

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kriteria Kenyamanan Termal

Kenyamanan termal adalah kondisi di mana seseorang merasa nyaman dengan suhu lingkungan sekitarnya, tidak terlalu panas maupun terlalu dingin (Szokolay, 2015). Beberapa aspek yang mempengaruhi kenyamanan termal antara lain suhu udara, kelembapan udara, aliran udara, jenis pakaian yang dikenakan, dan nilai MET (Metabolic Equivalent of Task) yang mengacu pada tingkat aktivitas fisik. Faktor-faktor ini sangat mempengaruhi perencanaan ventilasi mekanis, karena ventilasi yang tepat dapat membantu mengatur suhu dan aliran udara di dalam ruang, sehingga menciptakan lingkungan yang nyaman dan mendukung kesehatan serta aktivitas penghuni. Kenyamanan termal yang baik dengan mengupayakan penghambatan radiasi panas matahari melalui fasad bangunan desain. Kenyamanan termal menjadi suatu hal yang sangat penting diperhatikan pada Gereja, demi tercapainya peribadatan yang memuaskan untuk umat. Suhu yang tinggi diikuti dengan kelembapan yang tinggi serta kecepatan angin yang rendah, dapat menimbulkan ketidaknyamanan dalam Gereja.

Kenyamanan termal di Yogyakarta sangat dipengaruhi oleh karakteristik iklim tropis lembab yang khas di wilayah tersebut. Kota ini memiliki suhu udara rata-rata berkisar antara 24°C - 30°C, dengan kelembapan relative tinggi yang sering mencapai 60-80% sepanjang tahun. Kombinasi suhu tinggi dan kelembapan inilah yang membuat persepsi kenyamanan termal di Yogyakarta cenderung berbeda

dibandingkan daerah beriklim sedang atau kering. (Karyono, 2016) Standar internasional seperti ASHRAE 55 atau ISO 7730 yang menerapkan suhu nyaman sekitar 24°C - 26°C dengan kelembapan maksimum 60% sering dianggap tidak relevan jika diterapkan di iklim tropis seperti Yogyakarta. Sebaliknya, masyarakat lokal menunjukkan tingkat toleransi termal yang lebih tinggi, bahkan masih merasa nyaman pada suhu udara 27°C - 31°C, tergantung aktivitas, pakaian (*clo*) dan kecepatan angin. Suhu merupakan faktor yang paling besar pengaruhnya terhadap kondisi kenyamanan termal, kenyamanan dan kesejahteraan merupakan hasil evaluasi individu terhadap lingkungan secara keseluruhan, karena itu manusia selalu berusaha mencari kondisi nyaman di lingkungannya (Mala et al., 2019)

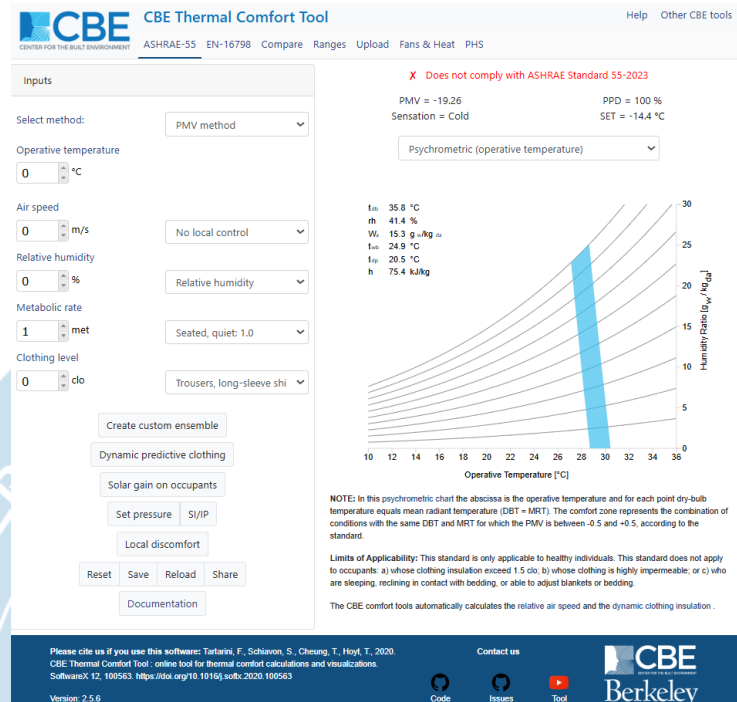
Kenyamanan termal di Gereja Santo Aloysius Gonzaga Mlati adalah faktor penting yang mendukung terciptanya suasana ibadah yang tenang dan khusyuk. Ketika suhu ruangan berada pada tingkat yang nyaman, umat dapat beribadah dengan fokus dan tanpa gangguan dari rasa panas yang berlebihan. Pengaturan ventilasi yang baik, sirkulasi udara yang optimal, serta penerapan ventilasi mekanis yang tepat menjadi kunci utama dalam menjaga keseimbangan termal di dalam gereja. Dengan menciptakan suasana yang sejuk dan nyaman, gereja ini tidak hanya menjadi tempat ibadah yang mendalam secara spiritual, tetapi juga memberikan kenyamanan fisik bagi setiap individu yang hadir. Kondisi termal yang tidak nyaman, seperti suhu yang terlalu tinggi atau terlalu rendah, kelembapan yang tinggi, atau angin yang tidak sesuai dapat berdampak negative pada kesejahteraan manusia dan aktivitas sehari-hari dan mereka (Kim & Jong, 2020)

Dalam peraturan ISO 7730-94:2 menyatakan suatu kondisi termis tertentu menggunakan index (Fanger, 2020) yakni PMV (*Predicted Mean Vote*) prediksi sensasi termis dan PPD (*Predicted*

Procented Dissatisfied), prediksi presentase rasa ketidaknyamanan. Nilai atau besaran PMV dinyatakan dengan angka rata-rata antara -3 (*cold*, dingin sekali) hingga +3 (*hot*, panas sekali). Pada kondisi termis apapun presentase responden yang tidak nyaman (PDD) tidak akan mungkin mencapai 0%. (Fanger, 2015).

PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*) merupakan banyaknya orang (dalam presentase) yang tidak puas terhadap keadaan termal di lingkungan sekitar. Diasumsikan seseorang tidak nyaman terhadap keadaan termal apabila indeks PMV yang dirasakan adalah -3 (sangat dingin), -2 (dingin), +2 (panas), dan +3 (sangat panas). Semakin besar presentase PPD, maka semakin banyak penghuni yang merasa tidak nyaman (Fanger 2019).

Dalam menyelesaikan persamaan PMV dan PDD membutuhkan program komputer karena nilai h_c dan t_{cl} saling bergantung (Satwiko, 2019). Seperti yang terlihat pada gambar 2.1, salah satu program tersebut yaitu CBE *Thermal Comfort Tool for ASHRAE-55*. Program ini menghasilkan nilai PMV dan PPD berdasarkan data-data yang dimasukkan. Data tersebut berupa temperature udara, temperature radiant, kecepatan angin, kelembaban relative, nilai insulasi pakaian (clo), serta nilai metabolisme (met). PMV dan PPD yang dihasilkan mengacu pada ASHRAE-55.



Gambar 2. 1 CBE Thermal comfort Tool for ASHRAE-55

Untuk mencapai standar kenyamanan termal perlu adanya kriteria-kriteria kenyamanan termal, sebagai berikut :

1. Temperatur Udara

Temperatur udara merupakan salah satu faktor yang paling dominan dalam menentukan kenyamanan termal. Satuan yang digunakan untuk temperature udara adala Celcius, Fahrenheit, Reamur dan Kelvin. Manusia dikatakan nyaman apabila suhu tubuhnya sampai 37°C. Temperatur tubuh manusia sangat dipengaruhi oleh temperature yang berada disekitarnya, dalam hal ini akan berlaku hukan termodinamika yang menyatakan bahwa temperature akan berpindah tempat dengan temperature tinggi ke tempat dengan temperature rendah. (ASHRAE, 2009)

Temperatur udara dapat bervariasi antara satu daerah dengan daerah lainnya, dan perbedaan ini dipengaruhi oleh berbagai faktor. Satuan yang umum digunakan untuk mengukur temperatur udara antara lain Celcius, Fahrenheit, Reamur, dan Kelvin. Menurut Lippsmeier (2015), batas-batas kenyamanan termal akibat faktor temperatur udara untuk daerah khatulistiwa adalah antara 19°C (batas bawah) dan 26°C (batas atas).

Pada temperatur 26°C TE, tubuh manusia umumnya mulai berkeringat. Ketika temperatur berada di kisaran 26°C TE hingga 30°C TE, daya tahan dan kemampuan kerja manusia mulai menurun. Temperatur lingkungan menjadi semakin sulit diterima pada suhu antara 33,5°C TE hingga 35,5°C TE, dan pada suhu antara 35°C TE hingga 36°C TE, kondisi lingkungan menjadi tidak dapat ditolerir lagi.

Kelembaban udara dan kelembaban relatif merupakan faktor utama dalam kenyamanan termal, seperti pada tabel 2.1. Menurut standar kenyamanan termal Indonesia SNI T-14-1993-03, terdapat tiga batas kenyamanan yang perlu diperhatikan terkait kelembaban udara.

Kriteria	Temperatur Efektif (TE)
Sejuk – Nyaman Ambang Batas	20,5 ° C - 22,8 ° C 23 ° C
Nyaman – Optimal Ambang Batas	22,8°C – 25,8°C 28°C
Panas – Nyaman Ambang Batas	25,8°C – 27,1°C 31°C

Tabel 2. 1 Kriteria Suhu Nyaman Menurut Standar

Sumber : Sugijanto, 1998

2. Temperatur Radiant

Temperatur radiant adalah panas yang beradiasi dari objek yang mengeluarkan panas. Temperature radiant lebih besar dibandingkan temperature udara dalam bagaimana kita melepas atau menerima panas ke lingkungan. Setiap arah bangunan mempunyai besar radiasi berbeda-beda yang terbentuk oleh arah bangunan yang berbatasan dengan luar ruangan dan dengan sinar matahari yang datang. Konsep suhu radiasi rata-rata (MRT) digunakan untuk mengukur pertukaran panas radiasi antara manusia dan lingkungan sekitarnya, dengan tujuan untuk memahami pengaruh suhu permukaan terhadap kenyamanan pribadi. Kenyamanan termal tercapai ketika MRT berada dalam rentang $\pm 2^{\circ}\text{C}$ dari suhu udara, dalam ruang ber-AC, MRT ideal biasanya antara 22°C - 26°C tergantung pada aktivitas dan kelembaban. Pada iklim tropis alami (tanpa AC), MRT yang dianggap masih nyaman bisa mencapai 28°C – 30°C , asalkan ada ventilasi silang dan kecepatan angin cukup.

3. Kecepatan Angin

Kecepatan angin merupakan faktor yang penting dalam kenyamanan termal. Kecepatan angin adalah kecepatan aliran udara yang bergerak secara mendatar atau horizontal pada ketinggian di atas tanah. Kecepatan angin dipengaruhi oleh karakteristik permukaan yang dilaluinya. Udara yang tidak bergerak dalam ruangan tertutup akan menyebabkan pengguna ruangan merasa kaku ataupun berkeringat. Semakin tidak nyaman, kecepatan angin yang dibutuhkan semakin tinggi (ASHRAE, 2009). Kecepatan angin disebabkan oleh perbedaan tekanan dan suhu, yang menghasilkan gaya yang mendorong

pergerakan udara (Satwiko, 2015: 5). Di daerah beriklim tropis lembab, kecepatan angin cenderung sangat minim. Namun, peran angin yang bergerak sangat penting untuk mempercepat proses pelepasan kalor pada permukaan kulit. Angin membantu mengangkat uap air yang menghambat pelepasan kalor, sehingga meningkatkan kenyamanan termal. Namun, jika angin terlalu kencang, pelepasan kalor tubuh bisa berlebihan, yang dapat menyebabkan kondisi kedinginan dan mengurangi kenyamanan termal. Seperti pada tabel 2.2 standar kecepatan udara dapat dikatakan nyaman adalah sebesar 0,2 m/s-0,8m/s. (ASHRAE 55-2004)

Kecepatan udara, m/detik.	0,1	0,2	0,25	0,3	0,35
Temperatur udara kering, °C	25	26,8	26,9	27,1	27,2

Tabel 2. 2 Pengaruh Kecepatan Angin Pada Manusia

Sumber : SNI 03-6572-2001

4. Kelembapan Udara

Kelembapan udara relative adalah perbandingan antara jumlah uap air pada udara dengan jumlah maksimum uap air udara bisa tampiung pada temperature tersebut. Kelembapan udara di sebuah tempat akan mempengaruhi terjadinya perpindahan panas dari dan menuju tubuh. Lingkungan yang mempunyai kelembapan relative tinggi mencegah penguapan keringat dari kulit. Di lingkungan yang panas, semakin sedikit keringat yang menguap karena kelembapan tinggi, sehingga kegerahan bagi individu yang berada di lingkungan tersebut (ASHRAE, 2009).

Menurut ASHRAE-55 bahwa standar kelembapan relative direkomendasikan antara 30%-60%, untuk kenyamanan optimal, kisaran ideal 40% - 50%RH. Seperti pada tabel 2.3 bahwa kelembapan terlalu rendah (<30%) bisa menyebabkan kulit kering, iritasi mata, dan ketidak nyamanan pernapasan. Kelembapan terlalu tinggi (>60%) dapat menimbulkan rasa gerah meningkatkan risiko pertumbuhan jamur dan menurunkan efisiensi sistem pendingin udara.

	Temperetur Efektif (TE)	Kelembaban (RH)
• Sejuk Nyaman	20,5°C - 22,8°C	50 %
Ambang atas	24°C	80%
• Nyaman Optimal	22,8°C - 25,8°C	70%
Ambang atas	28°C	
• Hangat Nyaman	25,8°C - 27,1°C	60%
Ambang atas	31°C	

Tabel 2. 3 Zona Kenyamanan Kelembapan Udara

Sumber : Sugijanto, 1998

5. Insulasi Pakaian

Kenyamanan termal sangat dipengaruhi oleh efek insulasi pakaian yang kita kenakan. Pakaian mengurangi pelepasan panas tubuh. Insulasi pakaian memainkan peran penting dalam kenyamanan termal, karena jenis dan bahan pakaian yang digunakan dapat mempengaruhi bagaimana tubuh beradaptasi dengan suhu lingkungan. Karena itu, pakaian diklasifikasikan berdasarkan pada nilai insulasinya. Satuan yang bisa digunakan untuk pengukuran insulasi pakaian adalah Clo. Seperti pada tabel 2.4 batas nyaman untuk pakaian adalah $\leq 0,5$ Clo. Total nilai clo bisa dihitung dengan menjumlahkan nilai Clo untuk setiap jenis pakaian.

Garment Description	clo	Garment Description	clo
<i>Underwear</i>		<i>Trousers and Coveralls</i>	
Men's briefs	0,04	Short shorts	0,06
Panties	0,03	Walking shorts	0,08
Bra	0,01	Straight trousers (thin)	0,15
T-shirt	0,08	Straight trousers (thick)	0,24
Full slip	0,16	Sweat Pants	0,28
Half slip	0,14	Overalls	0,3
Long underwear top	0,2	Coveralls	0,49
Long underwear bottom	0,15	<i>Dresses and skirts</i>	
<i>Footwear</i>		Skirt (thin)	0,14
Ankle-Length athletic socks	0,02	Skirt (thick)	0,23
Calf-Length socks	0,03	Long-sleeve shirt dress (thin)	0,33
Knee socks (thick)	0,06	Long-sleeve shirt dress (thick)	0,47
Panty hose stockings	0,02	Short-sleeve shirt dress (thin)	0,29
Sandals	0,02	Sleeveless, scoop neck (thin)	0,23
Slippers	0,03	Sleeveless, scoop neck (thick)	0,27
Boot	0,1	<i>Sweaters</i>	
<i>Shirt and Blouses</i>		Sleeveless vest (thin)	0,13
Sleeveless	0,12	Sleeveless vest (thick)	0,22
Short sleeve, dresses	0,19	Long-sleeve (thin)	0,25
Long sleeve, dresses	0,25	Long-sleeve (thick)	0,36
Long sleeve, flannel shirt	0,34	<i>Sleepwear and Robes</i>	
Short sleeve, knit sport shirt	0,17	Sleeveless, short gown (thin)	0,18
Long sleeve, sweat shirt	0,34	Sleeveless, long gown (thin)	0,2
		Long-sleeve pajamas	0,57
		Short-sleeve pajamas	0,42

Tabel 2. 4 Nilai Insulasi Pakaian

Sumber : ASHRAE (1989)

6. Tingkat Metabolisme

Tingkat metabolisme merupakan panas yang dihasilkan di dalam tubuh sepanjang beraktivitas. Aktivitas yang dilakukan manusia akan meningkatkan proses metabolisme tubuh. Semakin tinggi intensitas aktivitas yang dilakukan, semakin besar pula peningkatan metabolisme yang terjadi. Sebagai akibatnya, jumlah panas yang dikeluarkan oleh tubuh juga akan meningkat, yang dapat mempengaruhi kenyamanan termal seseorang. Metabolisme diukur dalam MET (1 MET = 58 W/m² permukaan tubuh). Manusia dewasa normal memiliki permukaan kulit 1,7 m² dan orang dalam kenyamanan termal dengan tingkat aktivitas 1 MET akan memiliki

heat loss kira-kira 100 W. Seperti pada tabel 2.5 batasan nyaman untuk tingkat metabolisme adalah 1,0-2,0 met (ASHRAE 55-2004).

Jenis Aktivitas	W/m ²	met
Resting		
<i>Sleeping</i>	40	0,7
<i>Reclining</i>	45	0,8
<i>Seated</i>	60	1
<i>Standing</i>	70	1,2
Walking (on the level)		
0,89 m/s	115	2
1,34 m/s	150	2,6
1,79 m/s	220	3,8
Office Activities		
<i>Reading, seated</i>	55	1
<i>Writing</i>	60	1
<i>Typing</i>	65	1,1
<i>Filing, seated</i>	70	1,2
<i>Filing, standing</i>	80	1,4
<i>Walking About</i>	100	1,7
<i>Lifting/ packing</i>	120	2,1

Tabel 2. 5 Nilai MET Berbagai Aktivitas

Sumber : ASHRAE (2004)

2.2 Kriteria Iklim Makro

Iklim makro adalah kondisi iklim pada suatu tempat tertentu dengan cakupan area yang luas (berhubungan dengan atmosfer). Kriteria ini penting untuk lingkungan binaan. Iklim makro dipengaruhi oleh lintasan matahari, posisi dan model geografis, yang mengakibatkan pengaruh pada cahaya matahari dan pembayangan serta hal-hal lain pada kawasan tersebut, misalnya radiasi panas, pergerakan udara, curah hujan, kelembaban udara, dan temperature udara.

Berikut kriteria utama iklim makro untuk perbaikan kualitas kenyamanan termal :

1. Suhu Udara Rata-Rata Tahunan

Suhu udara rata-rata tahunan memberikan gambaran umum tentang tingkat panas atau dingin suatu wilayah. Di wilayah tropis seperti Indonesia, suhu rata-rata tahunan berkisar antara 26°C-28°C, yang memengaruhi kebutuhan ventilasi dan pendinginan alami pada bangunan.

2. Kelembaban Relatif

Kelembaban relative menunjukkan jumlah uap air di udara. Kelembaban tinggi (>70%) umum di iklim tropis dan dapat memperlambat penguapan keringat, sehingga memperburuk kenyamanan termal. Hal ini berdampak pada perlunya ventilasi silang atau penggunaan vegetasi untuk menurunkan kelembaban lokal.

3. Kecepatan dan Pola Angin Dominan

Pola angin dominan memengaruhi ventilasi alami dan strategi orientasi bangunan. Di wilayah tropis, angin muson dan angin darat-lait memainkan peran penting dalam perencanaan desain pasif untuk memaksimalkan aliran udara dan pendinginan alami.

4. Intensitas dan Durasi Radiasi Surya

Radiasi matahari yang tinggi sepanjang tahun di wilayah tropis memengaruhi beban panas bangunan. Strategi desain seperti bangunan shading, vegetasi peneduh, dan material reflektif menjadi penting untuk mengurangi penyerapan panas berlebih.

5. Curah Hujan dan Musim

Curah hujan dan pola musim memengaruhi kelembaban udara dan suhu lingkungan. Di daerah dengan curah hujan

tinggi, perencanaan drainase yang baik dan pemilihan material bangunan yang tahan lembab sangat diperlukan

6. Ketinggian Tempat dari Permukaan Laut

Ketinggian memengaruhi suhu udara, semakin tinggi suatu tempat, biasanya suhu udara akan lebih rendah. Hal ini penting dalam menentukan kebutuhan insulasi dan ventilasi pada bangunan

7. Lintang Geografis

Lintang geografis menentukan sudut datang matahari sepanjang tahun. Wilayah dengan lintang rendah (tropis) menerima sinar matahari lebih intensif yang memengaruhi strategi desain bangunan untuk kenyamanan termal.

2.3 Kriteria Iklim Mikro

Iklim adalah keadaan alam yang berubah secara tiba-tiba dan tidak terlihat oleh manusia. Iklim adalah sebaran cuaca dalam kurun waktu tertentu (harian, bulanan, tahunan), dengan rata-rata ekstrem (maksimum dan minimum) atau dalam jangka waktu yang cukup Panjang (Amdah et al., 2024; Maru et al., 2020). Iklim biasanya berlangsung lama dan luas sedangkan cuaca biasanya singkat dan terlokalisasi. Iklim mikro adalah kondisi iklim yang terdapat pada suatu wilayah yang relative kecil dan dipengaruhi oleh curah hujan, temperature udara, kelembapan udara, dan radiasi matahari (Haris et al., 2023; Nasrul et al., 2024; Rusdi et al., 2023). Komponen-komponen iklim mikro tersebut sangat penting dalam menentukan tingkat kenyamanan suatu wilayah atau kawasan karena memiliki dampak langsung terhadap aktivitas manusia di sana (Maru & Ahmad, 2015).

Keadaan unsur-unsur iklim ini akan mempengaruhi tingkah laku dan metabolisme yang berlangsung pada tubuh makhluk hidup,

sebaliknya, keberadaan makhluk hidup tersebut (terutama tumbuhan) akan pula mempengaruhi keadaan iklim mikro disekitarnya. Antara makhluk hidup dan udara disekitarnya akan terjadi saling pengaruh atau interaksi satu sama lain (Lakitan, 2015)

Karakteristik Iklim Mikro, sebagai berikut :

1. Orientasi Bangunan

Untuk mendukung perolehan kenyamanan termal maka orientasi bangunan harus disesuaikan dengan kebutuhan perolehan radiasi panas matahari dan angin yang masuk ke dalam bangunan. Orientasi bangunan dipertimbangkan terhadap potensi dan kendala yang mempengaruhi kenyamanan termal, karena setiap sisi bangunan yang berbeda akan menerima efek pemanasan dari radiasi panas yang berbeda.

2. Bentuk Fasad

Fasad merupakan jalan masuk untuk radiasi matahari, pencahayaan dan kecepatan angin. Kecepatan angin dan cahaya masuk ke dalam bangunan melalui bukaan jendela, oleh karena itu *type*, bentuk, ukuran, dan posisi bukaan jendela menentukan kenyamanan termal.

Strategi shade & filter terdiri atas :

1. *Shading Devices*
2. *Recessed sun spaces*
3. *Transitional spaces*
4. *Secondary skin*
5. *Double glass*
6. *Absorbing & Reflective glass*
7. *Low e-glass*
8. Pemilihan kaca

2.4 Potensi Masalah pada Iklim Tropis

Iklim tropis memiliki potensi masalah yang cukup kompleks, terutama terkait dengan suhu dan kelembaban yang tinggi sepanjang tahun. Suhu udara yang panas dapat menyebabkan kenyamanan termal, meningkatkan beban penggunaan pendingin buatan, serta mengganggu aktivitas dan produktivitas penghuni bangunan. Kelembaban tinggi memperparah kondisi tersebut dengan menghambat proses pendinginan alami tubuh, serta berpotensi menimbulkan pertumbuhan jamur, lumut, dan kerusakan material bangunan.

Selain itu, curah hujan yang intens pada musim penghujan dapat menyebabkan genangan air, kebocoran atap dan penurunan kualitas udara dalam ruang jika ventilasi tidak optimal. Oleh karena itu, perancangan bangunan di wilayah tropis perlu memperhatikan strategi adaptif terhadap kondisi iklim tersebut untuk menjaga kenyamanan dan kesehatan penghuninya.

2.5 Strategi Tata Ruang Luar

Peneduh (*shading device*) meliputi sirip penangkal sinar matahari (SPSM), bidang dinding, atap balkon, atap lebar, kisi-kisi (*louvre*) dan kerai otomatis (*automatic blinds*), (Latifah, 2015). Terdapat beberapa jenis-jenis SPSM yang dapat digunakan sebagai berikut :

- Sirip Penangkal Sinar Matahari (SPSM)

Sirip Penangkal Sinar Matahari (SPSM) adalah sirip pada fasad yang terintegrasi dengan bukaan cahaya. Ada beberapa jenis shading atau SPSM yang dapat digunakan.

Jenis SPSM tersebut diuraikan sebagai berikut : (Fisika Bangunan 1, 2015)

(i) SPSM Horizontal

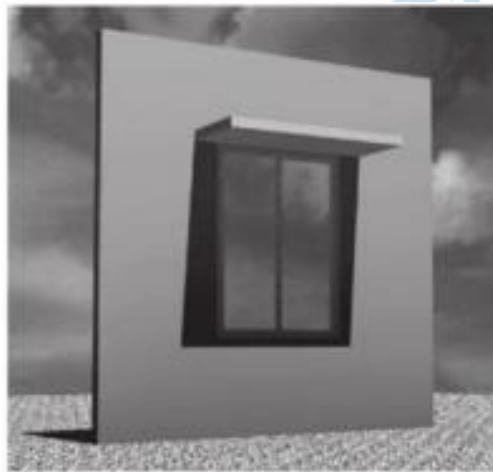
SPSM Horizontal ini efektif digunakan pada saat sinar matahari memiliki altitude tinggi (antara 10.00 – 14.00) pada fasad bangunan yang menghadap ke arah timur dan barat.

(ii) SPSM Vertikal

SPSM Vertikal ini efektif untuk menghadapi sinar matahari dengan altitude rendah (antara 08.00-10.00 dan 14.00-16.00) pada fasad bangunan yang menghadap ke arah utara dan selatan.

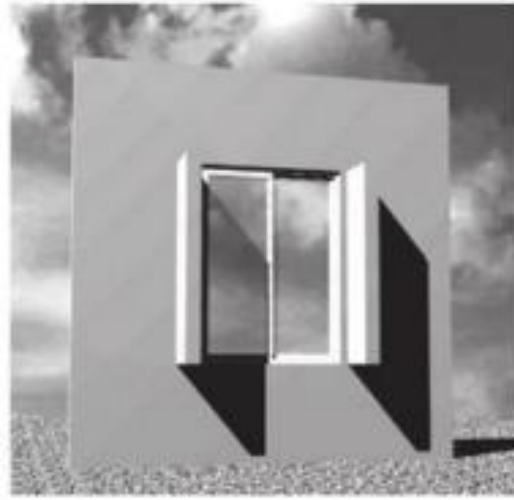
(iii) SPSM gabungan Vertikal dan Horizontal

SPSM gabungan vertikal dan horizontal ini efektif digunakan untuk berbagai tingkat altitude dari sinar matahari.



Gambar 2. 2 SPSM Horintal

Sumber : Latifah, 2015



Gambar 2. 3 SPSM Vertikal

Sumber : Latifah, 2015



Gambar 2. 4 SPSM Gabungan

Sumber : Latifah, 2015

- *Recessed Sun Spaces*

Recessed Sun Spaces adalah subtrak pada suatu lantai bangunan, sehingga diperoleh pembayangan terhadap radiasi panas matahari. Bentuknya dapat berupa balkon pada tiap lantai.

Pada Gedung dengan tingkat ventilasi yang rendah, kualitas udara menjadi pengap, lembab dan tidak menyenangkan. Hal tersebut tidak hanya membuat lingkungan dalam ruangan tidak nyaman beribadah, tetapi dapat menyebabkan muncul dan meningkatkan jumlah polutan berbahaya dengan kelembaban udara sebagai katalisnya. Sistem ventilasi dapat diterapkan, yaitu; 1.) kombinasi ventilasi alami dengan *intermitted extract*; 2.) ventilasi *stack pasif*; 3.) ventilasi mekanik menerus; dan 4.) penyeimbangan *supply* udara bersih melalui kombinasi ventilasi mekanik dan *extract*.

- Dimensi Ventilasi

Untuk dimensi ventilasi ini sangat berkaitan dengan pergerakan udara didalam ruangan yaitu meliputi kecepatan udara dan pergantian udara. Semakin besar dimensi ventilasi untuk udara yang masuk, maka semakin cepat udara yang masuk dan pergantian udara semakin tinggi. Dengan tujuan agar sirkulasi udara yang masuk cukup menjadikan sebuah ruangan yang memiliki kenyamanan termal (Kartika and Iswanto, 2020)

- Jenis – Jenis Ventilasi

Bukaan pada sebuah bangunan berupa jendela, lubang angin, lubang celah, dan kisi-kisi. Beberapa kaitan tipe bukaan dengan pergerakan udara didalam ruangan sebagai berikut :

- a. Tipe bukaan untuk udara masuk dan keluar yang berbeda akan menghasilkan arah gerak udara yang berbeda

- b. Tipe bukaan untuk udara masuk dan keluar yang berbeda akan menghasilkan efektivitas yang berbeda terhadap kecepatan udara dan pergantian udara

3. Jenis Material

Kemampuan insulasi termal pada suatu material ditentukan oleh *thermal conductivity*, *density*, *thermal transmittance* dan *specific heat capacity*

- Beton Pracetak / Precast

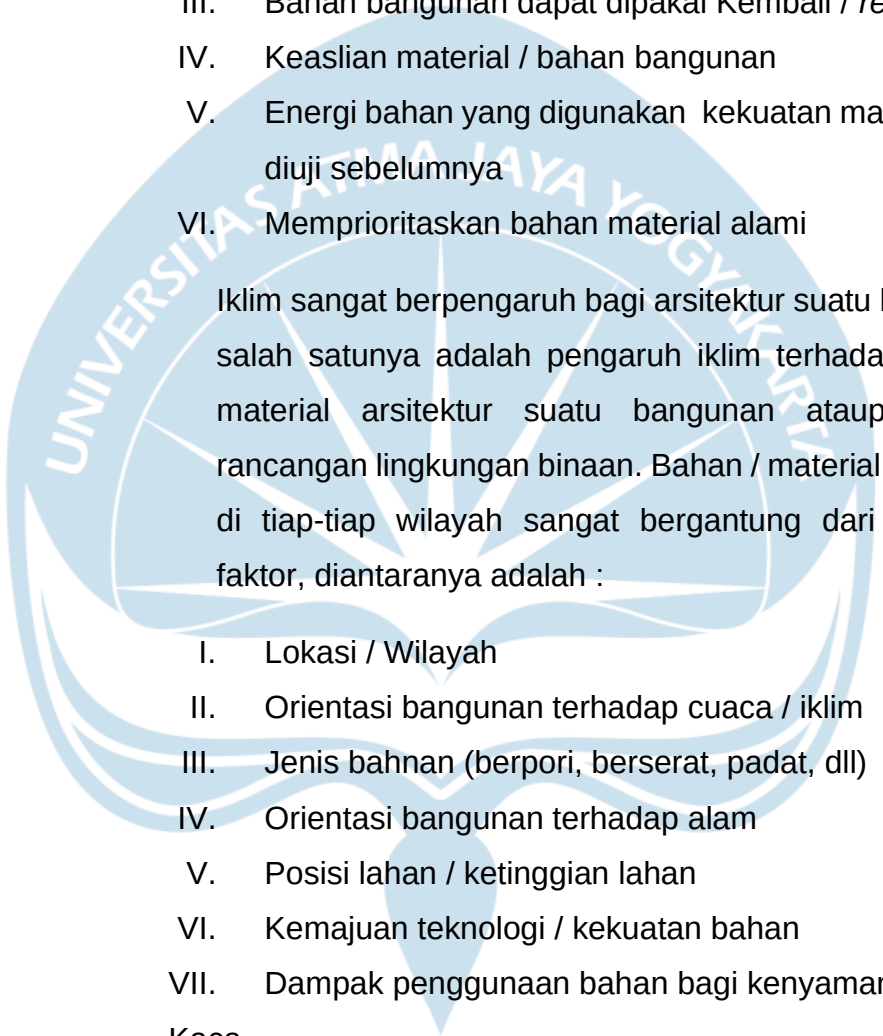
Beton adalah suatu material bangunankomposit yang terbuat dari kombinasi agregat dan bahan pengikat. Beton merupakan material yang dapat menghambat rambatan panas. Seperti pada tabel 2.6 yang harus diperhatikan pada spesifikasi beton terkait termal adalah *conductivity*, *density*, *thermal transmittance* dan *specific heat capacity*.

Bahan	Ketebalan (inci)	Nilai-U	Time Lag
Bata (umum)	4	0,61	2,5 jam
	8	0,41	5,5 jam
	12	0,31	8,5 jam
Kayu	0,5	0,69	10 menit
	1	0,47	25 menit
	2	0,3	1 jam

Tabel 2. 6 Nilai Time Lage Bata dan Kayu

Sumber : Hausladen, Gerhard, dkk, *Climate Skin*, 2015

Dalam arsitektur bangunan, pemilihan bahan / material bangunan terhadap pemanfaatan dari perubahan ataupun perbedaan iklim yang terjadi merupakan salah satu elemen yang sangat penting, karena pada prinsipnya terdapat faktor dan beberapa strategi yang perlu dijadikan pertimbangan dalam memilih bahan bangunan, yaitu :

- 
- II. Bangunan yang dirancang dapat memperhatikan sampah atau buangan nya (*recycle*) terhadap kondisi lingkungan sekitarnya.
 - III. Bahan bangunan dapat dipakai Kembali / *reuse*
 - IV. Keaslian material / bahan bangunan
 - V. Energi bahan yang digunakan kekuatan material telah diuji sebelumnya
 - VI. Memprioritaskan bahan material alami

Iklim sangat berpengaruh bagi arsitektur suatu bangunan, salah satunya adalah pengaruh iklim terhadap bahan / material arsitektur suatu bangunan ataupun suatu rancangan lingkungan binaan. Bahan / material bangunan di tiap-tiap wilayah sangat bergantung dari beberapa faktor, diantaranya adalah :

- I. Lokasi / Wilayah
- II. Orientasi bangunan terhadap cuaca / iklim
- III. Jenis bahan (berpori, berserat, padat, dll)
- IV. Orientasi bangunan terhadap alam
- V. Posisi lahan / ketinggian lahan
- VI. Kemajuan teknologi / kekuatan bahan
- VII. Dampak penggunaan bahan bagi kenyamanan termal

- Kaca

Spesifikasi kaca terkait karakteristik energi suatu kaca (radiasi panas dan radiasi cahaya) seperti pada tabel 2.7 yaitu *absorption, reflectance, transmittance*, dan *solar factor*.

Type of Glass		Indoflot Clear (FL)
Standard Thickness (mm)		10
Energy Characteristic	Transmittance	72
	Reflectance	7
	Absorption	22
	Ultra Violet Transmission	53
Light Characteristic	Transmittance	87
	Reflectance	8
Solar Factor ()		78
Shading Coefficient		0,9
U Value (W/m^2K)		5,7

Tabel 2. 7 Spesifikasi Indoflot Clear Glass

Sumber : <https://amfg.co.id/en/product/flat-glass/our-exterior/indoflot/technical.html>

Kinerja suatu kaca juga dipengaruhi oleh posisi coating pada kaca (*coating position*). Terdapat dua macam posisi coating yaitu yang pertama untuk *coating* pada sisi luar kaca (*outside*) dan yang kedua untuk *coating* pada sisi dalam kaca (*inside*).

Type of Glass		New Supersilver Green(SSGN)
Standard Thickness (mm)		6
Coating Position		#1
Light Performance	VLT	48
	VLR Ext	34
	VLR Int	22
	DET	30
Energy Performance	ER	25
	EA	45
Solar Factor ()		41
Shading Coefficient		0,47
U-Value (W/m^2K)		5,7

Tabel 2. 8 Spesifikasi Kaca Stopsol

Sumber : <http://www.amfg.co.id/en/product/flat-glass/our-exterior/stopsol.html>

4. Dimensi Material

Desain fasad bangunan memperhatikan dimensi bukaan pada fasad yang dapat dilihat pengaruhnya terhadap suhu ruang melalui pengaruh perbandingan luas bukaan cahaya dan udara terhadap dinding atau WWR (*Window to Wall Ratio*). Rumus perhitungan rasio jendela ke dinding :

$$WWR = \frac{\text{Luas Jendela pada satu bidang}}{\text{Luas Permukaan dinding pada satu bidang}}$$

5. Warna Material

Absorbtance adalah kemampuan material menyerap radiasi panas matahari. Seperti pada tabel 2.9 semakin tinggi nilai absorbtance material terkait warna cat maka kemampuan untuk menyedap radiasi panas matahari akan semakin tinggi begitupun sebaliknya.

Cat dinding luar	α (rad/s ²)
Hitam merata	0,95
Abu-abu tua	0,91
Coklat tua	0,88
Abu-abu	0,88
Hijau	0,88
Coklat medium	0,84
Hijau medium	0,59
Hijau muda	0,47
Putih semi kilap	0,30
Putih mengkilap	0,25

Tabel 2. 9 Spesifikasi Warna Material

Sumber : SNI 03-6389 200.

6. Vegetasi

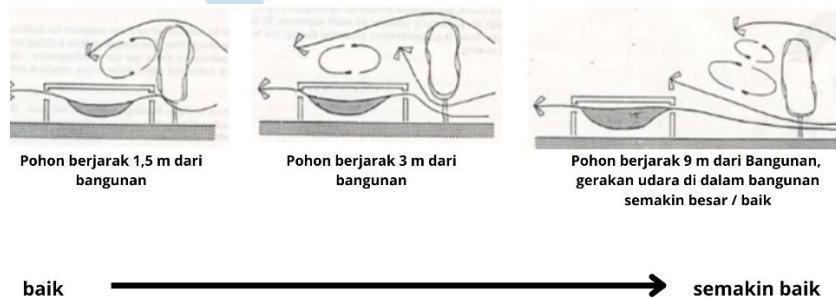
Vegetasi memiliki peran untuk menaungi sehingga secara signifikan mengurangi suhu udara dan daratan, selain itu

tanaman juga dapat meningkatkan kelembaban baik yang sudah tinggi maupun yang masih rendah

- Pengaruh Bentuk dan Ukuran Tajuk Pohon terhadap Suhu dan RH

Untuk menganalisis pengaruh bentuk dan ukuran tajuk terhadap suhu dan RH maka diamati beberapa bentuk tajuk yaitu Tajuk Kolumnar : Melinjo (*Gnetum gnemon*), Glodogan tiang (*Polyalthia longifolia*). Tajuk Payung : Palem Raja (*Roystonea regia*). Tajuk Bulat : Sapu Tangan (*Maniltoa grandiflora*), Glodogan Bulat (*Polyalthia fragrans*), dan Nangka (*Artocarpus integra*). Tajuk Bulat Terbuka : Ketapang (*Terminalia Catappa*). Tajuk Kubah : Biola Cantik (*Ficus lyrate*). Sebagai control digunakan area terbuka / tidak bervegetasi. Pengukuran dilakukan pada jarak (tepat pada batang pohon).

Penempatan pohon dan tanaman yang kurang tepat dapat menghilangkan udara sejuk yang diinginkan terutama pada periode puncak panas. Seperti pada gambar 2.5 menurut White R.F (dalam *Concept in Thermal Comfort*, Egan, 1975) kedekatan pohon terhadap bangunan mempengaruhi ventilasi alami dalam bangunan.



Gambar 2. 5 Jarak Pohon terhadap Bangunan dan Pengaruhnya terhadap Ventilasi Alami

Jenis – jenis tajuk pohon :

a. Tajuk Kolumnar :

- Bentuk tegak dan sempit seperti kolom
- Contoh : *Polyalthia longifolia* (ki sabun),
Cupressus sempervirens
- Ciri : naungan sempit, tidak efektif menahan sinar matahari dari samping (terutama barat / timur)
- Kelebihan : efisien untuk area sempit atau jalur pedestrian

b. Tajuk Menyebar / Membulat :

- Bentuk menyebar luas, sering simetris
- Contoh : *Terminalia catappa* (Ketapang),
Mangifera indica (manga)
- Ciri : memberikan ruangan luas, baik untuk ruang terbuka public
- Efektif dalam menahan sinar matahari vertikal maupun miring

c. Tajuk Payung

- Tajuk datar dan lebar, mirip payung
- Contoh : *samanea saman*
- Ciri : sangat luas dan tinggi, ideal untuk taman dan parkir
- Kelebihan : mampu menurunkan suhu permukaan secara signifikan

d. Tajuk Kerucut

- Bentuk mengerecut dari bawah ke atas
- Contoh : *Araucaria*

- Ciri : kurang efisien sebagai peneduh lebih cocok untuk elemen estetis atau vertikalitas

e. Tajuk Tidak Teratur

- Bentuk tidak simetris, tergantung kondisi tumbuh dan pemangkasan
- Contoh : *Ficus Benjamina*
- Ciri : Variatif dalam memberikan naungan, perlu pengaturan tata letak yang hati-hati

Pohon dengan tajuk yang rimbun serta tajuk yang lebar memberikan bayangan luas. Dengan jumlah daun yang banyak tajuk dapat mengurangi sinar matahari langsung ke permukaan tanah. Selain itu dengan proses transpirasi, tanaman menyerap panas dan mengeluarkan uap air yang dapat menurunkan suhu disekitarnya, (Lakitan, 2016).

Pohon dapat mengurangi efek dari radiasi matahari, karena tajuk pohon dapat memantulkan, meneruskan, dan menyerap radiasi matahari yang datang (Grey dan Denekke, 2017). Pada tajuk bulat terbuka dengan cabang-cabang yang bertingkat dan jarang akan memberikan peluang masuknya angin yang berguna mengurangi suhu.

Pada tajuk bulat terbuka yang mempunyai tinggi pohon 17 meter dengan luas proyeksi tajuk $40.8m^2$ dan tinggi cabang terendah 3.4 m, dengan adanya karakteristik pohon tajuk bulat dan tajuk bulat terbuka dengan cabang yang rindang sehingga optimal menghalangi sinar matahari dengan sudut datangnya miring dengan sudut datangnya miring dari arah barat pohon. Hal yang berkaitan karakteristik bentuk tajuk dan penutupan tajuk, (Koto, 2016) bahwa keuntungan utama

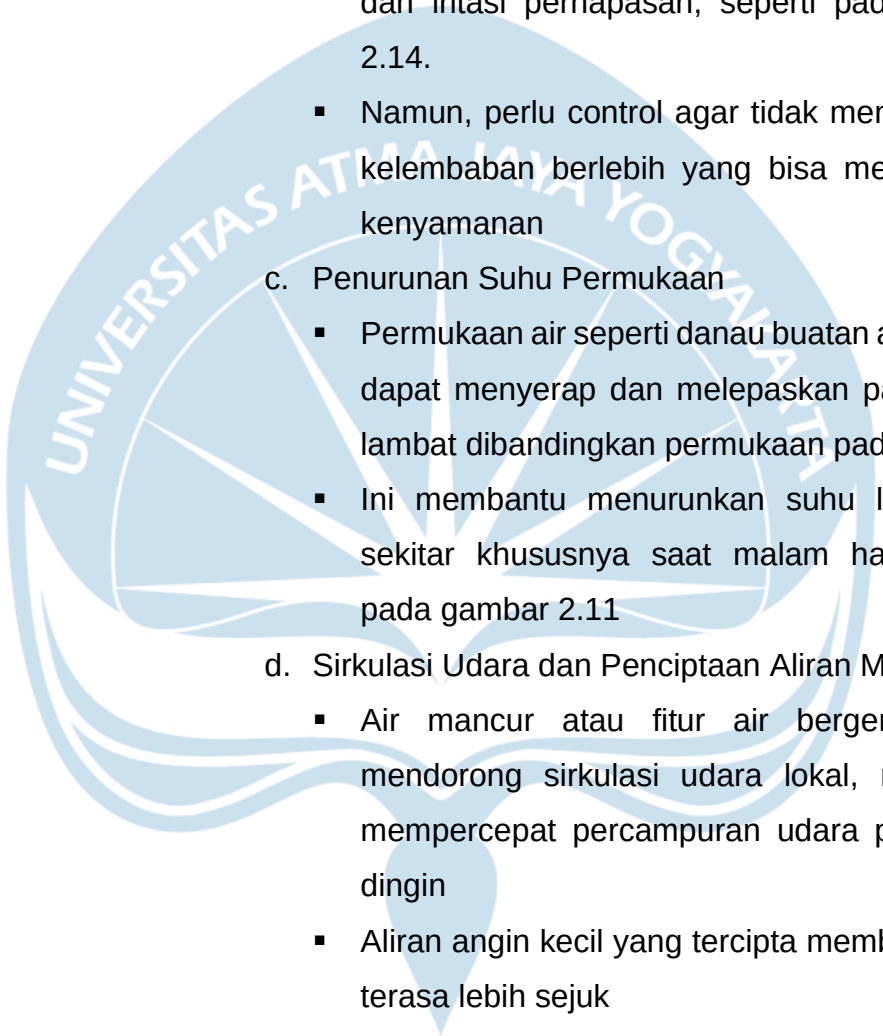
vegetasi pohon yaitu mengurangi radiasi sinar matahari yang masuk dan menurunkan suhu udara dalam kaitannya dengan penutupan tajuk dan evapotranspirasi.

7. Elemen Air

Air sebagai salah satu yang bisa menghantarkan panas ataupun dingin dalam bangunan. Sehingga air mempunyai kemampuan untuk berubah dari air menjadi uap sehingga dapat mempengaruhi suhu udara disekitarnya menjadi lebih dingin. Seperti pada tabel 2.10 contoh strategi desain elemen air, pada siang hari radiasi dari panas sinar matahari dapat digunakan untuk sebagai energi untuk mengubah air menjadi uap air yang akan mengubah iklim mikro disekitarnya, seperti pada gambar 2.12. Adanya uap air di udara mengakibatkan kelembapan akan bertambah. Di malam hari, energi panas yang dapat digunakan untuk mengubah air menjadi uap air adalah pelepasan kalor/ panas yang disimpan di siang hari sehingga suhu pada malam hari menjadi lebih nyaman.

Berikut adalah peran elemen air pada Iklim Mikro :

- a. Evaporative Cooling (Pendinginan melalui Penguapan)
 - Air menyerap panas dari udara sekitarnya saat menguap, sehingga menurunkan suhu udara
 - Proses ini efektif dalam kondisi udara kering dan panas, seperti di iklim tropis atau semi-kering
 - Contoh penerapan : kolam dangkal, air mancur, misting system
- b. Peningkatan Kelembapan Udara

- 
- Dalam lingkungan yang sangat kering, elemen air dapat menambahkan kelembaban relative, sehingga mengurangi resiko kekeringan kulit dan iritasi pernapasan, seperti pada gambar 2.14.
 - Namun, perlu control agar tidak menyebabkan kelembaban berlebih yang bisa mengganggu kenyamanan
 - c. Penurunan Suhu Permukaan
 - Permukaan air seperti danau buatan atau kolam dapat menyerap dan melepaskan panas lebih lambat dibandingkan permukaan padat
 - Ini membantu menurunkan suhu lingkungan sekitar khususnya saat malam hari, seperti pada gambar 2.11
 - d. Sirkulasi Udara dan Penciptaan Aliran Mikro
 - Air mancur atau fitur air bergerak dapat mendorong sirkulasi udara lokal, membantu mempercepat pencampuran udara panas dan dingin
 - Aliran angin kecil yang tercipta membuat udara terasa lebih sejuk
 - e. Efek Psikologis dan Estetika
 - Elemen air memberikan kesan segar dan menenangkan, yang secara psikologis meningkatkan persepsi kenyamanan termal meskipun suhu actual tidak berubah signifikan.

Contoh Strategi Desain Elemen Air untuk Kenyamanan Termal :

Strategi	Penjelasan
Kolam Reflektif	Menyerap panas lebih lambat dan memantulkan cahaya, menurunkan suhu
Air Mancur	Menyebarkan tetesan air yang menguap cepat, efektif untuk evaporative cooling
Jalur Air (Water Rill)	Mengarahkan aliran air sebagai fitur lanskap sekaligus pendingin pasif
Misting System	Menyemprotkan kabut air halus ke udara, cepat menguap dan mendinginkan
Vertical Water Wall	Kombinasi dinding dan air mengalir,, berfungsi sebagai elemen estetis dan termal

Tabel 2. 10 Strategi Desain Elemen Air

Sumber : ATEKS Jurnal Teknik Arsitektur, Vol. No. 2, 2023

Strategi peletakan elemen air agar elemen ini seperti pada tabel 2.11 berfungsi optimal dalam memperbaiki kenyamanan termal, khususnya melalui pengaruhnya terhadap suhu, kelembaban dan aliran udara dalam iklim mikro, seperti pada gambar 2.13.

Berikut strategi yang harus dipertimbangkan :

Strategi peletakan elemen air

- Berdasarkan arah angin dominan

Tujuan	Strategi
Menyebar udara sejuk	Tempat elemen air di arah datang angin utama, sehingga angin membawa udara sejuk ke ruang yang digunakan

Menghindari kelembaban berlebih	Hindari menempatkan air di area yang terlindung dari angin (lembah sempit, pojok tertutup) karena akan menyebabkan akumulasi kelembaban dan stagnasi udara
---------------------------------	--

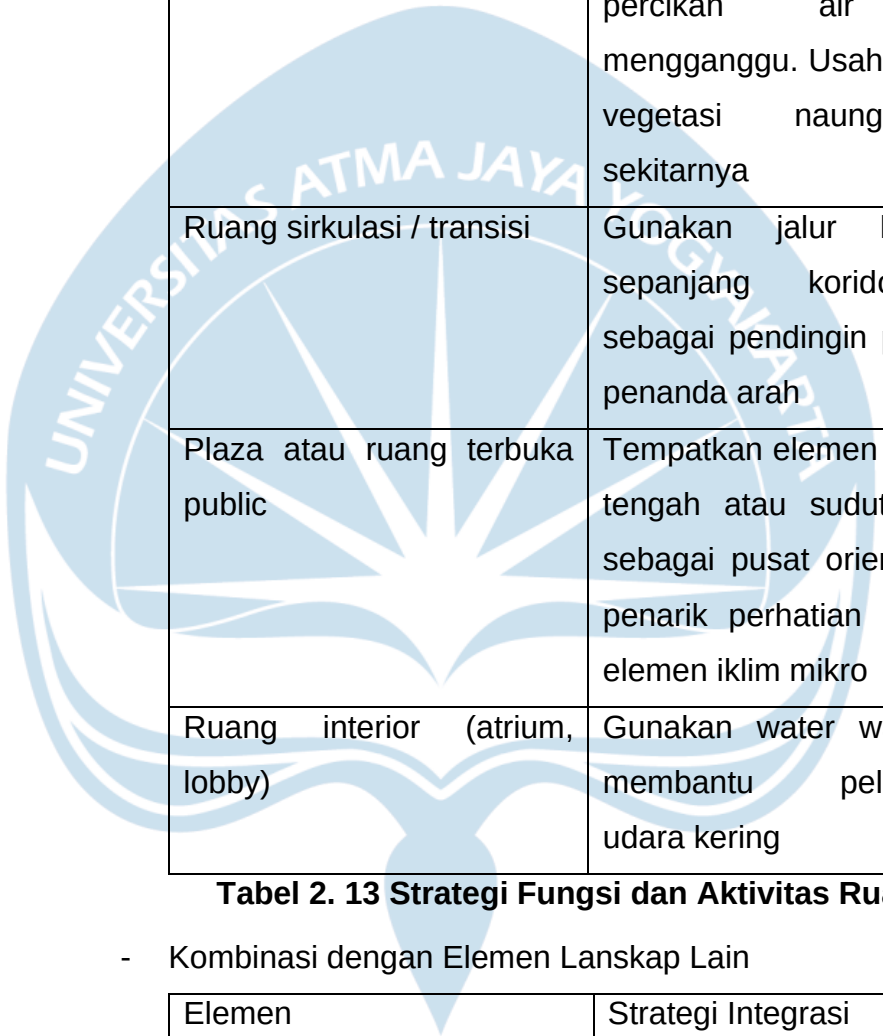
Tabel 2. 11 Strategi Peletakan Arah Angin

- Berdasarkan orientasi matahari

Tujuan	Strategi
Meningkatkan evaporasi untuk efek pendinginan	Tempatkan kolam atau fitur air di area yang terkena sinar matahari langsung pada siang hari. Efek evaporative dari air akan menyerap panas dan menurunkan suhu udara lokal
Menghindari efek panas laten berlebih	Di iklim lembab jangan ditempatkan air di area terlalu terbuka dan panas, karena kelembaban berlebih bisa memperburuk kenyamanan termal. Kombinasi dengan vegetasi untuk control alami

Tabel 2. 12 Strategi Orientasi Matahari

- Berdasarkan fungsi dan aktivitas ruang



Jenis Ruang	Peletakkan Ideal
Area duduk / relaksasi	Dekat dengan tempat duduk, tapi tidak terlalu dekat agar percikan air tidak mengganggu. Usahakan ada vegetasi naungan di sekitarnya
Ruang sirkulasi / transisi	Gunakan jalur linier di sepanjang koridor luar sebagai pendingin pasif dan penanda arah
Plaza atau ruang terbuka public	Tempatkan elemen air di titik tengah atau sudut strategi sebagai pusat orientasi dan penarik perhatian sekaligus elemen iklim mikro
Ruang interior (atrium, lobby)	Gunakan water wall untuk membantu pelembaban udara kering

Tabel 2. 13 Strategi Fungsi dan Aktivitas Ruang

- Kombinasi dengan Elemen Lanskap Lain

Elemen	Strategi Integrasi
Vegetasi	Tempatkan air di dekat pohon untuk menciptakan iklim mikro sejuk
Permukaan Keras	Elemen air seperti kolam dangkal atau misting dapat mengurangi efek pantulan

	dan radiasi termal dari permukaan keras
Dinding Bangunan	Letakkan water wall pada dinding barat atau selatan untuk membantu mendinginkan area terpanas

Tabel 2. 14 Strategi Kombinasi dengan Lanskap Lain

- Aspek Visual dan Aural

Tempatkan elemen air di sumbu pandang dari pintu masuk atau area aktivitas untuk menciptakan daya tarik visual, hindari menempatkan elemen air terlalu dekat dengan area diskusi serius jika suara air terlalu berat.

2.6 Pengaruh Iklim Terhadap Bentuk Arsitektur

Suatu bentuk arsitektur dipengaruhi oleh faktor iklim yang terjadi di daerah tersebut hal itu dikarenakan aktivitas manusia yang bervariasi memerlukan kondisi iklim sekitar tertentu yang bervariasi pula. Untuk melangsungkan aktivitas peribadatan yang menuntut suasana tenang, khushyuk, dan nyaman. Variasi aktivitas manusia memerlukan kondisi iklim mikro tertentu, seperti suhu yang tidak terlalu panas, kelembapan yang terkontrol, serta sirkulasi udara yang baik. Oleh karena itu, desain arsitektur harus merespon kondisi iklim setempat untuk menciptakan ruang ibadah yang dapat menunjang kekhusyukan umat dalam menjalankan ritual keagamaannya secara optimal (majalah ekspolarasi desain & arsitektur 2015)

Iklim berpengaruh terhadap kenyamanan termal pada suatu ruang dalam bangunan serta perkembangan suatu ruang dalam

bangunan serta perkembangan suatu Gereja di suatu daerah /wilayah. Dalam banyak kasus, manusia di daerah tropis seringkali gagal menciptakan kondisi termis yang nyaman di dalam bangunan. Ketika berada di dalam bangunan, pengguna bangunan justru seringkali merasakan udara ruang yang panas, sehingga kerap mereka lebih memilih berada di luar bangunan (majalah ekspolarasi desain & arsitektur 2015)

Bentuk bangunan di tiap-tiap wilayah sangat bergantung dari beberapa faktor, diantaranya adalah :

- a) Aktivitas / karakter manusia
- b) Lokasi / wilayah
- c) Orientasi bangunan terhadap cuaca / iklim
- d) Posisi pergerakan matahari
- e) Arah pergerakan angin / udara
- f) Orientasi bangunan terhadap alam
- g) Posisi lahan / ketinggian lahan
- h) Kemajuan teknologi
- i) Kenyamanan termal
- j) Perubahan era kehidupan manusia

Sehingga bentuk arsitektur suatu bangunan di suatu wilayah tidak akan sama sekalipun bangunan tersebut berada di dalam satu kawasan pembagian iklim. Jika ditinjau secara klimatik, bentuk arsitektur suatu bangunan akan sama prinsipnya untuk satu kawasan pembagian iklim.

2.7 Strategi Desain Pertukaran Udara pada Kondisi Termal

Selain itu Kenyamanan termal merupakan salah satu tujuan utama dari penerapan ventilasi alami dan buatan, dimana kedua sistem ventilasi ini berperan dalam mengatur suhu, kelembaban dan sirkulasi udara agar tercipta lingkungan dalam ruang yang nyaman bagi penghuni.

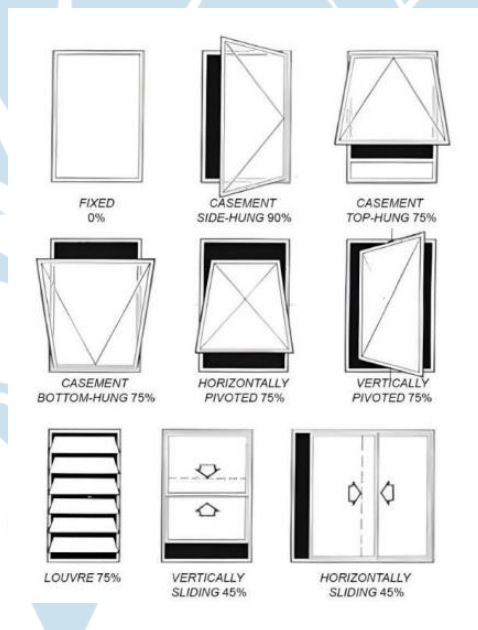
1. Ventilasi Alami

Pada umumnya, ventilasi merupakan suatu proses pertukaran udara dari dalam ruang keluar ruang atau sebaliknya. Penerapan ventilasi memiliki beberapa manfaat untuk mewujudkan suatu kenyamanan termal di dalam ruang. Ventilasi dapat berbentuk bukaan pada selubung bangunan yang memudahkan adanya suatu aliran udara dari luar bangunan untuk didistribusikan di dalam ruang melalui bukaan/jendela (Etheridge, 2015)

Strategi pengendalian termal melalui desain fasad dapat diterapkan melalui *shade and filter, recessed sun spaces, transitional space, secondary skin, and double glass* (Latifah, 2015). Dalam beberapa kasus, peningkatan sirkulasi udara diperlukan di dalam Gedung untuk mengimbangi suhu dan kelembapan dalam ruangan yang tinggi serta untuk memenuhi persyaratan kesegaran udara luar (Baharuddin, dkk., 2017)

Penelitian Pranata (2018) mengatakan bahwa terdapat beberapa jenis bukaan jendela dengan presentase udara yang masuk ke dalam bangunan. Seperti pada gambar 2.6 dari jenis-jenis tersebut melibatkan jendela mati (*fixed*) yang tidak mengalirkan udara sama sekali ke dalam ruangan.

Jendela hidup (*casement side-hung*) memungkinkan sebagian besar udara masuk ke dalam bangunan sebesar 90%. Jendela *casement top-hung* mengalirkan udara sebanyak 75%. Jendela *casement bottom-hung* mengalirkan udara sebanyak 45%. Jendela hidup putar (*horizontal pivoted*) mengalirkan udara sebanyak 75%. Jendela *pivot* yang memutar secara horizontal dan vertikal menghasilkan udara sebesar 75%. Jendela *louvre* menghasilkan udara sebanyak 75%, jendela *sliding vertikal* dan *horizontal* menghasilkan udara sebanyak 45% (Pranata, 2018)



Gambar 2. 6 Tipe Buka-an Jendela

Sumber : Latifah, 2015

i. Pencahayaan Alami

Pencahayaan alami merupakan sistem pencahayaan yang berasal dari sinar matahari dengan tujuan mendukung produktivitas dan

kenyamanan visual manusia. Untuk mengatasi sinar matahari berlebih dapat menggunakan *sun shading* atau pembayangan.

Shade merupakan metode pengendalian termal yang melibatkan penggunaan sun shader. *Sun shader* adalah bagian dari fasad atau elemen sebagai peneduh terhadap sinar matahari. *Sun shader* ini memiliki karakteristik yang *massif* dan tanpa lubang, sehingga tidak ada cahaya matahari yang dapat melewati atau ditransmisikan (Latifah, 2015)

Filter merupakan strategi pengendalian termal yang menggunakan sun filter. Sun filter adalah komponen pada fasad bangunan yang berperan sebagai penyaring sinar matahari. Sun filter ini dapat berlubang dan bersifat transparan, sehingga masih memungkinkan radiasi panas matahari untuk memasuki ruangan atau bangunan (Latifah, 2015)

Ventilasi alami memiliki sistem efektif dan efisiensi dalam hal perancangan bangunan, seperti hemat biaya, serta dapat memberikan keuntungan terhadap sistem berkelanjutan (*sustainability*) dan bebas perawatan. Penerapan ventilasi alami dapat dilakukan dengan beberapa metode perancangan, di antaranya :

a. *Single- side Ventilation*

Perancangan pada metode ventilasi satu sisi dalam ruang yang menerapkan bukaan / jendela dengan ukuran dan ketinggian yang sama pada setiap sisi ruang dalam penataannya.

b. Cross Flow Ventilation

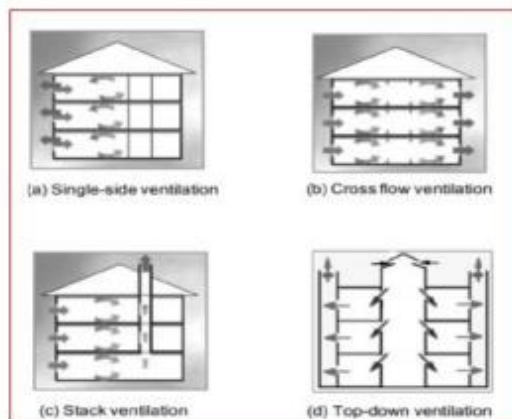
Perancangan pada metode ventilasi silang dapat menghasilkan sirkulasi udara yang baik dalam ruangan, karena dapat menampung volume udara dari luar ruang ke dalam ruang.

c. Stack Ventilation

Perancangan pada metode ini menghasilkan siklus yang dikenal dengan *stack effect* yang mengakibatkan terjadinya pertukaran udara pada saat adanya perbedaan tekanan udara dalam ruang.

d. Top-Down Ventilation

Pada metode ini biasa digunakan pada bangunan tinggi, dimana terjadi pergerakan udara dari atas permukaan atap ke bagian bawah bangunan.



Gambar 2. 7 Penerapan Ventilasi Alami pada Bangunan

Sumber : Etheridge, 2015

2. Ventilasi Buatan (Ventilasi Mekanik)

Ventilasi buatan termasuk dalam strategi ventilasi aktif dan penghawaan buatan, yang memiliki karakteristik menggunakan alat bantu kipas, ducting, atau HVAC sistem untuk mengatur aliran udara, dapat dikontrol dan diatur secara presisi.

Menurut Frick Heinz, Ardiyanto Antonius, dan Darmawan AMS (2008) dalam buku Fisika Bangunan, jika penyegaran udara secara alami tidak dapat menciptakan kenyamanan termal, maka perlu dibantu dengan penyegaran udara secara mekanis untuk meningkatkan laju pergerakan udara di dalam bangunan, khususnya di tempat-tempat yang tidak tersaluri aliran udara dari luar. Salah satu contoh penghawaan mekanis yang paling sederhana adalah kipas angin. Penggunaan kipas angin atau sistem ventilasi mekanis lainnya dapat membantu menciptakan kondisi udara yang lebih nyaman di dalam ruang.

Sistem penghawaan buatan (Artificial Ventilation/ Force Ventilation / Mechanical Ventilation) adalah pengudaraan yang melibatkan peralatan mekanik. Seperti pada gambar 2.8 terdapat pemakaian ventilasi buatan di dalam ruang harus memenuhi kriteria yaitu :

Volume pergantian udara minimum yang dihasilkan sebesar 10-15 m^3 / jam / orang.
--

Gambar 2. 8 Kriteria Ventilasi Mekanik

Ventilasi mekanik tidak menimbulkan kebisingan. Dasar perencanaan sistem mekanis dapat dilakukan dengan beberapa metode, yaitu :

a. Supply Ventilation System

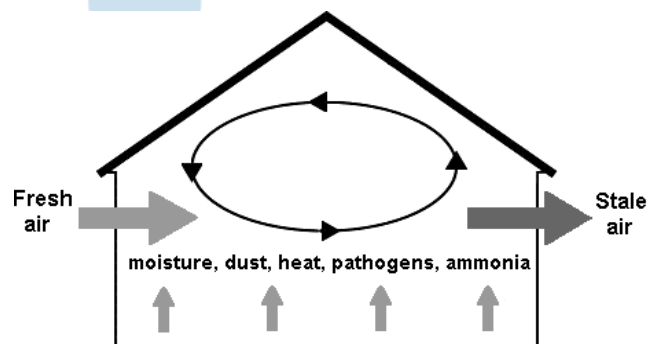
Pinsip kerja supply ventilation system adalah dengan memasukkan udara segar ke dalam ruangan menggunakan kipas. Sistem ini bertujuan untuk memastikan aliran udara yang cukup masuk dari luar ke dalam ruang yang membutuhkan sirkulasi udara yang baik.

b. Exhaust Ventilation System

Pada Exhaust Ventilation System, prinsip mengeluarkan udara panas atau kotor dari ruangan menggunakan kipas. Sistem ini dirancang untuk menarik udara yang terkontaminasi atau udara yang telah dipanaskan, dan membuang keluar dari ruang, sehingga membantu menjaga kualitas udara di dalam ruangan tetap baik dan nyaman.

c. Supply-Exhaust Ventilation System

Sistem ini merupakan kombinasi antara supply ventilation system dengan exhaust ventilation system, sistem ini dirancang untuk mengatur aliran udara dengan memasukkan udara segar ke dalam ruangan (supply) sekaligus mengeluarkan udara panas atau kotor (exhaust) menggunakan kipas secara bersamaan.



Gambar 2. 9 Sistem Ventilasi Mekanik

Sumber : Huffman, P.Eng, 2016

Ventilasi udara merupakan elemen penting dalam mencapai kondisi ruang yang sesuai dengan fungsi yang diinginkan. Ventilasi diperlukan untuk mengatur kelembapan, suhu, dan distribusi udara agar sesuai dengan standar yang dibutuhkan oleh kegiatan atau proses di dalam ruang tersebut, termasuk peralatan yang digunakan. Ventilasi mekanik ini berfungsi menggantikan udara dalam ruangan dengan udara segar dari luar untuk mengurangi kontaminan, kelembapan berlebih atau suhu ekstrem.

Ventilasi mekanik menggunakan tenaga listrik untuk menggerakkan secara aktif di dalam ruangan seperti *fan* yang bergerak untuk meningkatkan laju pergantian udara dan mempercepat proses pendinginan atau peremajaan udara dalam ruang.

Berikut penjelasan mengenai teori dari berbagai strategi peletakkan *fan* yang digunakan :

1. Peletakkan *fan* berdasarkan Fungsi Ruang :
 - Ruang Ibadah (Seperti Gereja) : dalam ruangan besar seperti gereja, *fan* harus ditempatkan pada titik strategis yang bisa menciptakan aliran udara merata untuk seluruh jemaat. *Fan* dapat dipasang di langit-langit untuk menyebarkan udara secara vertikal ke bawah dan mencapai area tempat duduk jemaat. Penggunaan *ceiling fan* di beberapa area dapat membantu mendorong udara hangat ke atas dan menurunkan udara dingin ke bawah.
2. Peletakkan *Fan* berdasarkan Tinggi Langit-Langit
 - Langit-Langit Rendah : pada ruangan dengan langit-langit rendah, *fan* sebaiknya dipasang dekat dengan

langit-langit untuk menghindari turbulensi atau aliran udara yang tidak nyaman. Kipas gantung atau dinding dapat menciptakan sirkulasi udara horizontal yang lebih efektif pada ketinggian yang lebih rendah

- Langit-Langit Tinggi : di ruangan dengan langit-langit tinggi seperti Gereja, *ceiling fan* besar dapat dipasang lebih tinggi untuk mendorong udara turun. Pada langit-langit tinggi, udara hangat cenderung terperangkap di atas dan *fan* dapat membantu menarik udara panas ke atas dan mendinginkan udara di area bawah yang lebih padat oleh penghuni.

3. Peletakkan Fan berdasarkan Sumber Ventilasi Alami

- Dekat Jendela atau Pintu : meletakkan fan dekat dengan jendela atau pintu dapat membantu mengalirkan udara segar dari luar ke dalam ruangan, menciptakan sirkulasi yang lebih baik. Dalam hal ini, *exhaust fan* atau fan bisa di pasang untuk menarik udara masuk keluar melalui bukaan ini, menjaga kesegaran udara di dalam ruangan.
- Arahkan udara sesuai Aliran Alamiah : fan bisa ditempatkan di titik berlawanan jika penghuni ingin adanya angin alami datang dari arah tertentu atau diarahkan untuk mendorong udara keluar dari ruangan untuk memaksimalkan sirkulasi

4. Peletakan Fan berdasarkan Distribusi Penghuni

- Titik konsentrasi orang : di jemaat yang memiliki kepadatan pengguna yang tinggi seperti area tempat duduk jemaat di Gereja, fan harus ditempatkan dengan jarak yang cukup agar bisa memberikan aliran udara yang merata. Kipas dinding atau *ceiling fan* dapat

diposisikan untuk menjangkau seluruh area tempat duduk.

- Zona Aktivitas : jika ada area yang memiliki lebih banyak aktivitas fisik, seperti panggung, altar, atau area kerja, fan harus ditempatkan lebih dekat atau diarahkan secara langsung ke area tersebut untuk memberikan efek pendinginan yang lebih besar.

5. Strategi Peletakkan Fan secara Bertingkat (Zoning)

- Zoning Vertikal : fan dapat ditempatkan pada berbagai tingkat ketinggian (langit-langit, dinding, atau lantai) untuk menciptakan aliran udara vertikal yang membawa udara dingin ke bawah dan membuang udara hangat ke atas, ini penting di ruangan dengan perbedaan suhu yang signifikan antara area atas dan bawah
- Zoning Horizontal : fan dapat dipasangi pada beberapa lokasi horizontal yang strategis di sekitar ruangan untuk memastikan aliran udara melintas ruangan secara horizontal, dari satu sisi ke sisi lain.

6. Peletakkan Fan berdasarkan Orientasi dan Arah

- Arahkan Fan sesuai dengan Kebutuhan : fan harus diarahkan ke area yang membutuhkan pendinginan atau aliran udara lebih banyak.
- Gunakan Exhaust fan : jika ruangan cenderung terasa pengap atau ada kelembaban berlebih, *exhaust fan* harus ditempatkan di titik yang paling efektif untuk mengeluarkan udara panas atau lembab dari ruangan. *Exhaust fan* biasanya ditempatkan di area atau ruangan untuk mengeluarkan udara panas yang naik ke atas

7. Menggabungkan Ventilasi Alami dan Mekanik

- Strategi peletakkan fan harus mempertimbangkan kombinasi antara alami dan mekanik. Misalnya, fan dapat digunakan untuk mendukung aliran udara alami dari jendela atau ventilasi atap, sehingga penggunaan energi untuk kipas atau AC bisa dikurangi.

Peletakkan fan yang strategis melibatkan analisis mengenai karakteristik ruangan, sirkulasi udara, distribusi penghuni serta posisi ventilasi alami. Dengan peletakkan fan yang tepat dapat meningkatkan kenyamanan termal bagi penghuni atau jemaat di ruangan dalam Gereja.

Aspek Ventilasi mekanik untuk meningkatkan kenyamanan termal di dalam Gereja dengan mempertimbangkan aspek sebagai berikut :

1. Kapasitas Aliran Udara

Kapasitas aliran udara ditentukan oleh ukuran kipas atau sistem ventilasi yang digunakan, serta jumlah perangkat yang dipasang. Hal ini akan memengaruhi seberapa besar udara segar dapat disirkulasikan untuk menggantikan udara panas di dalam Gereja

2. Lokasi dan Tata Letak Sitem Ventilasi

Posisi pemasangan ventilasi mekanik, seperti pada dinding, langit-langit atau area tertentu, akan memengaruhi distribusi udara di dalam ruangan.

3. Pengaturan Kecepatan dan Intensitas

Sistem ventilasi mekanik dapat diatur untuk bekerja pada berbagai tingkat kecepatan sesuai kebutuhan. Hal ini memungkinkan penyesuaian berdasarkan jumlah jemaat yang hadir atau kondisi suhu eksternal

4. Kebutuhan Energi dan Efisiensi

Ventilasi mekanik yang dirancang harus mempertimbangkan efisiensi energi agar tidak membebani konsumsi listrik Gereja.

5. Kualitas Udara dan *Noise*

Penggunaan kualitas udara dan *noise* digunakan di Gereja memiliki potensi menghasilkan *noise* yang dapat mempengaruhi kenyamanan. Kebisingan ini dihasilkan dari kipas angin yang dihasilkan

Faktor yang mempengaruhi Efektivitas Sistem Ventilasi Mekanik yang menentukan seberapa baik sistem tersebut dalam menyediakan udara bersih, mengontrol suhu dan menjaga kualitas udara dalam ruangan, sebagai berikut :

1. Kecepatan dan Debit Udara yang dibuang

- Kecepatan Udara : keceotan aliran udara dalam ventilasi mekanik harus optimal agar dapat mencapai seluruh bagian ruangan secara merata tanpa menimbulkan aliran yang terlalu kuat.
- Debit Udara : debit udara atau volume udara yang diolah dalam waktu tertentu yang menentukan seberapa banyak udara segar dapat disuplai dan berapa banyak udara kotor yang bisa dibuang. Debit udara yang sesuai harus disesuaikan dengan ukuran dan fungsi ruangan. Untuk ruangan besar seperti Gereja yang menampung banyak umat, debit udara harus cukup besar agar dapat mengganti udara dalam ruangan dengan udara segar pada tingkat yang memadai.

2. Kebisingan (*noise*)

Sumber kebisingan : kebisingan yang terlalu tinggi dapat kenyamanan khususnya di Gereja yang merupakan tempat ibadah sehingga membutuhkan ruangan yang sunyi. Kebisingan yang berlebihan dari sistem ventilasi mekanik dapat menimbulkan gangguan. Oleh karena itu, perlu diperhatikan tentang noise yang dihasilkan pada masing-masing jenis Ventilasi Mekanik.

2.8 Arsitektur Klimatik

Pembagian iklim dalam belahan bumi dapat dibagi menjadi empat jenis :

1. Iklim tropis (pada daerah khatulistiwa) dengan $0^{\circ}\text{LU} - 23,5^{\circ}\text{LU}$ dan $0^{\circ}\text{LS} - 23,5^{\circ}\text{LS}$
2. Iklim sub tropis ($23,5^{\circ}\text{LU} - 40^{\circ}\text{LU}$ dan $23,5^{\circ}\text{LS} - 35^{\circ}\text{LS}$)
3. Iklim sedang ($40^{\circ}\text{LU} - 60,5^{\circ}\text{LU}$ Dan $35^{\circ}\text{LS} - 66,5^{\circ}\text{LS}$)
4. Iklim dingin ($60,5^{\circ}\text{LU} - 90^{\circ}\text{LU}$ dan $66,5^{\circ}\text{LS} - 90^{\circ}\text{LS}$)

Dalam mengantisipasi perubahan iklim harus dikendalikan untuk meningkatkan kenyamanan salah satunya adalah dengan teknologi passive cooling melalui (Slamet Sudibyo, 2015)

1. Penambahan sun shading untuk mengatasi sinar matahari langsung
2. Insulasi panas untuk radiasi matahari yang menembus permukaan luar dinding
3. Permukaan sebagai diffuser untuk radiasi matahari tidak langsung
4. Vegetasi, atap dengan ventilasi untuk konveksi / aliran udara atau aliran fluida

5. Untuk permukaan tanah yang tidak menyerap panas dipakai sistem lantai panggung (mengatasi radiasi dari tanah)
6. Aspek kenyamanan thermal untuk perencanaan lingkungan binaan mencakup :
 - a) Ekterior Bangunan
 - b) Interior Bangunan
 - c) Selubung Bangunan

Pasif Cooling adalah strategi untuk mendinginkan bangunan tanpa menggunakan alat mekanis atau listrik, prinsip utamanya adalah memanfaatkan elemen desain arsitektur dan kondisi alam, seperti angin, bayangan, tanaman, dan material bangunan, untuk menjaga suhu dalam ruang tetap nyaman,

Strategi secara arsitektur bangunan dalam mengatasi atau mengantisipasi iklim yang bisa merugikan manusia adalah dengan melakukan beberapa Tindakan, yaitu :

1. Menghalangi radiasi matahari langsung dengan penggunaan sun shading
2. Isolasi radiasi panas dengan ruang udara (pada atap atau penggunaan bahan bangunan yang berpori)
3. Mengoptimalkan kenyamanan termis pada manusia
4. Penggunaan bahan bangunan yang memiliki berat jenis yang kecil, time lag rendah, kapasitas panas yang kecil, dimensi kecil, mampu mengikuti kadar kelembaban udara sekitar dan konduktivitas panas matahari.

2.9 Strategi Pasif Cooling

Strategi pasif cooling adalah pendekatan desain bangunan yang bertujuan untuk menurunkan suhu ruang dan menciptakan kenyamanan termal tanpa menggunakan energi mekanis. Berikut adalah beberapa strategi pasif cooling yang umum digunakan terutama pada bangunan iklim tropis :

1. Ventilasi Silang (Cross Ventilation)
 - Memanfaatkan arah dan kecepatan angin luar untuk mengalirkan udara melalui bangunan
 - Efektif untuk mengurangi suhu dalam ruang dan membawa udara segar
2. Stack Effect (Ventilasi Vertikal)
 - Udara panas naik dan keluar melalui ventilasi atas, sedangkan udara dingin masuk dari bawah
 - Cocok untuk bangunan dengan langit-langit tinggi atau bukaan vertikal
3. Perlindungan Terhadap Radiasi Matahari (Shading)
 - Menggunakan kanopi, overhang, tirai luar, tanaman rambat atau pohon untuk mengurangi paparan langsung sinar matahari ke dinding dan jendela
 - Mencegah panas masuk ke dalam bangunan
4. Insulasi Termal
 - Memasang material insulasi pada atap dan dinding untuk mengurangi transfer panas dari luar ke dalam
 - Atap sangat penting karena menyerap panas paling besar
5. Penggunaan Warna Terang dan Permukaan Reflektif
 - Warna terang atau cat reflektif pada atap dan dinding dapat memantulkan sinar matahari, mengurangi penyerapan panas

6. Desain Orienrasi Bangunan

- Mengorientasikan bangunan dan bukaan agar meminimalkan paparan sinar matahari langsung, misalnya memanjang ke arah utara-selatan di daerah tropis

7. Penggunaan Material Thermal Mass

- Material seperti batu bata, beton, atau tanah yang menyimpan panas di siang hari dan melepaskannya di malam hari untuk membantu stabilisasi suhu dalam ruang

8. Atap Hijau atau Dinding Hijau

- Tanaman di atap atau dinding membantu menyerap panas dan meningkatkan evaporasi untuk pendinginan alami

9. Kolam atau Elemen Air

- Kolam atau air mancur di sekitar bangunan menciptakan pendinginan evaporative dan meningkatkan kualitas udara.

2.10 Tinjauan Objek Penelitian

2.10.1 Sejarah dan Karakteristik Gereja Santo Aloysius Gonzaga Mlati



Gambar 2. 10 Logo Gereja Katolik St. Aloysius Gonzaga Mlati

Sumber : <https://kas.or.id/paroki-st-alloysius-mlati/>

Pendirian Gereja Santo Aloysius Gonzaga Mlati memiliki kaitan dengan Gereja Medari, yang berdiri pada 27 Oktober 1927. Seiring dengan perkembangan jumlah umat yang semakin banyak, Romo Strater memberikan bantuan untuk pembangunan Gereja Mlati pada tahun 1935, seperti pada gambar 2.10, sebagai upaya untuk memenuhi kebutuhan ibadah umat Katolik di wilayah tersebut.

Paroki Santo Aloysius Gonzaga terletak di pinggiran Kota Yogyakarta, tepatnya di Kabupaten Sleman. Lokasi gereja ini sangat strategis karena berada di tepi jalan raya, dekat dengan jalur kereta api, serta stasiun kereta api. Gereja Katolik Santo Aloysius Gonzaga Mlati, yang berada di tepi jalan, dibangun untuk melayani umat pribumi setempat. Gereja ini dinamakan "Gereja Mlati" karena terletak di kawasan Mlati. Pendirian gereja ini merupakan bagian dari perkembangan jumlah umat yang semakin banyak. Gereja ini diresmikan pada tanggal 27 Oktober 1927, dengan Romo Antonius Wignyamartoyo sebagai pemimpinnya. Pada tahun 2024, gereja ini dipimpin oleh Romo Laurentius Tata Priyana, dan hingga kini masih aktif digunakan sebagai tempat ibadah mingguan serta kegiatan rohani lainnya.

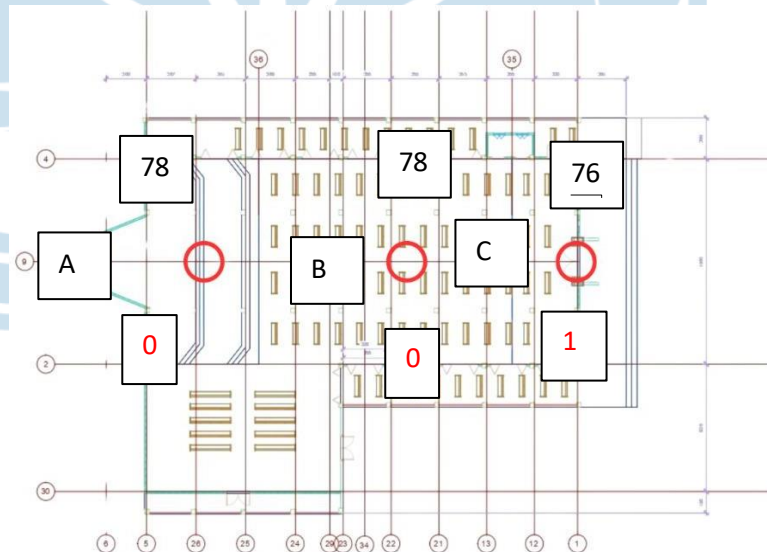
(http://historiadowus.multiply.com/journal/item/43/030_Sejarah_Gereja_Paroki_Aloysius_Gonzaga_Mlati)

2.10.2 Kondisi Eksisting

Kondisi eksisting ini dilakukan pengukuran kemudian disimulasikan menggunakan CBE Thermal Comfort Tool for ASHRAE-55. Pengukuran ini diambil berdasarkan studi kasus terburuk di Gereja dengan titik yang terburuk terutama pada area luar bangunan dan dalam bangunan, dengan

kondisi waktu yang berbeda yaitu pagi hari dan sore hari pada saat ibadah. Waktu pengukuran direncanakan terbagi menjadi 2 sesi, sesi 1 (06.00 – 10.00) dan sesi 2 (17.00-19.00) WIB. Kondisi ini diperburuk oleh minimnya vegetasi pelindung disekitar gereja yang dapat membantu menciptakan lingkungan mikro yang lebih sejuk, memiliki material yang mengakibatkan kelembaban yang tinggi, dan minimnya bukaan pada kondisi tersebut. Akibatnya, jemaat sering merasa kurang nyaman, terutama pada hari-hari dengan suhu ekstrem, yang dapat memengaruhi konsentrasi selama kegiatan ibadah.

- Pengukuran Dalam Bangunan pada Pagi Hari



Notes :

Font Merah : Kecepatan Angin

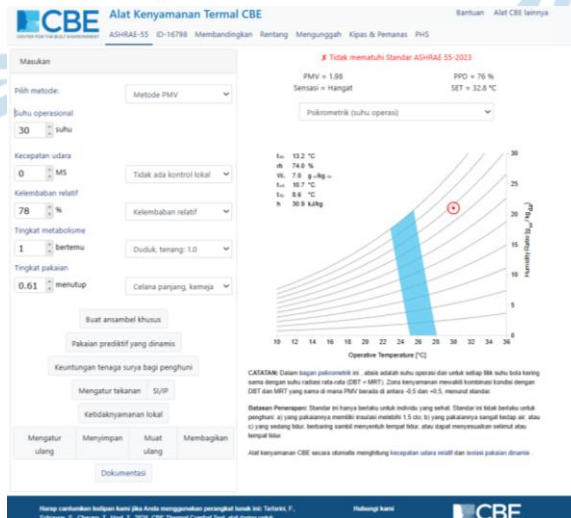
Font Hitam : Kelembaban

CBE TITIK A



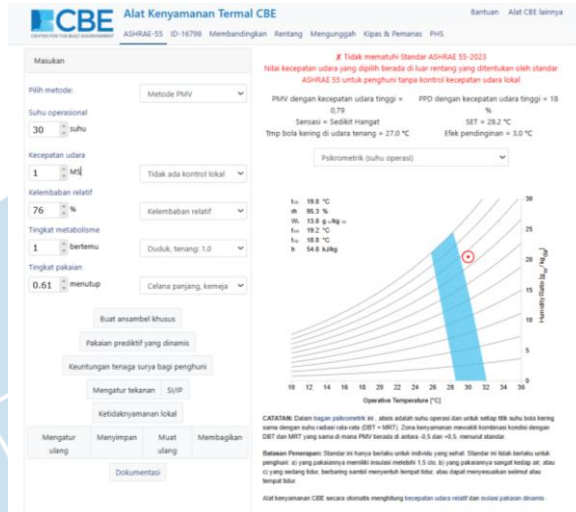
PMV : 1,98 (Hangat)

CBE TITIK B



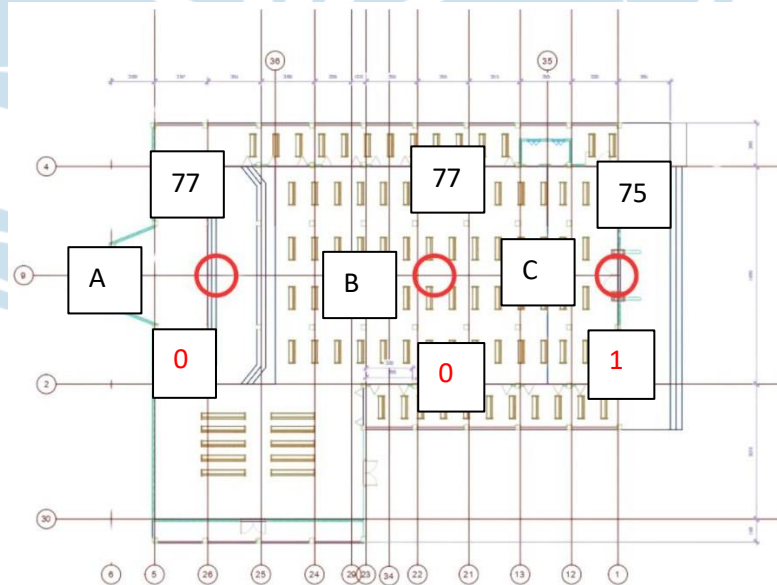
PMV : 1,98 (Hangat)

CBE TITIK C

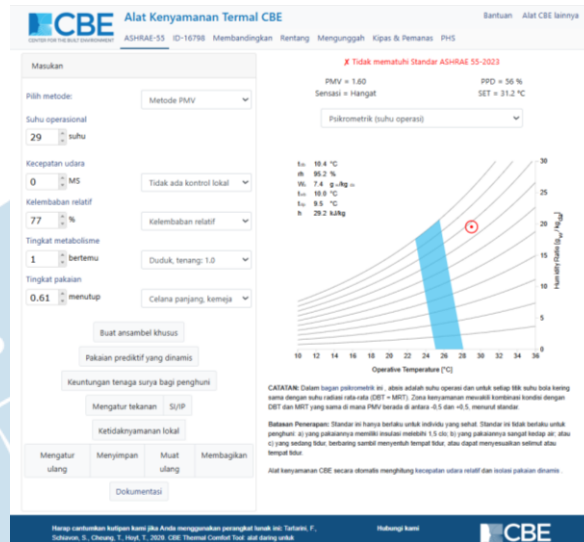


PMV : 0,79 (Hangat)

- Pengukuran Dalam Bangunan pada Sore Hari

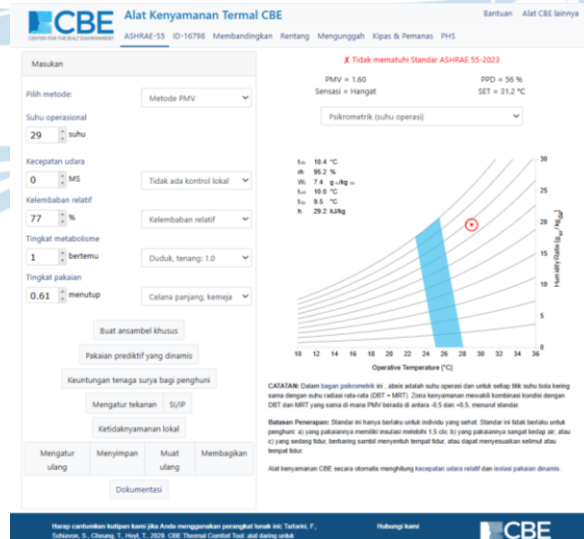


CBE TITIK A



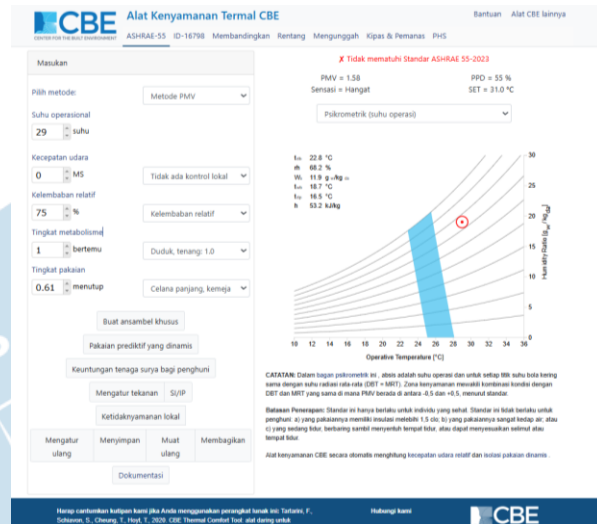
PMV : 1,60

CBE TITIK B



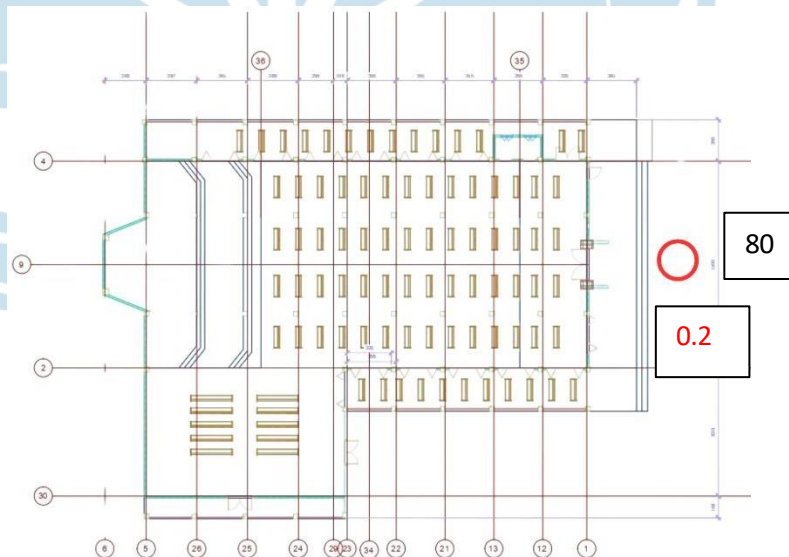
PMV : 1,60

CBE TITIK C

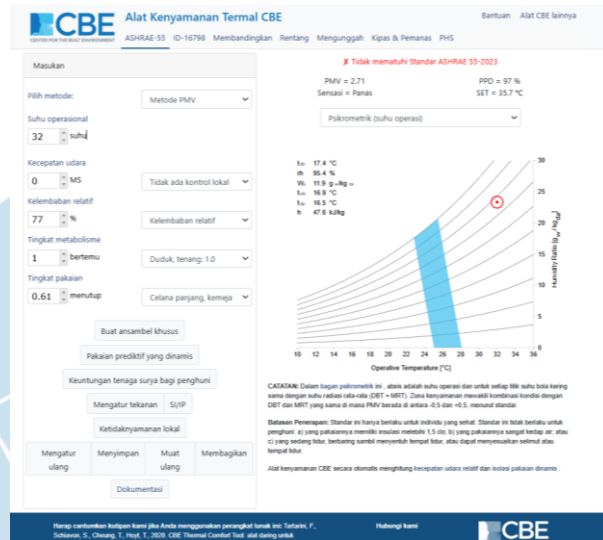


PMV : 0,40

- Pengukuran Luar Bangunan pada Pagi Hari

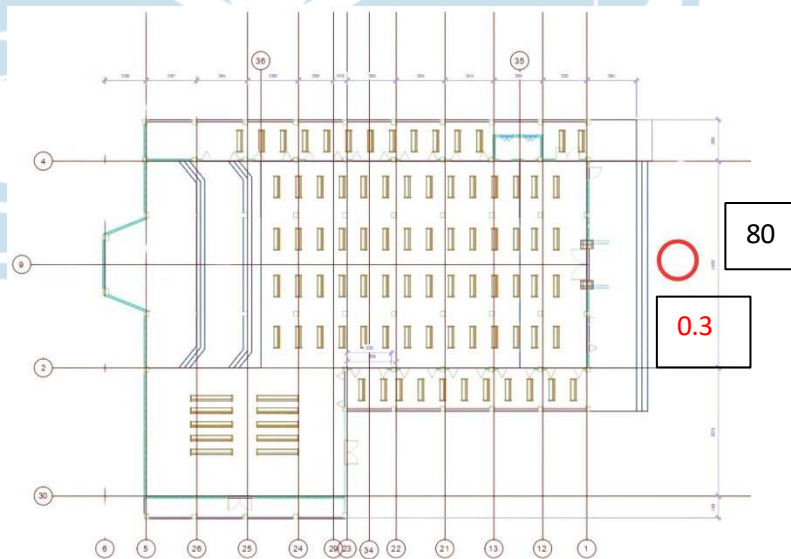


CBE LUAR BANGUNAN PADA PAGI HARI



PMV : 2,71

- Pengukuran Luar Bangunan pada Sore Hari



PMV : 1,59

Kesimpulan : Berdasarkan hasil pengukuran menggunakan CBE Thermal Comfort Tool, kondisi termal Gereja Santo Gonzaga Mlati menunjukkan bahwa suhu lingkungan tidak memenuhi standar kenyamanan termal ASHRAE. Pengukuran ini dilakukan pada saat pagi dan sore hari yang dekat dengan bukaan, dekat dengan umat dan dengan nilai PMV paling besar 2,71 Panas pada luar dan nilai PMV paling rendah 0,40 dikategorikan netral. Merupakan bangunan tua jika melakukan solusi dengan mengubah material akan susah karena harus

Kesimpulan : Berdasarkan hasil pengukuran menggunakan alat CBE Thermal Comfort Tool, kondisi termal Gereja Santo Aloysius Gonzaga Mlati menunjukkan bahwa suhu lingkungan saat ini tidak memenuhi standar kenyamanan termal ASHRAE 55-2023. Pengukuran ini dilakukan pada saat pagi dan sore hari di 3 titik yang dekat dengan bukaan, dekat dengan umat dan di altar. Dengan nilai PMV paling besar 2,71 Panas pada luar bangunan dan nilai PMV paling rendah 0,40 dikategorikan netral. Gereja ini merupakan bangunan tua jika melakukan solusi dengan cara mengubah material akan susah karena harus mengubah konstruksi bangunannya, jika dengan cara menurunkan suhu juga akan sulit karena faktor konstruksi bangunan yang sudah tua, jika menurunkan kelembaban juga akan sulit karena di dalam Gereja mempunyai wind speed 0, jika dengan AC juga tidak efektif karena tingginya biaya operasional yang dibutuhkan sehingga solusi yang paling efektif ialah dengan mengubah iklim

mikro di sekitar Gereja melalui penambahan dan pengubahan elemen-elemen seperti pohon, air, dan perkerasan. Sementara itu, di dalam bangunan, pengubahan shading menjadi langkah yang bisa diambil untuk meningkatkan kenyamanan termal.

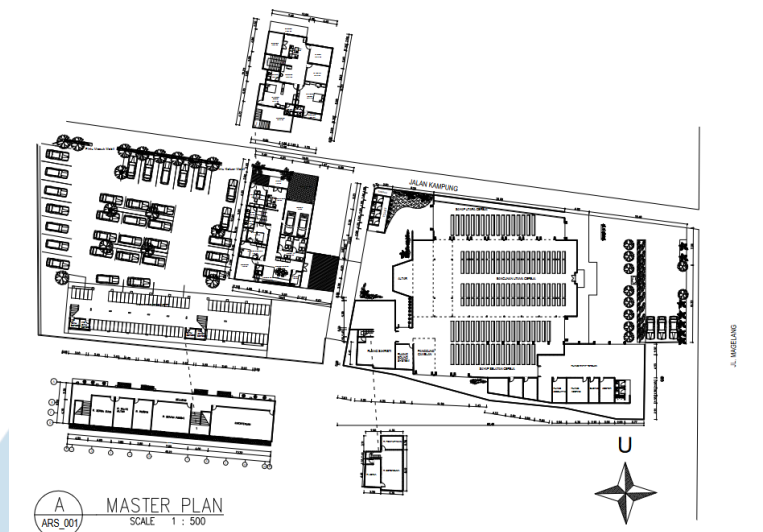
2.10.3 Detail Arsitektur Gereja Santo Aloysius Gonzaga Mlati

Gereja Santo Aloysius Gonzaga Mlati dibangun menggunakan material beton, sementara struktur bangunannya didominasi oleh kayu. Gereja ini mengusung gaya arsitektur Kolonial, yang terlihat jelas pada bentuk dan elemen bangunannya. Sebagai bangunan tua, struktur gereja ini sudah berusia puluhan tahun. Salah satu ciri khas dari gaya arsitektur Kolonial pada gereja ini adalah menara lonceng yang menjulang tinggi di ujung atap, serta perpaduan atap joglo yang runcing, yang memberikan kesan khas tradisional sekaligus elegan pada bangunan gereja ini. Bangunan Gereja Santo Aloysius Gonzaga Mlati terbagi menjadi empat bagian ruang utama, yaitu Gedung Gereja, Gedung Paroki, Gedung Serbaguna, dan Pastoran. Gereja ini memiliki orientasi bangunan yang memanjang, dengan pintu masuk yang menghadap ke Timur. Atap gereja berbentuk segitiga, menyerupai atap joglo yang khas. Untuk konstruksi dindingnya, gereja ini menggunakan material brick plaster dengan ketebalan 20 cm, memberikan kekuatan struktural sekaligus memberikan tampilan estetik yang sesuai dengan gaya arsitektur Kolonial yang diusung.

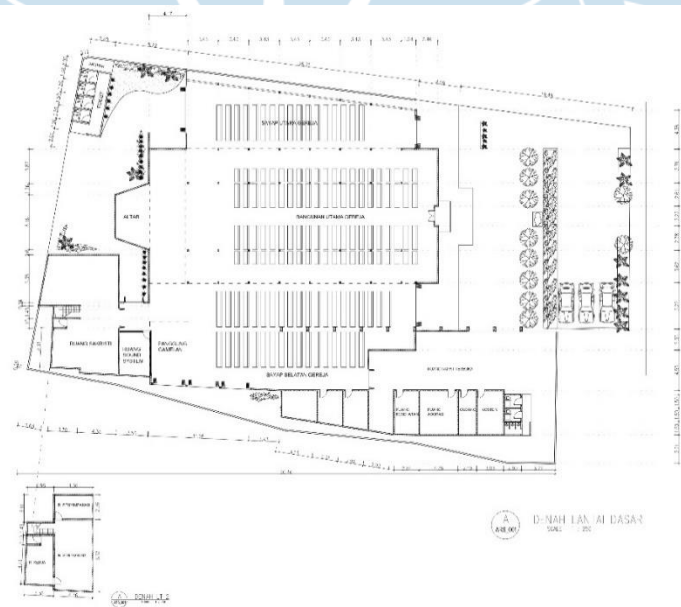
Gereja Santo Aloysius Gonzaga Mlati menggunakan lantai dengan material *Concrete Floor Tiles*, yang memberikan kesan kokoh dan tahan lama. Plafon gereja ini menggunakan material *Plaster Insulation Suspended*, yang berfungsi untuk

memberikan isolasi termal dan suara yang lebih baik di dalam ruang. Gereja ini memiliki 30 bukaan jendela yang terbuat dari material *Single Glazed*, memungkinkan pencahayaan alami yang cukup masuk ke dalam ruangan. Pintu gereja terbuat dari material *Solid Core Pine Timber*, memberikan kesan klasik dan kuat. Selain itu, kolom-kolom yang ada di dalam gereja menggunakan material *Framed Plywood Partition*, yang memberikan stabilitas struktural serta estetika yang sesuai desain keseluruhan bangunan.

Strategi Perbaikan Kenyamanan Termal dapat diterapkan ventilasi silang alami dengan memaksimalkan pada dinding yang berlawanan untuk memungkinkan daya releksi tinggi terhadap panas matahari dapat mengurangi penyerapan panas. Serta penggunaan material relektif dengan mengganti atau melapisi atap dengan material yang memiliki daya refleksi tinggi terhadap panas matahari, serta penambahan vegetasi dengan menanam pohon-pohon rindang di sekitara gereja dapat memberikan bayangan dan menurunkan suhu lingkungan sekitar.



Gambar 2. 11 Master Plan Gereja Mlati



Gambar 2. 12 Denah Gereja St. Aloysius Gonzaga Mlati



Gambar 2. 13 12 Interior Gereja St. Aloysius Gonzaga Mlati



Sumber : Data Pribadi

2.11 Software Simulasi

Pada penelitian ini supaya berhasil, perlu adanya dukungan aplikasi yang membantu simulasi perencanaan ventilasi mekanik dalam perbaikan kualitas kenyamanan termal dari luar maupun dari dalam bangunan pada Gereja St. Aloysius Gonzaga Mlati Yogyakarta :

1. CBE

Software ini digunakan untuk mengevaluasi dan meningkatkan kenyamanan termal dalam bangunan berdasarkan standar internasional, terutama ASHRAE Standar-55, software ini peneliti dalam menganalisis kondisi termal ruangan melalui pendekatan PMV (Predicted Mean Vote) maupun adaptive Comfort, terutama untuk bangunan di wilayah dengan ventilasi alami / campuran.

Fungsi CBE :

- Menilai tingkat kenyamanan termal berdasarkan input seperti suhu udara, kelembaban, kecepatan udara, nilai clo (jenis pakaian) dan tingkat aktivitas penghuni
- Menampilkan hasil dalam bentuk grafik comfort zone dan psychrometric chart untuk memvisualisasikan kondisi termal
- Mendukung simulasi berbagai scenario lingkungan untuk melihat efeknya terhadap kenyamanan termal

Manfaat Dalam Perbaikan Kualitas Kenyamanan Termal :

- Mengidentifikasi kondisi tidak nyaman dalam ruang yang dapat disebabkan oleh suhu tinggi / rendah, kelembaban, atau kurangnya aliran udara

- Membantu pengambilan keputusan desain, seperti penempatan bukaan, sistem ventilasi, material bangunan atau penambahan kipas / AC
- Menunjukkan efektivitas sistem ventilasi alami atau mekanik, serta bagaimana pengaruhnya terhadap kenyamanan pengguna
- Mempertimbangkan adaptasi pengguna terhadap lingkungan tropis dengan menggunakan pendekatan adaptive comfort model, sehingga relevan untuk bangunan seperti Gereja

2. ENVI-Met

ENVI-met merupakan perangkat lunak simulasi iklim mikro tiga dimensi yang digunakan untuk menganalisis antara bangunan, vegetasi, permukaan tanah, dan atmosfer di lingkungan perkotaan atau kawasan terbangun. Dengan mensimulasikan parameter lingkungan seperti suhu udara, kelembaban, aliran angin, suhu permukaan, dan radiasi matahari, ENVI-met memberikan gambaran rinci tentang kondisi termal pada skala mikro.

Fungsi ENVI-met :

- Mensimulasikan iklim mikro perkotaan secara tiga dimensi berdasarkan input desain bangunan, vegetasi, dan material permukaan
- Menghitung parameter lingkungan seperti suhu udara, suhu permukaan, kelembaban, aliran angin dan distribusi radiasi matahari
- Menganalisis indikator kenyamanan termal luar ruang

- Dapat digunakan untuk memprediksi dampak perubahan desain urban, seperti penambahan pohon, penggantian material jalan atau perubahan tata letak bangunan

Manfaat Dalam Perbaikan Kualitas Kenyamanan Termal :

- Membantu merancang lingkungan luar ruang yang nyaman dengan mengoptimalkan elemen peneduh dan ventilasi alami
- Menilai efektivitas strategi mitigasi iklim mikro
- Membantu perancang kota dalam memutuskan penempatan pohon, jenis tanaman atau material pelapis yang paling efektif menurunkan suhu permukaan dan udara
- Memprediksi efek pulau panas perkotaan dan merancang intervensi untuk mengurangi nya

3. Ecotect

Autodesk Ecotect adalah perangkat lunak simulasi bangunan yang digunakan untuk menganalisis performa lingkungan suatu desain arsitektur secara menyeluruh. Ecotect mampu mengevaluasi berbagai aspek lingkungan seperti pencahayaan alami, ventilasi, bayangan (shading), radiasi matahari serta kenyamanan termal di dalam ruang

Fungsi Ecotect :

- Menganalisis kenyamanan termal dalam ruang, termasuk suhu, kelembaban serta pengaruh ventilasi alami dan mekanik
- Mensimulasikan pergerakan matahari dan bayangan untuk menentukan efek paparan sinar matahari terhadap suhu ruangan

- Mengevaluasi penambahan panas dari radiasi matahari pada permukaan bangunan
- Menyediakan analisis daylighting dan ventilasi silang berdasarkan geometri bangunan dan orientasi tapak

Manfaat dalam Perbaikan Kualitas Kenyamanan Termal :

- Membantu memahami bagaimana orientasi bangunan dan bukaan mempengaruhi suhu ruang. Sehingga desainer bisa mengoptimalkan bentuk dan tata letak
- Menilai efektivitas elemen pasif seperti overhang, kisi-kisi, ventilasi silang, dan insulasi dalam mengontrol suhu dalam ruang
- Membantu memiliki material dinding, atap, dan jendela yang sesuai dengan iklim lokal untuk mengurangi beban pendinginan
- Memungkinkan simulasi scenario desain alternatif untuk melihat mana yang paling efisien dan nyaman secara termal sebelum di bangun

Kesimpulan :

Pada penelitian ini menggunakan tiga software tersebut untuk menganalisis dan meningkatkan kenyamanan termal pada bangunan dan lingkungan sekitarnya. CBE Comfort Tool untuk mengevaluasi kenyamanan termal ruang dalam (*indoor*). Sementara ENVI-met untuk menganalisis mikroklimat lingkungan luar ruang (*outdoor*) dalam merancang strategis mitigasi panas. Ecotect berperan dalam mensimulasikan kondisi termal secara visual. Dalam perbaikan kualitas kenyamanan termal menjadi lebih komprehensif, berbasis data dan kontekstual untuk ruang dalam maupun luar.