udara dingin seperti gambar berikut ini:



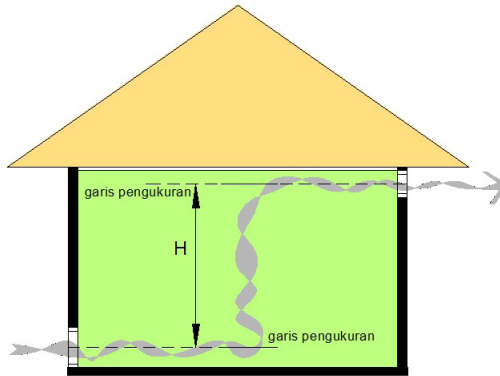
**Gambar 16.** Konveksi di dalam ruang

Udara dingin di dalam ruangan memiliki berat dan tekanan yang tinggi, maka udara dingin selalu berada di bawah. Sementara udara panas berada di atas karena memiliki berat yang ringan dan tekanan yang rendah. Sistem ventilasi silang vertikal dapat terjadi dan udara dapat bergerak, karena udara bergerak dari tekanan tinggi ke tekanan rendah, seperti pada gambar dibawah ini.



**Gambar 17.** Ventilasi silang

Untuk perhitungan kecepatan aliran udara di dalam ruang dengan ventilasi silang ini dapat lihat pada gambar berikut dan perhitungan berikut ini:



**Gambar 18.** Penentuan bukaan dan kecepatan angin pada ventilasi silang

Pendekatan Rumusan yang digunakan adalah:

$$W_A \approx W_1 \times \rho_1 = \rho_2 \times W_2 \times \frac{J_2}{J_1} \text{ [m/s]} \text{ (II.28)}$$

$$W_2 = C_x \times \sqrt{\frac{g \times H \times \Delta T}{T_1 \left(1 + \left(\frac{J_2}{J_1}\right)^2\right)}} \text{ [m/s]} \text{ (II.29)}$$

Di mana:

$W_1$  = kecepatan angin yang masuk ke dalam ruangan [m/s]

$W_2$  = kecepatan angin yang keluar ruangan mengikuti pergerakan udara [m/s]

$W_A$  = Pergerakan udara di daerah pemberhentian di dalam ruang [m/s]

$\Delta t$  = selisih  $T_1$  (temperatur di jendela bawah) dan  $T_2$  (temperatur di jendela atas) [°C]

$T_1$  = temperatur dalam Kelvin [K]

$J_1$  = Luas Jendela bawah [m<sup>2</sup>]

$J_2$  = Luas Jendela atas [m<sup>2</sup>]

$C_x$  = Faktor koreksi sebesar 0,9 - 1

$\rho$  = kerapatan udara [kg/m<sup>3</sup>]

$H$  = jarak antara dua garis pengukuran [m]

$g$  = gaya gravitasi sebesar 9,806.65 m/s<sup>2</sup>

Konveksi yang terjadi dalam bangunan dapat dijumpai pada bangunan dengan adanya lubang void dan menjadi semacam cerobong dalam bangunan yang disebut sebagai *Stack effect/chimney effect*. *Stack effect/chimney effect* terjadi karena perbedaan kerapatan udara dari dalam keluar ruangan akibat perbedaan temperatur dan kelembaban. Hal ini dapat diperhitungkan dengan pendekatan rumus sebagai berikut:

$$Q = C \cdot A \sqrt{2 \cdot g \cdot h \cdot \frac{T_i - T_o}{T_i}} \text{ [m}^3\text{/s]} \text{ (II.30)}$$

Q = stack effect aliran rata rata [m<sup>3</sup>/s]

C = konstanta diambil nilai 0.65 sampai 0.70

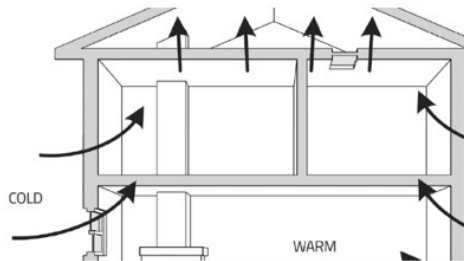
A = luas pergerakan [m<sup>2</sup>]

g = gravitasi

h = tinggi atau jarak [m]

T<sub>l</sub> = temperatur absolut di luar [K]

T<sub>d</sub> = temperatur absolut di dalam [K]



**Gambar 19.** *Stack effect/chimney effect*

### C. Radiasi

Radiasi (*Radiation*) adalah perpindahan panas yang terjadi dari satu tempat ke tempat lain yang disebabkan adanya perbedaan temperatur yang tidak membutuhkan perantara. Sebagai contoh adalah radiasi matahari ke bumi atau yang menerpa selubung bangunan. Radiasi dapat terjadi di ruang hampa udara.

Rumus untuk radiasi adalah:

$$q_{radiasi} = A \cdot \epsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \text{ [W]} \text{ (II.31)}$$

Di mana:

$q_{radiasi}$  = Laju pertukaran panas radiasi [W]

$\epsilon$  = Nilai emisivitas suatu benda ( $0 \leq \epsilon \leq 1$ )

$\sigma$  = Konstanta proporsionalitas, disebut juga konstanta Stefan Boltzmann yang memiliki nilai  $5,67 \times 10^{-8}$

$A$  = Luas bidang permukaan [ $m^2$ ]

$T$  = Temperatur benda [K]

Radiasi matahari dapat dimanfaatkan dalam bangunan dalam bentuk penggunaan solar heater yaitu pemanasan air dengan tenaga matahari yang sudah banyak diterapkan di beberapa bangunan saat ini

Pada bidang yang terpapar radiasi matahari, sebagian akan diserap dan sebagian lagi akan dipantulkan oleh permukaan bidang tersebut. Radiasi matahari yang diserap oleh bidang dapat dilihat pada tabel berikut ini:

**Tabel 8:** Koefisien serapan panas pada bidang

Permukaan bidang	persentase serapan panas [%]
Cat dinding putih	10-15
Cat minyak	20-30
Marmer	40-50
Dilapis abu-abu muda	60-70
Batu bata	70-75
Beton	70-75
Cat hitam mengkilap	80-85
Cat hitam kusam	90-95
Asbes baru	42059
Asbes kotor	83
Genteng keramik	62-66
Seng	64

Dalam perhitungan radiasi matahari yang mempengaruhi bangunan, diperlukan beberapa tahapan perhitungan. Mula-mula perlu dilakukan perhitungan Faktor Koreksi eksentris pada orbit bumi  $E_o$  digunakan pendekatan :

$$E_o = (r_o/r)^2 = 1,000110 + 0,034221 \cos\Gamma + 0,001280 \sin\Gamma + 0,000719 \cos2\Gamma + 0,000077 \sin2\Gamma \text{ [-]} \text{ (II.32)}$$

Di mana:

$\Gamma$  = sudut hari (day angle)

$$\Gamma = \frac{2\pi(d_n-1)}{365} \text{ [radian]} \text{ (II.33)}$$

$d_n$  = hari ke n dengan asumsi bulan Februari selalu 28 hari

untuk mengubah dari satuan radian kesatuan derajat [ $^\circ$ ] maka perlu di bagi dengan  $\pi$  dan dikali 180 $^\circ$

nilai  $\pi = 3,141592654$

Bentuk lain dari rumus  $E_o$  menurut Duffie and Beckman adalah :

$$E_o = 0,033 \cos\left(\frac{2\pi d_n}{365}\right) \text{ (II.34)}$$

Setelah dihitung, maka dapat dilihat hasil perhitungan tersebut sesuai dengan tabel berikut ini.

**Tabel 9:** Faktor Koreksi eksentris pada orbit bumi  $E_o$

Tanggal	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Juni	Juli	Agt	Sep	Okt	Nov	Des
1	1,0350	1,0306	1,0190	1,0014	0,9845	0,9717	0,9666	0,9700	0,9814	0,9976	1,0155	1,0291
2	1,0351	1,0303	1,0185	1,0008	0,9840	0,9714	0,9666	0,9703	0,9819	0,9982	1,0161	1,0295
3	1,0351	1,0300	1,0180	1,0002	0,9835	0,9712	0,9666	0,9705	0,9823	0,9988	1,0166	1,0298
4	1,0351	1,0297	1,0174	0,9997	0,9830	0,9709	0,9666	0,9708	0,9828	0,9994	1,0171	1,0301
5	1,0351	1,0294	1,0169	0,9991	0,9825	0,9706	0,9666	0,9711	0,9833	0,9999	1,0177	1,0304
6	1,0350	1,0290	1,0164	0,9985	0,9821	0,9703	0,9666	0,9713	0,9838	1,0005	1,0182	1,0307
7	1,0350	1,0287	1,0158	0,9979	0,9816	0,9701	0,9666	0,9716	0,9843	1,0010	1,0187	1,0310
8	1,0350	1,0283	1,0153	0,9973	0,9811	0,9698	0,9666	0,9719	0,9848	1,0017	1,0192	1,0313
9	1,0349	1,0279	1,0147	0,9967	0,9806	0,9696	0,9667	0,9722	0,9854	1,0023	1,0197	1,0316
10	1,0348	1,0276	1,0142	0,9961	0,9802	0,9694	0,9667	0,9726	0,9859	1,0029	1,0202	1,0319
11	1,0347	1,0272	1,0136	0,9956	0,9797	0,9692	0,9668	0,9729	0,9864	1,0035	1,0207	1,0321
12	1,0347	1,0268	1,0131	0,9950	0,9793	0,9690	0,9668	0,9732	0,9690	1,0041	1,0212	1,0324
13	1,0346	1,0264	1,0125	0,9944	0,9788	0,9687	0,9669	0,9736	0,9875	1,0047	1,0217	1,0326
14	1,0344	1,0260	1,0119	0,9938	0,9784	0,9686	0,9670	0,9739	0,9880	1,0053	1,0222	1,0328
15	1,0343	1,0256	1,0114	0,9932	0,9780	0,9684	0,9671	0,9743	0,9885	1,0058	1,0226	1,0330
16	1,0342	1,0251	1,0108	0,9927	0,9775	0,9682	0,9672	0,9746	0,9891	1,0064	1,0231	1,0332



17	1,0340	1,0247	1,0102	0,9921	0,9771	0,9680	0,9673	0,9750	0,9896	1,0070	1,0235	1,0334
18	1,0339	1,0243	1,0097	0,9915	0,9767	0,9679	0,9674	0,9754	0,9902	1,0076	1,0240	1,0336
19	1,0337	1,0238	1,0091	0,9910	0,9763	0,9677	0,9675	0,9758	0,9907	1,0082	1,0244	1,0338
20	1,0335	1,0234	1,0085	0,9904	0,9759	0,9676	0,9677	0,9762	0,9913	1,0088	1,0249	1,0339
21	1,0334	1,0229	1,0079	0,9899	0,9755	0,9675	0,9678	0,9766	0,9918	1,0093	1,0253	1,0341
22	1,0332	1,0224	1,0073	0,9893	0,9751	0,9673	0,9680	0,9770	0,9924	1,0099	1,0257	1,0342
23	1,0330	1,0220	1,0067	0,9888	0,9748	0,9672	0,9681	0,9774	0,9930	1,0105	1,0261	1,0344
24	1,0327	1,0215	1,0062	0,9882	0,9744	0,9671	0,9683	0,9778	0,9935	1,0111	1,0265	1,0345
25	1,0325	1,0210	1,0056	0,9877	0,9740	0,9670	0,9685	0,9782	0,9941	1,0116	1,0269	1,0346
26	1,0323	1,0205	1,0050	0,9872	0,9737	0,9669	0,9687	0,9787	0,9947	1,0122	1,0273	1,0347
27	1,0320	1,0200	1,0044	0,9866	0,9733	0,9669	0,9689	0,9791	0,9953	1,0128	1,0277	1,0348
28	1,0318	1,0195	1,0038	0,9861	0,9730	0,9668	0,9691	0,9795	0,9959	1,0133	1,0281	1,0349
29	1,0315	0	1,0032	0,9856	0,9727	0,9667	0,9693	0,9800	0,9964	1,0139	1,0284	1,0349
30	1,0312	0	1,0026	0,9851	0,9724	0,9667	0,9695	0,9805	0,9970	1,0144	1,0288	1,0350
31	1,0309	0	1,0020	0	0,9720	0	0,9698	0,9809	0	1,0150	0	1,0350

Untuk menghitung sudut deklinasi matahari (Solar Declination) digunakan tabel berikut ini:

**Tabel 10: Sudut Deklinasi Matahari**

Tanggal	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Juni	Juli	Agt	Sep	Okt	Nov	Des
1	-23,07	-17,20	-7,78	4,36	14,93	22,02	23,20	18,20	8,51	-2,95	-14,26	-21,74
2	-22,99	-17,01	-7,40	4,75	15,24	22,15	23,13	17,94	8,14	-3,33	-14,58	-21,90
3	-22,90	-16,71	-7,02	5,13	15,54	22,29	23,06	17,69	7,78	-3,72	-14,90	-22,05
4	-22,80	-16,41	-6,63	5,51	15,83	22,41	22,98	17,42	7,41	-4,11	-15,22	-22,19
5	-22,70	-16,11	-6,25	5,89	16,12	22,53	22,89	17,16	7,04	-4,50	-15,53	-22,32
6	-22,59	-15,81	-5,86	6,27	16,41	22,64	22,80	16,89	6,67	-4,88	-15,83	-22,45
7	-22,47	-15,50	-5,47	6,65	16,69	22,74	22,70	16,61	6,30	-5,27	-16,13	-22,57
8	-22,34	-15,18	-5,08	7,03	16,96	22,84	22,59	16,33	5,93	-5,65	-16,43	-22,68
9	-22,21	-14,87	-4,69	7,40	17,24	22,93	22,48	16,05	5,55	-6,03	-16,72	-22,79
10	-22,07	-14,54	-4,30	7,77	17,50	23,01	22,36	15,76	5,17	-6,41	-17,01	-22,88
11	-21,92	-14,14	-3,90	8,14	17,77	23,09	22,23	15,46	4,80	-6,79	-17,29	-22,98
12	-21,76	-13,89	-3,51	8,51	18,02	23,16	22,10	15,17	4,42	-7,17	-17,57	-23,06
13	-21,60	-13,55	-3,12	8,87	18,28	23,23	21,96	14,87	4,03	-7,55	-17,84	-23,13
14	-21,43	-13,22	-2,72	9,24	18,52	23,28	21,81	14,56	3,65	-7,92	-18,11	-23,20
15	-21,25	-12,87	-2,33	9,60	18,77	23,33	21,66	14,25	3,27	-8,30	-18,37	-23,26
16	-21,07	-12,53	-1,93	9,95	19,00	23,38	21,50	13,94	2,88	-8,67	-18,62	-23,31
17	-20,88	-12,18	-1,54	10,31	19,23	23,41	21,34	13,62	2,50	-9,04	-18,87	-23,36
18	-20,68	-11,83	-1,14	10,66	19,46	23,44	21,17	13,30	2,11	-9,40	-19,12	-23,39
19	-20,48	-11,47	-0,74	11,01	19,68	23,47	20,99	12,98	1,72	-9,77	-19,36	-23,42
20	-20,27	-11,12	-0,35	11,35	19,90	23,48	20,81	12,66	1,34	-10,13	-19,59	-23,44
21	-20,05	-10,76	0,05	11,70	20,10	23,49	20,63	12,33	0,95	-10,49	-19,82	-23,46
22	-19,83	-10,39	0,44	12,04	20,31	23,49	20,43	11,99	0,56	-10,85	-20,04	-23,46
23	-19,60	-10,03	0,84	12,37	20,51	23,49	20,23	11,66	0,17	-11,21	-20,25	-23,46
24	-19,37	-9,66	1,23	12,71	20,70	23,47	20,03	11,32	-0,22	-11,56	-20,46	-23,45
25	-19,13	-9,29	1,63	13,04	20,88	23,46	19,82	10,98	-0,61	-11,91	-20,67	-23,43
26	-18,88	-8,91	2,02	13,36	21,07	23,43	19,60	10,63	-1,00	-12,25	-20,86	-23,40

27	-18,63	-8,54	2,41	13,68	21,24	23,40	19,38	10,28	-1,39	-12,60	-21,05	-23,37
28	-18,37	-8,16	2,80	14,00	21,41	23,36	19,15	9,93	-1,78	-12,94	-21,23	-23,33
29	-18,11	0	3,19	14,32	21,57	23,31	18,92	9,58	-2,17	-13,27	-21,41	-23,28
30	-17,84	0	3,58	14,63	21,73	23,26	18,68	9,22	-2,56	-13,61	-21,58	-23,20
31	-17,56	0	3,97	0	21,87	0	18,44	8,87	0	-13,94	0	-23,16

Untuk menghitung Persamaan Waktu  $E_t$  dilakukan pendekatan:

$$E_t = (0,000075 + 0,001868 \cos \Gamma - 0,032077 \sin \Gamma - 0,014615 \cos 2\Gamma - 0,04089 \sin 2\Gamma) (229,18) \text{ [menit]} \quad (\text{II.35})$$

Selanjutnya perlu dilakukan perhitungan waktu setempat yang sebenarnya dari sebuah lokasi daerah yang akan kita hitung.

$$\begin{aligned} \text{Waktu setempat yang sebenarnya} &= \text{rata-rata waktu setempat} + \text{persamaan waktu} \\ &= \text{standart waktu setempat} + \text{faktor koreksi} \\ &\quad \text{longitudinal} + \text{persamaan waktu} \\ &= \text{standart waktu setempat} + 4(L_s - L_e) + E_t \end{aligned}$$

Di mana :

$L_s$  = garis bujur standart

$L_e$  = garis bujur setempat

Faktor koreksi longitudinal adalah 4 menit tiap derajat yang merupakan nilai diantara garis meridian setempat dan garis meridian standart. Koreksi longitudinal ditulis positif jika garis meridian setempat adalah di sisi ditimur dan sebaliknya ditulis dengan nilai negatif.

Untuk menetapkan posisi relatif dari matahari terhadap bidang horisontal, dengan memberi posisi geografis, pada kekurangan pembiasan atmosfer bumi, dengan relasi trigonometri antara matahari (sebagai pusat) dan bidang horisontal maka akan diketahui dengan rumus berikut ini

$$\cos \delta = \sin \beta \sin \varphi + \cos \beta \cos \varphi \cos \omega = \sin \varepsilon \quad (\text{II.36})$$

dimana

$\delta$  = sudut zenith

$\varepsilon$  = solar altitude

$\omega$  = sudut jam

$\varphi$  = letak geografis

$\beta$  = nilai deklinasi

Dan

$$\cos \alpha_s = \frac{(\sin \varepsilon \times \sin \varphi - \sin \beta)}{\cos \varepsilon \times \cos \varphi} \quad (\text{II.37})$$

$$0^\circ \leq \alpha_s \leq 90^\circ \quad \cos \alpha_s \geq 0$$

$$90^\circ \leq \alpha_s \leq 180^\circ \quad \cos \alpha_s \leq 0$$

$$\sin \alpha_s = \frac{\cos \beta \times \sin \omega}{\cos \varepsilon} \quad (\text{II.38})$$

$\alpha_s$  = solar azimuth

Dari rumus di atas dapat diketahui sudut jam matahari terbit  $\omega_{ag}$  sebagai berikut:

$$\omega_{ag} = -\frac{\sin \varphi \times \sin \beta}{\cos \varphi \times \cos \beta} \quad (\text{II.39})$$

$$\text{atau } \omega_{ag} = -\cos^{-1}(-\tan \varphi \times \tan \beta) \quad (\text{II.40})$$

lamanya penyinaran matahari dapat dihitung  $\omega_{ag}$  dan dinyatakan dalam jam adalah :

$$N_d = \frac{2}{15} \cos^{-1}(-\tan \varphi \times \tan \beta) \quad (\text{II.41})$$

$$1 \text{ jam} = 15^\circ$$

sedangkan untuk di daerah katulistiwa dengan lama siang hari sama dengan lamanya malam hari, maka  $\omega_{ag} = \pi/2$

Oleh karena itu solar altitude  $\varepsilon = 90 - \delta = 90 - 14,98 = 75,02\%$ . Sudut solar azimuth diperoleh dari rumus :

**Tabel 11:** Posisi dari matahari relatif pada bidang miring

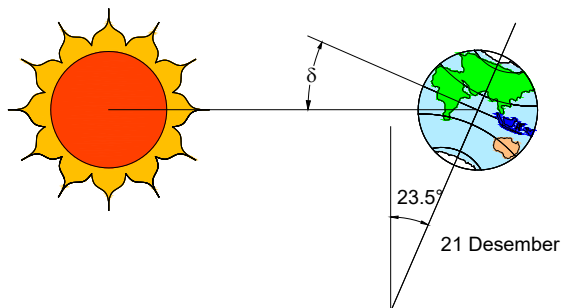
	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°	85°	90°
Januari	36,32	34,31	32,09	29,66	27,05	24,28	21,39	18,40	15,34	12,26	9,21	6,27	3,54	1,24	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00
Februari	37,53	36,22	34,65	32,83	30,77	28,51	26,04	23,41	20,62	17,71	14,72	11,68	8,64	5,68	2,94	0,87	0,05	0,00	0,00
Maret	37,90	37,58	36,98	36,10	34,94	33,53	31,85	29,94	27,80	25,46	22,92	20,22	17,37	14,39	11,33	8,23	5,16	2,55	1,49
April	36,75	37,47	37,92	38,08	37,97	37,58	36,92	35,98	34,80	33,36	31,70	29,84	27,80	25,62	23,39	21,29	19,96	19,61	19,68
Mei	34,78	36,28	37,54	38,54	39,29	39,77	40,00	39,97	39,70	39,19	38,48	37,61	36,65	35,74	35,32	35,90	36,60	37,02	37,17
Juni	33,50	35,35	36,97	38,37	39,53	40,44	41,11	41,54	41,74	41,73	41,56	41,28	41,00	41,00	42,15	43,33	44,18	44,69	44,86
Juli	33,89	35,59	37,05	38,27	39,24	39,97	40,44	40,67	40,66	40,44	40,03	39,48	38,90	38,47	38,90	39,96	40,74	41,21	41,37
Agustus	35,56	36,62	37,43	37,96	38,23	38,22	37,95	37,41	36,63	35,60	34,35	32,91	31,31	19,64	28,04	27,00	26,92	27,22	27,32
September	37,07	37,19	37,03	36,60	35,88	34,90	33,65	32,15	30,40	28,43	26,25	23,87	21,33	18,63	15,82	12,93	10,08	7,75	6,74
Oktober	37,34	36,43	35,24	33,80	32,10	30,17	28,02	25,67	23,14	20,45	17,63	14,70	11,70	8,68	5,71	2,95	0,94	0,07	0,00
November	36,47	34,69	32,68	30,46	28,03	25,44	22,69	19,81	16,85	13,83	10,79	7,81	4,96	2,39	0,54	0,00	0,00	0,00	0,00
Desember	35,74	33,55	31,16	28,58	25,84	22,96	19,97	16,92	13,82	10,74	7,73	4,88	2,34	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

**Tabel 12:** Posisi dari matahari relatif pada bidang datar

	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°	85°	90°
Januari	36,32	38,09	39,61	40,87	41,86	42,59	43,04	43,24	43,18	42,89	42,39	41,75	41,05	40,50	40,78	41,84	42,66	43,15	43,32
Februari	37,53	38,58	39,34	39,83	40,03	39,94	39,57	38,92	38,01	36,84	35,45	33,84	32,07	30,20	28,36	27,00	26,69	26,95	27,06
Maret	37,90	37,93	37,68	37,14	36,31	35,22	33,85	32,23	30,37	28,28	25,98	23,49	20,83	18,02	15,09	12,09	9,10	6,53	5,49
April	36,75	35,76	34,50	32,99	31,24	29,27	27,08	24,70	22,15	19,45	16,63	13,72	10,75	7,79	4,90	2,29	0,58	0,01	0,00
Mei	34,78	33,04	31,08	28,92	26,58	24,07	21,42	18,66	15,81	12,91	10,02	7,17	4,47	2,06	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00
Juni	33,50	31,44	29,19	26,76	24,18	21,48	18,68	15,81	12,91	10,02	7,20	4,53	2,15	0,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Juli	33,89	31,98	29,87	27,57	25,10	22,49	19,76	16,94	14,07	11,19	8,34	5,60	3,07	0,98	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
Agustus	35,56	34,24	32,68	30,89	28,88	26,68	24,29	21,75	19,07	16,28	13,42	10,53	7,66	4,88	2,37	0,61	0,02	0,00	0,00
September	37,07	36,66	35,98	35,03	33,81	32,34	30,62	28,68	26,52	24,16	21,62	18,92	16,09	13,15	10,14	7,09	4,12	1,72	0,69
Oktober	37,34	37,98	38,34	38,42	38,21	37,72	36,95	35,91	34,62	33,07	31,30	29,32	27,16	24,86	22,49	20,19	18,53	17,86	17,86
November	36,47	38,00	39,27	40,28	41,01	41,47	41,66	41,58	41,24	40,66	39,87	38,90	37,83	36,79	36,21	36,67	37,38	37,81	37,96
Desember	35,74	37,71	39,43	40,91	42,14	43,10	43,80	44,25	44,45	44,44	44,24	43,92	43,61	43,59	44,79	46,04	46,94	47,48	47,66

**a. Menghitung terbit tenggelam matahari**

Langkah pertama yang harus dilakukan adalah menentukan sudut deklinasi matahari. Sudut deklinasi matahari adalah posisi sudut matahari pada siang hari terhadap bidang di Equator.



**Gambar 20.** Posisi bumi terhadap matahari

Untuk menentukan posisi matahari terhadap bidang yang akan diukur (misalnya sisi sebuah bangunan), maka perlu diketahui sudut matahari pada

bidang horisontalnya (misal permukaan tanah). Sudut matahari terbit adalah sama dengan sudut matahari terbenam. Cara mengukur sudut matahari ini dapat digunakan rumus berikut ini:

(II.42)

$$\omega_{mtr} = \cos^{-1}(-\tan \phi \times \tan \delta)$$

$\omega_{mtr}$  = Sudut matahari saat terbit [°]

$\omega_{mtr}$  =  $\omega_{mtg}$

$\omega_{mtg}$  = Sudut matahari saat tenggelam [°]

$\phi$  = garis lintang, lintang utara positif, lintang selatan negatif dan di katulistiwa adalah nol [°].

Lama penyinaran matahari terhadap bidang ukur perlu dicatat untuk mengetahui besaran energi matahari yang mempengaruhi sebuah obyek pengamatan (misalnya pengaruhnya terhadap sebuah bangunan). Dengan menggunakan rumus Nd berikut akan dapat diketahui lama penyinaran dalam satu hari, dimana lama penyinaran ini sangat tergantung dengan lokasi geografi dan waktu.

Ketepatan pengukuran sangat dipengaruhi dengan mengetahui kapan matahari terbit dan kapan matahari tenggelam. Pada setiap kurun waktu tertentu, sedikitnya ada perubahan saat matahari terbit dan matahari terbenam. Hal ini tergantung dengan lama penyinaran matahari setiap harinya.

Matahari terbit adalah :  $Z - \frac{\omega_{mtr}}{15}$  (II.43)

Matahari tenggelam adalah :  $Z + \frac{\omega_{mtg}}{15}$  (II.44)

$Z_n$  = hari ke n dalam hitungan satu tahun [-]

Untuk menentukan posisi matahari terhadap bidang yang akan diukur (misalnya sisi sebuah bangunan), maka perlu diketahui sudut matahari pada bidang horisontalnya (misal permukaan tanah). Sudut matahari terbit adalah sama dengan sudut matahari terbenam. Lama penyinaran matahari terhadap bidang ukur perlu dicatat untuk mengetahui besaran energi matahari yang mempengaruhi sebuah obyek pengamatan (misalnya pengaruhnya terhadap sebuah bangunan).

Ketepatan pengukuran sangat dipengaruhi dengan mengetahui kapan matahari terbit dan kapan matahari tenggelam. Pada setiap kurun waktu tertentu, sedikitnya ada perubahan saat matahari terbit dan matahari terbenam. Hal ini tergantung dengan lama penyinaran matahari setiap harinya.

**b. Berlangsungnya radiasi matahari pada bidang horisontal**

Radiasi matahari terhadap bangunan akan diperhitungkan dari bidang horisontal dan bidang vertikal. Radiasi bidang horisontal diperlukan untuk menghitung pada bidang atap (jika menggunakan atap datar) dan bidang permukaan tanah di sekitar bangunan yang memberikan pengaruh terhadap bangunan itu sendiri.

Komponen yang penting dalam perhitungan ini adalah pengaruh radiasi yang berasal dari luar bumi atau yang disebut radiasi ekstraterestrial. Radiasi ekstraterestrial ini dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$I_o = I_{sc} \times E_o \times \cos \theta_z \quad (II.45)$$

Di mana

$I_o$  = radiasi ekstraterestrial [W/m<sup>2</sup>]

$I_{sc}$  = Solar konstanta (1367W/m<sup>2</sup>) [W/m<sup>2</sup>]

Dalam perhitungan ini dibutuhkan faktor koreksi eksentrisitas. Faktor koreksi yang dikembangkan oleh Spencer ini lebih dikenal sebagai faktor koreksi eksentrisitas dari orbit bumi.

$$E_o = 1,000110 + 0,034221 \cos \tilde{A} + 0,001280 \sin \tilde{A} + 0,000719 \cos 2\tilde{A} + 0,000077 \sin 2\tilde{A} \quad (II.46)$$

Di mana

$E_o$  = Faktor Koreksi Eksentrisitas [( $r_o/r$ )<sup>2</sup>]

Sudut zenit adalah sudut maya antara garis kemiringan matahari dan garis vertikal. Di dalam perhitungannya dibutuhkan nilai dari sudut matahari dan posisi lintang dari lokasi pengamatan.

$$\cos \theta_z = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega = \sin \alpha \quad (II.47)$$

Di mana

$\theta_z$  = sudut Zenit terhadap bidang normal [°], sudut ini maksimal 89,5°, jika lebih besar dari 89,5° akan membuat kesalahan yang cukup mengganggu dalam perhitungan.

$\alpha$  = ketinggian matahari [°]

$$\alpha = 90^\circ - \theta_z$$

$\omega$  = Sudut matahari menurut jam, tengah hari adalah nol, pagi hari diberi simbol positif dan siang hari diberi simbol negatif [°]

$\varphi$  = Posisi Lintang, Lintang utara diberi simbol positif dan Lintang Selatan diberi simbol negatif [°]

### ***b.1. Berlangsungnya radiasi langsung matahari pada bidang horisontal***

Dalam menghitung radiasi total pada bidang horisontal dibutuhkan perhitungan radiasi langsung dari matahari. Radiasi langsung matahari ini membutuhkan empat komponen penting yaitu:

- Transmisi melalui penyebaran ozon
- Transmisi melalui molekul udara kering
- Absorpsi melalui uap air
- Transmisi melalui penyebaran aerosol

Karena kondisi langit tidak selalu dalam keadaan cerah dan kadang-kadang berawan, maka pengaruh dari uap air, aerosol dan lapisan ozon menjadi penting untuk dicermati.

Radiasi total pada bidang horisontal dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$I_b = I_n \cos \theta_z \quad (\text{II.48})$$

Di mana

$I_b$  = radiasi total pada bidang horisontal [W/m<sup>2</sup>]

$I_n$  = radiasi langsung matahari [W/m<sup>2</sup>]

dan:

$$I_n = E_o \times I_E (\tau_o \times \tau_r - \alpha_w) \tau_a \quad (\text{II.49})$$

Transmisi melalui penyebaran ozon sebagai komponen radiasi langsung matahari dihitung dengan memperhatikan konsentrasi ozon pada lapisan atmosfer.

$$\tau_o = 1 - \left( \frac{0,02118 \times U_3}{1 + 0,042 U_3 + 3,23 \times 10^{-4} (U_3)^2} + \frac{1,082 \times U_3}{(1 + 138,6 U_3)^{0,805}} + \frac{0,0658 \times U_3}{1 + (103,6 U_3)^3} \right) \quad (\text{II.50})$$

Di mana

$\tau_o$  = Transmisi melalui penyebaran ozon [-]

$U_3$  = Konsentrasi ozon pada lapisan atmosfer [cm (NTP)] yang dapat dihitung dengan perhitungan sebagai berikut:

$$U_3 = l \times m_r \quad (\text{II.51})$$

Di mana

$m_r$  = Massa udara dalam tekanan standart [-], yang dapat dihitung dengan rumus berikut ini:

$$m_r = [\cos \theta_z + 0,15(93,885 - \theta_z)^{-1,253}]^{-1} \quad (\text{II.52})$$

Di mana

$l$  = ketebalan lapisan vertikal ozon [cm (NTP)], nilai  $l$  didapat dari tabel 13 berikut ini:

NTP = Normal Temperature and surface Pressure



**Tabel 13 : Normal Temperature and surface Pressure**

		Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
90°	N	0,33	0,39	0,46	0,42	0,39	0,34	0,32	0,30	0,27	0,26	0,28	0,30
80°	N	0,34	0,40	0,46	0,43	0,40	0,36	0,33	0,30	0,28	0,27	0,29	0,31
70°	N	0,34	0,40	0,45	0,42	0,40	0,36	0,34	0,31	0,29	0,28	0,29	0,31
60°	N	0,33	0,39	0,42	0,40	0,39	0,36	0,34	0,32	0,30	0,28	0,30	0,31
50°	N	0,32	0,36	0,38	0,38	0,37	0,35	0,33	0,31	0,30	0,28	0,29	0,30
40°	N	0,30	0,32	0,33	0,34	0,34	0,33	0,31	0,30	0,28	0,27	0,28	0,29
30°	N	0,27	0,28	0,29	0,30	0,30	0,30	0,29	0,28	0,27	0,26	0,26	0,27
20°	N	0,24	0,26	0,26	0,27	0,28	0,27	0,26	0,26	0,26	0,25	0,25	0,25
10°	N	0,23	0,24	0,24	0,25	0,26	0,25	0,25	0,24	0,24	0,23	0,23	0,23
0°		0,22	0,22	0,23	0,23	0,24	0,24	0,24	0,23	0,23	0,22	0,22	0,22
10°	S	0,23	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,23
20°	S	0,24	0,25	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,26	0,26	0,26	0,26	0,25
30°	S	0,27	0,28	0,26	0,27	0,28	0,28	0,29	0,31	0,32	0,32	0,29	0,29
40°	S	0,30	0,29	0,28	0,29	0,31	0,33	0,35	0,37	0,38	0,37	0,34	0,32
50°	S	0,31	0,30	0,29	0,30	0,32	0,36	0,39	0,40	0,40	0,39	0,37	0,35
60°	S	0,32	0,31	0,30	0,30	0,33	0,38	0,41	0,42	0,42	0,40	0,39	0,35
70°	S	0,32	0,31	0,31	0,29	0,34	0,39	0,43	0,45	0,43	0,40	0,38	0,34
80°	S	0,31	0,31	0,31	0,28	0,35	0,40	0,44	0,46	0,42	0,38	0,36	0,32
90°	S	0,31	0,30	0,30	0,27	0,34	0,38	0,43	0,45	0,41	0,37	0,34	0,31

Konsentrasi ozon dalam lapisan atmosfer mempengaruhi pula besaran radiasi matahari. Lubang-lubang ozon yang merupakan issue global saat ini merupakan hal yang memecahkan dunia, karena lubang ozon ini mengakibatkan pemanasan global. Lapisan ozon membantu melindungi permukaan bumi dari radiasi ekstraterrestrial. Lapisan ini menahan masuknya radiasi ekstraterrestrial.

Selanjutnya diperhitungkan nilai transmisi melalui molekul udara kering dengan memperhitungkan massa udara dalam tekanan aktual.

$$\tau_r = 0,972 - 0,08262m_a + 0,00933(m_a)^2 - 0,00095(m_a)^3 + 0,000437(m_a)^4 \quad (II.53)$$

dimana:

$\tau_r$  = Transmisi melalui molekul udara kering [-]

Dan

$$m_a = m_r \left( \frac{p}{1013,25} \right) \quad (\text{II.54})$$

Di mana

$m_a$  = Massa udara dalam tekanan aktual [-]

$p$  = tekanan atmosfer [mbar]

Selain Lokasi geografis dari obyek pengamatan, data lain yang dibutuhkan adalah ketinggian obyek pengamatan dari permukaan laut. Data ini tidak didapat dari hasil perhitungan, melainkan dari hasil pengukuran. Badan yang menyediakan data ini biasanya adalah Badan Meteorologi dan Geofisika atau dapat dicari di situs NASA ([www.aeronet.nasa.gov](http://www.aeronet.nasa.gov)).

$$p = 1013,25 \exp(-0,0001184 \times z) \quad (\text{II.55})$$

Di mana

$z$  = Ketinggian lokasi dari atas permukaan air laut [m]

Nilai absorpsi melalui uap air diperhitungkan karena masing-masing lokasi pengukuran memiliki iklim yang berbeda-beda. Kandungan uap air di dalam udara menyerap sebagian dari sinar matahari. Dengan demikian juga mengurangi intensitas panas matahari yang menembus atmosfer bumi.

$$\alpha_w = \frac{2,9 \times U_1}{(1 + 141,5 U_1)^{0,635} + 5,925 U_1} \quad (\text{II.56})$$

Di mana:

$\alpha_w$  = Absorpsi melalui uap air [-]

dan

$$U_1 = w \times m_r \quad (\text{II.57})$$

$U_1$  = konsentrasi uap air di atmosfer [cm(NTP)]

Dalam perhitungan ini, jika data curah hujan yang dimiliki tidak lengkap, masih dapat dibantu dengan pendekatan perhitungan. Namun pendekatan semacam ini tidak dapat dikatakan valid 100%, karena banyak komponen yang diabaikan atau di generalisir. Pendekatan perhitungan curah hujan adalah sebagai berikut:

$$w = w' \left( \frac{p}{1013,25} \right)^{\frac{3}{4}} \left( \frac{273}{T} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{II.58})$$

Di mana

$w$  = Curah hujan [cm]

$T$  = temperatur ambient [K]

$w'$  = curah hujan pada kondisi aktual [cm]

dan :

$$w' = \exp(0,07074 t_d + y) \quad (\text{II.59})$$

Di mana

$t_d$  = temperatur pada titik kondensasi [°C]

$y$  = -0,02290 dari April sampai Juni

+0,02023 dari Juli bis Maret

Transmisi melalui penyebaran aerosol ini sangat dipengaruhi oleh tingkat kusam cerahnya sebuah langit. Kusam cerah sebuah kondisi langit dipengaruhi oleh kandungan udara di dalamnya, penguapan yang terjadi di suatu tempat, lokasi geografis dan kondisi iklim dari obyek pengamatan.

$$\tau_a = (0,12445 \varepsilon - 0,0162) + (1,003 - 0,125 \varepsilon) \times \exp \left[ -T_a \times m_a (1,089 \varepsilon + 0,5123) \right] \quad (\text{II.60})$$

Di mana

$\tau_a$  = Transmisi melalui penyebaran aerosol [-]

$\varepsilon$  = Panjang gelombang pada rumus tingkat cerah-kusamnya langit menurut Ångström [-]

dan:

$$\varepsilon = \frac{h\left(\frac{k_{a\lambda 1}}{k_{a\lambda 2}}\right)}{h\left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1}\right)} \quad (\text{II.61})$$

$k_{a\lambda}$  = nilai koefisien dari penguapan melalui penyebaran (difus) dan absorpsi melalui aerosol [-]

$\lambda$  = Panjang gelombang [ $\mu\text{m}$ ]

Nilai  $k_{a\lambda}$  dan  $\lambda$  dapat juga diperoleh dari Badan Meteorologi dan Geofisika atau dari NASA. Tabel berikut ini membantu untuk mempermudah perhitungan.

**Tabel 14:** Nilai  $k_{a\lambda}$  dan  $\lambda$

	$\lambda$	$k_{a\lambda}$
Kondisi tanpa absorpsi molekular	0,38	0,002
Kondisi ozon mengabsorpsi agak lemah	0,5	0,030

$$T_A = k_{a\lambda 1} (\lambda_1)^\alpha \quad (\text{II.62})$$

Di mana

$T_A$  = tingkat cerah-kusamnya langit menurut Ångström [-]

$\alpha$  = eksponen dari panjang gelombang

Nilai dari tingkat cerah-kusamnya langit menurut Ångström ini dapat menggunakan data dari Badan Meteorologi dan Geofisika atau dapat juga menggunakan tabel berikut ini:

**Tabel 15:** tingkat cerah-kusamnya langit menurut Ångström

	$T_A \alpha$
Langit bersih	0,00 1,30
Langit terang	0,10 1,30
Kusam	0,20 1,30
Sangat kusam	0,40 1,30

### ***b.2. Berlangsungnya radiasi difus matahari pada bidang horisontal***

Untuk menghitung difus dari radiasi matahari yang masuk ke dalam atmosfer bumi. Radiasi difus matahari pada bidang horisontal merupakan penjumlahan dari radiasi difus yang diperoleh dari molekul di atmosfer, yang dihasilkan oleh penyebaran aerosol di atmosfer dan yang dihasilkan dari pemantulan permukaan bumi dan atmosfer.

$$I_d = I_{da} + I_{dr} + I_{dm} \quad (11.63)$$

Di mana

$I_d$  = Radiasi difus pada bidang horisontal [W/m<sup>2</sup>]

$I_{dr}$  = Radiasi difus yang diperoleh dari penyebaran molekul di atmosfer [W/m<sup>2</sup>]

$I_{da}$  = Radiasi difus yang dihasilkan dari penyebaran aerosol di atmosfer [W/m<sup>2</sup>]

$I_{dm}$  = Radiasi difus yang dihasilkan dari pemantulan antara permukaan bumi dan atmosfer [W/m<sup>2</sup>]

dan:

$$I_d = E_o \times I_{\xi} \times \cos \theta_z \times \tau_o [0,5 - (1 - \tau_r)] \tau_a \quad (11.64)$$

Radiasi difus yang dihasilkan dari penyebaran aerosol di atmosfer dihitung dengan mempertimbangkan nilai albedo tunggal. Nilai albedo tunggal diperoleh dari:

$$I_{da} = E_o \times I_{\xi} \times \cos \theta_z (\tau_o \times \tau_r - \alpha_w) \times [F_c \times \omega_o (1 - \tau_a)] \quad (11.65)$$

Di mana

$\omega_o$  = pancaran albedo tunggal [-], untuk daerah perkotaan nilainya 0,6 dan daerah pedesaan nilainya 0,9

$F_c$  = Bagian dari pancaran yang diteruskan terhadap total pancaran matahari [-] yang didapat melalui table berikut ini:

**Tabel 16:** Bagian dari pancaran yang diteruskan terhadap total pancaran matahari

$\theta_z$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	85
$F_c$	0,92	0,92	0,90	0,90	0,90	0,85	0,78	0,68	0,60	0,50

Untuk menghitung nilai transmisi melalui penyebaran aerosol pada radiasi difus matahari pada bidang horisontal, dihitung nilai massa udara dalam tekanan aktual dengan mengganti nilai massa udara dalam tekanan standart dengan angka 1,66.

$$m'_a = 1,66 \left( \frac{p}{p_o} \right) \quad (II.66)$$

maka:

$$\tau'_a = (0,12445 \varepsilon - 0,0162) + (1,003 - 0,125 \varepsilon) \times \exp \left[ -T'_a \times m'_a (1,089 \varepsilon + 0,5123) \right] \quad (II.67)$$

Selanjutnya radiasi difus yang dihasilkan dari pemantulan antara permukaan bumi dan atmosfer dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$I_{di} = \frac{(I_n \cos \theta_z + I_d + I_d) \times \rho_g \times \rho'_a}{(1 - \rho_g \times \rho'_a)} \quad (II.68)$$

Di mana

$\rho_g$  = Albedo permukaan tanah [-]

nilai dari albedo permukaan tanah dapat di lihat dari tabel berikut ini:

**Tabel 17: Albedo permukaan tanah**

Jenis Permukaan tanah	$r_g$
1 Rumput kering	0,15-0,25
Rumput kering dan layu karena	
2 matahari	0,19
3 Rumput kering dan tumbuh tinggi	0,32
4 Tanah liat	0,23
5 Pasir	0,37
6 Hutan	0,03-0,06
7 Salju	0,82
8 Batu bata	0,64
9 Keramik	0,18
10 Aspal	0,09
11 Genteng	0,12
12 Asbes	0,25

dan dimana:

$$\rho'_a = 0,0685 + 0,17 (1 - \tau'_a) \omega_o \quad (11.69)$$

Di mana

$\rho'_a$  = Albedo pada kondisi langit tak berawan [-]

***b.3. Berlangsungnya radiasi difus matahari pada bidang horisontal  
Berlangsungnya radiasi matahari secara keseluruhan pada bidang horisontal***

Dari seluruh rangkaian perhitungan tersebut di atas, maka akan didapat radiasi global keseluruhan terhadap bidang horisontal dengan menjumlahkan radiasi total pada bidang horisontal dan radiasi difus pada bidang horisontal

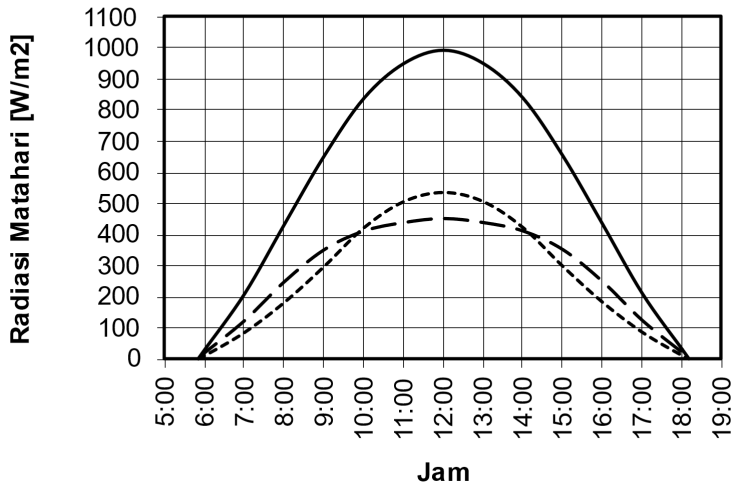
$$I = I_b + I_d + I_{d'} + I_{dh} \quad (11.70)$$

Di mana

$I$  = Radiasi global keseluruhan pada bidang horisontal [W/m<sup>2</sup>]

Dari hasil perhitungan tersebut, selanjutnya ditampilkan pada grafik sinar matahari pada bidang horisontal, seperti berikut ini:

22 Januari



— · — · —	Radiasi langsung pada bidang horisontal
-----	Radiasi difus pada bidang horisontal
————	Total radiasi pada bidang horisontal

**Gambar 21.** Berlangsungnya sinar matahari pada bidang horisontal

**c. Berlangsungnya radiasi matahari pada bidang vertikal**

Pada dinding sebuah bangunan dapat dihitung pengaruh radiasi matahari dengan menggunakan sudut kemiringan dinding terhadap bidang horisontal 90°. Sedangkan untuk atap sudut kemiringan dinding terhadap bidang horisontal disesuaikan dengan kemiringan atap.

$$I_{o\beta} = I_s \times E_o \times \cos\theta \tag{11.71}$$

Di mana

$I_{o\beta}$  = Radiasi ekstraterestris pada bidang miring dengan berbagai orientasi bangunan [W/m<sup>2</sup>]

dan:

$$\cos\theta = (\sin\phi \cos\alpha - \cos\phi \sin\alpha \cos\delta)\sin\bar{\alpha} + (\cos\phi \cos\alpha + \sin\phi \sin\alpha \cos\delta) \times \cos\bar{\alpha} \cos\bar{\iota} + \cos\alpha \sin\alpha \sin\bar{\alpha} \sin\bar{\iota} \tag{11.72}$$



Di mana

$\theta$  = sudut orientasi bidang [°]

$\gamma$  = sudut azimut, selatan adalah nol, sisi timur adalah positif dan barat adalah negatif [°]

$\beta$  = Sudut kemiringan dinding terhadap bidang horisontal [°]

untuk dinding vertikal  $\beta=90^\circ$

$$\cos \epsilon = -\cos \phi \cos \delta \sin \alpha + \sin \phi \cos \delta \cos \alpha \cos \omega + \cos \delta \sin \alpha \sin \omega \quad (11.73)$$

### **c.1. Radiasi total pada bidang miring dengan berbagai orientasi bangunan**

Pengertian bidang miring ini adalah dari sudut lebih besar dari  $0^\circ$  sampai dengan  $90^\circ$ . Pada sudut  $90^\circ$  adalah bidang vertikal, misalnya dinding sebuah bangunan. Radiasi ini dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$I_{b\beta} = I_b \left( \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \right) \quad (11.74)$$

Di mana

$I_{b\beta}$  = Radiasi total pada bidang miring dengan berbagai orientasi bangunan [W/m<sup>2</sup>]

### **c.2. Radiasi difus terhadap pantulan permukaan bumi pada bidang miring dengan berbagai orientasi bangunan**

a). Isotropik

Pantulan isotropik biasanya digunakan jika radiasi global dikomposisikan dengan radiasi difus dan/atau jika permukaan tanah adalah pemantul difus yang baik, seperti permukaan beton.

$$I_r = \frac{1}{2} \times I \times \rho_g \times (1 - \cos \beta) \quad (11.75)$$

Di mana

$I_r$  = radiasi difus terhadap pantulan permukaan bumi pada bidang miring dengan berbagai orientasi bangunan [W/m<sup>2</sup>]

## b). Anisotropik

Pada kondisi langit tidak berawan dan cerah, radiasi global dikomposisikan dengan radiasi langsung dan jika permukaan bumi tertutup oleh bidang air atau tanaman dengan daun yang mengkilap, maka digunakan perhitungan anisotropik.

$$I_r = \frac{1}{2} \times I \times \rho(1 - \cos\beta) \left[ 1 + \sin^2\left(\frac{\theta_z}{2}\right) \right] (\cos\Delta) \quad (11.76)$$

Di mana

$\Delta$  = sudut Azimut pada bidang miring terhadap matahari [ $^\circ$ ]

sudut ini sesuai dengan sudut orientasi bangunan yang menjadi obyek pengamatan.

### *c.3. Radiasi langit difus pada bidang miring dengan berbagai orientasi bangunan*

Radiasi ini juga diperhitungkan pada kondisi isotropik dan anisotropik.

#### a). Isotropik

$$I_s = \frac{1}{2} I_d (1 + \cos\beta) \quad (11.77)$$

Di mana

$I_s$  = radiasi langit difus pada bidang miring dengan berbagai orientasi bangunan [ $W/m^2$ ]

#### b). Anisotropik

$$I_s = \frac{1}{2} I_d (1 + \cos\beta) \left[ 1 + F \sin^3\left(\frac{\beta}{2}\right) \right] \times (1 + F \cos^2\theta \sin^3\theta_z) \quad (11.78)$$

Di mana

$F$  = Fungsi modulasi [-], yang dapat di hitung dengan rumus berikut ini:

$$F = 1 - \left( \frac{I_d}{I} \right)^2 \quad (11.79)$$

$$I_{d\beta} = I_r + I_s \quad (11.80)$$

Di mana

$I_{d\beta}$  = Radiasi difus pada bidang miring dengan berbagai orientasi bangunan [ $W/m^2$ ]

#### ***c.4. Berlangsungnya radiasi matahari secara keseluruhan pada bidang vertikal***

Radiasi matahari pada bidang vertikal ini merupakan penjumlahan dari radiasi difus dan radiasi total pada bidang miring dengan berbagai orientasi bangunan.

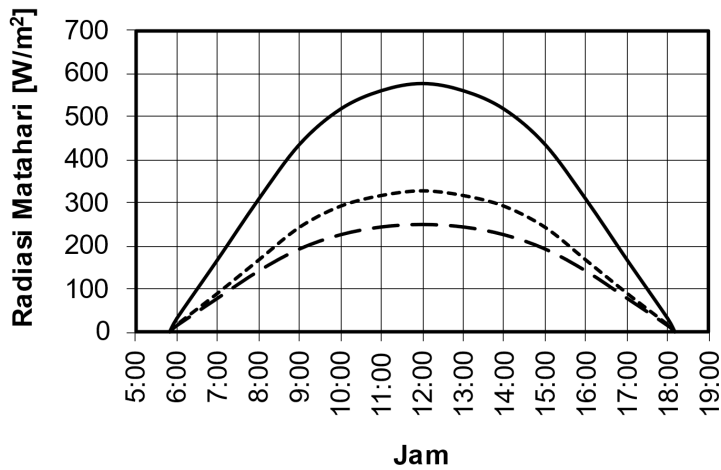
$$I_{\beta} = I_{b\beta} + I_{d\beta} \quad (11.81)$$

Di mana

$I_{\beta\gamma}$  = Radiasi global pada bidang miring dengan berbagai orientasi bangunan [ $W/m^2$ ]

Selanjutnya hasil perhitungan ini digambarkan dalam grafik sinar matahari pada bidang vertikal yang menghadap ke selatan dan utara dan grafik sinar matahari pada bidang vertikal yang menghadap ke timur dan barat, seperti pada gambar berikut ini:

22 Januari

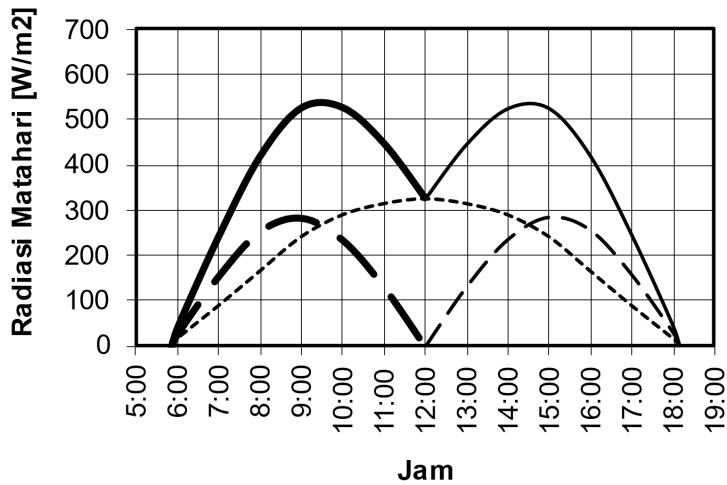


-----	Radiasi matahari langsung pada bidang vertikal yang menghadap ke Utara
- . - . - .	Radiasi difus pada bidang vertikal yang menghadap ke Selatan dan Utara
_____	Radiasi keseluruhan pada bidang vertikal yang menghadap ke Utara

**Gambar 22.** Berlangsungnya sinar matahari pada bidang vertikal yang menghadap ke selatan dan utara

Untuk radiasi matahari pada sisi vertical timur barat, akan menghasilkan dua grafik akibat lintasan matahari. Pada daerah tropis lembab selalu sisi Timur akan lebih kecil karena terhalang oleh kelembaban dan banyaknya halangan sinar matahari di pagi hari sehingga hasilnya asimetri. Grafik sinar matahari pada bidang vertikal yang menghadap ke timur dan barat, seperti pada gambar berikut ini:

22 Januari



-----	Radiasi matahari langsung pada bidang vertikal yang menghadap ke Timur
-----	Radiasi matahari langsung pada bidang vertikal yang menghadap ke Barat
.....	Radiasi difus pada bidang vertikal yang menghadap ke Timur dan Barat
—————	Radiasi keseluruhan pada bidang vertikal yang menghadap ke Timur

**Gambar 23.** Berlangsungnya sinar matahari pada bidang vertikal yang menghadap ke timur dan barat

Setelah mengetahui langkah perhitungan berlangsungnya sinar matahari pada bidang vertikal dan horisontal, maka dapat diketahui besaran energi panas yang mempengaruhi sebuah bangunan pada dinding dan atap. Pengaruh besaran ini membantu untuk mengetahui besaran panas yang dapat diolah, baik diserap maupun dipantulkan oleh dinding. Dengan demikian perencanaan ruang dalam sebuah bangunan dapat direncanakan efisiensi penggunaannya, jika sebuah ruangan direncanakan menggunakan pengkondisian udara buatan.

Pada sisi lain tingkat iluminasi juga dapat diperhitungkan berkaitan dengan peredaran bumi terhadap matahari yang tidak selalu memiliki jarak yang sama. Sehingga tingkat iluminasinya akan berbeda-beda sepanjang tahun. Dengan perhitungan ini, dapat dikonversikan dan dibandingkan antara besaran energi matahari dan tingkat iluminasi yang berpengaruh pada bangunan.

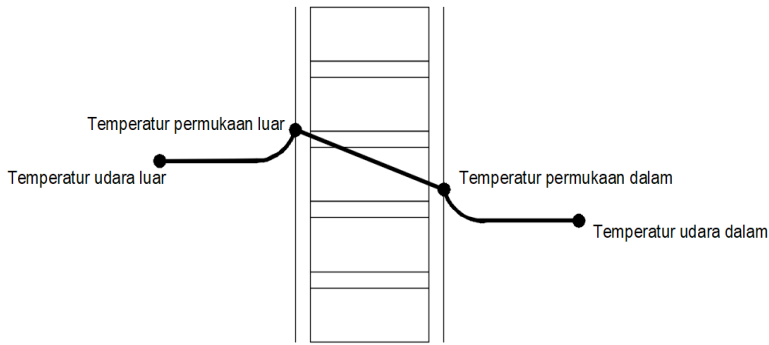
Panas matahari pada daerah tropis seperti di Indonesia ini hendaknya ditangkal dengan membangun sun shading, karena akan memperbesar temperatur udara di dalam ruangan. Jika temperatur meningkat, maka akan sulit untuk mencapai kenyamanan termal, tanpa menggunakan alat bantu yang sangat memboroskan energi listrik. Dengan mengetahui besaran energi panas ini, maka dapat direncanakan sebaik mungkin penangkalan masuknya energi matahari ke dalam bangunan dengan membuat pembayangan dan peneduhan.

Perhitungan berlangsungnya sinar matahari pada bidang vertikal dan horisontal ini sebenarnya sangat penting bagi perencanaan bangunan di daerah tropis. Namun karena bangunan tropis seringkali dibiarkan terbuka pada pintu dan jendelanya, maka temperatur udara di luar dan di dalam bangunan relatif sama. Hal ini yang membuat perhitungan ini terabaikan. Anggapan bahwa karena temperatur udara di luar dan di dalam sudah relatif sama, maka pengaruh panas matahari dianggap pula sudah menyatu dengan tingginya temperatur udara tersebut.

Sebenarnya pengaruh panas matahari ini hendaknya ditangkal dengan peneduhan dan pembayangan, karena jika tidak, akan meningkatkan temperatur di dalam ruangan. Perhitungan ini menjadi penting, karena dapat pula dimanfaatkan untuk mengetahui tingkat iluminasi matahari, sehingga dapat digunakan untuk mencegah silau akibat pantulan sinar matahari.

## ***II.2. Transfer Panas pada Bangunan Tropis***

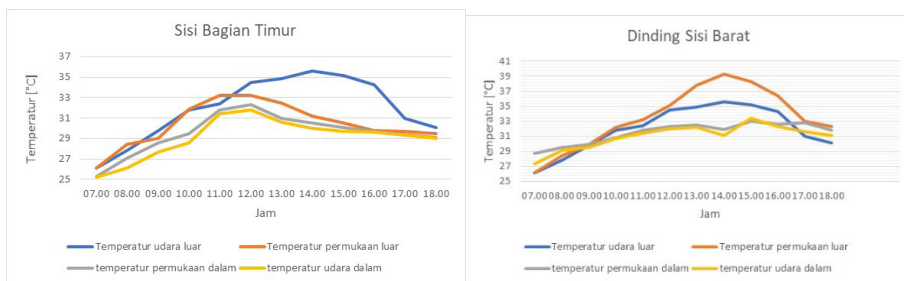
Perpindahan panas melalui konduksi di daerah tropis merupakan perpindahan panas dari temperatur luar bangunan yang lebih panas daripada di dalam bangunan melalui dinding atau atap bangunan. Temperatur udara di luar bangunan dan radiasi matahari akan mempengaruhi peningkatan panas pada permukaan dinding sisi luar bangunan, sehingga temperatur permukaan dinding luar akan lebih panas dari temperatur udara luar. Sementara permukaan dinding di dalam bangunan sedikit lebih hangat daripada temperatur udara di dalam bangunan, karena pengaruh dari temperatur di luar bangunan. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar di bawah ini



**Gambar 24.** Transfer panas melalui dinding secara konduksi pada daerah tropis

Prinsip temperatur di daerah tropis adalah udara luar lebih panas dari pada di dalam bangunan, karena adanya penebusan di dalam bangunan. Temperatur permukaan luar bangunan lebih panas dari temperatur udara luar, karena adanya penumpukan panas di permukaan dinding luar bangunan. Akibat lainnya adalah dinding permukaan dalam lebih hangat dibanding temperatur udara di dalam bangunan karena pengaruh udara di luar bangunan dan paparan sinar matahari.

Dari hasil pengukuran digambarkan dalam diagram sebagai berikut

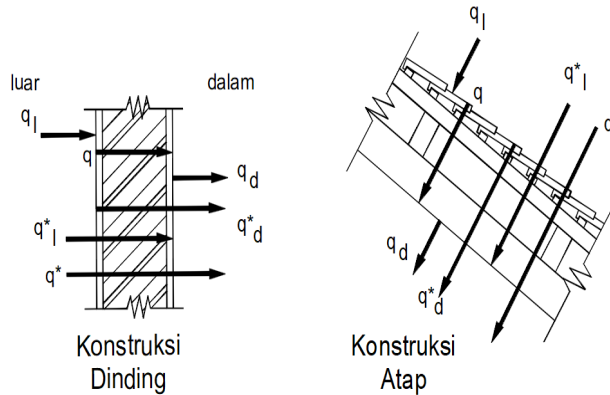


**Gambar 25.** Temperatur udara luar, temperatur permukaan dinding luar, temperatur permukaan dinding dalam, temperatur udara dalam pada dinding timur dan barat

Pada perhitungan perpindahan panas secara konduksi di daerah tropis, berbeda dengan di negara empat musim karena perbedaan temperature. Dapat di bedakan pada gambar 12 dan gambar 24. Dan juga gambaran tempertur di bawah ini

$$T_{lu} > T_{di} > T_{pl} > T_{pd}$$

Perbedaan laju aliran panas selalu berlangsung dari temperature yang lebih panas ke tempat yang lebih dingin/sejuk, seperti pada gambar di bawah ini



Gambar 26. Konduksi pada dinding dan atap

Aliran panas dari temperatur udara luar sampai ke temperatur permukaan dinding luar, dihitung dengan pendekatan rumus sebagai berikut:

$$q = \frac{T_{lu} - T_{di}}{R_{di}}$$

(II.82)

Temperatur permukaan luar lebih besar dari temperature udara luar yang berbeda dengan daerah empat musim. Sehingga pendekatan rumus ini berbeda. Sementara pada aliran panas di dalam bangunan melalui permukaan dinding dalam ke udara di dalam dapat dilihat pada rumus berikut

$$q = \frac{T_{pl} - T_{pd}}{R_{di}} \quad (II.83)$$

Aliran panas dari permukaan luar ke permukaan dalam bangunan dapat dilihat dengan pendekatan berikut ini

$$q = \frac{T_{lu} - T_{di}}{R} \quad (II.84)$$



Pendekatan aliran dari udara luar ke permukaan dalam dapat dilihat dengan pendekatan di bawah ini, karena udara luar di daerah tropis lebih besar dari pada permukaan di dalam bangunan.

$$q^* = \frac{T_{pl} - T_{ud}}{R_{sl}} \quad (II.85)$$

Demikian pula pada aliran panas permukaan luar menuju udara di dalam bangunan dapat dilihat pada rumus di bawah ini

$$q^* = \frac{T_{pl} - T_{ud}}{R_{sl}} \quad (II.86)$$

Untuk aliran panas dari temperatur udara di luar bangunan ke dalam temperature udara di dalam bangunan, berbeda dengan daerah empat musim, yang dapat dilihat dengan rumus berikut ini

$$q^* = \frac{T_{pl} - T_{ud}}{R_{sl}} + \frac{T_{pl} - T_{pd}}{R} + \frac{T_{pd} - T_{ud}}{R_{sd}} \quad (II.87)$$

$$q^* = \frac{T_{pl} - T_{ud} + T_{pl} - T_{pd} + T_{pd} - T_{ud}}{R_{sl} + R + R_{sd}} \quad (II.88)$$

$$q^* = \frac{T_{pl} - T_{ud}}{R_{sl} + R_{sd}} \quad (II.89)$$

$$q^* = \frac{T_{pl} - T_{ud}}{U_{value}}$$

(II.90)

$$q^* = U_{value} (2T_{pl} - T_{ul} - T_{ud}) \quad (II.91)$$

Aliran panas ini berbeda dengan pendekatan pada negara empat musim, karena perbedaan temperatur yang mencolok. Di daerah empat musim temperatur udara luar sangat dingin dibandingkan di dalam bangunan yang

menggunakan pemanas ruangan. Sebaliknya di daerah tropis di luar bangunan sangat panas dan di dalam bangunan menggunakan pendingin ruangan atau setidaknya akibat pembayangan dalam akan menghasilkan temperatur yang lebih sejuk dibanding di luar bangunan.

# BAB III

## Penerapan OTTV pada bangunan

### III.1. Dasar perhitungan OTTV

Overall Thermal Transfer Value (OTTV) adalah nilai perpindahan termal menyeluruh untuk setiap bidang dinding luar bangunan gedung dengan orientasi tertentu [1].

Rumus OTTV (SNI 6389:2020) adalah:

$$OTTV = \alpha [U_w \times (1 - WWR)] \times TD_{ek} + (SC \times WWR \times SF) + (U_f \times WWR \times \Delta T) \quad (III.1)$$

Di mana:

OTTV = besaran transfer termal secara menyeluruh dari dinding luar ke dalam bangunan berdasar arah orientasi tertentu (Watt/m<sup>2</sup>).

$\alpha$  = absorbtansi radiasi matahari.

$U_w$  = transmitansi termal dinding tak tembus cahaya (Watt/m<sup>2</sup>.°K).

$WWR$  = perbandingan luas jendela dengan luas seluruh dinding luar pada orientasi yang ditentukan.

$TD_{ek}$  = beda temperatur ekuivalen (°K).

$SC$  = koefisien peneduh dari sistem fenestrasi.

$SF$  = faktor radiasi matahari (Watt /m<sup>2</sup>).

$U_f$  = transmitansi termal fenestrasi (Watt/m<sup>2</sup>.°K).

$\Delta T$  = beda temperatur perencanaan antara bagian luar dan bagian dalam (diambil 5°K).

Nilai OTTV seluruh orientasi dihitung dengan rata-rata tertimbang dari masing masing OTTV di semua orientasi bangunan.

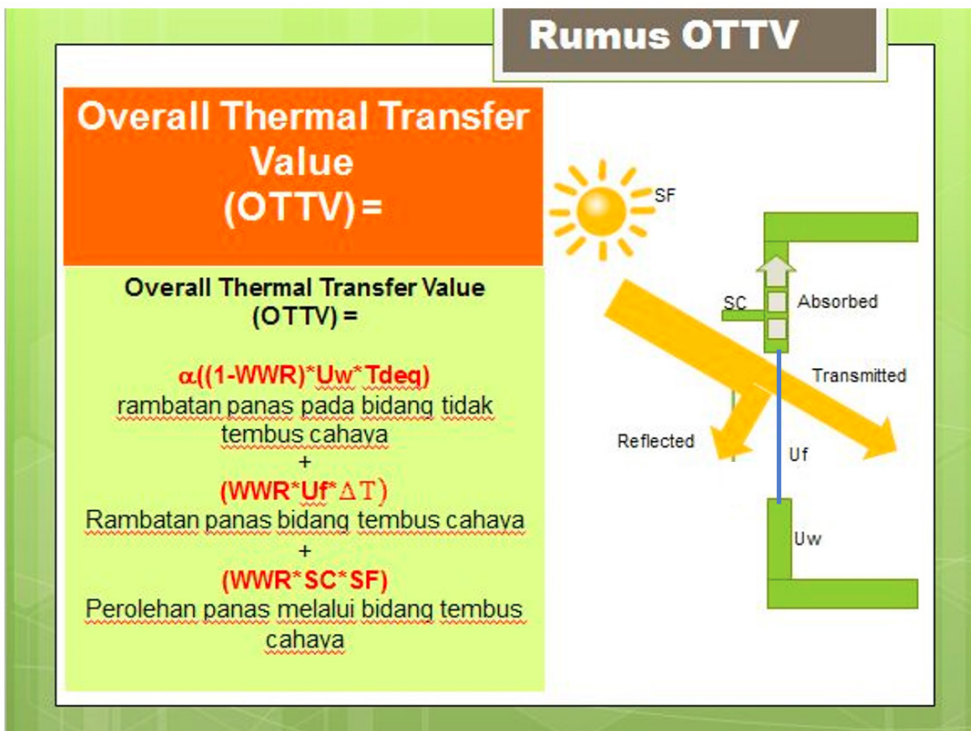
$$OTTV = \frac{A_{o1} \times OTTV_1 + A_{o2} \times OTTV_2 + \dots + A_{oi} \times OTTV_i}{A_{o1} + A_{o2} + \dots + A_{oi}} \quad (III.2)$$

Di mana:

$A_{oi}$  = luas dinding luar  $i$  ( $m^2$ ) yang terdiri dari luas permukaan dinding tidak tembus cahaya (*opaque*) dan luas permukaan transparan (jendela kaca).

$OTTV_i$  = nilai perpindahan termal menyeluruh pada bagian dinding  $i$  (Watt/ $m^2$ )

Dari rumus OTTV di atas, sebetulnya nilai perpindahan termal menyeluruh dapat disederhanakan menjadi 3 bagian yaitu perpindahan termal melalui: konduksi dinding, konduksi kaca dan radiasi yang masuk melalui dinding transparan seperti kaca jendela. Semakin rendah nilai OTTV berarti semakin baik karena panas yang masuk ke dalam bangunan semakin sedikit sehingga energi listrik yang digunakan untuk pendinginan ruangan juga semakin rendah. Nilai OTTV yang memenuhi standar SNI 6389:2020 nilai perpindahan termal menyeluruh tidak melebihi 35 Watt/ $m^2$ .



**Gambar 27.** Variabel variabel perhitungan OTTV

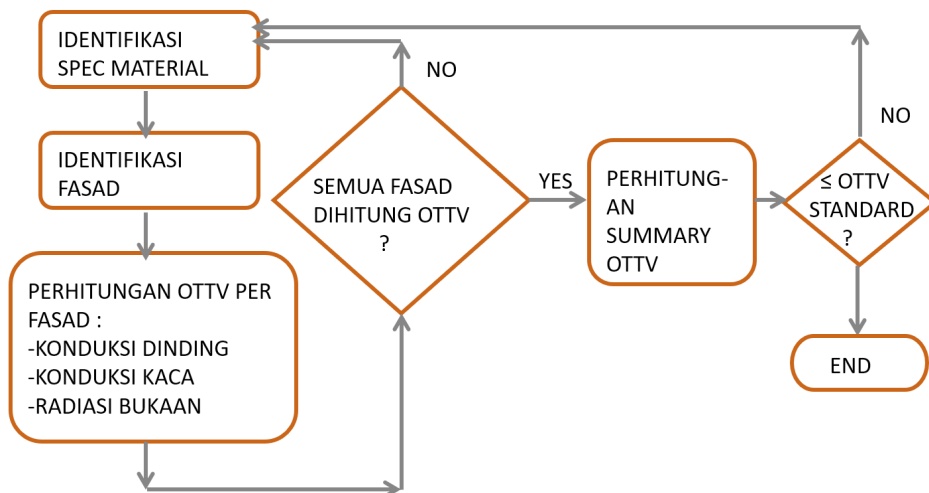
Karena pentingnya nilai OTTV ini maka sudah menjadi persyaratan wajib bangunan gedung hijau di beberapa kota untuk membatasi nilai OTTV pada nilai OTTV maksimum. Hal ini menjadi wajib dipenuhi untuk tipologi bangunan dan luasan bangunan tertentu untuk mendapatkan Izin Mendirikan Bangunan (IMB).

**Tabel 18:** Standar nilai OTTV Peraturan Daerah Bangunan Gedung Hijau

Peraturan Daerah	Daerah/Kota	Nilai OTTV
PerGub no.38/2012	DKI Jakarta	$\leq 45 \text{ Watt/m}^2$
PerWal no.1023/2016	Bandung	$\leq 35 \text{ Watt/m}^2$
PerWal no.24/2019	Semarang	$\leq 40 \text{ Watt/m}^2$

Selain itu perhitungan OTTV juga menjadi satu kriteria dalam sertifikasi GreenShip untuk mendapatkan poin [2].

Secara garis besar urutan perhitungan OTTV dapat dilihat dari diagram flow chart di bawah ini.



**Gambar 28.** Flow chart perhitungan OTTV

Nilai OTTV ini menunjukkan kualitas desain pasif suatu bangunan dalam mengantisipasi panas radiasi sinar matahari yang mengenai selubung bangunan dan masuk ke dalam bangunan. Panas radiasi sinar matahari yang masuk ke dalam bangunan akan mempengaruhi kenyamanan penghuni bangunan, sehingga diperlukan energi listrik untuk pendinginan ruangan sehingga nilai OTTV ini juga berpengaruh pada penggunaan energi listrik pada bangunan. Untuk memahami hubungan desain pasif sebagai contoh ilustrasi urutan perbaikan desain yaitu: orientasi, WWR dan Elemen peneduh.

 <p><b>Orientasi Barat</b>   SF = 243  OTTV = 56.08 Watt/m<sup>2</sup></p>	<p>Orientasi bangunan yang menghadap Barat mempunyai Solar Factor (SF) yang besar sehingga menyebabkan nilai OTTV tinggi.</p>
 <p><b>Orientasi Selatan</b>   SF=97  OTTV = 52.60 Watt/m<sup>2</sup></p>	<p>Apabila orientasi bangunan diubah menghadap Selatan, yang mempunyai SF yang lebih kecil, maka nilai OTTV akan turun.</p>
 <p><b>WWR lebih kecil</b>   0.3  OTTV = 40.76 Watt/m<sup>2</sup></p>	<p>Dengan mengecilkan rasio jendela dengan dinding dari 0.4 menjadi 0.3, dapat menurunkan nilai OTTV cukup besar.</p>
 <p><b>Elemen Peneduh</b>   0.60 m  OTTV = 32.90 Watt/m<sup>2</sup></p>	<p>Pemberian elemen peneduh sepanjang 0.60m jugamempunyai pengaruh penurunan nilai OTTV yang cukup besar.</p>

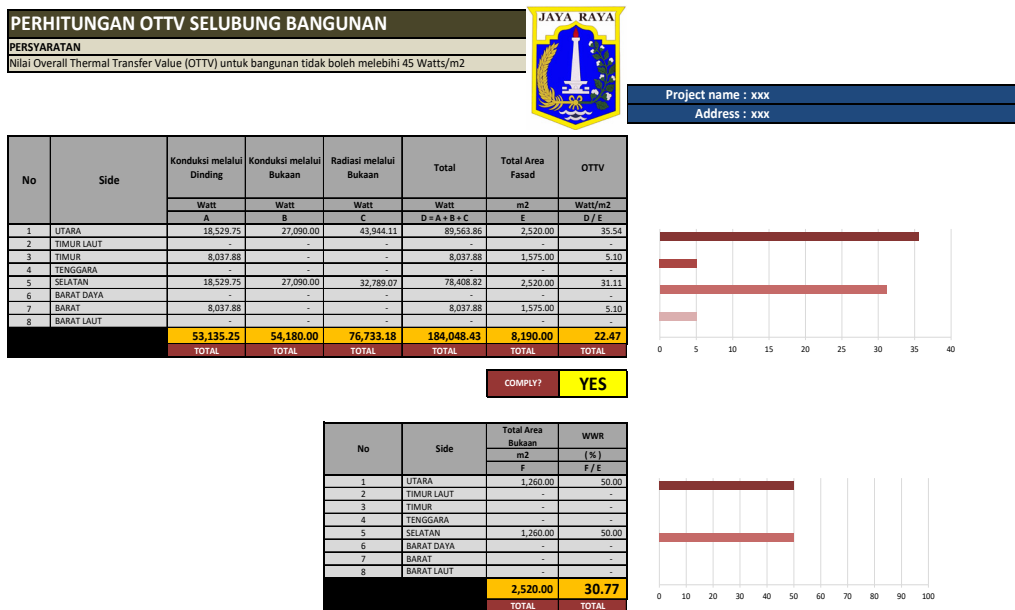
**Gambar 29.** Simulasi penurunan nilai OTTV dengan desain pasif

Dari ilustrasi di atas dapat dipahami bahwa dengan mengubah orientasi utama bangunan, kemudian mengecilkan bukaan jendela dan memberikan elemen peneduh, OTTV dapat turun secara signifikan dari 56.08 Watt/m<sup>2</sup> menjadi 32.90 Watt/m<sup>2</sup>.

### III.2. Pendekatan perhitungan OTTV dengan software

Perhitungan OTTV dengan cara manual sesuai SNI 6389:2020 cukup sulit karena harus melihat banyak tabel untuk mendapatkan nilai dari variabel-variabel pada rumus OTTV dan apalagi kalau bangunan bertingkat banyak dan bentuk bangunan yang tidak seragam, perhitungan OTTV menjadi sulit. Biasanya untuk semua bangunan dibuatkan model geometri yang sederhana untuk mempermudah perhitungan.

Peraturan daerah mengenai bangunan gedung hijau sudah menyediakan alat perhitungan OTTV berupa excel yang sudah berisi formula formula dan tabel-tabel sehingga mempermudah pemakai untuk menghitung OTTV. Karena perhitungan excel memakai perhitungan penyederhanaan, maka beberapa variabel dibuat standar yang berlaku umum seperti lapisan dinding. Untuk jenis lapisan dinding yang tidak standar, maka perlu disesuaikan.



Gambar 30. Alat perhitungan OTTV Pergub DKI 38/2012

Untuk perhitungan OTTV dengan software dapat memakai Bahasa pemrograman Python yang dapat mempersingkat waktu perhitungan dan mencegah kesalahan input pada perhitungan manual. Sebagai gambaran perhitungan OTTV dengan software, diambil contoh gedung Graha Telkomsigma 2 berlokasi di BSD, Tangerang. Gedung dengan luas 12.000 m<sup>2</sup> mempunyai 15 lantai dan 3 basement. Orientasi utama menghadap Selatan. Gedung ini mendapatkan sertifikat EDGE Advanced dengan penghematan energi 42%.



**Gambar 31.** Tampilan gedung dan kamera termal sisi barat dan selatan

Fasad gedung orientasi Selatan dan Timur memakai dinding kaca (curtain glass wall) dan fasad orientasi Barat dan Utara memakai dinding dengan bukaan jendela yang optimal dan dilengkapi elemen peneduh berupa sirip sirip yang secara maksimal melindungi jendela kaca dari sinar matahari.

Untuk perhitungan OTTV dengan software dapat memakai Bahasa pemrograman Python yang dapat mempersingkat waktu perhitungan dan mencegah kesalahan input.

Hasil perhitungan OTTV dengan bantuan aplikasi Python didapat nilai OTTV sebesar 25,78 Watt/m<sup>2</sup> yang berarti jauh dibawah standar maksimum nilai OTTV SNI 6389:2020 yaitu 35 Watt/m<sup>2</sup> dan standar maksimum nilai OTTV Pergub DKI 38/2012 yaitu 45 Watt/m<sup>2</sup>.



**Tabel 19:** Perhitungan OTTV Gedung Graha Telkomsigma 2

Kondisi Eksisting	OTTV (Watt/m <sup>2</sup> )					Total OTTV
	U	S	T	B	TGR	
OTTV orientasi	16.16	36.37	32.51	17.35	48.11	
A (m <sup>2</sup> )	1668	1538	1884	2014	181	25.78
WWR (%)	6.84	34.1	25.25	7.57	49.4	

Detail perhitungan OTTV dapat dilihat pada lampiran.



# BAB IV

## PROGRAM SIMULASI TRANSFER PANAS

Program simulasi komputer untuk perhitungan transfer panas pada dinding dan atap sangat banyak ditemukan, baik berbayar maupun tidak berbayar (*open source*). Beberapa software perhitungan transfer panas ini antara lain:

1. Therm yang dikembangkan oleh Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), <https://windows.lbl.gov/therm-8-window-8>
2. Psi-Therm, <https://www.psitherm.uk/>
3. WUFI-2D (*Wärme Und Feuchte Instationär*) dikembangkan oleh The Fraunhofer Institute for Building Physics, <https://wufi.de/en/software/wufi-2d/>
4. HT-Flux dikembangkan oleh **HTflux Engineering GmbH**, <https://www.htflux.com/en/downloads/>
5. AnTherm <http://www.antherm.at/antherm/EN/Downloads.htm>
6. Physibel, <https://www.physibel.be/en/products>
7. Comsol, <https://www.comsol.com/heat-transfer-module>
8. Energy2D, <https://energy.concord.org/energy2d/download.html>
9. Ansys, <https://www.ansys.com/academic/students>
10. Heat2, <https://buildingphysics.com/heat2-3/>
11. QuickField, <https://quickfield.com/downloads.htm>
12. DÄMMWERK Bauphysik- und GEG-Software, dikembangkan oleh KERN Ingenieurkonzepte, <https://www.bauphysik-software.de/de-de/eng-1-trial-version/view/form.html>

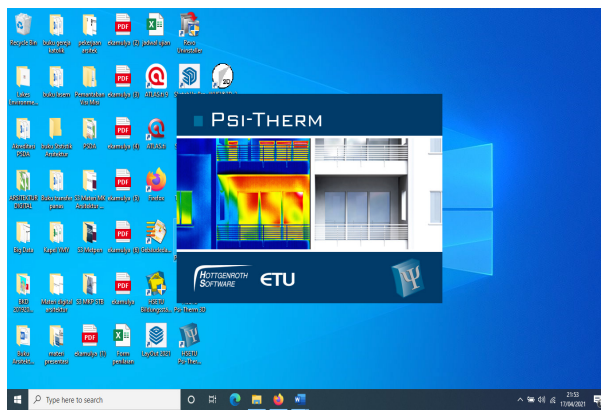
### *IV.1 Psi-Therm software*

Psi Therm 2D & 3D merupakan software yang terperinci untuk menentukan aliran panas & suhu permukaan. Software ini secara otomatis menghitung  $\Psi_{\text{value}}$  & nilai  $fR_{\text{si}}$ , dan menghasilkan laporan yang komprehensif sesuai

dengan standar yang relevan dengan peraturan bangunan. Dengan Psi-Therm, ini dapat memberikan gambaran terperinci dari konstruksi bangunan, sehingga dapat mengoptimalkan penggunaan energi bangunan.

Software Psi-Therm adalah alat analisis *Finite Element Mesh* untuk analisis jembatan termal dalam komponen konstruksi.

Perhitungan pada software Psi-Therm dirancang sesuai dengan ISO 10211, dan software ini secara otomatis menghasilkan dan menyempurnakan ukuran mesh untuk memenuhi kriteria konvergensi. Perangkat lunak Psi-Therm menggunakan platform CAD, yang berarti dapat memanfaatkan software drawing untuk menghasilkan model jembatan termal dengan cepat dan mudah, serta dapat mengimpor file .dwg dan .dxf dari versi rilis AutoCAD.



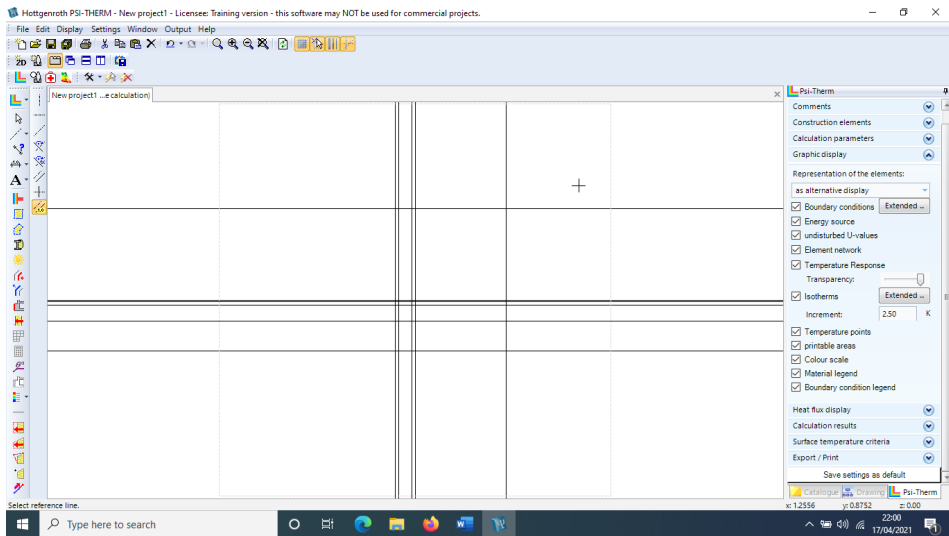
**Gambar 32.** Tampilan depan software Psi-Therm

Tutorial lengkap dapat dilihat pada

<https://www.youtube.com/watch?v=zsZnNuyUgzM>

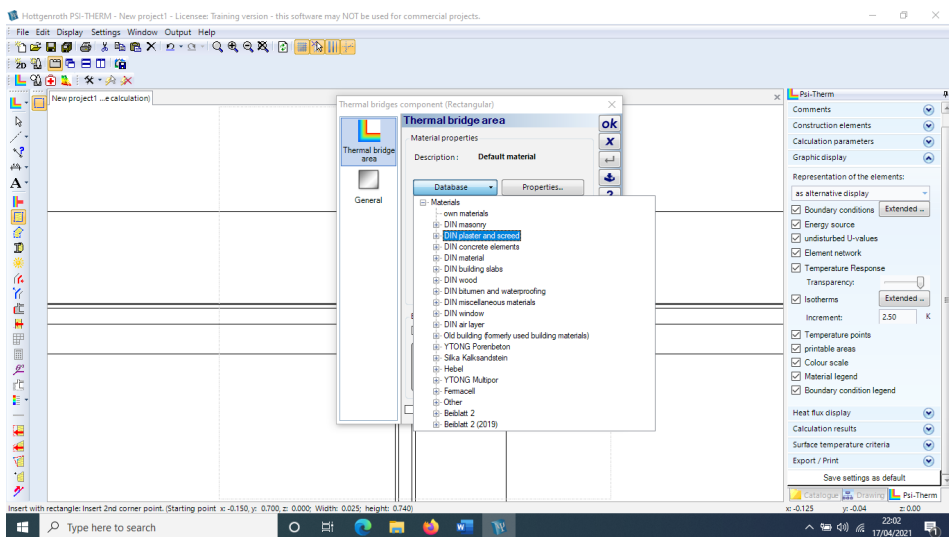
Prinsip perhitungan Psi-Therm dengan menggunakan *finite element* dan semua perhitungan transfer panas pada Bab I dipergunakan. Program ini cukup ringan dan dapat dipergunakan dalam hitungan menit saja.

Penggambaran awal jika menggunakan Psi-Therm secara langsung tanpa meng-*import* dari AutoCad dilakukan dengan garis bantu untuk memudahkan penggambaran seperti pada gambar berikut ini.



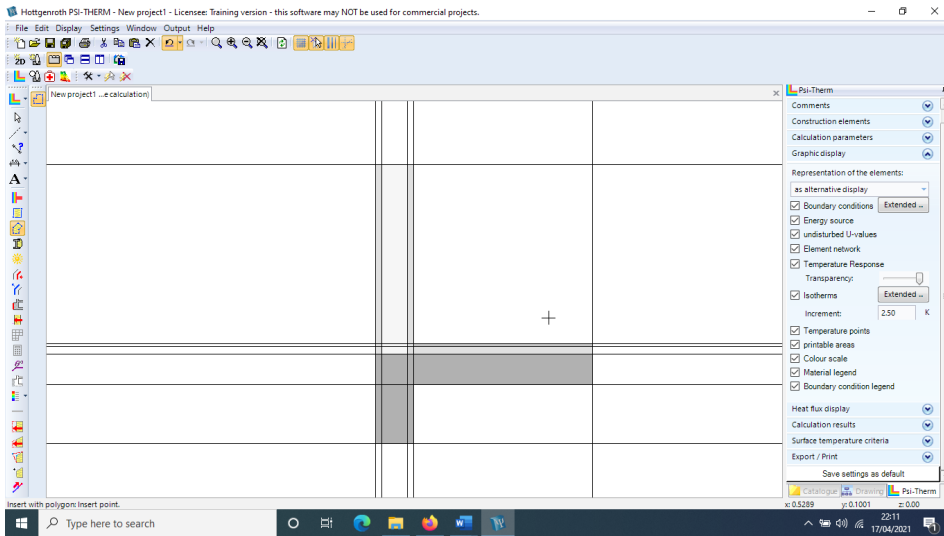
**Gambar 33.** Garis bantu pada penggambaran di Psi-Therm

Setelah semua garis Bantu selesai disusun, maka mulai dilakukan penggambaran dan sekaligus pemilihan material yang dipilih. Disediakan *library* untuk bahan bangunan yang lengkap. Jika bahan bangunan yang ada di *library* tidak lengkap atau tidak sesuai dengan kondisi di Indonesia, dapat ditambahkan atau diubah. Pemilihan bahan dapat dilihat pada gambar berikut ini:



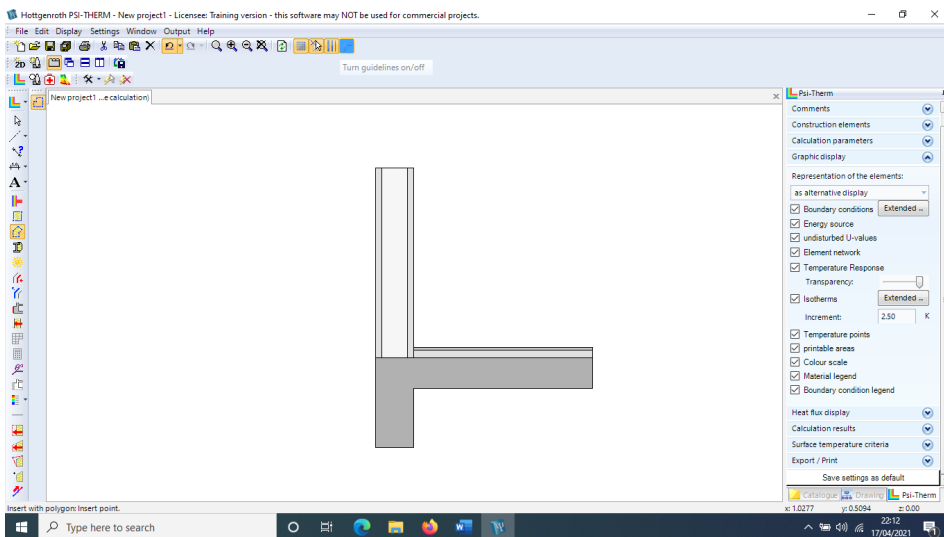
**Gambar 34.** Pemilihan bahan bangunan

Setelah lengkap maka dapat dilihat seperti gambar di bawah ini



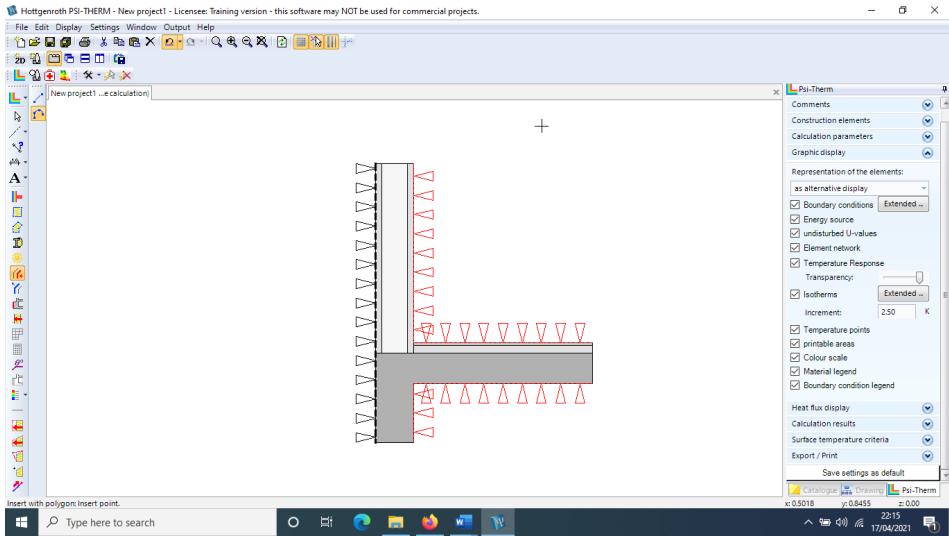
**Gambar 35.** Konstruksi yang akan dihitung transfer panas

Garis bantu dapat dihapus supaya tidak membingungkan dan dapat langsung terlihat gambar secara nyata seperti gambar berikut:



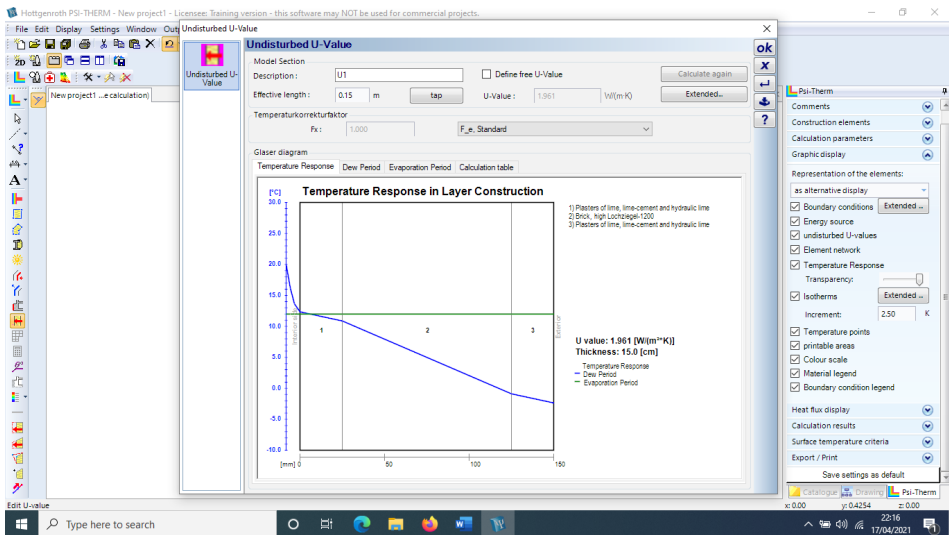
**Gambar 36.** Gambar realita konstruksi

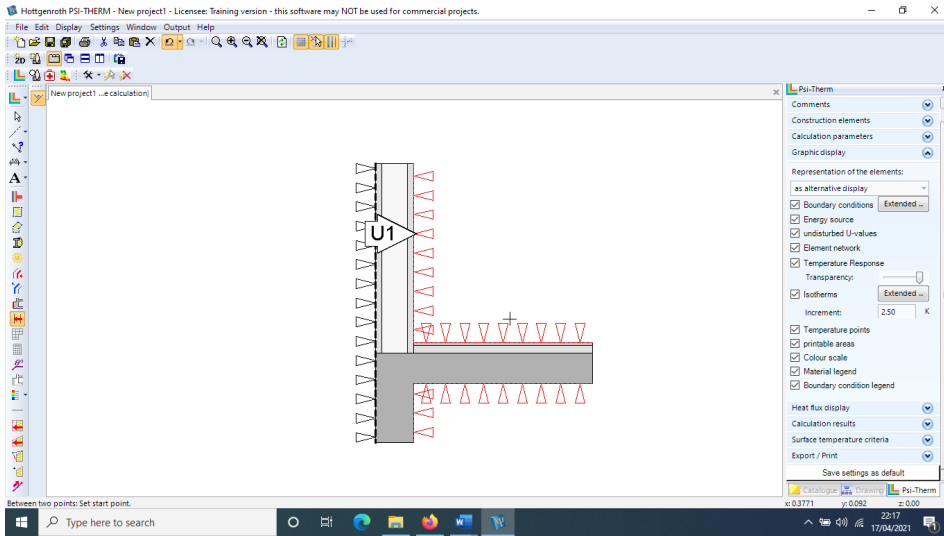
Selanjutnya ditetapkan temperatur baik di luar maupun di dalam bangunan sebagai dasar perhitungan, seperti gambar di bawah ini



**Gambar 37.** Temperatur di luar dan di dalam bangunan

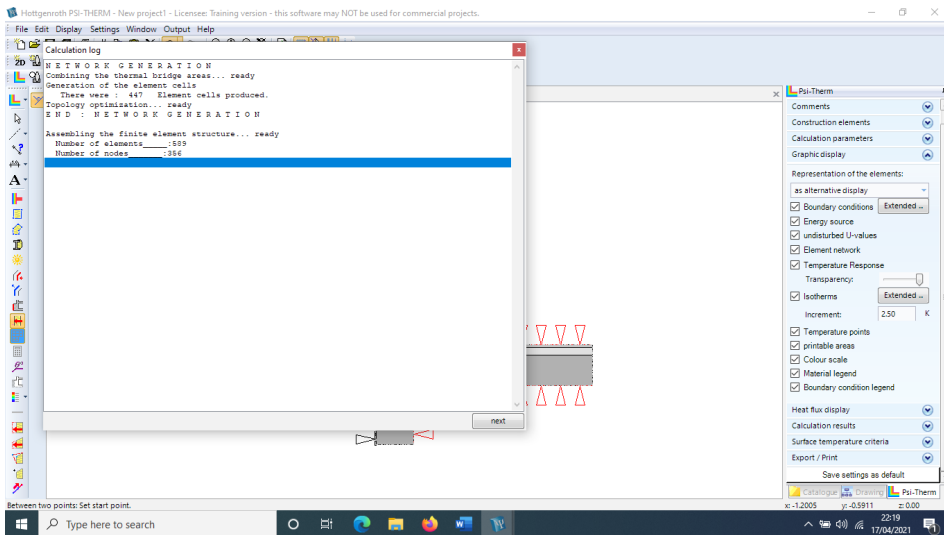
Setelah itu dilakukan perhitungan awal untuk menentukan nilai  $U_{\text{value}}$  secara tepat, seperti gambar berikut ini:



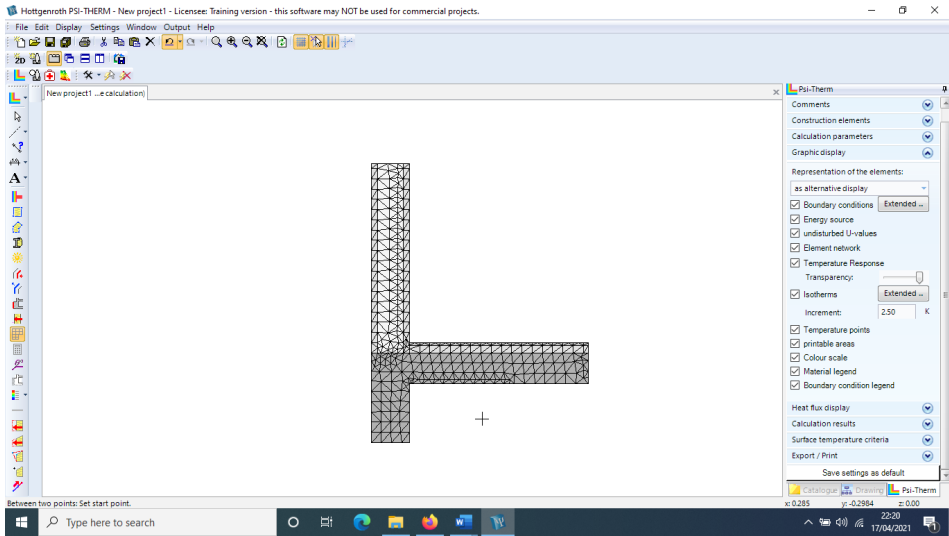


**Gambar 38.** Perhitungan  $U_{value}$

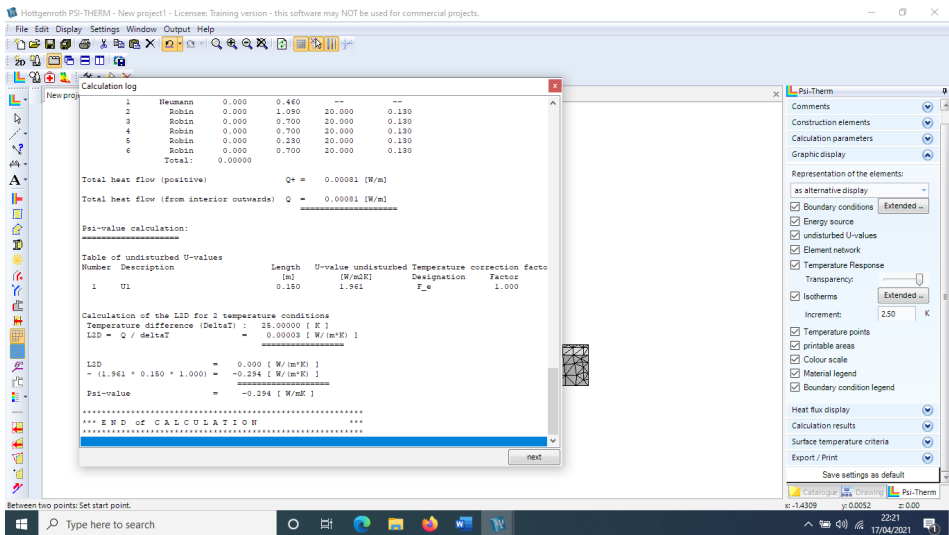
Selanjutnya dilakukan pembentukan jarring Finite Element untuk menghasilkan gradasi transfer panas, seperti gambar berikut:

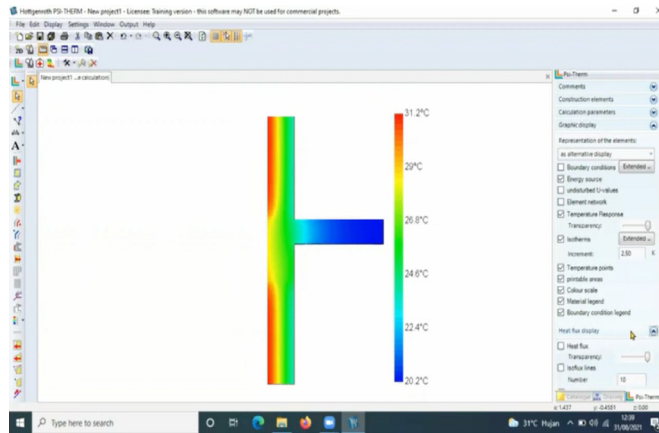






**Gambar 39. Penggambaran Jaring Finite Element**





**Gambar 40.** Hasil perhitungan Psi-Therm

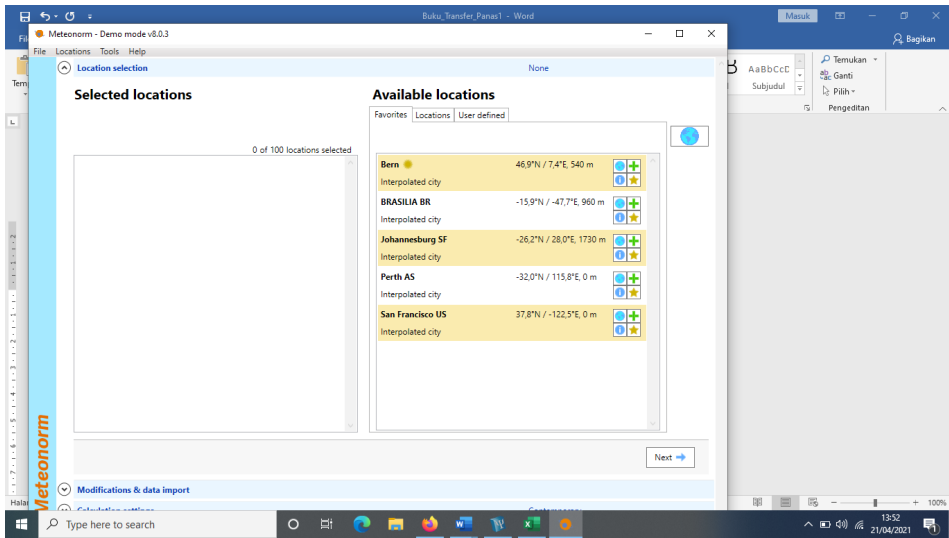
## IV.2. Software WUFI-2D

WUFI-merupakan software analisis dua dimensi yang diperlukan untuk geometri yang rumit, seperti sudut bangunan, lokasi jendela, dan sambungan pondasi dan jika dalam bangunan terdapat sumber/penyerap panas dan kelembapan yang tidak seragam. Input untuk WUFI-2D lebih kompleks, dan waktu perhitungan komputasi juga meningkat secara signifikan. Karena banyak situasi, termasuk yang memiliki ventilasi dan infiltrasi air hujan, dapat dianalisis secara efektif dalam software ini. Dalam software WUFI-2D ini, input yang diberikan memang lebih banyak dari software yang lain, namun outputnya lebih lengkap. Software ini membutuhkan data klimatologi yang dapat diambil dari software Meteororm yang dikembangkan oleh meteotest. Hasil dari WUFI-2D ini berupa animasi transfer panas selama setahun.



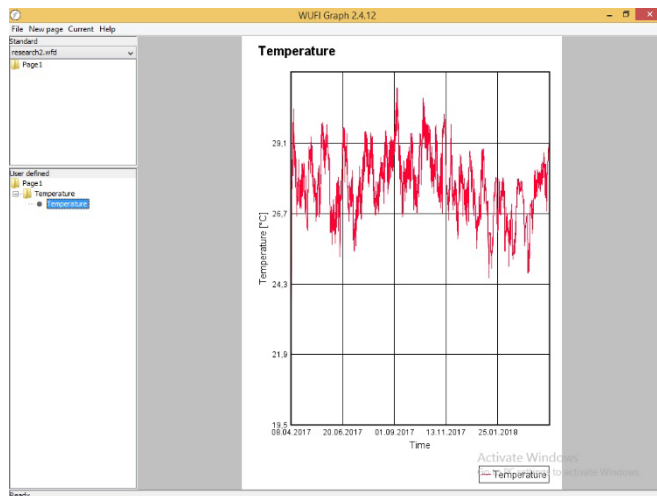
**Gambar 41.** Tampilan depan Software Meteororm

Pada software ini, dapat ditemukan data iklim seluruh kota di dunia tanpa terkecuali, karena dasar pengambilan data menggunakan satelit

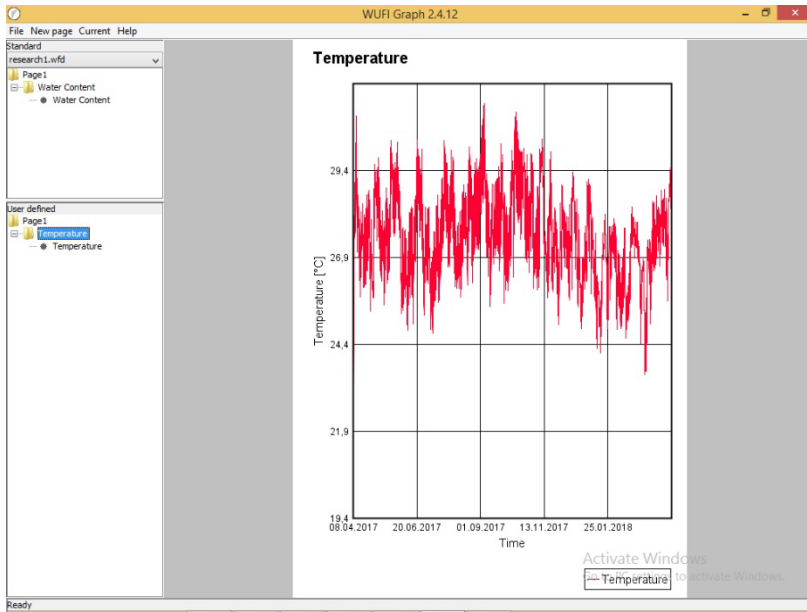


**Gambar 42.** Data Iklim tiap kota

Setelah data dari Meteonorm diinput dalam software Wufi-2D, maka dapat dilakukan pendataan iklim yang diolah dan dipergunakan dalam perhitungan nantinya. Data tersebut dikaitkan dengan penggunaan kaca sebagai bahan bangunan dan digambarkan dalam diagram berikut ini:

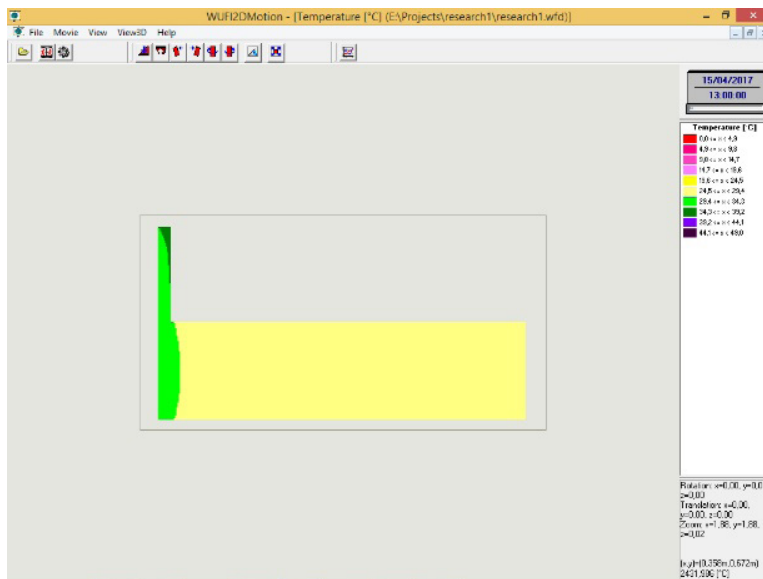


**Gambar 43.** WUFI-2D grafik temperatur pada kaca bening



**Gambar 44.** WUFI-2D grafik temperatur pada kaca tahan panas

Selanjutnya dilakukan perhitungan yang memakan waktu cukup lama sekitar 2-3 jam. Hal ini disebabkan perhitungan Wufi-2D dapat ditampilkan dalam animasi yang berjalan setiap waktu yang disetting selama beberapa tahun. Hasil perhitungan dapat dilihat sebagai berikut:



**Gambar 45.** Hasil dari WUFI-2D pada kaca bening

### IV.3. Software HT-Flux

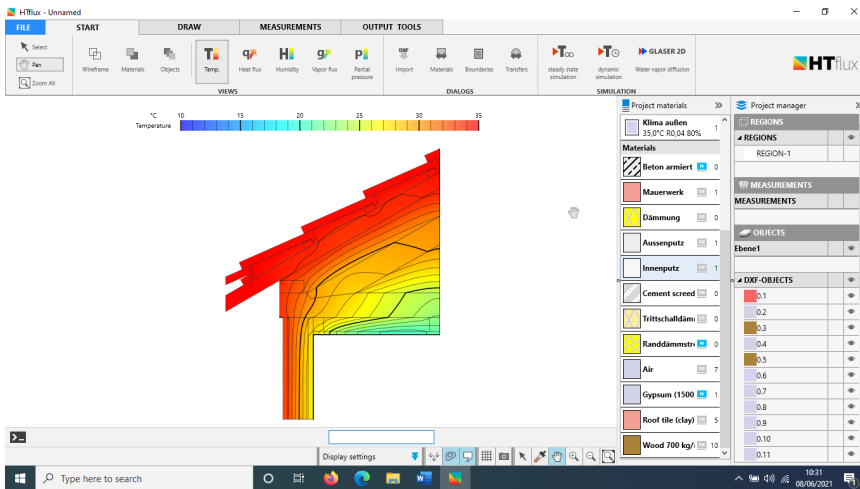
HTflux adalah Software yang inovatif untuk simulasi dua dimensi transportasi panas dan uap air. HTflux mengembangkan GLASER 2d sebagai metode yang unik yang memungkinkan untuk menghitung zona titik embun termasuk jumlah kondensasi dan penguapan untuk konfigurasi dua dimensi. Selain itu, HTflux mencoba membuat penggunaan: antarmuka yang mudah dan impor geometri CAD yang mudah, dan metode pemetaan langsung yang memungkinkan untuk membuat simulasi yang akurat dalam waktu singkat. Hasil yang ditampilkan adalah aliran panas, nilai U, nilai  $fR_{si}$ ,  $\psi_{value}$  dan nilai suhu ekstrem;

Tahapan perhitungan dengan software ini dapat dilihat di

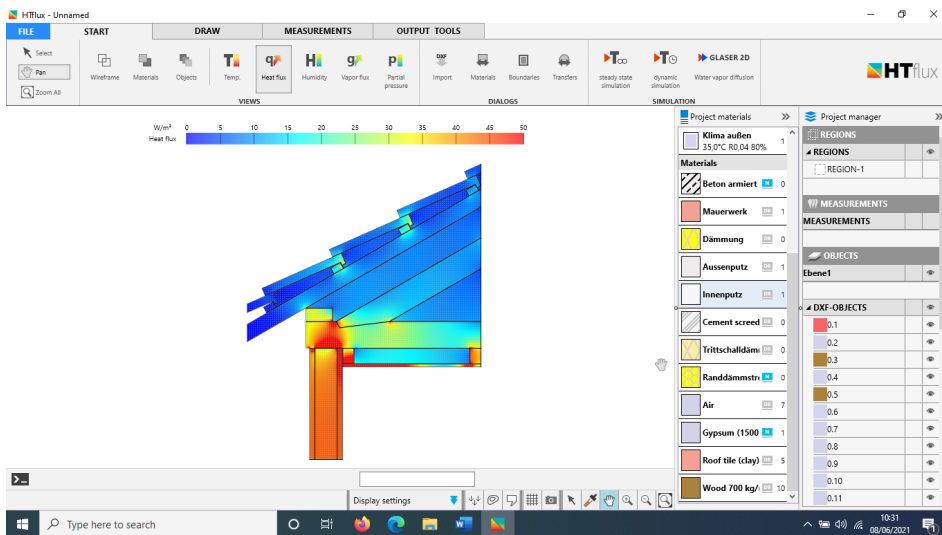
<https://www.youtube.com/watch?v=eoGFLJxJLsY&t=2s>

Pada perhitungan kali ini, dilakukan di bagian atap (walau dapat pula di dinding). Gambaran yang jelas pada perhitungan transfer panas di bagian atap dan dilakukan pemberian plafond untuk menghasilkan hasil yang lebih akurat dalam menahan laju panas ke dalam bangunan. Pemberian plafond di bawah konstruksi atap memberikan pengaruh signifikan untuk redaman panas di dalam bangunan. Peredaman plafond, sedikit menurunkan temperatur di bawah atap, sehingga memunculkan perbedaan distribusi panas di konstruksi atap. Titik sambungan pertemuan atap dan dinding tetap memberikan perhatian untuk diberikan penyelesaian untuk isolasi panas yang mencegah masuknya panas ke dalam bangunan.

Hasil perhitungan dengan HT-Flux ini dapat dilihat pada gambar di bawah ini



**Gambar 46.** Temperatur pada dinding dan penutup atap genteng tanah liat dengan plafond gypsum



**Gambar 47.** Laju sebaran panas (heat flux) pada dinding dan penutup atap genteng tanah liat dengan plafond gypsum

Perhitungan dengan HT-Flux ini sangat efektif dan efisien dan dapat dilakukan dalam waktu singkat sekitar 1-2 mwenit saja. Untuk penggunaan software ini dapat menggunakan lisensi gratis bagi dosen dan mahasiswa dengan menghubungi ke <https://www.htflux.com/en/>

# **BAB V**

## **PENUTUP**

Buku ini dapat digunakan sebagai dasar penelitian yang dapat dilakukan di Indonesia dan dapat pula digunakan untuk memahami software yang banyak di dunia maya. Perhitungan transfer panas ini perlu dilakukan di Indonesia untuk desain pasif (*Passive Thermal Control*) dan penghematan biaya listrik, saat melakukan pengkondisian udara. Kedisiplinan dalam pengelolaan ruang juga perlu diperhatikan. Menutup pintu ruangan ber AC sangat diperlukan, sehingga upaya penghematan melalui transfer panas ini dapat secara efektif tercapai





# DAFTAR PUSTAKA

[1] John H. Lienhard, *A Heat Transfer Textbook*, Massachusetts: Phlogiston Press, 2019.

[2] S.-R. Mehra, *Bauphysik*. Stuttgart: Universität Stuttgart, 1998.

[3] Badan Standardisasi Nasional, "SNI 6389:2011, tentang Konservasi energi selubung bangunan pada bangunan gedung," 2011.

[4] "ISO 6946:2017 Building components and building elements - Thermal resistance and thermal transmittance - Calculation methods," 2017.

ASHRAE GRP 158 *Cooling and Heating Load Calculation Manual*

Blumenberg, J. dan Spinner, M., (2002), *Energieoptimierung für Gebäude*, Fakultät für Architektur, TU München

Davies, M.G., 2007, *Building Heat Transfer*, New Jersey, John Wiley & Sons, Inc.

Gertis, Karl, Schwe-Ram Mehra, Eva Veres und Kurt Kießl (2000), *Bauphysikalische Aufgabensammlung mit Lösungen*, Leipzig, B.G. Teubner.

Hagentoft, C.E., 2001, *Introduction to Building Physics*, Lund, Sweden, Studentlitteratur AB

Hens, H.S.L., 2012, *Building Physics - Heat, Air and Moisture: Fundamentals and Engineering Methods with Examples and Exercises*, Berlin, Ernst & Sohn

Hou-Cheng Huang, 2012, *Finite Element Analysis for Heat Transfer: Theory and Software*, New York City, Springer Publisher

Kuehn, T., 1987, *Heat Transfer in Buildings and Structures*, New York, American Society of Mechanical Engineers

Lewis, R.W., et.al., 1996, *The Finite Element Method in Heat Transfer Analysis*, New Jersey, John Wiley & Sons, Inc.

Liersch, K.W & Normen Lagner, (2008), *Bauphysik kompakt, Wärme-Feuchte-Schall*, Berlin, Bauwerk Verlag GmbH.

Moss, K.J., 2007, *Heat and Mass Transfer in Buildings*, Oxfordshire, Routledge publisher

Pinterić, M., 2017, *Building Physics: From physical principles to international standards*, New York City, Springer Publisher.

Willems, Wolfgang M., et.al., (2007), *Formeln und Tabellen Bauphysik*, Wiesbaden, Vieweg Teubner

ISO 10211-2:2001 *Thermal bridges in building construction — Calculation of heat flows and surface temperatures — Part 2: Linear thermal bridges*

ISO 13786:2007, *Thermal Performance of Building Components — Dynamic Thermal Characteristics — Calculation Methods*

ISO 12241:2008. *Thermal Insulation for Building Equipment and Industrial Installations - Calculation Rules*

ISO 10077-2:2012, *Thermal Performance of Windows, Doors and Shutters -- Calculation of Thermaltransmittance*

ISO 6946:2017, *Building Components and Building Elements -Thermal Resistance and Thermaltransmittance - Calculation Methods*

SNI 6389:2011 *Konservasi energi selubung bangunan pada bangunan gedung*

[1] BSN, *Konservasi Energi Selubung Bangunan pada Bangunan Gedung*. Badan Standardisasi Nasional, 2011.

[2] GBCI, *Panduan Teknis Perangkat Penilaian Bangunan Hijau untuk Bangunan Baru versi 1.2*. Jakarta: Green Building Council Indonesia, 2013.

# Perhitungan detail OTTV

## Perhitungan OTTV

```
Enter Project Name: ILM
#####
DATA FASAD:
Orientasi fasad= Selatan
Area fasad (m2)= 1538.1
Window to Wall Ratio= 0.3413
-----
- Dinding -
Jenis Dinding 1 = acp sandwich panel
Persentase Dinding 1 = 0.39
Absorbans Dinding 1 = 0.35200000000000004
Tebal dinding 1 (mm) = 155
Uv Dinding 1 = 1.650360736065227
-----
Jenis Dinding 2 = curtain wall opaque
Persentase Dinding 2 = 0.61
Absorbans Dinding 2 = 0.35200000000000004
Tebal dinding 2 (mm) = 60
Uv Dinding 2 = 3.2329703489661163
-----
- Kaca -
Jenis Kaca= Kaca Stopsool Supersilver Eurogrey 8 mm
SC Kaca= 0.53
Ufenerstrasi= 5.7
Solar Factor= 97
-----
-Elemen Peneduh-
R1= 0
R2= 0
SCeff peneduh= 1
-----
Konduksi Dinding 1= 2.29854114609624
Konduksi Dinding 2= 6.8887901779711
Konduksi Kaca= 5.72935
Radiasi Kaca= 17.546233
OTTV Fasad (Watt/m2) = 36.37070313440674
-----
```

```
#####
DATA FASAD:
Orientasi fasad= Timur
Area fasad (m2)= 1884
Window to Wall Ratio= 0.2525
-----
- Dinding -
Jenis Dinding 1 = acp sandwich panel
Persentase Dinding 1 = 0.39
Absorbans Dinding 1 = 0.35200000000000004
Tebal dinding 1 (mm) = 155
Uv Dinding 1 = 1.650360736065227
-----
Jenis Dinding 2 = curtain wall opaque
Persentase Dinding 2 = 0.61
Absorbans Dinding 2 = 0.35200000000000004
Tebal dinding 2 (mm) = 60
Uv Dinding 2 = 3.2329703489661163
-----
- Kaca -
Jenis Kaca= Kaca Stopsool Supersilver Euro Grey 8 mm
SC Kaca= 0.53
Ufenerstrasi= 5.7
Solar Factor= 112
-----
-Elemen Peneduh-
R1= 0
R2= 0
SCeff peneduh= 1
-----
Konduksi Dinding 1= 2.5403210637098734
Konduksi Dinding 2= 7.73352129772676
Konduksi Kaca= 7.126250000000001
Radiasi Kaca= 14.988400000000002
OTTV Fasad (Watt/m2) = 32.5082036142256
-----
```

```
#####
DATA FASAD:
Orientasi fasad= Barat
Area fasad (m2)= 2014.2
Window to Wall Ratio= 0.0757
-----
- Dinding -
Jenis Dinding 1 = acp sandwich panel (bata ringan)
Persentase Dinding 1 = 1
Absorbans Dinding 1 = 0.35200000000000004
Tebal dinding 1 (mm) = 155
Uv Dinding 1 = 1.650360736065227
-----
Jenis Dinding 2 = -
Persentase Dinding 2 = 0
Absorbans Dinding 2 = 0
Tebal dinding 2 (mm) = 0
Uv Dinding 2 = 0
-----
- Kaca -
Jenis Kaca= Kaca Clear Indoflot 8 mm
SC Kaca= 0.93
Ufenerstrasi= 5.7
Solar Factor= 242
-----
-Elemen Peneduh-
R1= 1
R2= 1
SCeff peneduh= 0.417
-----
Konduksi Dinding 1= 8.054262101662072
Konduksi Dinding 2= 0
Konduksi Kaca= 2.15745000000000003
Radiasi Kaca= 7.1338037309999955
OTTV Fasad (Watt/m2) = 17.34515832662073
-----
```

```
#####
DATA FASAD:
Orientasi fasad= Utara
Area fasad (m2)= 1668.3
Window to Wall Ratio= 0.0684
-----
- Dinding -
Jenis Dinding 1 = acp sandwich panel (shear wal:
Persentase Dinding 1 = 1
Absorbans Dinding 1 = 0.35200000000000004
Tebal dinding 1 (mm) = 455
Uv Dinding 1 = 1.8111406831773158
-----
Jenis Dinding 2 = -
Persentase Dinding 2 = 0
Absorbans Dinding 2 = 0
Tebal dinding 2 (mm) = 0
Uv Dinding 2 = 0
-----
- Kaca -
Jenis Kaca= Kaca Clear Indoflot 8 mm
SC Kaca= 0.93
Ufenerstrasi= 5.7
Solar Factor= 130
-----
-Elemen Peneduh-
R1= 0
R2= 0
SCeff peneduh= 1
-----
Konduksi Dinding 1= 5.939150484776916
Konduksi Dinding 2= 0
Konduksi Kaca= 1.9494
Radiasi Kaca= 8.26956
OTTV Fasad (Watt/m2) = 16.158110484776916
-----
```

```
#####
DATA FASAD:
Orientasi fasad= Tenggara
Area fasad (m2)= 181.16
Window to Wall Ratio= 0.494
-----
- Dinding -
Jenis Dinding 1 = curtain wall opaque
Persentase Dinding 1 = 1
Absorbans Dinding 1 = 0.35200000000000004
Tebal dinding 1 (mm) = 60
Uv Dinding 1 = 3.2329703489661163
-----
Jenis Dinding 2 = -
Persentase Dinding 2 = 0
Absorbans Dinding 2 = 0
Tebal dinding 2 (mm) = 0
Uv Dinding 2 = 0
-----
- Kaca -
Jenis Kaca= Kaca Stopsool Supersilver Euro Grey 8 mm
SC Kaca= 0.53
Ufenerstrasi= 5.7
Solar Factor= 97
-----
-Elemen Peneduh-
R1= 0
R2= 0
SCeff peneduh= 1
-----
Konduksi Dinding 1= 8.637462221925794
Konduksi Dinding 2= 0
Konduksi Kaca= 14.078999999999999
Radiasi Kaca= 25.39654
OTTV Fasad (Watt/m2) = 48.1130022219258
-----
```

```
#####
OTTV Total Watt/m2 =
25.77601542383725
-----
```



