

2. TINJAUAN PUSTAKA

Teori yang digunakan berkaitan dengan cara untuk melakukan konservasi energi melalui optimalisasi terhadap perolehan panas ke selubung bangunan sekaligus tetap mempertahankan kinerja dari pencahayaan alami. Salah satunya menggunakan literatur untuk perhitungan OTTV yang diatur dalam SNI 6389:2020 tentang “Konservasi energi selubung bangunan pada bangunan gedung”. Selain itu beberapa teori tentang alat peneduh (*shading device*) yang berguna untuk meminimalisir penggunaan energi yang dapat berdampak pada naiknya beban pendingin akibat dari perolehan radiasi panas matahari. Selain itu, strategi dan jenis alat peneduh yang digunakan juga dibahas sebagai cara untuk mengoptimalkan OTTV melalui koefisien peneduh efektif yang cukup berdampak dalam penurunan nilai OTTV tersebut.

Teori untuk pencahayaan alami juga digunakan untuk mengetahui dasar-dasar dari pemanfaatan pencahayaan alami agar dapat mengkorelasikan antara penggunaan alat peneduh untuk meminimalisir perolehan panas matahari dengan tetap menjaga standar minimal kenyamanan pada pencahayaan alami sesuai dengan fungsi ruang yang ada. Seperti *Daylight Autonomy* yang menjadi standar terbaru untuk menentukan kinerja pencahayaan alami yang lebih akurat dikarenakan berbasis iklim (*Climate Based Daylight Model*). Selain itu indeks silau yang menjadi satu komponen untuk mengukur kinerja dari pencahayaan alami dengan teori menggunakan *Daylight Glare Probability* (DGP).

2.1. Konservasi Energi

Dalam melakukan penghematan energi, hal yang dilakukan yaitu mengurangi penggunaannya, namun pasti kenyamanan pengguna yang menjadi korbannya. Sehingga dibutuhkan pengelolaan energi yang baik agar tetap efisien dan tidak berdampak juga pada penggunaannya. Untuk mengatasi hal tersebut muncul sebuah upaya berupa konservasi energi. Menurut (Kartika Ayu, 2017) Konservasi energi adalah penerapan kaidah-kaidah dalam pengelolaan energi tidak hanya mengurangi pemakaian energinya tapi juga menerapkan pola operasi yang efisien, pemasangan alat tambahan yang meningkatkan performa sistem sehingga pemakaian energinya lebih rendah tapi tidak mengurangi kenyamanan dan produktifitas.

2.2. Overall Thermal Transfer Value (OTTV)

Dalam upaya untuk melakukan konservasi energi pada sebuah bangunan, Badan Standarisasi Nasional mengeluarkan sebuah standar yaitu SNI 6389:2020 tentang Konservasi Energi Selubung Bangunan pada Bangunan Gedung. Standar ini diperuntukan untuk semua pihak yang terlibat dalam perencanaan, hingga pemeliharaan gedung agar dapat mencapai penggunaan energi yang

efisien. Standar ini memuat kriteria perancangan, prosedur perancangan, konservasi energi dan rekomendasi dari selubung bangunan pada bangunan gedung yang optimal, sehingga penggunaan energi dapat efisien tanpa mengorbankan kenyamanan dan produktivitas kerja penghuni (SNI 6389, 2020). Dengan adanya standarisasi ini diharapkan tetap menjadi sebuah acuan oleh para pihak yang terlibat pada suatu bangunan guna mencapai upaya dalam konservasi energi pada bangunan.

2.2.1. Persamaan untuk menghitung nilai OTTV

Untuk menemukan nilai dari OTTV, semua bidang dari arah orientasi tertentu harus dihitung melalui persamaan berikut:

$$OTTV = \alpha [(UW \times (1 - WWR) \times TDEK] + (Uf \times WWR \times \Delta T) + (SC \times WWR \times SF)$$

dengan:

OTTV : Nilai perpindahan termal menyeluruh pada dinding luar yang memiliki arah atau orientasi tertentu (W/m²)

α : absorbtans radiasi matahari.

Uw : Transmitans termal dinding tidak tembus cahaya (W/m².K);

WWR : Perbandingan luas jendela dengan luas seluruh dinding luar pada orientasi yang ditentukan

TDEK : Beda temperatur ekuivalen (K)

SF : Faktor radiasi matahari (W/m²)

SC : Koefisien peneduh dari sistem fenestrasi

Uf : Transmitans termal fenestrasi (W/m².K)

ΔT : Beda temperatur perencanaan antara bagian luar dan bagian dalam. (diambil 5K)

2.2.2. Menentukan nilai OTTV

Dalam menentukan nilai OTTV ada beberapa proses hingga dapat menemukan hasil akhir dari nilai OTTV, yaitu sebagai berikut :

- tentukan nilai WWR (Window to wall ratio)
- menentukan nilai Uw (U-Wall) dan Uf (U-Fenestrasi)
- menentukan nilai SC (Shading coefficient)
- menentukan TDEK dan ΔT
- hitung nilai SF (Solar Factor)

2.2.3. Window to wall ratio (WWR)

Dalam menentukan nilai WWR, harus terlebih dahulu mengetahui luas jendela dan luas seluruh dinding luar pada selubung bangunan dan dihitung rasionya. (Chaerani et al., 2017) menyampaikan, untuk menghitung nilai WWR dari satu bidang bangunan dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$WWR \text{ bidang} = A_f \text{ bidang} / A_w \text{ bidang}$$

dengan:

$A_f \text{ bidang}$: luas jendela pada suatu bidang

$A_w \text{ bidang}$: luas dinding pada suatu bidang

2.2.4. Transmittans termal (u-value)

Untuk menghitung nilai dari transmittan termal baik pada dinding tidak transparan maupun sistem fenestrasi, menurut SNI 6389:2020 didapatkan rumus sebagai berikut:

$$U = 1 / R_{\text{total}}$$

Dengan :

R_{total} = Resistansi termal total

Dan pada resistans termal terdiri dari, resistans udara luar (R_{UL}), resistansi termal bahan (R_K), resistansi termal rongga udara (R_{RU}), dan resistansi lapisan udara permukaan (R_{UP}). Khusus untuk resistans bahan, terdapat rumus tersendiri dikarenakan mempunyai ketebalan pada bahan. Dirumuskan sebagai berikut:

$$R_K = t / k$$

dengan :

t : tebal bahan (m);

k : nilai konduktivitas termal bahan (W/m.K).

2.2.5. Faktor radiasi matahari (SF)

Arah orientasi matahari dan faktor radiasi matahari (*Solar Factor*) di berbagai daerah akibat dari orbit bumi sehingga berdampak pada perolehan radiasi panas matahari ke bangunan yang berbeda-beda di tiap daerah. (Sutanto et al., 2021) menyampaikan selain berpengaruh terhadap besarnya radiasi matahari, bentuk orbit bumi yang seperti elips juga mengakibatkan perubahan posisi matahari untuk setiap tempat di belahan planet bumi. Sehingga nilai faktor radiasi matahari dan arah orientasi matahari di tiap daerah perlu

diperhatikan dalam mencapai penurunan nilai ottv. Biasanya faktor radiasi matahari mulai dihitung antara jam 07.00 pagi sampai jam 18.00 sore.

Tabel 2.1 Nilai faktor radiasi matahari

Kota	U	TL	T	TGR	S	BD	B	BL	Roof
Aceh	116	138	166	154	142	179	200	159	397
Lhokseumawe	117	141	161	142	120	140	160	142	375
Medan	122	150	177	158	138	173	195	158	393
Padang	131	152	171	147	123	153	181	160	431
Pekanbaru	125	135	152	138	129	171	200	166	428
Tanjungpinang	136	150	169	153	142	183	211	175	405
Batam	125	146	170	151	132	170	196	162	423
Jambi	132	136	147	132	122	160	196	173	412
Singkep	110	124	136	123	109	123	135	123	339
Bengkulu	140	152	165	139	119	159	197	175	439
Palembang	136	148	159	135	119	157	192	171	425
Pangkalpinang	150	160	172	147	131	173	213	189	415
Belitung	135	145	155	133	117	152	187	169	422
Lampung	141	148	156	132	116	158	198	179	422
Serang	162	168	173	142	123	172	224	205	430
Tangerang	146	151	156	129	111	152	197	183	376
Jakarta	148	161	171	138	112	152	197	181	427
Bandung	150	157	164	135	113	154	198	183	426
Tegal	130	140	143	121	105	121	143	140	430
Cilacap	136	152	159	131	107	132	160	153	400
Yogyakarta	152	168	170	130	105	139	178	168	380
Semarang	156	170	177	138	111	155	205	191	434
Bawean	123	134	138	119	104	119	137	134	357
Surabaya	155	179	194	149	110	158	211	192	470
Madura	150	166	167	130	104	129	167	166	366
Banyuwangi	132	162	179	144	108	143	177	162	426
Denpasar	153	169	178	141	111	152	197	184	410
Pontianak	125	130	139	125	120	157	186	161	384
Banjarmasin	140	151	161	135	117	161	203	180	432
Palangkaraya	135	139	150	132	121	167	208	181	371
Samarinda	142	154	172	153	139	184	219	187	413
Balikpapan	128	141	155	139	124	157	185	161	396
Bulungan	131	147	168	156	146	179	197	163	400
Tarakan	116	125	139	131	131	169	188	153	351
Manado	124	145	165	145	129	161	185	155	432
Gorontalo	125	140	161	145	130	168	196	164	443
Palu	133	170	198	164	127	164	198	170	460

Masamba Luwu Utara	147	160	177	154	135	180	218	189	425
Majene	140	161	179	148	122	164	203	178	444
Makassar	146	163	173	138	112	149	190	176	426
Kendari	140	151	164	144	127	160	190	170	395
Bau Bau	140	151	160	133	114	154	192	174	394
Banggai	131	158	182	156	129	164	192	164	398
Mataram	153	171	172	132	104	132	172	171	431
Bima	128	141	155	139	124	157	185	161	422
Waingapu	154	174	176	134	103	134	176	174	416
Kupang	167	177	175	131	102	142	196	194	428
Ambon	130	146	163	142	122	159	188	162	407
Ternate	126	143	165	148	132	166	191	160	395
Saumlaki	125	137	141	121	105	121	141	137	381
Fak Fak	129	144	159	140	122	150	173	152	343
Manokwari	140	151	167	148	135	173	205	178	406
Jayapura	124	140	152	131	113	134	157	143	405
Merauke	149	160	167	135	111	150	192	179	378
Untuk daerah yang tidak tersebut dalam tabel, merujuk ke daerah terdekat atau yang kondisi cuacanya mirip yang ada di tabel									

Sumber: SNI 6389, 2020

2.2.6. Koefisien peneduh (SC)

Shading coefficient menjadi salah satu faktor penting dalam penurunan nilai OTTV. Nilai dari shading coefficient didapatkan dari mengkalikan nilai shading coefficient pada sistem fenestrasi dengan nilai shading coefficient dari alat peneduh (apabila terdapat alat peneduh). Sehingga menurut SNI 6389:2020 didapatkan rumus sebagai berikut:

$$SC = SC_k \times SC_{eff}$$

dengan :

- SC : koefisien peneduh sistem fenestrasi
- SC_k : koefisien peneduh kaca atau koefisien peneduh efektif dari kaca dengan solar control film (kaca film)
- SC_{eff} : koefisien peneduh efektif alat peneduh

2.2.7. Metode perhitungan koefisien peneduh efektif (SC_{eff}) pada alat peneduh

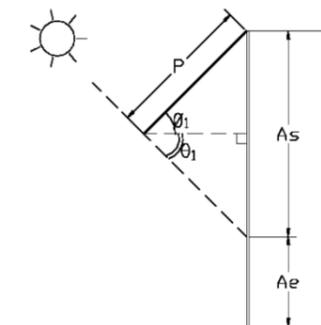
SC efektif cukup berpengaruh kepada penurunan nilai OTTV, sehingga untuk mendapatkannya nilainya, secara teoritis perhitungan harus dibuat selama 12 bulan dalam setahun. Namun perhitungan akan sangat banyak dan menurut SNI 6389:2020 derajat akurasi bukan suatu faktor yang kritis, sehingga perhitungannya SC hanya didasarkan pada 4 bulan saja, yaitu pada bulan Maret, Juni, September, dan Desember. SC efektif dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$SC_{\text{efektif}} = \frac{\sum_M (G \times I_D + I_d) + \sum_J (G \times I_D + I_d) + \sum_S (G \times I_D + I_d) + \sum_D (G \times I_D + I_d)}{\sum_M I_T + \sum_J I_T + \sum_S I_T + \sum_D I_T}$$

dengan :

- G : fraksi luar bagian jendela yang terespos ke matahari
- I_T : radiasi total
- I_D : radiasi langsung
- I_d : radiasi tersebar
- ∑_M : Maret
- ∑_J : Juni
- ∑_S : September
- ∑_D : Desember

a. alat peneduh horizontal



Gambar 2.1 Alat peneduh horizontal

Sumber: SNI 6389, 2020

Untuk mencari nilai faktor dari G pada alat peneduh horizontal sebelum dimasukkan pada rumus SC efektif. Dapat dirumuskan sebagai berikut:

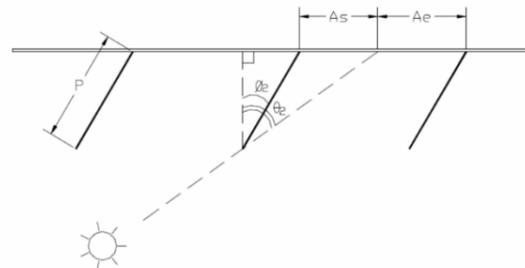
$$G = 1 - R_1 (\cos \Phi_1 \tan \theta_1 + \sin \Phi_1)$$

dengan:

$$R_1 = P / A$$

$$A = A_s + A_e$$

b. alat peneduh vertikal



Gambar 2.2 Alat peneduh horizontal
Sumber: SNI 6389, 2020

Untuk mencari nilai faktor dari G pada alat peneduh vertikal sebelum dimasukkan pada rumus SC efektif. Dapat dirumuskan sebagai berikut:

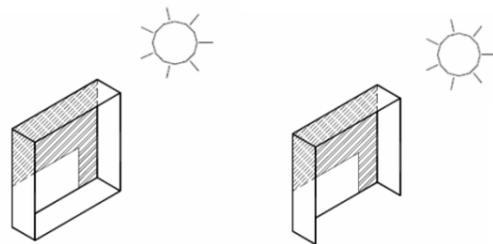
$$G = 1 - R_2 |\cos \Phi_2 \tan \theta_2 - \sin \Phi_2|$$

dengan:

$$R_2 = P / A$$

$$A = A_s + A_e$$

c. alat peneduh kombinasi



Gambar 2.3 Alat peneduh horizontal
Sumber: SNI 6389, 2020

Untuk mencari nilai faktor dari G pada alat peneduh bentuk kotak sebelum dimasukkan pada rumus SC efektif. Dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$G_{\text{horizontal}} = 1 - R_1 (\cos \Phi_1 \tan \theta_1 + \sin \Phi_1)$$

$$G_{\text{vertikal}} = 1 - R_2 |\cos \Phi_2 \tan \theta_2 - \sin \Phi_2|$$

Alat peneduh vertikal dan horizontal yang bergantung satu sama lain, sehingga membentuk kotak, dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$G = G_{\text{horizontal}} \times G_{\text{vertikal}}$$

2.2.8. Kriteria batas maksimal dan strategi penurunan OTTV

Pada SNI 6389:2020 mempunyai kriteria batas maksimal dari nilai OTTV, yaitu 35 Watt/m². Apabila melebihi dari angka tersebut, harus dilakukan penurunan nilai OTTV dengan beberapa cara sebagai berikut:

- menurunkan nilai dari absorpsivitas,
- mengurangi nilai dari koefisien peneduh (SC), dan
- mengulangi perhitungan dengan nilai-nilai faktor yang baru hingga nilai OTTV dapat kurang dari 35 W/m²

2.3. Pencahayaan Alami

Kenyamanan suatu ruang disebabkan oleh banyak faktor, salah satunya yaitu pada sistem pencahayaan yang memanfaatkan pencahayaan alami. Pencahayaan alami adalah cahaya yang berasal dari benda penerang alam seperti cahaya matahari, bulan, bintang, api, dan mineral (Dora & Nilasari, 2019). Pencahayaan alami sering dimanfaatkan karena mengeluarkan cahaya dengan sendirinya tanpa batas, sehingga memungkinkan terjadinya pengurangan penggunaan energi untuk pencahayaan buatan.

Dengan pencahayaan alami, akan mendapatkan paparan sinar matahari yang cukup sehingga meningkatkan kesehatan maupun kesejahteraan pengguna bangunan. Namun, menurut (Damayanti & Utomo, 2018) sumber pencahayaan ini kurang efektif dibandingkan dengan penggunaan sumber pencahayaan buatan, hal ini disebabkan karena matahari tidak dapat memberikan intensitas pencahayaan yang tetap atau konsisten. Hal tersebut juga disampaikan (Wijaya, 2017) karena berasal dari alam, cahaya alami bersifat tidak menentu, tergantung pada iklim, musim, dan cuaca.

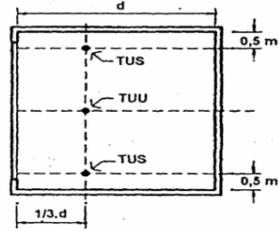
Oleh karenanya, perhitungan untuk pencahayaan alami harus menjadi standar pada tahap perencanaan awal bagi para perencana, investor dan pemilik untuk mendapatkan indikasi dalam menciptakan konsep bangunan. Alat (overhang, panel PV, kisi-kisi, dan jenis kaca) mungkin mengurangi jumlah panas matahari namun hal ini juga akan meningkatkan kebutuhan cahaya buatan dan akan mengurangi perolehan sinar matahari (ES-SO, 2018).

Dalam pemanfaatan pencahayaan alami, dibutuhkan strategi khusus agar dapat bekerja secara maksimal, dikarenakan pencahayaannya yang bersifat tidak konsisten dan juga pemanfaatan yang tidak tepat dapat berdampak pada kenyamanan termal karena banyaknya perolehan sinar matahari yang langsung masuk ke dalam bangunan, sehingga menambah beban kebutuhan energi untuk pendingin ruangan.

2.3.1. Faktor yang mempengaruhi pencahayaan alami

Terdapat tiga komponen faktor pencahayaan alami di siang hari menurut (SNI 03-2396, 2001) yaitu meliputi:

- komponen langit yaitu pencahayaan langsung dari langit,
- komponen refleksi luar yaitu komponen pencahayaan yang berasal dari refleksi benda yang ada disekitar luar bangunan, dan
- komponen refleksi dalam yaitu komponen pencahayaan yang berasal dari refleksi permukaan-permukaan didalam ruangan.



Gambar 2.4 Titik ukur pada pencahayaan alami menurut SNI 03-2396
Sumber: SNI 03-2396, 2001

Terdapat titik ukur pada faktor langit agar dapat menjamin tercapainya sebuah pencahayaan, sehingga faktor langit mempunyai nilai minimal sesuai dengan dimensi ruang dan fungsi ruang tersebut. Ada dua tipe titik ukur pada faktor langit yaitu:

- TUU (titik ukur utama) diambil titik tengah pada sebuah ruang, dan berada di jarak $1/3 d$ dari lubang cahaya.
- TUS (titik ukur samping) diambil $0.50m$ dari dinding samping, dan berada di jarak $1/3 d$ dari lubang cahaya.

Dalam menentukan faktor pencahayaan alami siang hari, dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$f_{\min} = E_i(n)/E_o(n) \times 100\%$$

dengan:

- f_{\min} : Faktor Pencahayaan Alami Siang Hari (%)
 E_i : Pengukuran di dalam ruangan (lux)
 E_o : Pengukuran di lapangan terbuka (lux)

Tabel 2.2 Nilai Faktor langit untuk bangunan umum

Klasifikasi Pencahayaan	f_{\min} TUU
A : untuk kerja sangat halus	0,45. d

B : untuk kerja halus	0,35. d
C : untuk kerja sedang	0,25. d
D : untuk kerja kasar	0,15. d

Sumber: SNI 03-2396, 2001

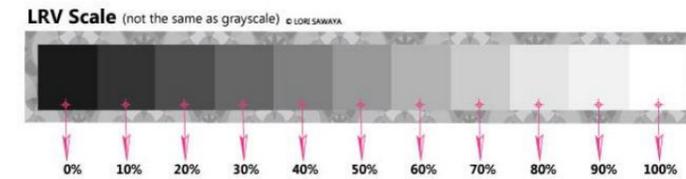
Tabel 2.3 Nilai Faktor langit untuk bangunan sekolah

Ruangan	f_{\min} TUU	f_{\min} TUS
Ruang kelas biasa	0,35. d	0,20. d
Ruang kelas khusus	0,45. d	0,20. d
Laboratorium	0,35. d	0,20. d
Bengkel kayu/besi	0,25. d	0,20. d
Ruang olahraga	0,25. d	0,20. d
Kantor	0,35. d	0,15. d
Dapur	0,20. d	0,20. d

Sumber: SNI 03-2396, 2001

2.3.2. Pencahayaan dari refleksi komponen

Adanya pencahayaan alami yang berasal dari refleksi sebuah benda ataupun permukaan yang ada diluar atau didalam bangunan yang dapat menunjang pencahayaan alami dengan cara memantulkannya (SNI 03-2396, 2001).



Gambar 2.5 Light reflectance value (LRV)
Sumber: Chieftainfabrics.com, 2017

LRV (*Light Reflectance Value*) untuk mengevaluasi seberapa banyak cahaya yang dipantulkan oleh sebuah warna dan menentukan bagaimana warna tersebut akan berkontribusi pada keindahan dan suasana secara keseluruhan pada bangunan (Sawaya, 2023). LRV sering digunakan dan dibutuhkan untuk ruang interior agar dapat menciptakan pencahayaan yang baik tidak hanya secara langsung dari sumber cahaya, namun juga secara tidak langsung dari refleksi sebuah permukaan (*indirect*).

Tabel 2.4 LRV pada warna

Colors	Light Reflectance Value (LRV)
Very White	85%
Very Black	7%
Light Gray	60%
Dark Gray	35%
Light Red	35%
Red	18%
Purple	10%
Light Green	60%
Dark Green	30%
Light Blue	50%
Dark Blue	20%
Dark Brown	25%
Yellow	68%

Sumber: Imamguluyev Rahib, 2021

Pada tabel diatas nilai LRV ditandai oleh persentase dengan warna yang semakin gelap memungkinkan lebih banyak penyerapan pada cahaya dan warna yang semakin terang dapat memantulkan lebih banyak cahaya.

2.3.3. Pengujian kualitas pencahayaan alami

Pengujian dari pencahayaan alami siang hari adalah untuk menguji atau memeriksa kondisi dan kualitas dari pencahayaan alami siang hari tersebut. Pengujian menurut (SNI 03-2396, 2001) yaitu dengan mengukur atau memeriksa:

- a. Tingkat pencahayaan
- b. Indeks kesilauan

2.3.4. Climate based daylight model (CBDM)

CBDM adalah cara memprediksi kinerja kuantitas dari cahaya (luminasi atau iluminansi) dengan menggunakan kondisi matahari serta langit yang diperoleh secara realistis dari data iklim lokal (Brembilla & Mardaljevic, 2019), (Kazanasmaz et al., 2016). Sebelum adanya CBDM, untuk mengevaluasi kinerja pencahayaan alami siang hari yaitu melalui *Daylight factor* (DF) yang rasionya mewakili jumlah pencahayaan yang ada diluar ruangan serta dibawah langit mendung dengan standar CIE (Du & Sharples, 2011). DF hanya dapat melakukan evaluasi dengan menggunakan cahaya langit dan tidak terpengaruh

oleh iklim ataupun lokasi bangunan berada (Nabil & Mardaljevic, 2005). Hal tersebut akan mempengaruhi ketepatan dan keakuratan dari evaluasi pencahayaan alami yang dilakukan (Anderson, 2014). CBDM digunakan untuk menggantikan evaluasi pencahayaan alami secara tradisional selama beberapa dekade terakhir. Dengan adanya CBDM hasil dari kinerja pencahayaan alami siang hari bisa lebih spesifik dan akurat karena bergantung terhadap iklim lokal.

2.3.5. Daylight autonomy (DA)

Daylight Autonomy (DA) adalah evaluasi pencahayaan alami siang hari dengan berbasis iklim yang memperhitungkan iklim di lokasi bangunan serta arah orientasi. DA direpresentasikan sebagai persentase jam pencahayaan alami siang hari tahunan, dimana suatu titik dalam ruang berada di atas tingkat pencahayaan yang ditentukan (Bian & Ma, 2017). Oleh karena itu DA merupakan inovasi besar karena mencakup kondisi cuaca spesifik di lokasi geografis setiap tahunnya (Reinhart & Walkenhorst, 2001). Dengan adanya evaluasi pencahayaan alami siang hari melalui DA didapatkan hasil tahunan yang lebih spesifik dan akurat. DA mempertimbangkan batas bawah yaitu minimal 300 lux untuk waktu efektif aktivitas pada umumnya yaitu dari 8AM hingga 6PM (50%) waktu tahunan.

2.3.6. Daylight glare probability (DGP)

DGP adalah indeks yang digunakan untuk mengevaluasi silau pada pencahayaan alami siang hari, seperti diekstraksi melalui survei subjek manusia di ruang kantor (Wienold & Christoffersen, 2006). DGP menjadi sebagai bagian dari metrik pencahayaan alami siang hari dengan berbasis iklim (CBDM) untuk menilai kualitas dari pencahayaan alami siang hari (Cantin & Dubois, 2011). Nilai dari DGP akan diklasifikasin menjadi empat kategori, adalah sebagai berikut:

Tabel 2.5 Klasifikasi DGP

Klasifikasi DGP	DGP
<i>Imperceptible glare</i>	DGP<35%
<i>Perceptible glare</i>	35% DGP<40%
<i>Disturbing glare</i>	40% DGP<45%
<i>Intolerable glare</i>	DGP 45%

Sumber: Wienold, 2009

2.3.7. Perbandingan standar pencahayaan alami LEED v4 dengan GBCI

Pada LEED v4, USGBC menetapkan standar pencahayaan alami minimal sebesar 300 lux dalam tahunan (sDA 300/50%) untuk setidaknya 55% hingga 75% dari total luas lantai (USGBC, 2016). Sementara pada GBCI menetapkan standar pencahayaan alami

sebesar 300lux sebesar 30% dari total luas lantai (GBCI, 2013). Meskipun LEED dan GBCI memiliki metode dan aturan yang sama dalam menghitung persentase area yang terkena pencahayaan alami sebesar 300 lux, namun terdapat perbedaan pada persentase pengetatannya. LEED memberlakukan aturan yang lebih ketat yaitu minimal 55% dari total luas lantai.

2.3.8. Penelitian yang membandingkan metrik berbasis iklim dengan *daylight factor*

Ada beberapa penelitian yang mencoba untuk membandingkan metrik berbasis iklim (CBDM) dan *Daylight Factor* (DF) dengan memperhatikan berbagai faktor sehingga mengetahui peruntukannya masing-masing. Seperti beberapa penelitian dibawah ini:

- a. Penelitian yang dilakukan oleh (Bian & Ma, 2017), yang mengambil studi kasus sebuah ruang dengan penerangan samping (jendela samping) pada bangunan di daerah Kanton, Tionkok Selatan. Hasilnya metrik *Daylight Autonomy* (DA) yang berbasis iklim lebih cocok diterapkan dibandingkan DF. Hal tersebut dikarenakan faktor iklim regional dan orientasi fasad. Pada penelitian ini mencoba berbagai arah orientasi yang berbeda-beda untuk mengetahui pengaruh dan kinerja pencahayaan samping pada ruang studi kasus.
- b. Penelitian yang dilakukan oleh (Rastegari et al., 2023), dengan studi kasus atrium pada gedung perkantoran di Teheran, Iran. Hasilnya Atrium memiliki peran penting dalam arsitektur berkelanjutan salah satunya untuk menghadirkan pencahayaan alami ke dalam bangunan. Oleh karena itu DA dipilih sebagai parameter utama untuk optimasi pencahayaan alami, bukan DF yang digunakan sebagai variabel dalam studi statis. Hal tersebut karena kualitas perubahan pencahayaan alami yang cukup dinamis, serta kejadian meteorologi yang tidak teratur untuk lokasi dengan arsitektur padat seperti Teheran di Iran.
- c. Penelitian yang dilakukan oleh (Nabil & Mardaljevic, 2006). Percobaan yang dilakukan yaitu membuat tipologi ruang kantor ukuran 30x30 meter, selanjutnya mengukur kinerjanya menggunakan DF dan metrik berbasis iklim (DA dan UDI) dengan lokasi di London, Inggris. Hasilnya DF tidak peka terhadap orientasi kaca. Namun, plot garis pada DF dan DA memiliki karakter serupa dalam pendistribusian cahayanya. Sebaliknya untuk *Usefull Daylight Illuminance* (UDI) memiliki pola distribusi yang hampir kebalikan dari pola DF atau DA. Hal tersebut juga dikarenakan UDI memiliki ambang batas bawah dan atas. Selain itu temuan lainnya, mengapa DF tetap menjadi metrik evaluasi yang dominan, dikarenakan kesederhanaannya dibandingkan realismenya. Di sisi lain prediksi iluminasi yang bervariasi terhadap waktu, yaitu

pemodelan berbasis iklim, menawarkan gambaran yang jauh lebih realistis mengenai kondisi pencahayaan alami dibandingkan dengan pendekatan DF yang sangat ideal.

2.4. Pencahayaan Alami dan Implikasinya Terhadap Perolehan Panas

Kebutuhan penyeimbangan antara penggunaan pendingin terhadap pencahayaan alami harus diperhatikan dengan baik, agar salah satunya tidak berdampak kepada naiknya konsumsi energi. Memperbaiki kondisi pencahayaan alami di dalam ruangan dapat mengurangi konsumsi energi untuk penerangan buatan, namun juga meningkatkan perolehan panas, dan oleh karena itu mempengaruhi kebutuhan energi untuk pemanasan, ventilasi dan/atau pendinginan Johnshon, dikutip dalam (Nielsen et al., 2011). Penyampaian tersebut juga diperkuat oleh (Khanh Phuong et al., 2024) Jendela tidak hanya memberikan pencahayaan alami dan pemandangan, tetapi juga berpotensi meningkatkan kualitas ruang dalam ruangan secara keseluruhan. Namun, mereka juga bisa menjadi sumber perolehan panas yang signifikan.

Oleh karenanya, dengan bukaan yang lebar memungkinkan perpindahan/perolehan panas akan semakin besar sehingga menambah beban pendingin. Namun kebutuhan pencahayaan buatan menurun dikarenakan pencahayaan alami bisa dimanfaatkan secara optimal, dan begitu juga sebaliknya.

2.5. Alat Peneduh (*Shading Device*)

Pada daerah tropis, pelindung terhadap matahari menjadi suatu hal yang penting (Lechner & Norbert, 2007). Salah satu strategi untuk meminimalisir radiasi panas secara pasif yaitu melalui desain bangunan itu sendiri, dengan menciptakan sebuah alat peneduh. Perlindungan terhadap matahari dapat dicapai melalui penggunaan vegetasi, elemen horisontal ataupun vertikal yang tidak tembus cahaya (Dewi et al., 2018).

(Kirimat et al., 2016) menyampaikan bahwa alasan paling penting dari penggunaan perangkat peneduh adalah untuk mencegah penetrasi sinar matahari langsung dan radiasi matahari ke dalam bangunan pada periode pendinginan dan untuk memungkinkan perolehan sinar matahari yang diinginkan pada periode pemanasan. Kebutuhan alat peneduh cukup penting dalam mencegah radiasi matahari yang masuk, sehingga dalam menentukan sebuah desain peneduh harus melalui beberapa pertimbangan agar alat peneduh tersebut dapat bekerja secara optimal dalam menghalau radiasi matahari yang dapat menambah beban pendingin pada sebuah ruang.

2.5.1. Strategi penggunaan alat peneduh

(Kamal, 2010) menyampaikan ada beberapa keputusan dimana dan kapan akan menyertakan alat peneduh yang dapat mempengaruhi tingkat kenyamanan di dalam ruang tertutup dari paparan radiasi matahari langsung:

- a. Pembayang yang muncul dari efek ceruk pada desain selubung luar bangunan,
- b. Pembayang yang muncul dari tirai eksternal yang statis atau dapat dipindahkan atau kisi-kisi,
- c. Bayangan sementara yang muncul diakibatkan oleh arah orientasi membangun pada satu atau lebih pada dinding luar,
- d. Bayangan permanen atau sementara yang disebabkan oleh bangunan, layar, atau vegetasi di sekitarnya, dan
- e. Pembayang dari bagian atap, dengan rolling reflektif, pot tanah, atau vegetasi.

2.5.2. Faktor dalam menentukan alat peneduh

(Komatina et al., 2015) menyampaikan ada beberapa faktor dalam menentukan jenis alat peneduh apa yang akan digunakan, yaitu sebagai berikut:

- a. Lokasi pemasangan,
- b. Arah orientasi,
- c. Metode pengendalian, dan
 - Tidak dapat disesuaikan atau tetap (statis)
 - Kontrol Manual atau mekanis dan pergerakan otomatis mengikuti arah matahari (dinamis)
- d. Bahan yang digunakan.

2.5.3. Jenis-jenis alat peneduh

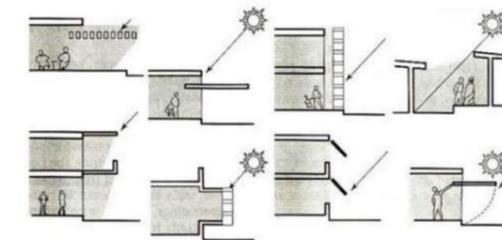
Ada banyak bentuk shading yang berbeda, masing-masing mempunyai karakteristik, kelebihan dan kekurangan masing-masing, dan arsitek harus yakin dengan kriteria yang harus dipertimbangkan ketika menentukan sifat peneduh yang diperlukan dan apakah suatu bentuk penyesuaian diinginkan (Phillips, 2012). Jenis alat peneduh juga menjadi pertimbangan penting dalam mengurangi perolehan panas matahari ke bangunan maupun pencahayaan alami yang masuk ke dalam bangunan agar tetap optimal. Pemilihan jenis alat peneduh yang tepat juga dapat mempengaruhi paparan radiasi matahari sehingga alat peneduh diklasifikasikan sebagai berikut:

- a. Alat peneduh dari fitur lanskap melalui pembayangan vegetasi atau dari bangunan,
- b. Alat peneduh dari elemen eksterior, dan
- c. Alat peneduh dari elemen kaca berkinerja tinggi yang memiliki koefisien naungan (SC) yang rendah.

2.5.4. Jenis alat peneduh dari elemen eksterior

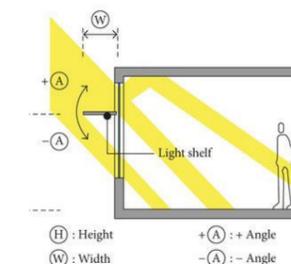
a. Ada tiga jenis alat peneduh dari elemen eksterior (Hastings & Wall, 2013) yaitu:

- Alat peneduh vertikal
Biasanya terdiri dari sirip atau kisi-kisi dalam posisi vertikal, dimana kinerjanya diukur dengan sudut bayangan horizontal, dan penggunaan peneduh vertikal ini efektif untuk fasad timur dan barat.
- Alat peneduh horizontal
Berupa kanopi ataupun kisi-kisi dalam posisi horizontal yang dimana elemennya paling sering ditemui pada bangunan mana pun dan cocok untuk digunakan pada arah utara dan selatan dengan kinerjanya diukur dengan sudut bayangan vertikal.
- Alat peneduh kombinasi (eggcrate)
Berupa kombinasi dari alat peneduh vertikal dan horizontal dengan sudut bayangan vertikal dan horizontal menentukan kinerjanya.



Gambar 2.6 Variasi alat peneduh ekstenal
Sumber: Mohammad Arif Kamal, 2010

- b. Alat peneduh rak cahaya (*light shelf*) juga merupakan alat peneduh eksterior yang memiliki tujuan bukan hanya sebagai penghalau radiasi panas matahari yang masuk namun juga menjaga kualitas pencahayaan alami yang masuk dengan cara memantulkannya.



Gambar 2.7 Alat peneduh rak cahaya
Sumber: Haengwoo Lee, 2018

Rak cahaya (*light shelf*) adalah alat peneduh yang dapat meningkatkan kualitas pencahayaan dalam ruang dan dapat menghemat energi dengan menghalangi cahaya langsung dari matahari dan membawa cahaya lebih jauh ke dalam melalui sistem refleksi. Oleh karenanya, pendistribusian cahaya alami dapat merata pada ruangan dan juga dapat mengatasi masalah seperti silau (Lee et al., 2017).

2.5.5. Pengaruh alat peneduh terhadap OTTV dan pencahayaan alami

Penggunaan alat peneduh untuk mencegah radiasi langsung dan meminimalisir panas melalui jendela ke dalam ruangan, sehingga mengurangi OTTV, kenyamanan visual (silau) dan kenyamanan termal jendela di sekeliling perimeter (Nguyen et al., 2020). Namun alat peneduh perlu didesain sedemikian rupa agar tidak berdampak pada turunnya intensitas pencahayaan alami yang mengakibatkan meningkatnya kebutuhan energi untuk pencahayaan buatan. Contohnya saat menggunakan alat peneduh *eggcrate* (kombinasi). Alat peneduh *eggcrate* mampu meningkatkan kinerja termal dan mengurangi perolehan panas, namun dapat mengganggu intensitas cahaya matahari terutama saat cuaca sedang berawan (Khanh Phuong et al., 2024).

2.6. Studi Preseden

2.6.1. Bangunan dengan fungsi mirip

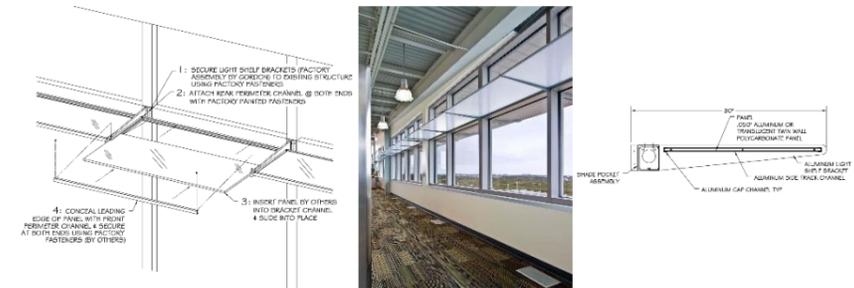
a. AMD's Lone Star Campus



Gambar 2.8 AMD's Lone Star Campus
Sumber: Archdaily, 2008

- Nama Bangunan : AMD's Lone Star Campus
- Lokasi : Austin, United States
- Fungsi : Universitas
- Arsitek : TBG Partners
- Sertifikasi LEED : Gold

Mendapatkan sertifikasi LEED Gold dari USGBC, sehingga menjadikannya sebuah kampus perusahaan dengan sertifikasi LEED terbesar di Texas. Kampus ini dirancang untuk memenuhi kebutuhan spesifik karyawannya dan lingkungan setempat. Untuk membuat rencana pengembangan lokasi yang inovatif, tim proyek memulai proses desain dengan rencana lokasi berdasarkan tiga prinsip utama: mengurangi dampak lokasi, melindungi kualitas air, dan menggunakan desain berkelanjutan yang inovatif. Salah satu fitur desain yang inovatif dan berkelanjutan dari kampus AMD Texas ini adalah penggunaan sistem alat peneduh sekaligus sebagai reflektor untuk kedalaman bangunan atau dikenal dengan sistem *light shelf*.



Gambar 2.9 Detail pada jendela AMD's Lone Star Campus
Sumber: Gordon-inc, 2020



Gambar 2.10 Fasad pada AMD's Lone Star Campus
Sumber: Wikipedia, 2010

Bukaan kaca yang luas sehingga memberikan akses visual yang baik dengan desain yang inovatif untuk melindungi dari paparan panas matahari dan juga memungkinkan pendistribusian cahaya matahari menembus hingga area dalam kantor dengan penggunaan alat peneduh sekaligus menjadi sebuah reflektor untuk memantulkan cahaya (*light shelf*).

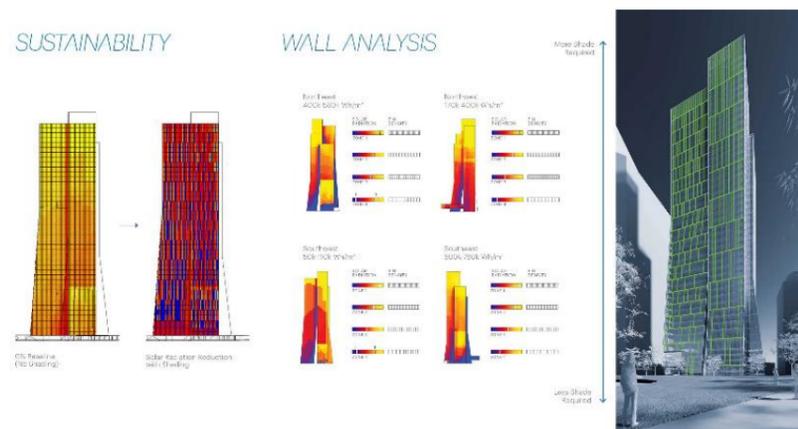
b. Sequis Tower



Gambar 2.11 Sequis tower
Sumber: Mario Wibowo, 2019

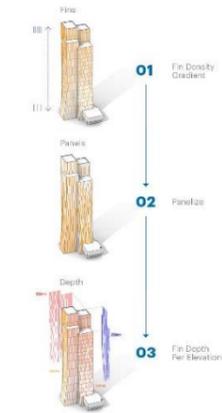
- Nama Bangunan : Sequis Tower
- Lokasi : SCBD, Jakarta
- Fungsi : Perkantoran
- Arsitek : Kohn Pedersen Fox (KPF)
- Sertifikasi LEED : Platinum

Sequis Tower merupakan gedung perkantoran yang mendapatkan dua penghargaan dari International Region component of the American Institute of Architects. Untuk penghargaan pertama karena menjadi sebuah desain yang berkualitas tinggi, efisien, dan fokus kepada penggunaannya. Sedangkan yang kedua penghargaan keberlanjutan yang menyoroti kinerja lingkungan yang kuat sebagai bangunan bersertifikasi LEED Platinum pertama di Indonesia.



Gambar 2.12 Analisis radiasi matahari pada Sequis Tower
Sumber: KPF Associates, 2019

WALL STRATEGY



Gambar 2.13 Strategi sirip peneduh pada Sequis Tower
Sumber: KPF Associates, 2019

Sequis Tower mengintegrasikan setiap strategi desain yang berkelanjutan untuk menghasilkan kinerja 36% lebih baik dibandingkan dari baseline LEED. Desain yang dipadukan oleh alat peneduh berbentuk sirip sehingga dapat menciptakan tower perkantoran yang hemat energi dengan meminimalkan konsumsi dan mengatasi radiasi matahari (Pintos, 2019). Strategi fasad yang cukup cermat untuk mencapai konsumsi energi pendingin seminimal mungkin dengan kepadatan dan kerapatan sirip peneduh menyesuaikan kontur paparan radiasi matahari yang diterima.

2.6.2. Bangunan yang mempunyai problem sama



Gambar 2.14 Noble House
Sumber: Rockfields, 2020

- a. Nama Bangunan : Noble House
- b. Lokasi : Mega Kuningan, Jalan Dr.Ide Anak Agung Gde
- c. Agung, Kav. E 4.2, Jakarta
- d. Fungsi : Rental office
- e. Arsitek : Aedas
- f. Jumlah Lantai : 33 lantai
- g. Gross Floor Area : 84.743 m²
- h. Net Lettable Area : 42.339 m²
- i. Sertifikasi GBCI : Platinum

Perhitungan OTTV pada Noble House

Tabel 2.6 Analisis nilai OTTV berdasarkan kaca yang digunakan

Spesifikasi Kaca	Tebal	SHGC	SC	U-Value	VLT	VLR	OTTV
Original							
Asahimas-Indoflot Clear (single glazing)	8mm	81	0.93	5.7	88	8	102.39
Designed							
Asahimas-Sunergy Blue Green SNBN	8mm	35	0.41	4.1	42	5	51.96
Asahimas-Sunergy Blue Green SNBN	8mm	35	0.41	4.1	42	5	51.55
Asahimas-Stopray Smart 30/20 (double glazing)	8mm	21	0.24	1.6	29	28	42.63
Asahimas-Sunergy Blue Green SNBN	8mm	35	0.41	4.1	42	5	31.46
Asahimas-Stopray Smart 30/20 (double glazing)	8mm	21	0.24	1.6	29	28	
Asahimas-Sunergy Blue Green SNBN	8mm	35	0.41	4.1	42	5	
Asahimas-Stopray Smart 30/20 (double glazing)	8mm	21	0.24	1.6	29	28	22.68
Asahimas-Stopray Vision (double glazing)	8mm	27	0.31	1.5	49	19	26.88

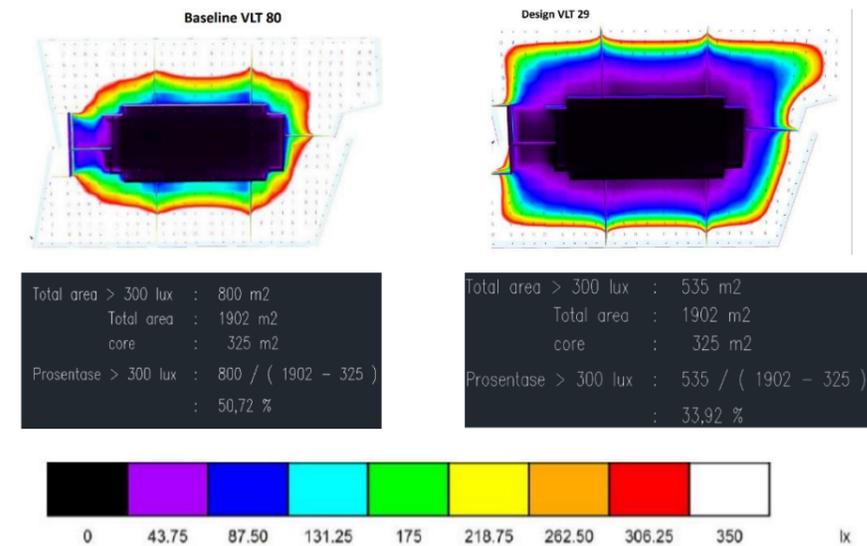
Sumber: Greenship Professional (GP) Angkatan 2, 2018

Tabel 2.7 OTTV Noble House

Orientasi	Qw	Qf1	Qf2	Qw+Qf1+Qf2	A Orientasi	OTTV
Utara	0.11	7.05	24.05	31.20	10,382.14	323,968.22
Barat	0.29	5.55	21.53	27.37	5,116.44	140,052.93
Selatan	0.20	6.26	7.96	14.42	11,827.29	170,567.41
Timur	0.23	6.02	11.94	18.19	4,897.04	89,098.91
Tenggara	0.00	8.00	20.37	28.37	264.43	7,501.88
Barat Daya	0.00	8.00	36.96	44.96	246.54	11,084.44
					32,733.88	742,273.78
OTTV Total						22.68W/m²

Sumber: Greenship Professional (GP) Angkatan 2, 2018

Awalnya nilai OTTV dari Noble House cukup tinggi yaitu mencapai **102.39 W/m²**. Penggantian jenis kaca, dengan mencoba semua jenis kaca dari Asahimas, mulai dari single glazing yang menjadi kaca original saat ini, hingga penggunaan double glazing yang berperforma tinggi, sehingga memberikan pengaruh signifikan dari nilai OTTV, yaitu menjadi **22.68W/m²**, dikarenakan kaca tersebut mempunyai *shading coefficient* yang cukup rendah.



Gambar 2.15 Kontur pencahayaan alami pada Noble House
Sumber: Greenship Professional (GP) Angkatan 2, 2018

Dengan penggunaan kaca Asahimas-Stopray Vision (double glazing), nilai dari OTTV menurun drastis. Namun nilai visual light transmission (VLT) kaca tersebut cukup rendah yaitu 29%, sehingga berdampak pada pencahayaan alami yang masuk, yaitu hanya sekitar **33.92%** dari yang sebelumnya yaitu **50.72%**. Namun, sudah memenuhi standar untuk sertifikasi GBCI, yaitu minimal 30% dari luas lantai dengan pencahayaan alami sebesar 300 lux.

Pada bangunan Noble House melakukan penggantian kaca agar nilai OTTV dapat menurun drastis. Namun disisi lain akibat penggantian kaca, nilai dari visual light transmission (VLT) menurun yang mengakibatkan berkurangnya besaran cahaya yang masuk ke dalam bangunan. Hal ini memungkinkan berdampak pada penurunan energi dikarenakan nilai OTTV yang turun drastis, ataupun sebaliknya dikarenakan berkurangnya cahaya yang masuk menjadikannya kebutuhan energi untuk pencahayaan buatan bertambah.

a. Parameter yang bisa dipelajari

- mengurangi perolehan panas melalui *shading coefficient* (sc) penggunaan kaca asahimas-stopray vision (*double glazing*), menjadikan nilai ottv menurun drastis, dikarenakan spesifikasi kaca tersebut *mempunyai shading coefficient* yang sangat rendah yaitu hanya 0.24, menjadikannya radiasi panas matahari menurun drastis setelah melewati kaca, walau tanpa alat peneduh diluarnya.
- kemampuan transfer intensitas cahaya
Masuknya cahaya pada bangunan Noble House berkurang setelah kaca tersebut diganti asahimas-stopray vision (*double glazing*), dikarenakan kemampuan transmisi cahaya pada kaca tersebut cukup rendah.

b. Metode yang bisa dipelajari

Mencoba menggunakan strategi yang dapat menurunkan nilai dari koefisien peneduh (*shading coefficient*) melalui penggunaan alat peneduh berupa kaca dengan teknologi tinggi. Penggunaan kaca tersebut dapat meredam panas radiasi matahari yang masuk dengan baik sehingga nilai OTTV dapat turun secara signifikan. Percobaan menggunakan berbagai jenis kaca hingga mendapatkan nilai OTTV terbaik.

Selain itu terjadinya penurunan intensitas pencahayaan alami yang masuk ke dalam bangunan walaupun nilai dari OTTV telah turun. Metode lain yang dapat dipelajari adalah bagaimana cara menyeimbangkan alat peneduh tersebut dengan pencahayaan alami yang masuk, agar keduanya dapat berjalan dengan optimal.

2.7. Parameter Penelitian

2.7.1. Alat peneduh statis

Alat peneduh statis memiliki beberapa jenis, karakteristik, dan peruntukannya masing-masing. Untuk itu dalam pemilihan alat peneduh harus mempertimbangkan pengontrolan radiasi panas matahari yang masuk. Hal tersebut karena alat peneduh bersifat statis sehingga perlu di desain dengan konfigurasi, dimensi, kerapatan, dan sudut kemiringan yang tepat agar dapat berjalan dengan optimal.

2.7.2. Jenis alat peneduh yang digunakan

a. Alat peneduh vertikal

Biasanya terdiri dari sirip atau kisi-kisi dalam posisi vertikal, dimana kinerjanya diukur dengan sudut bayangan horizontal, dan dimana penggunaan peneduh vertikal efektif untuk fasad timur dan barat.

b. Alat peneduh horizontal

Berupa kanopi ataupun kisi-kisi dalam posisi horizontal yang dimana elemennya paling sering ditemui pada bangunan mana pun dan cocok untuk digunakan pada arah utara dan selatan dengan kinerjanya diukur dengan sudut bayangan vertikal.

c. Alat peneduh kombinasi (*eggcrate*)

Berupa kombinasi dari alat peneduh vertikal dan horizontal yang dimana sudut bayangan vertikal dan horizontal menentukan kinerjanya.

2.7.3. Konfigurasi alat peneduh

Pengaruh konfigurasi terkait dengan dimensi kedalaman, kemiringan sudut, dan kerapatan antar alat peneduh juga dapat mempengaruhi perolehan radiasi panas matahari dan pencahayaan alami pada bangunan. Kebutuhan konfigurasi alat peneduh dikarenakan wilayah iklim yang berbeda-beda di tiap daerahnya. Bangunan pada iklim panas lembab perlu mengurangi radiasi matahari, dan di sisi lain pada iklim dingin sangat penting untuk membiarkan sinar matahari masuk ke dalam bangunan (Shahdan et al., 2018).

2.7.4. Persentase penurunan OTTV

Menurut SNI 6389:2020 mempunyai kriteria batas maksimal dari nilai OTTV yaitu 35 Watt/m² untuk total seluruh fasad pada bangunan. Namun dikarenakan penelitian ini hanya mengambil satu obyek ruang, dan akhirnya ditetapkan sebagai OTTV parsial atau per segmen dari suatu fasad bangunan. Oleh karena itu, batasan dari optimalisasinya tersebut dihitung hanya sebatas dari persentase penurunannya saja.

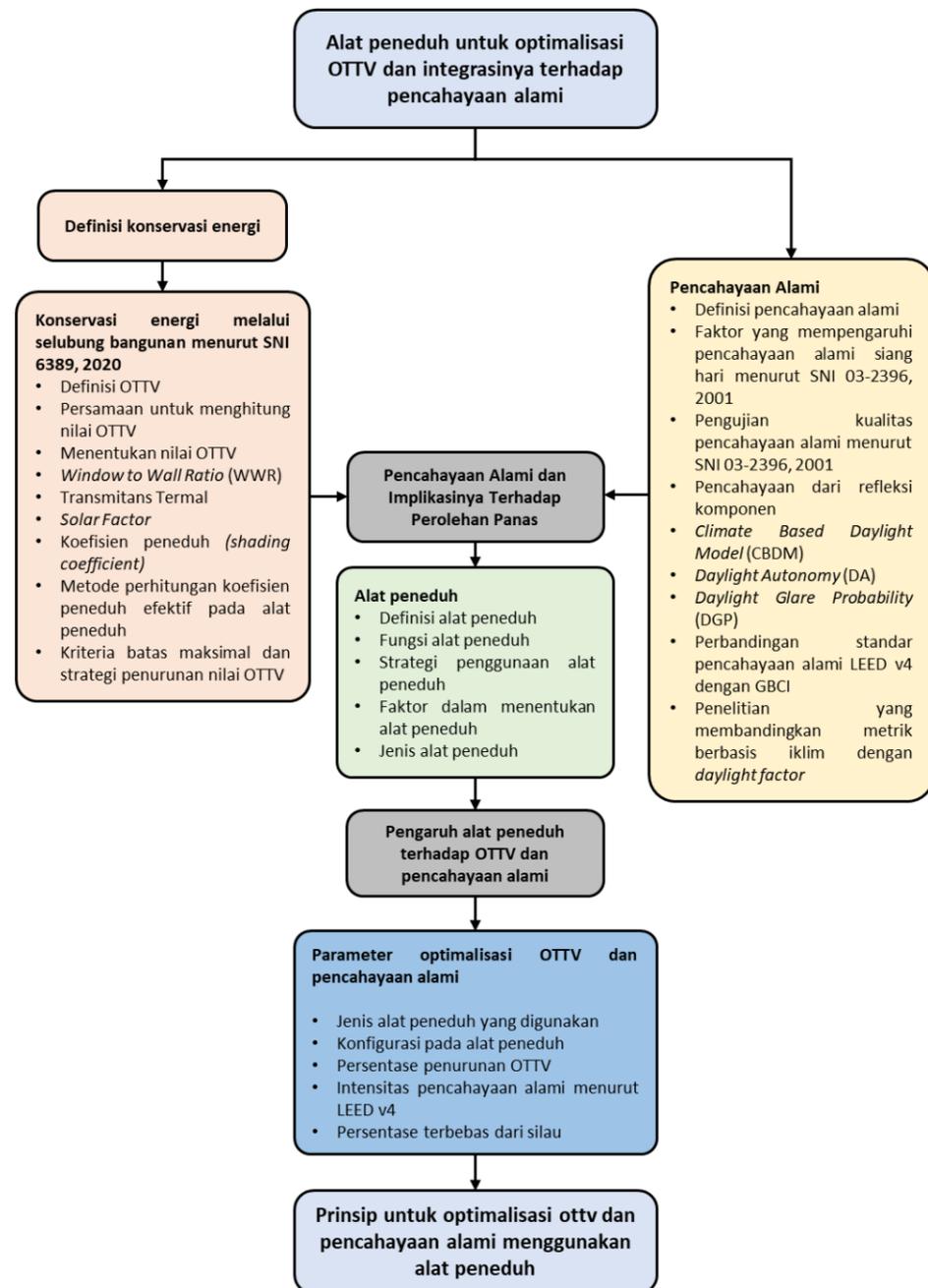
2.7.5. Pencahayaan alami menurut LEED v4

Pencahayaan alami menurut *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) v4: Untuk mendapatkan pencahayaan alami yang optimal, yang dapat menghubungkan penghuninya dengan alam terbuka, memperkuat ritme sirkadian, dan fokus dalam mengurangi penggunaan listrik untuk pencahayaan buatan, LEED menetapkan aturan untuk pencahayaan alami yang mampu ditunjukkan melalui simulasi komputer secara tahunan. Metrik yang digunakan yaitu spatial daylight autonomy (sDA) dengan setidaknya 55% dan 75% total luas ruang, mendapatkan pencahayaan alami sebesar 300 lux..

2.7.6. Persentase terhindar dari silau

Dalam memanfaatkan pencahayaan alami tidak lepas dari adanya potensi silau yang mengganggu pandangan, terutama pada ruangan yang memiliki bukaan yang cukup besar. Persentase terhindar dari silau juga akan di evaluasi dengan menggunakan *Daylight Glare Probability* (DGP) sebagai metriknya.

2.8. Kerangka Teori



Gambar 2.16 Kerangka teori
Sumber: Dokumentasi pribadi, 2024