

## Optimasi sistem *ceiling fan integrated air conditioner* sebagai penghawaan buatan dalam upaya penurunan suhu di ruang dalam

Mochamad Hilmy <sup>a, 1\*</sup>, Isdaryanto Iskandar <sup>b</sup>, Hengki Sandra <sup>a</sup>, Herry Prabowo <sup>a</sup>, Yudhiarma <sup>a</sup>

a Program Studi Arsitektur Bangunan Gedung, Politeknik Negeri Pontianak

b Fakultas Teknik, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya

1 [mhilmys@gmail.com](mailto:mhilmys@gmail.com) \*

\*korespondensi penulis

Informasi artikel	ABSTRAK
Sejarah artikel: Diterima Revisi : 2024 Dipublikasikan : 2024	Penggunaan penghawaan buatan seperti kipas angin dan AC dalam ruangan secara bersamaan dinilai tidak efektif dan boros energi sehingga hal ini dirasa perlu untuk diperhatikan lagi dalam rangka penghematan dan pengoptimalan penggunaan energi. metode yang digunakan adalah dengan simulasi CFIAC yang dilakukan pada saat bangunan sedang kosong dengan percobaan penggunaan konfigurasi sistem CFIAC 4 unit kipas angin, 2 pada jarak dekat dengan AC, 2 unit kipas angin pada jarak jauh dari AC dan penggunaan 2 unit AC split tanpa kipas angin dengan hembusan AC tipe perfect mixing dan kipas angin dengan hembusan dari atas ke bawah pada kecepatan angin rata-rata sebesar 0,3 m/s dan 0,7 m/s. hasil penelitian menunjukkan penggunaan 2 unit AC split tanpa kipas angin adalah yang paling efisien dari segi kecepatan penurunan suhu ruangan sebesar 1,93 °C selama 30 menit dengan IKE yang digunakan untuk sistem CFIAC sebesar 333,50 kWh perbulan dan Penggunaan konfigurasi 2 unit kipas angin pada jarak dekat dengan AC adalah yang paling efisien dari segi penurunan suhu ruangan dan pemerataan distribusi udara keseluruh ruangan baik pada kecepatan udara rata-rata 0,7 m/s atau 0,3 m/s dengan penurunan suhu rata-rata sebesar 1,85°C. disarankan penggunaan 2 unit kipas angin dengan jarak dekat dengan AC pada kecepatan 0,3 m/s atau 0,7 m/s dengan posisi ruangan terbuka selama 10 menit tanpa AC dan setelah itu baru digunakan secara bersamaan dengan posisi ruang tertutup.
<b>Kata kunci:</b> <i>Ceiling Fan Integrated Air Conditioner</i> Aliran Udara Suhu Udara Ruang Dalam	<b>ABSTRACT</b> <i>The use of artificial ventilation such as fans and air conditioners in the room simultaneously is considered ineffective and wasteful of energy, so this needs to be considered again in the context of saving and optimizing energy use. the method used is the CFIAC simulation which is carried out when the building is empty by experimenting with the use of the CFIAC configuration of 4 fan units, 2 fan units at a distance from the air conditioner and the use of 2 split AC units without a fan with perfect mixing type AC blowing and a fan. wind with gusts from top to bottom at an average wind speed of 0.3 m/s and 0.7 m/s. The results showed that the use of 2 split AC units without a fan was the most efficient in terms of the speed of decreasing room temperature by 1.930C for 30 minutes with the IKE used for the CFIAC system of 333.50 kWh per month and the use of the configuration of 2 fan units at close proximity to the air conditioner is the most efficient in terms of decreasing room temperature and even distribution of air throughout the room at an average air velocity of 0.7 m/s or 0.3 m/s with an average temperature decrease of 1.85°C. it is recommended to use 2 units of fans with close proximity to the air conditioner at a speed of 0.3 m/s or 0.7 m/s with an open room position for 10 minutes without air conditioning and after that only use it simultaneously with a closed room position.</i>
<b>Key word:</b> Celling Fan Integrated Air Conditioner Air Flow Indoor Temperature	

Copyright © 2024 Universitas Widya Mataram Yogyakarta. All Right Reserved

### Pendahuluan

Penggunaan energi yang didapatkan dari eksploitasi sumber daya alam secara berlebihan ternyata banyak terserap oleh bangunan gedung, tidak hanya bangunan Gedung tempat ibadah dan rumah tinggal juga menyerap energi yang besar. Energi tersebut sebagian besar digunakan untuk mengkondisikan udara ruangan hingga pada batas kenyamanan termal hunian. Penggunaan penghawaan buatan seperti kipas angin (*ceiling fan*) dan AC (*air conditioner*) menjadi pilihan utama untuk kebutuhan pengkondisian udara di dalam bangunan Gedung dan tempat-tempat umum seperti tempat-tempat

ibadah bahkan tidak jarang penggunaan kipas angin (*ceiling fan*) dan AC (*air conditioner*) dalam satu ruangan secara bersamaan sehingga hal ini dirasa perlu untuk diperhatikan lagi dalam rangka penghematan dan pengoptimalisasi penggunaan energi pada bangunan Gedung dan tempat umum seperti tempat ibadah masjid atau mushola. Melalui kajian atau penelitian ini dilakukan pendataan dan pengukuran sistem penghawaan buatan (kecepatan angin dan temperatur ruangan) pada kondisi eksisting serta melakukan simulasi pergerakan udara dan kondisi termal dalam bangunan dengan beberapa metode untuk mengetahui efektifitas penggunaan sistem *Ceiling Fan Integrated Air Conditioner* (CFIAC) sebagai penghawaan buatan pada ruang dalam tertutup.

Penelitian yang dilakukan oleh Chen, W. dan timnya menunjukkan hasil studi laboratorium bahwa kipas langit-langit mencampur pasokan udara yang tidak disalurkan dengan sangat baik, memberikan suhu ruangan yang seragam dan efektivitas ventilasi udara yang cukup di dalam zona yang ditempati. Studi-studi ini juga menunjukkan kenyamanan termal yang sama atau lebih baik dibandingkan dengan diffusers overhead ducted tradisional. Selain itu, perbandingan rinci dari desain CFIAC di kantor rencana terbuka yang sebenarnya menunjukkan bahwa pendekatan baru mengurangi jumlah zona VAV dari 14 menjadi 4 atau bahkan dua, dengan desain yang mencakup 12 kipas langit-langit untuk pencampuran udara. Secara keseluruhan, pengurangan biaya bersih dalam pekerjaan saluran dan peralatan penanganan udara adalah antara 30 dan 50 persen. (Wenhua Chen, Hui Zhang, Edward Arens, Maohui Luo, Zi Wang, Ling Jin, Junjie Liu, Fred S. Bauman, Paul Raftery, 2020)

Penelitian yang dilakukan oleh Kuniaki Miharadan timnya menyimpulkan bahwa Performa Dedicated Outdoor Air System yang terintegrasi dengan kipas langit-langit (DOAS-CF) untuk meningkatkan kenyamanan termal, kualitas udara yang dirasakan (PAQ) dan potensi penghematan energi telah diperiksa. 26 subjek terpapar pada kombinasi suhu (24, 27 dan 30°C) dan kecepatan udara pada kisaran 0,07 hingga 1,87 m/s pada kelembaban relatif (RH) 60% selama 3,5 jam. °C dengan kecepatan udara 0,07 m/s, 27°C dengan kecepatan udara 0,94 m/s dan 30°C dengan kecepatan udara 1,87 m/s. Kenyamanan termal (87%), preferensi termal (72%), penerimaan termal (100%) dan penerimaan kualitas udara dalam ruangan (98%) tertinggi pada 27°C pada 0,94 m/s. Sensasi termal rata-rata sangat berkorelasi dengan rata-rata SET sebagai fungsi linier. Alat simulasi energi (IES-VE) digunakan untuk mensimulasikan konsumsi energi dan mengukur penghematan energi DOAS- CF. Relatif terhadap kondisi desain kamar tipikal 24°C dengan sistem pendingin udara konvensional, DOAS-CF mencapai pengurangan 25,8% dalam konsumsi energi tahunan ketika suhu ruangan dinaikkan sebesar 3°C tetapi dikompensasi dengan peningkatan pergerakan udara. (Kuniaki Mihara, Chandra Sekhar, Yuichi Takemasa, Bertrand Lasternas, Kwok Wai Tham, 2019)

Penelitian yang dilakukan oleh Jackobus Ade Prasteya Seputra memberikan kesimpulan pengaruh tipe distribusi udara dalam ruang terhadap efisiensi energinya sebagai berikut:

1. Urutan efisiensi (dari yang paling efisien) untuk mencapai kenyamanan termal berdasarkan tipe distribusi aliran udara adalah pola distribusi displacement, perfect mixing, dan radiant cooling;
2. Simpangan lebar terlihat pada tipe radiant cooling terhadap kedua tipe distribusi udara AC lain menunjukkan moda perpindahan kalor radiatif, khususnya dengan spesifikasi AC sama, adalah tidak efisien menurunkan suhu udara dalam ruang dibandingkan moda konvektif;
3. Simpangan kecil terjadi pada tipe displacement dan perfect mixing karena keduanya sama-sama mengandalkan moda pertukaran kalor konveksi dan terjadi dalam ruang bervolume kecil (3 x 5m) saja;
4. Semakin pendek waktu jeda mesin AC, maka pengaruh tipe distribusi udara tidak lagi signifikan terhadap konsumsi energinya karena mesin AC terus menerus menyala. Sebaliknya, jika beban kalor semakin kecil dan waktu jeda semakin panjang, maka peran tipe distribusi udara AC terhadap selisih konsumsi energi listrik akan semakin besar dan displacement semakin efisien mengungguli kedua tipe yang lain; serta
5. Sebagai justifikasi bahwa dalam memilih AC harus memperhitungkan kapasitas pendinginan dan beban kalor ruangan yang ada, sehingga mesin AC dapat beristirahat dan tidak terus menerus terforsir menyala sehingga berakibat hilangnya efek efisiensi energinya. (Seputra, 2018)

*State of the art* dari kajian ini adalah berusaha mencari optimasi terhadap pengoperasian CFIAC terhadap penurunan suhu udara di ruang dalam terutama pada kondisi ceiling fan yang berbentuk cerukan (tidak rata) di iklim tropis basah di sekitar garis khatulistiwa.

## Metode

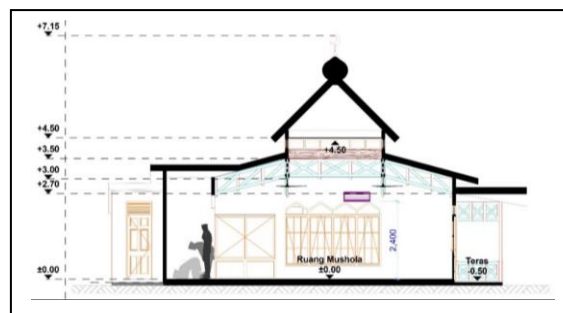
Penelitian ini merupakan penelitian yang dilakukan secara langsung ke lokasi penelitian. Metode penelitian yang digunakan dalam kajian ini adalah metode penelitian kuantitatif dilakukan dengan cara studi literatur, pengumpulan data, pengolahan data, analisis, dan kesimpulan. Teori-teori yang terkait akan dibandingkan dengan data-data yang didapat dari hasil observasi. Prosedur penelitian yang dilakukan pada penelitian ini yaitu tahap persiapan, tahap pendahuluan, tahap pengumpulan data, tahap pengolahan data, tahap analisis, dan tahap kesimpulan. Studi literatur yang diambil ialah berupa teori-teori mengenai penghawaan buatan, standar kenyamanan termal serta perhitungan-perhitungan mengenai pengoptiman energi pada bangunan. Selain mengkaji literatur, diperlukan observasi lapangan yaitu mendapatkan data lapangan. Data lapangan yang diperoleh, dianalisa dengan cara dibandingkan dengan kajian literatur yang sudah dipelajari. Setelah mendapatkan hasil analisa yang akurat, maka ditariklah kesimpulan optimalisasi penghawaan buatan pada bangunan.

Variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas dan merupakan variabel yang diamati. Variabel terikat pada penelitian ini yaitu suhu ruang dan indeks konsumsi energi dari sistem CFIAC. Variabel bebas adalah variabel yang memengaruhi variabel terikat. Dalam penelitian ini ada beberapa variabel bebas yang digunakan antara lain sebagai berikut:

1. Daya setiap peralatan listrik yang digunakan (kWh) setiap pemakaian listrik;
2. Waktu pemakaian peralatan listrik pada sistem CFIAC;
3. Kecepatan angin di dalam ruang dalam tertutup; dan
4. Konfigurasi penggunaan kipas angin (*ceiling fan*) pada sistem CFIAC.

Beberapa batasan diterapkan dalam penelitian ini guna menyamakan atau menyatukan persepsi antara peneliti dan pembaca mengenai hal-hal yang diteliti dan diharapkan penelitian ini akan lebih terfokus dan menghasilkan temuan-temuan yang diharapkan sesuai dengan tujuan penelitian. Batasan kajian ini berupa:

1. Pengaruh penggunaan sistem CFIAC sebagai penghawaan ruangan pada ruang dalam tertutup dalam upaya penurunan suhu ruangan.
2. Jumlah BTU (*british thermal unit*) kurang dari yang dibutuhkan.
3. Bentuk ruangan dengan kombinasi antara bentuk segitiga dengan kemiringan 15 derajat dengan bentuk persegi seperti pada gambar 1.

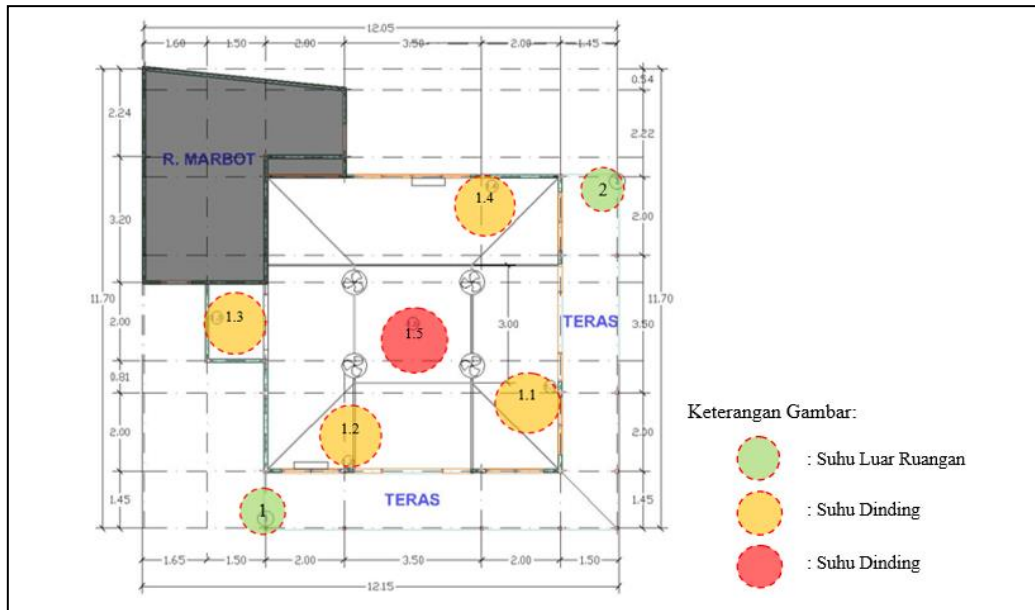


Gambar 1. Potongan A-A

4. Pengambilan data pada cuaca cerah dan kondisi ruangan kosong (tidak ada aktivitas).
5. Jarak terdekat kipas angin (*ceiling fan*) dengan AC berjarak  $\pm 2.50$  meter dan  $\pm 2.80$  m dan jarak terjauh kipas angin (*ceiling fan*) dengan AC berjarak  $\pm 3.25$  meter dan  $\pm 4.80$  meter.
6. Ketinggian kipas angin (*ceiling fan*) dari lantai  $\pm 3.00$  meter dengan hembusan dari atas ke bawah.
7. Ketinggian AC dari lantai  $\pm 2.50$  meter dengan tipe hembusan perfect mixing.
8. Penggunaan kipas angin (*ceiling fan*) hembusan ke bawah dengan speed/ watt: 1 / 25 – 31 watt, 2 / 33 – 41 watt, 3 / 45-55 watt dengan baling-baling berdiameter 40 cm dan hembusan udara sebesar 66 m<sup>3</sup>/menit.

Tabel 1. Jenis peralatan dan kapasitas daya (Watt)

No.	Jenis peralatan	Kapasitas	Jumlah	Total
1.	Kipas angin ( <i>ceiling fan</i> )	55 W	4 unit	220 W
2.	AC 1	1030 W	1 unit	1030 W
3.	AC 2	1200 W	1 unit	1200 W
<b>Total</b>				<b>2450 W</b>



Gambar 2. Denah titik pengukuran

Adapun teknik pengumpulan data yang digunakan yaitu teknik observasi langsung di lapangan serta melakukan optimasi rekayasa penghawaan buatan dengan melakukan pengukuran suhu ruangan dengan menggunakan alat hot wire anemometer dan intellegent meter. Alat tersebut digunakan untuk mengukur kecepatan udara dan suhu ruangan serta melakukan beberapa simulasi CFIAC pada kondisi cuaca yang cerah dalam rentang waktu 30 menit yang mana akan dilakukan 3 (tiga) kali pengukuran suhu dalam rentang waktu per 10 menit pengukuran dilakukan pada saat bangunan sedang kosong atau belum ada aktivitas serta punya rentang waktu yang cukup panjang dari aktivitas yang terakhir dilakukan pada ruangan tersebut lebih tepatnya pada jam 11:00-11:30 yang mana pada jam-jam ini suhu udara berada pada suhu yang tinggi dan punya rentang waktu yang panjang dari aktivitas yang terakhir dilakukan pada ruangan tersebut.

## Hasil dan pembahasan

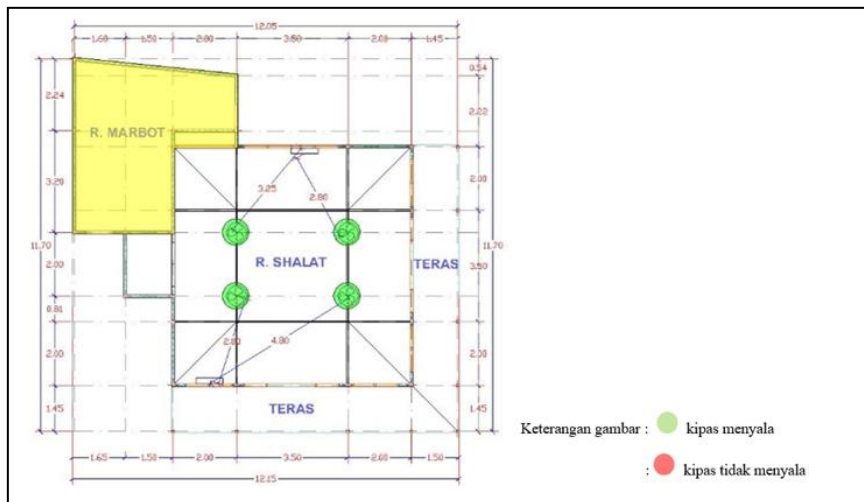
Melakukan optimasi rekayasa penghawaan buatan dengan melakukan pengukuran suhu ruangan dengan menggunakan alat-alat seperti Hot wire anemometer Anemometer dan intellegent meter yang digunakan untuk mengukur kecepatan udara dan suhu ruangan serta melakukan beberapa simulasi CFIAC dalam rentang waktu 30 menit yang mana akan dilakukan 3 (tiga) kali pengukuran suhu dalam rentang waktu per 10 (sepuluh) menit pengukuran dilakukan pada saat bangunan sedang kosong (belum ada aktivitas/ punya rentang waktu yang panjang dari aktivitas yang terakhir dilakukan pada ruangan tersebut) lebih tepatnya pada jam 11:00-11:30 yang mana pada jam-jam ini suhu udara berada pada suhu yang tinggi dan punya rentang waktu yang panjang dari aktivitas yang terakhir dilakukan pada ruangan tersebut. Beberapa simulasi konfigurasi yang dilakukan adalah simulasi percobaan 1 dengan konfigurasi I, II, III, dan IV dengan kecepatan angin rata-rata 0,3 m/s dan percobaan 2 dengan konfigurasi I, II, dan III dengan kecepatan angin rata-rata 0,7 m/s.

1. Data Hasil Simulasi Metode 1 Konfigurasi I dengan Kecepatan Angin Rata-Rata 0,3 m/s:

Tabel 2. Rata-rata percobaan I metode konfigurasi I

Metode Konfigurasi	Temperatur	Data rata-rata percobaan I (Kecepatan Angin 0,3 m/s)						
		Suhu di luar (C)			Suhu di dalam (C)			
		I	2	I.I	I.2	I.3	I.4	I.5
I	Temperatur awal	33,87	32,70	31,67	31,47	31,43	32,03	32,83
	M1	35,23	32,83	31,83	31,83	31,83	32,53	32,10
	M2	35,30	33,67	32,13	32,07	32,27	32,67	31,83
	M3	33,17	32,93	31,97	31,83	32,20	32,47	31,40

Percobaan 1 dengan metode konfigurasi I dengan penggunaan 4 unit kipas angin yang menghembus kebawah dengan ketinggian kipas angin ± 3.00 m dari lantai dengan kecepatan udara yang di hembuskan di ruangan ± 0.3 m/s. Pada percobaan 1 metode konfigurasi I jarak kipas angin terdekat dari *air conditioner* ± 2.50 m dan ± 2.80 m dengan jarak kipas angin terjauh dari *air conditioner* sejauh ± 3.25 m dan ± 4.80 m yang dinyalakan selama 30 menit secara bersamaan yang dimulai pada pukul 11:00-11:30 WIB pada kondisi cuaca cerah dan ruangan yang sedang kosong. Berikut gambar denah konfigurasi I:



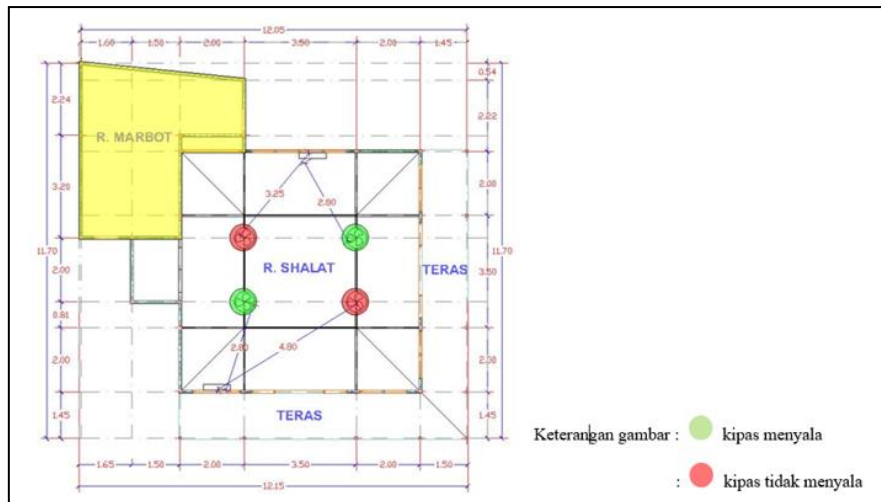
Gambar 3. Konfigurasi kipas angin I

2. Data Hasil Simulasi Metode 1 Konfigurasi II dengan Kecepatan Angin Rata-Rata 0,3 m/s. Berikut hasil rata-rata dari percobaan 1 dengan metode konfigurasi II:

Tabel 3. Rata-rata percobaan I metode konfigurasi II

Metode Konfigurasi	Temperatur	Data rata-rata percobaan I (Kecepatan Angin 0,3 m/s)						
		Suhu di luar (C)			Suhu di dalam (C)			
		I	2	I.I	I.2	I.3	I.4	I.5
II	Temperatur awal	31,30	30,77	29,43	29,27	29,13	30,17	31,83
	M1	32,97	31,53	29,70	29,60	29,20	30,23	30,27
	M2	33,30	32,10	30,03	29,93	29,60	30,57	29,93
	M3	32,40	32,13	30,90	29,80	29,60	30,53	30,00

Percobaan 1 dengan metode konfigurasi II dengan penggunaan 2 unit kipas angin jarak dekat dari AC yang menghembus kebawah dengan ketinggian kipas angin ± 3.00 m dari lantai dengan kecepatan udara yang di hembuskan di ruangan ± 0.3 m/s. Pada percobaan 1 metode konfigurasi II jarak kipas angin terdekat dari *air conditioner* ± 2.50 m dan ± 2.80 m dinyalakan selama 30 menit secara bersamaan yang dimulai pada pukul 11:00-11:30 WIB pada kondisi cuaca cerah dan ruangan yang sedang kosong. Berikut gambar denah konfigurasi II:



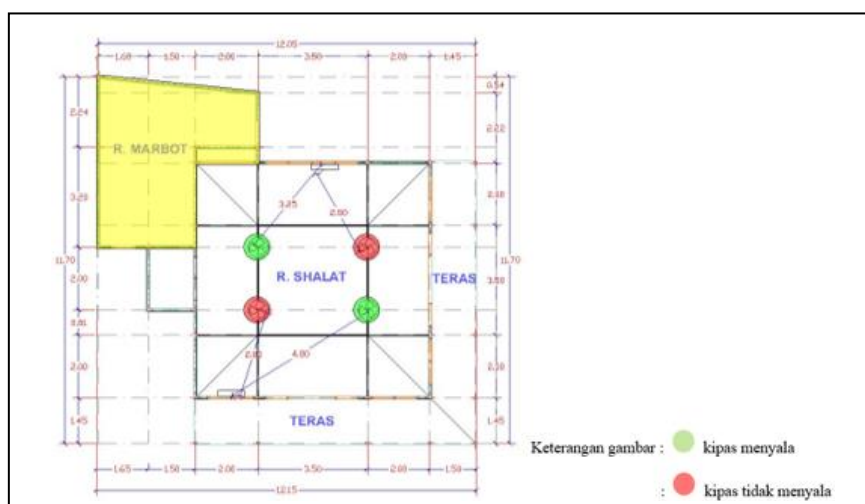
Gambar 4. Konfigurasi kipas angin II

3. Data Hasil Simulasi Metode 1 Konfigurasi III dengan Kecepatan Angin Rata-Rata 0,3 m/s. Berikut hasil rata-rata dari percobaan 1 dengan metode konfigurasi III:

Tabel 4. Rata-rata percobaan I metode konfigurasi III

Metode Konfigurasi	Temperatur	Data rata-rata percobaan I (Kecepatan Angin 0,3 m/s)						
		Suhu di luar (C)		Suhu di dalam (C)				
		I	2	I.1	I.2	I.3	I.4	I.5
III	Temperatur awal	31,23	30,93	29,37	29,33	29,17	29,97	30,23
	M1	31,30	31,73	29,83	29,70	29,53	30,20	29,77
	M2	31,80	31,60	29,90	29,90	29,73	30,60	29,43
	M3	32,07	31,57	30,10	30,07	29,90	30,70	29,47

Percobaan 1 dengan metode konfigurasi III dengan penggunaan 2 unit kipas angin jarak jauh dari AC yang menghembus kebawah dengan ketinggian kipas angin  $\pm 3.00$  m dari lantai dengan kecepatan udara yang di hembuskan di ruangan  $\pm 0.3$  m/s. Pada percobaan 1 metode konfigurasi III jarak kipas angin (jarak jauh) dari *air conditioner*  $\pm 3.25$  m dan  $\pm 4.80$  m dinyalakan selama 30 menit secara bersamaan yang dimulai pada pukul 11:00-11:30 WIB pada kondisi cuaca cerah dan ruangan yang sedang kosong. Berikut gambar denah konfigurasi III:



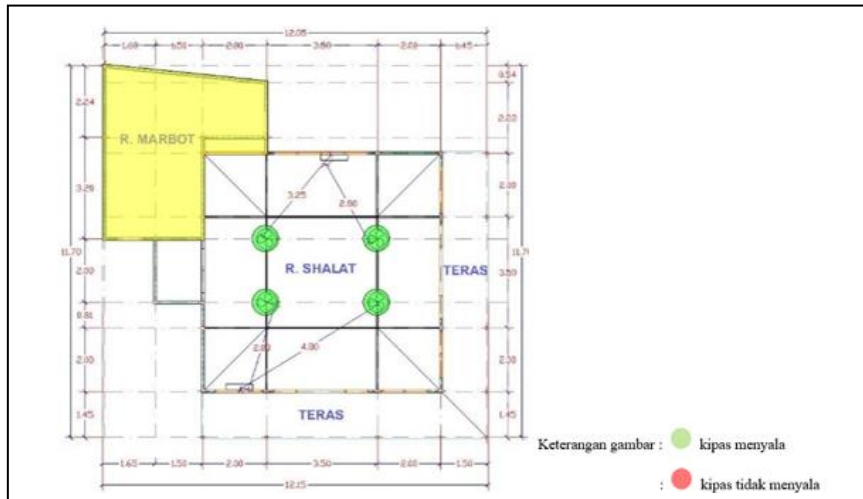
Gambar 5. Konfigurasi kipas angin III

4. Data Hasil Simulasi Metode 2 Konfigurasi I dengan Kecepatan Angin Rata-Rata 0,7 m/s. Berikut hasil rata-rata dari percobaan 2 dengan metode konfigurasi I:

Tabel 5. Rata-rata percobaan 2 metode konfigurasi I

Metode Konfigurasi	Temperatur	Data rata-rata percobaan 2 (Kecepatan Angin 0,7 m/s)						
		Suhu di luar (C)			Suhu di dalam (C)			
		I	2	I.I	I.2	I.3	I.4	I.5
I	Temperatur awal	33,27	32,10	30,57	30,57	30,20	31,17	32,20
	M1	33,30	32,40	31,07	31,00	30,67	31,63	31,47
	M2	33,80	33,20	31,30	31,27	31,03	31,77	31,27
	M3	32,77	32,57	31,23	31,20	31,93	31,83	30,97

Percobaan 2 dengan metode konfigurasi I dengan penggunaan 4 unit kipas angin yang menghembus ke bawah dengan ketinggian kipas angin  $\pm 3.00$  m dari lantai dengan kecepatan udara yang di hembuskan di ruangan  $\pm 0.7$  m/s. Pada percobaan 2 metode konfigurasi I jarak terdekat kipas angin dari *air conditioner*  $\pm 2.50$  m dan  $\pm 2.80$  m dan jarak terjauh kipas angin dari *air conditioner*  $\pm 3.25$  m dan  $\pm 4.80$  m dinyalakan selama 30 menit secara bersamaan yang dimulai pada pukul 11:00-11:30 WIB pada kondisi cuaca cerah dan ruangan yang sedang kosong. Berikut gambar denah konfigurasi I:



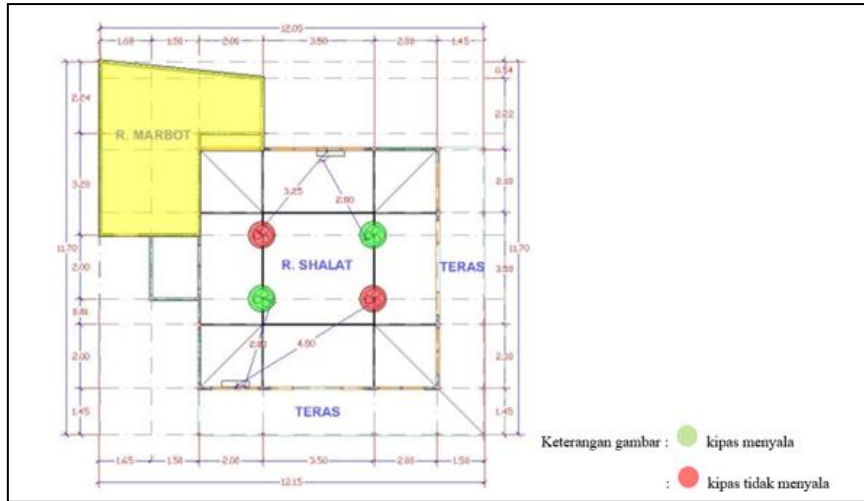
Gambar 6. Konfigurasi kipas angin I

5. Data Hasil Simulasi Metode 2 Konfigurasi II dengan Kecepatan Angin Rata-Rata 0,7 m/s. Berikut hasil rata-rata dari percobaan 2 dengan metode konfigurasi II:

Tabel 6. Rata-rata percobaan 2 metode konfigurasi II

Metode Konfigurasi	Temperatur	Data rata-rata percobaan 2 (Kecepatan Angin 0,7 m/s)						
		Suhu di luar (C)			Suhu di dalam (C)			
		I	2	I.I	I.2	I.3	I.4	I.5
I	Temperatur awal	30,97	30,67	28,97	28,87	28,63	29,90	31,37
	M1	32,07	31,43	29,27	29,23	28,83	29,97	29,83
	M2	31,70	31,93	29,67	29,57	29,17	30,17	29,63
	M3	32,57	32,20	29,60	29,47	29,27	30,13	29,50

Percobaan 2 dengan metode konfigurasi II dengan penggunaan 2 unit kipas angin (jarak dekat) yang menghembus kebawah dengan ketinggian kipas angin  $\pm 3.00$  m dari lantai dengan kecepatan udara yang di hembuskan di ruangan  $\pm 0.7$  m/s. Pada percobaan 2 metode konfigurasi II jarak kipas angin jarak dekat dari *air conditioner*  $\pm 2.50$  m dan  $\pm 2.80$  m dinyalakan selama 30 menit secara bersamaan yang dimulai pada pukul 11:00-11:30 WIB pada kondisi cuaca cerah dan ruangan yang sedang kosong. Berikut gambar denah konfigurasi II:



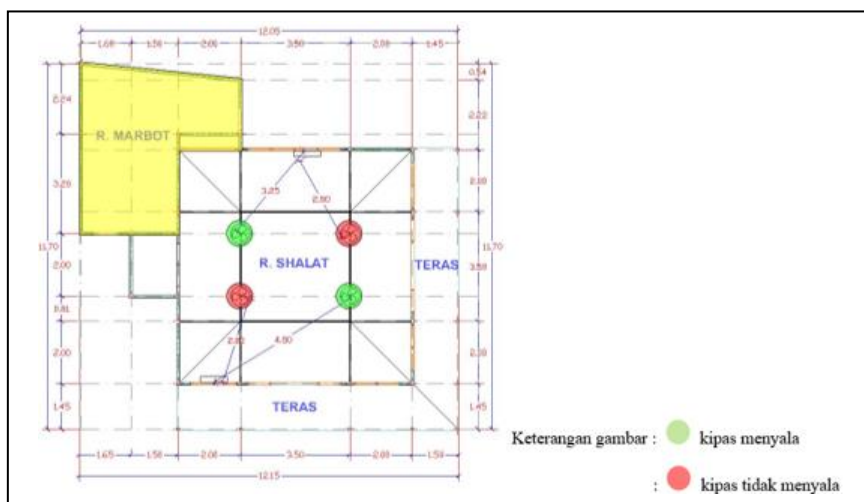
Gambar 7. Konfigurasi kipas angin II

6. Data Hasil Simulasi Metode 2 Konfigurasi III dengan Kecepatan Angin Rata-Rata 0,7 m/s. Berikut hasil rata-rata dari percobaan 2 dengan metode konfigurasi III:

Tabel 7. Rata-rata percobaan 2 metode konfigurasi III

Metode Konfigurasi	Temperatur	Data rata-rata percobaan 2 (Kecepatan Angin 0,7 m/s)						
		Suhu di luar (C)			Suhu di dalam (C)			
		I	2	I.I	I.2	I.3	I.4	I.5
I	Temperatur awal	31,47	31,47	29,83	29,63	29,27	30,47	30,50
	M1	31,70	32,37	30,20	30,07	29,70	30,73	30,40
	M2	32,50	32,43	30,33	30,23	29,97	31,03	30,17
	M3	32,97	32,40	30,53	30,50	31,00	31,27	30,17

Percobaan 2 dengan metode konfigurasi III dengan penggunaan 2 unit kipas angin (jarak jauh) yang menghembus kebawah dengan ketinggian kipas angin  $\pm 3.00$  m dari lantai dengan kecepatan udara yang di hembuskan di ruangan  $\pm 0.7$  m/s. Pada percobaan 2 metode konfigurasi III jarak kipas angin jarak jauh dari *air conditioner*  $\pm 3.25$  m dan  $\pm 4.80$  m dinyalakan selama 30 menit secara bersamaan yang dimulai pada pukul 11:00-11:30 WIB pada kondisi cuaca cerah dan ruangan yang sedang kosong. Berikut gambar denah konfigurasi III:

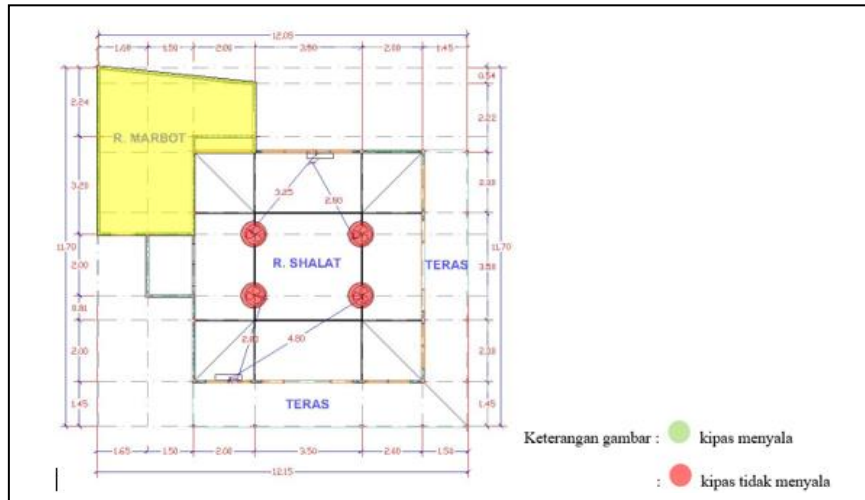


Gambar 8. Konfigurasi kipas angin III

7. Data Hasil Simulasi Metode 2 Konfigurasi IV Dengan Kecepatan Angin Rata-Rata 0,3 m/s. Percobaan 2 dengan metode konfigurasi IV ini tidak menggunakan kipas angin hanya menggunakan AC split 2 unit dengan pola distribusi udara *perfect mixing* pada pengaturan suhu

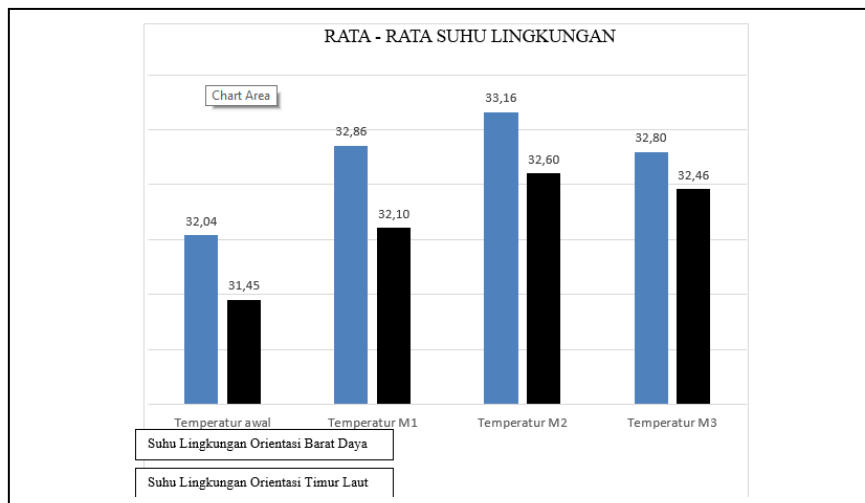


terendah 17 °C dengan total BTU sebesar 17512 pada ketinggian AC ± 2.50 m dari lantai dinyalakan selama 30 menit yang dimulai pada pukul 11:00-11:30 WIB dengan kondisi cuaca cerah dan ruangan yang kosong. berikut gambar denah konfigurasi IV:



Gambar 9. Konfigurasi kipas angin IV

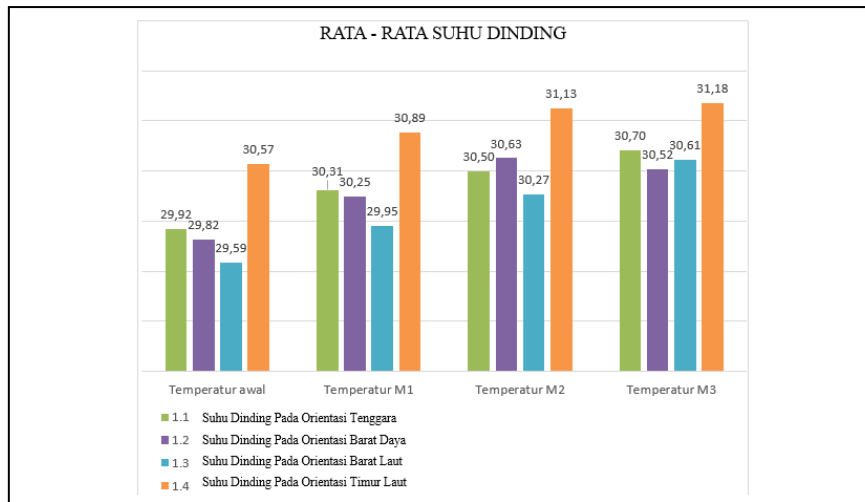
Keefektifan penggunaan metode pada masing-masing konfigurasi baik secara keefektifan dalam upaya penurunan suhu ruang pada masing-masing metode dan konfigurasi. Berikut grafik rata-rata suhu lingkungan selama simulasi dan pengukuran pada titik pengukuran 1 (barat daya) dan titik pengukuran 2 (timur laut).



Gambar 10. Rata-Rata Suhu Lingkungan

Bisa dilihat pada gambar 10 di atas terdapat perubahan suhu lingkungan selama simulasi dan pengambilan data dengan perubahan rata-rata pada titik ukur 1 sebanyak + 0,76 °C dari suhu semula 32,04 °C dan juga terjadi perubahan pada titik 2 sebanyak + 1,01 °C dari suhu semula 31,45 °C dengan total rata-rata perubahan suhu lingkungan selama simulasi + 0,88 °C yang artinya terjadi perubahan suhu lingkungan dengan rata-rata sebesar +0,29 °C setiap sepuluh menit pengukuran. Pada titik 2 suhu lingkungan lebih rendah jika dibandingkan dengan suhu lingkungan pada titik 2 hal ini dikarenakan pada titik ukur tersebut intensitas sinar cahaya matahari pada jam 11:00-11:30 WIB di titik pengukuran tersebut lebih sedikit karena terhalang oleh bangunan WC dan juga terdapat vegetasi di belakang site tersebut sehingga sinar panas matahari sudah tereduksi oleh vegetasi tersebut. Selain itu faktor pergerakan laju pergerakan suhu lingkungan tersebut juga di pengaruhi oleh bangunan sekitar sehingga pergerakan udara pada lokasi tersebut masih sangat minim.

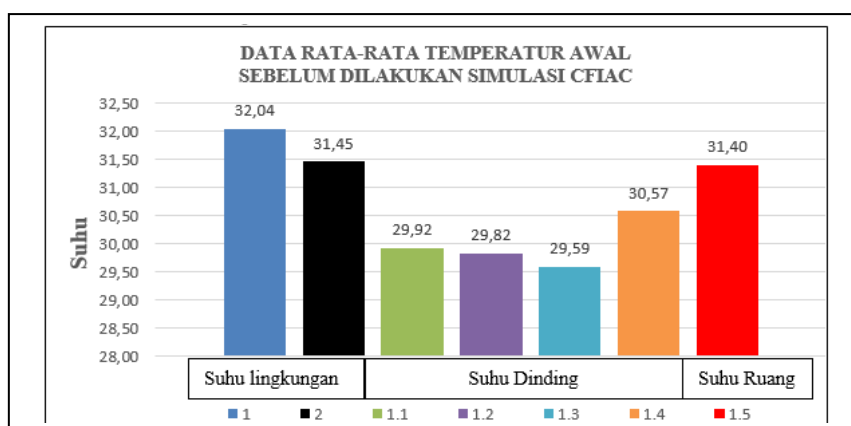
Berikut grafik suhu rata-rata pada dinding dengan material batako 7 cm dengan plester luar dalam dengan tebal plesteran 1,5 cm dengan cat bewarna putih agak mengkilap.



Gambar 11. Rata-rata suhu dinding pada saat simulasi

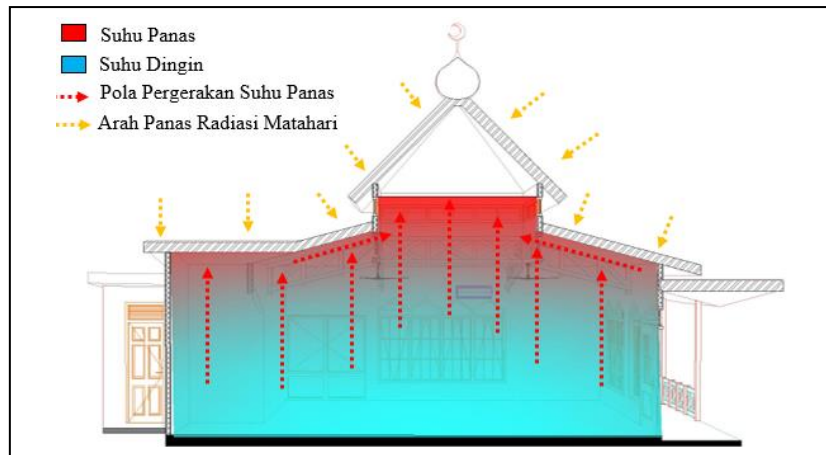
Bisa dilihat pada gambar 11 di atas terdapat perubahan suhu dinding pada titik-titik pengukuran suhu dinding. Pada titik 1.1 (tenggara) terjadi perubahan suhu sebanyak + 0,78 °C dari suhu awal, pada titik 1.2 (barat daya) terjadi perubahan suhu sebanyak + 0,70 °C dari suhu awal, pada titik 1.3 (barat laut) terjadi perubahan suhu sebanyak + 1,02 °C dari suhu awal dan pada titik 1.4 (timur laut) terjadi perubahan suhu sebanyak + 0,61 °C dari suhu awal dengan rata-rata perubahan total pada seluruh titik pengukuran suhu dinding selama simulasi adalah + 0,77 °C yang artinya terjadi perubahan suhu dinding dengan rata-rata sebesar + 0,26 °C setiap sepuluh menit pengukuran. Pada titik pengukuran 1.4 memiliki suhu yang paling tinggi jika dibandingkan dengan titik pengukuran yang lain hal ini terjadi akibat dari sinar matahari pada jam 11:00-11:30 lebih dominan diarah timur laut atau pada titik pengukuran 1.4 yang mana pada dinding titik pengukuran 1.4 tidak terdapat shading atau pembayangan sehingga radiasi panas matahari diserap langsung oleh dinding pada titik pengukuran 1.4 tersebut yang mana pada dinding titik pengukuran 1.4 tersebut terbuat dari material batako plester dengan cat warna putih yang memiliki nilai absorptansi sebesar 1,01 dengan orientasi dinding arah timur laut yang memiliki nilai Shading Coeficient (SF) sebesar 113 W/m<sup>2</sup> dan nilai OTTV pada dinding orientasi timur laut sebesar 88,33 W/m<sup>2</sup> yang mana nilai ini masih di atas standar SNI.

Berikut grafik rata-rata suhu ruang pada temperatur awal sebelum dilakukan simulasi CFIAC selama simulasi dan pengukuran yang dilakukan pada saat ruangan kosong dengan kondisi cuaca cerah yang dimulai pada jam 11:00-11:30 WIB.



Gambar 12. Rata-rata temperatur awal

Pada gambar 12 suhu ruangan (titik 1.5) hanya terdapat sedikit perbedaan suhu antara suhu lingkungan (titik 1 dan 2) dengan suhu ruang (titik 1.5) hanya berbeda 0,64 °C dari suhu lingkungan pada titik ukur 1 (orientasi barat daya) dan hanya beda 0,06 °C dari suhu titik 2 (orientasi timur laut) hal ini dikarenakan adanya perbedaan yang signifikan pada suhu di dalam ruangan dengan suhu lingkungan yang diakibatkan oleh radiasi matahari melalui elemen fasad pada bangunan seperti atap dan dinding. Berikut gambar analisa pola penyebaran radiasi panas matahari.

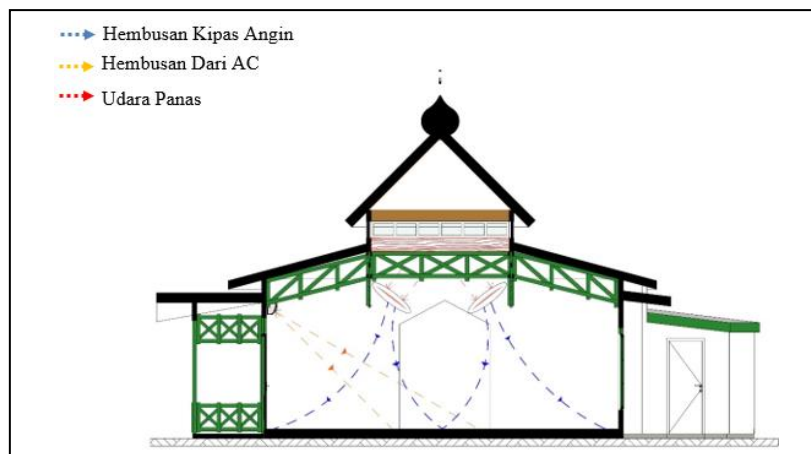


Gambar 13. Pola analisa penyebaran panas radiasi matahari

Pada gambar 13 merupakan gambaran analisa pola persebaran suhu ruangan setelah terjadinya pemanasan suhu ruangan akibat panas radiasi matahari yang masuk ke ruangan sehingga suhu udara menjadi panas menyesuaikan dengan suhu lingkungan hal ini juga menyebabkan suhu udara di dalam bangunan memiliki temperatur udara yang hampir sama dengan suhu lingkungan. akibat dari pemanasan suhu ruangan tersebut membuat pergerakan suhu panas bergerak ke atas ruangan dan terperangkap hal ini dikarenakan berat massa jenis suhu udara panas lebih ringan dibandingkan dengan suhu dingin dan karakteristik bentuk bangunan dan penggunaan material kaca pada bagian atas bangunan yang mana kaca ini merupakan material yang sangat berguna untuk perangkap panas pada ruangan tanpa sirkulasi udara keluar masuk ruangan.

#### Pola Pergerakan Angin Pada Sistem CFIAC

Pada analisa pola pergerakan angin pada sistem CFIAC ini berupa analisa mengenai pengaruh pola pergerakan angin dalam dalam pergerakan suhu ruangan dan distribusi udara dalam ruang dalam tertutup dengan sistem CFIAC. Berikut pola pergerakan angin dan distribusi angin yang dihasilkan oleh sistem CFIAC pada ruang dalam tertutup.

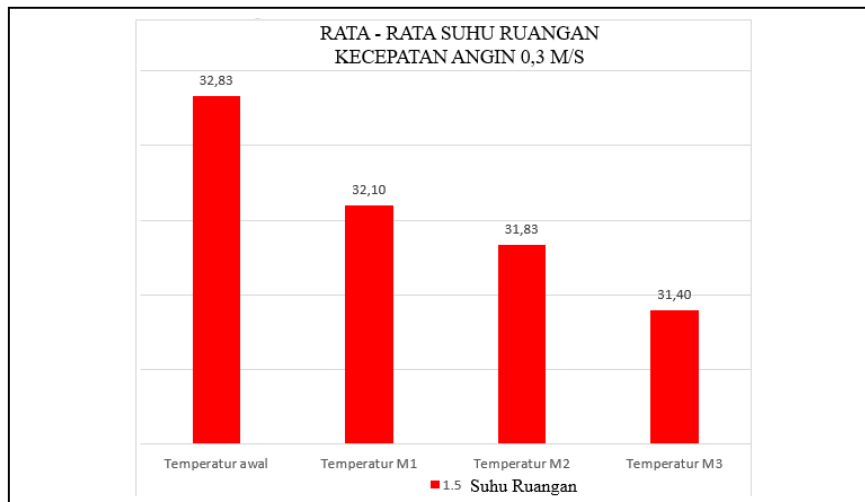


Gambar 14. Pola pergerakan kipas angin pada sistem CFIAC

Pada gambar 14 pola terlihat pergerakan yang dihasilkan oleh sistem CFIAC. Pada gambar tersebut kipas angin (*ceiling fan*) menghembuskan angin dari atas ke bawah dan akan mendistribusikan udara yang dihembuskan merata ke seluruh ruangan dan juga akan mencampurkan udara yang dihembuskan dari atas ke bawah tersebut dengan udara yang di hembuskan oleh AC yang disini kipas angin hanya berperan untuk mencampurkan udara sehingga merata keseluruh ruangan. terjadi perubahan suhu ruangan yang disebabkan pencampuran udara panas yang telah naik ke atas bangunan yang dihembuskan ke bawah kembali melalui kipas angin dan mencampurkan udara dingin yang diembuskan oleh AC. Kenaikan atau penurunan suhu ruang tersebut sangat dipengaruhi oleh volume udara yang didistribusikan oleh sistem CFIAC sehingga jika udara panas lebih dominan maka akan mempengaruhi kinerja laju penurunan suhu ruang dalam tertutup oleh AC.

### Pengaruh Penggunaan Sistem CFIAC Metode 1 Konfigurasi I terhadap Penurunan suhu Ruang

Grafik suhu rata-rata ruangan pada simulasi CFIAC metode 1 konfigurasi I dengan dengan penggunaan 4 unit kipas angin dengan 2 unit berjarak dekat dari AC pada jarak  $\pm 2.50$  m dan  $\pm 2.80$  m dan 2 unit jarak jauh dari AC pada jarak  $\pm 3.25$  dan  $\pm 4.80$  m dengans kecepatan udara rata-rata 0,3 m/s (speed 1 pada kipas ) di dalam ruangan tertutup yang dihembuskan oleh kipas angin (*celling fan*) dengan hembusan angin dari atas kebawah pada ketinggian  $\pm 3.00$  m dari lantai dan ketinggian AC  $\pm 2.50$  m dari lantai dengan pengaturan suhu AC terendah sebesar  $17^{\circ}\text{C}$  yang dilakukan selama 30 menit pada jam 11:00 – 11:30 WIB dengan keadaan ruang yang kosong.



Gambar 15. Suhu ruangan pada simulasi CFIAC metode I konfigurasi I

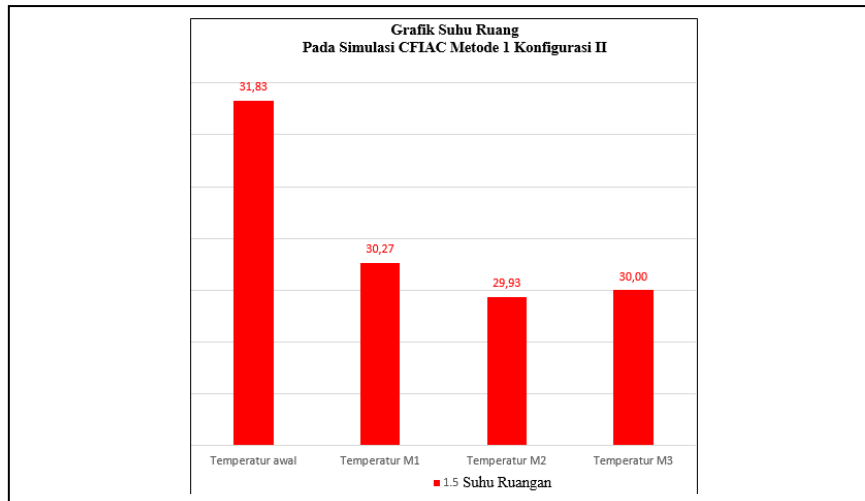
Bisa dilihat pada gambar 15 bahwa terdapat perubahan suhu ruangan dari temperatur awal sampai temperatur M3. Suhu ruangan terjadi perubahan setelah dilakukan simulasi CFIAC metode 1 konfigurasi I selama 30 menit, yang mana terjadi perubahan pada M1 sebesar  $-0,73^{\circ}\text{C}$  dari temperatur awal dengan suhu  $32,83^{\circ}\text{C}$  berubah ke suhu  $32,10^{\circ}\text{C}$  yang terus terjadi perubahan sebesar  $-0,27^{\circ}\text{C}$  pada 10 menit ke 2 (M2) dari suhu  $32,10^{\circ}\text{C}$  (M1) ke suhu  $31,83^{\circ}\text{C}$  dan terjadi perubahan lagi pada 10 menit ke 3 (M3) sebesar  $-0,43^{\circ}\text{C}$  dari suhu  $31,83^{\circ}\text{C}$  (M2) ke suhu  $31,40^{\circ}\text{C}$  (M3) dengan perubahan total sebesar  $-1,43^{\circ}\text{C}$  dari temperatur awal. Terjadi penurunan suhu yang besar pada 10 menit pertama (M1) jika dibandingkan dengan M2 dan M3 hal ini dikarenakan pada M1 udara panas ini belum terjadinya pencampuran yang merata dengan udara dingin yang didistribusikan oleh AC oleh karena itu penurunan pada M1 ini masih relatif besar jika dibandingkan dengan penurunan suhu pada M2 dan M3 namun penurunan suhu pada M1 ini juga berdampak pada M2 yang mana udara panas pada M1 ini sudah mengalami pencampuran dengan udara dingin oleh AC sehingga udara panas yang terperangkap di bagian atas bangunan terjadi penurunan suhu udara sehingga suhu udara yang sudah turun dari suhu awal tersebut juga akan mengalami penambahan massa jenisnya sehingga mengalami pergerakan dari posisi awal (di atas *celling fan*) bergerak ke posisi yang lebih rendah (jatuh) saat jatuhnya posisi suhu udara yang panas tersebut sudah berada di posisi yang setinggi dengan kipas angin (*celling fan*) maka akan dihembuskan kebawah oleh kipas angin (*celling fan*) sehingga terjadi pencampuran (*mixing*) dengan udara dingin yang dihembuskan oleh AC dan apabila udara panas masih dominan daripada udara dingin maka udara panas tersebut akan menguap ke atas lagi dan akan dihembuskan oleh kipas angin (*celling fan*) ke bawah lagi, proses (siklus) ini akan terus terjadi sampai udara dingin dan panas tercampur merata atau seimbang. Sehingga banyaknya penurunan suhu ruangan tersebut sangat berpengaruh pada volume udara panas yang sudah terkunci di ruangan tersebut dengan volume udara dingin yang didistribusikan oleh AC. Laju pemerataan suhu ruangan tersebut sangat berpengaruh pada laju angin yang dihembuskan oleh kipas angin (*celling fan*) dan jumlah distribusi udara yang dihasilkan.

### Pengaruh Penggunaan Sistem CFIAC Metode 1 Konfigurasi II Terhadap Suhu Ruang

Grafik suhu rata-rata ruangan pada simulasi CFIAC metode 1 konfigurasi II dengan 2 unit dekat dari AC pada jarak 2,50 m dan 2,80 m dari AC dengan kecepatan udara rata-rata 0,3 m/s (speed 1 pada kipas ) di dalam ruangan tertutup yang dihembuskan oleh kipas angin (*celling fan*) dengan hembusan

angin dari atas kebawah pada ketinggian  $\pm 3.00$  m dari lantai dan ketinggian AC  $\pm 2.50$  m dari lantai dengan pengaturan suhu AC terendah sebesar  $17^{\circ}\text{C}$  yang dilakukan selama 30 menit pada jam 11:00 – 11:30 WIB dengan keadaan ruang yang kosong.

Berikut data rata-rata suhu ruangan hasil simulasi CFIAC metode 1 konfigurasi II:

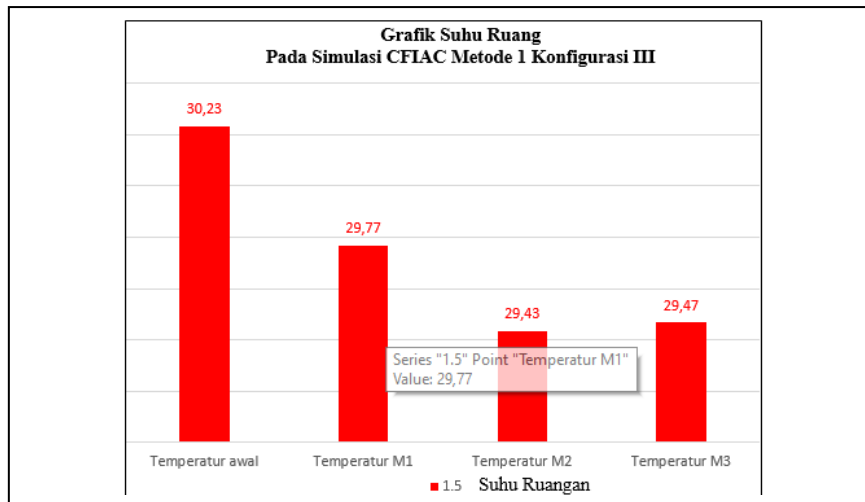


Gambar 16. Suhu ruangan pada simulasi CFIAC metode 1 konfigurasi II

Gambar 16 menunjukkan terdapat perubahan suhu ruangan dari temperatur awal sampai temperatur M3. Suhu ruangan terjadi perubahan setelah dilakukan simulasi CFIAC metode 1 konfigurasi II selama 30 menit, yang mana terjadi perubahan pada 10 menit pertama (M1) sebesar  $-1,56^{\circ}\text{C}$  dari temperatur awal  $31,83^{\circ}\text{C}$  ke suhu  $30,27^{\circ}\text{C}$  terus terjadi perubahan sebesar  $-0,34^{\circ}\text{C}$  pada 10 menit ke 2 (M2) dari M1 dengan suhu sebesar  $30,27^{\circ}\text{C}$  ke suhu  $29,93^{\circ}\text{C}$  dan terjadi lagi perubahan pada M3 sebesar  $+0,07^{\circ}\text{C}$  dari M2 dengan suhu M2  $29,93^{\circ}\text{C}$  ke suhu  $30,00^{\circ}\text{C}$  dengan perubahan total sebesar  $-1,83^{\circ}\text{C}$  dari temperatur awal. Terjadinya penurunan suhu yang signifikan pada 10 menit pertama (M1) dari suhu awal hal ini disebabkan karena jumlah udara yang dihembuskan oleh kipas angin dari atas ke bawah masih kalah dengan jumlah udara yang dihembuskan oleh AC sehingga pada menit ke 10 (M1) ini suhu dingin masih lebih dominan pada titik pengukuran. Pada menit ke 20 (M2) terjadi sedikit penurunan dari suhu M1 hal ini disebabkan jumlah distribusi udara yang dihembuskan oleh kipas angin (*celling fan*) sudah merata dengan jumlah distribusi udara oleh AC, yang mana sudah dijelaskan sebelumnya bahwa suhu udara yang panas itu massa jenisnya lebih ringan jika dibandingkan dengan massa jenis suhu udara dingin maka suhu udara yang sudah naik ke atas itu relatif lebih panas jika dibandingkan dengan suhu udara yang berada di posisi bawah. Pada menit ke 30 (M3) terjadi sedikit kenaikan suhu udara dari M2 hal ini disebabkan jumlah distribusi udara yang dihembuskan oleh kipas angin (*celling fan*) sudah lebih dominan dan sudah mengalami pencampuran yang merata dan suhu panas yang sudah naik ke atas ruangan mulai turun dan dihembuskan lagi oleh kipas angin. siklus ini terus terjadi hingga pencampuran suhu ruangan merata pada metode ini ada kemungkinan suhu udara akan mengalami kenaikan pada menit berikutnya namun suhu udara akan mengalami penurunan lagi setelah suhu ruangan tercampur merata.

### Pengaruh Penggunaan Sistem CFIAC Metode 1 Konfigurasi III terhadap Penurunan Suhu Ruang

Grafik suhu rata-rata ruangan pada simulasi CFIAC metode 1 konfigurasi III dengan 2 unit jauh dari AC pada jarak 3,25 m dan 4,80 m dari AC dengan kecepatan udara rata-rata  $0,3$  m/s (speed 1 pada kipas ) di dalam ruangan tertutup yang dihembuskan oleh kipas angin (*celling fan*) dengan hembusan angin dari atas kebawah pada ketinggian  $\pm 3.00$  m dari lantai dan ketinggian AC  $\pm 2.50$  m dari lantai dengan pengaturan suhu AC terendah sebesar  $17^{\circ}\text{C}$  yang dilakukan selama 30 menit pada jam 11:00 – 11:30 WIB dengan keadaan ruang yang kosong. Berikut data rata-rata suhu ruangan hasil simulasi CFIAC metode 1 konfigurasi III :

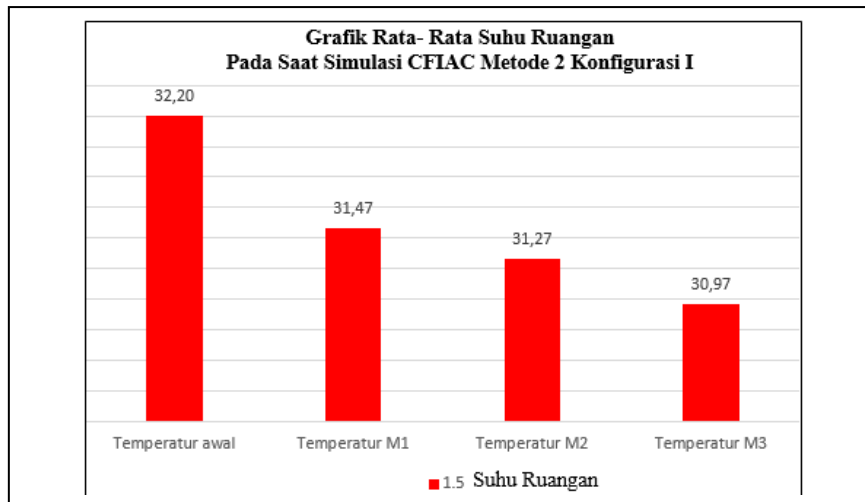


Gambar 17. Suhu ruangan pada simulasi CFIAC metode I konfigurasi III

Pada gambar 17 terlihat terdapat perubahan suhu ruangan dari temperatur awal sampai temperatur M3. Suhu ruangan terjadi perubahan setelah dilakukan simulasi CFIAC metode 1 konfigurasi III selama 30 menit, yang mana terjadi perubahan pada 10 menit pertama (M1) sebesar  $-0,46\text{ }^{\circ}\text{C}$  dari temperatur awal  $30,23\text{ }^{\circ}\text{C}$  ke suhu  $29,77\text{ }^{\circ}\text{C}$  terus terjadi perubahan sebesar  $-0,34\text{ }^{\circ}\text{C}$  pada 10 menit ke 2 (M2) dari M1 dengan suhu sebesar  $29,77\text{ }^{\circ}\text{C}$  ke suhu  $29,43\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan terjadi perubahan pada 10 menit ke 3 (M3) sebesar  $+0,07\text{ }^{\circ}\text{C}$  dari M2 dengan suhu sebesar  $29,43\text{ }^{\circ}\text{C}$  ke suhu  $29,47\text{ }^{\circ}\text{C}$  dengan perubahan total sebesar  $-0,76\text{ }^{\circ}\text{C}$  dari temperatur awal. Terjadinya penurunan suhu yang signifikan pada 10 menit pertama (M1) dari suhu awal hal ini disebabkan karena jumlah udara yang dihembuskan oleh kipas angin dari atas ke bawah masih kalah dengan jumlah udara yang dihembuskan oleh AC sehingga pada menit ke 10 (M1) ini suhu dingin masih lebih dominan pada titik pengukuran. Pada menit ke 20 (M2) terjadi sedikit penurunan dari suhu M1 hal ini disebabkan jumlah distribusi udara yang dihembuskan oleh kipas angin (*ceiling fan*) sudah merata dengan jumlah distribusi udara oleh AC, yang mana sudah dijelaskan sebelumnya bahwa suhu udara yang panas itu massa jenisnya lebih ringan jika dibandingkan dengan massa jenis suhu udara dingin maka suhu udara yang sudah naik ke atas itu relatif lebih panas jika dibandingkan dengan suhu udara yang berada di posisi bawah. Pada menit ke 30 (M3) terjadi sedikit kenaikan suhu udara dari M2 hal ini disebabkan jumlah distribusi udara yang dihembuskan oleh kipas angin (*ceiling fan*) sudah lebih dominan dan sudah mengalami percampuran yang merata dan suhu panas yang sudah naik ke atas ruangan mulai turun dan dihembuskan lagi oleh kipas angin. siklus ini terus terjadi hingga percampuran suhu ruangan merata pada metode ini ada kemungkinan suhu udara akan mengalami kenaikan pada menit berikutnya namun suhu udara akan mengalami penurunan lagi setelah suhu ruangan tercampur merata.

### Pengaruh Penggunaan Sistem CFIAC Metode 2 Konfigurasi I Terhadap Penurunan Suhu Ruang

Grafik suhu rata-rata ruangan pada simulasi CFIAC metode 2 konfigurasi I dengan 4 unit kipas angin dengan 2 unit pada jarak dekat dengan AC pada jarak 2,50 m dan 2,80 m dan 2 unit kipas angin jarak jauh dari AC pada jarak 3,25 m dan 4,80 m dari AC dengan kecepatan udara rata-rata  $0,7\text{ m/s}$  (speed 3 pada kipas) di dalam ruangan tertutup yang dihembuskan oleh kipas angin (*ceiling fan*) dengan hembusan angin dari atas kebawah pada ketinggian  $\pm 3,00\text{ m}$  dari lantai dan ketinggian AC  $\pm 2,50\text{ m}$  dari lantai dengan pengaturan suhu AC terendah sebesar  $17\text{ }^{\circ}\text{C}$  yang dilakukan selama 30 menit pada jam 11:00 – 11:30 WIB dengan keadaan ruang yang kosong.

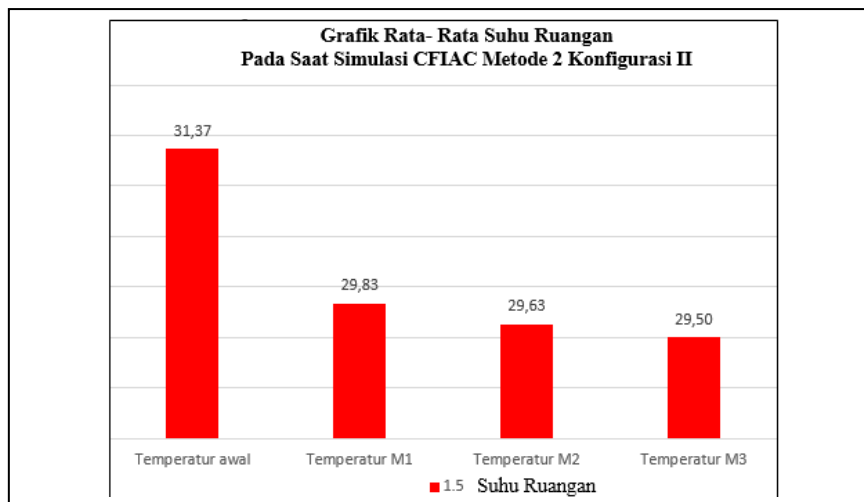


Gambar 18. Suhu ruangan pada simulasi CFIAC metode 2 konfigurasi I

Bisa dilihat pada gambar 18 di atas terdapat perubahan suhu ruangan dari temperatur awal sampai temperatur M3. Suhu ruangan terjadi perubahan setelah dilakukan simulasi CFIAC metode 2 konfigurasi I selama 30 menit, yang mana terjadi perubahan pada 10 menit pertama (M1) sebesar  $-0,73$  °C dari temperatur awal sebesar  $32,20$  °C ke suhu  $31,47$  °C terus terjadi perubahan sebesar  $-0,20$  °C pada menit ke 20 (M2) dari suhu  $31,47$  °C ke suhu  $31,27$  °C terjadi perubahan pada M3 sebesar  $-0,30$  °C dari M2 dari suhu  $31,27$  °C ke suhu  $30,97$  °C dengan perubahan total sebesar  $-1,23$  °C dari temperatur awal. Terjadi penurunan suhu yang besar pada 10 menit pertama (M1) jika dibandingkan dengan M2 dan M3 hal ini dikarenakan pada M1 udara panas ini belum terjadinya pencampuran yang merata dengan udara dingin yang didistribusikan oleh AC oleh karena itu penurunan pada M1 ini masih relatif besar jika dibandingkan dengan penurunan suhu pada M2 dan M3 namun penurunan suhu pada M1 ini juga berdampak pada M2 yang mana udara panas pada M1 ini sudah mengalami pencampuran dengan udara dingin oleh AC sehingga udara panas yang terperangkap di bagian atas bangunan terjadi penurunan suhu udara sehingga suhu udara yang sudah turun dari suhu awal tersebut juga akan mengalami penambahan massa jenisnya sehingga mengalami pergerakan dari posisi awal (di atas ceiling fan) bergerak ke posisi yang lebih rendah (jatuh) saat jatuhnya posisi suhu udara yang panas tersebut sudah berada di posisi yang setinggi dengan kipas angin (*ceiling fan*) maka akan dihembuskan kebawah oleh kipas angin (*ceiling fan*) sehingga terjadi pencampuran (*mixing*) dengan udara dingin yang dihembuskan oleh AC dan apabila udara panas masih dominan daripada udara dingin maka udara panas tersebut akan menguap ke atas lagi dan akan dihembuskan oleh kipas angin (*ceiling fan*) kebawah lagi, proses (siklus) ini akan terus terjadi sampai udara dingin dan panas tercampur merata atau seimbang. Sehingga banyaknya penurunan suhu ruangan tersebut sangat berpengaruh pada volume udara panas yang sudah terkunci di ruangan tersebut dengan volume udara dingin yang didistribusikan oleh AC. Laju pemerataan suhu ruangan tersebut sangat berpengaruh pada laju angin yang dihembuskan oleh kipas angin (*ceiling fan*) dan jumlah distribusi udara yang dihasilkan.

### Pengaruh Penggunaan Sistem CFIAC Metode 2 Konfigurasi II terhadap Suhu Ruang

Grafik suhu rata-rata ruangan pada simulasi CFIAC metode 2 konfigurasi II dengan 2 unit kipas angin pada jarak dekat dari AC dengan jarak  $2,50$  m dan  $2,80$  m dengan kecepatan udara rata-rata  $0,7$  m/s (speed 3 pada kipas) di dalam ruangan tertutup yang dihembuskan oleh kipas angin (*ceiling fan*) dengan hembusan angin dari atas kebawah pada ketinggian  $\pm 3,00$  m dari lantai dan ketinggian AC  $\pm 2,50$  m dari lantai dengan pengaturan suhu AC terendah sebesar  $17$  °C yang dilakukan selama 30 menit pada jam  $11:00 - 11:30$  WIB dengan keadaan ruang yang kosong.



Gambar 19. Suhu ruangan pada simulasi CFIAC metode 2 konfigurasi II

Terlihat di gambar 19 terdapat perubahan suhu ruangan dari temperatur awal sampai temperatur M3. Suhu ruangan terjadi perubahan setelah dilakukan simulasi CFIAC metode 2 konfigurasi II selama 30 menit, yang mana terjadi perubahan pada 10 menit pertama (M1) sebesar  $-1,54\text{ }^{\circ}\text{C}$  dari temperatur awal sebesar  $31,37\text{ }^{\circ}\text{C}$  ke suhu  $29,83\text{ }^{\circ}\text{C}$  terus terjadi perubahan sebesar  $-0,20\text{ }^{\circ}\text{C}$  pada menit ke 20 (M2) dari suhu  $29,83\text{ }^{\circ}\text{C}$  ke suhu  $29,63\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan terjadi perubahan pada menit ke 30 (M3) sebesar  $-0,13\text{ }^{\circ}\text{C}$  dari M2 dari suhu  $29,63\text{ }^{\circ}\text{C}$  ke suhu  $29,50\text{ }^{\circ}\text{C}$  dengan perubahan total sebesar  $-1,87\text{ }^{\circ}\text{C}$  dari temperatur awal dengan rata-rata perubahan selama 30 menit sebesar  $-0,63\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Terjadi penurunan suhu yang signifikan pada 10 menit pertama (M1) jika dibandingkan dengan M2 dan M3 hal ini dikarenakan pada M1 udara panas ini belum terjadinya pencampuran yang merata dengan udara dingin yang didistribusikan oleh AC oleh karena itu penurunan pada M1 ini masih relatif besar jika dibandingkan dengan penurunan suhu pada M2 dan M3 namun penurunan suhu pada M1 ini juga berdampak pada M2 yang mana udara panas pada M1 ini sudah mengalami pencampuran dengan udara dingin oleh AC sehingga udara panas yang terperangkap di bagian atas bangunan terjadi penurunan suhu udara penurunan tersebut juga akan tidak secara langsung membuat massa jenisnya menjadi lebih berat sehingga mengalami pergerakan dari posisi awal (di atas ceiling fan) bergerak ke posisi yang lebih rendah (jatuh) saat jatuhnya posisi suhu udara yang panas tersebut sudah berada di posisi yang setinggi dengan kipas angin (*ceiling fan*) maka akan dihembuskan kebawah oleh kipas angin (*ceiling fan*) sehingga terjadi pencampuran (*mixing*) dengan udara dingin yang dihembuskan oleh AC dan apabila udara panas masih dominan daripada udara dingin maka udara panas tersebut akan menguap ke atas lagi dan akan dihembuskan oleh kipas angin (*ceiling fan*) kebawah lagi, proses (*siklus*) ini akan terus terjadi sampai udara dingin dan panas tercampur merata atau seimbang. Pada saat suhu udara sudah seimbang maka penurunan suhu ruang akan berangsur-angsur turun hal ini disebabkan kipas angin hanya berfungsi sebagai pencampuran dan pemerataan suhu ruangan pada sistem CFIAC di ruang dalam tertutup. Sehingga banyaknya penurunan suhu ruangan tersebut sangat berpengaruh pada volume udara panas yang sudah terkunci di ruangan tersebut dengan volume udara dingin yang didistribusikan oleh AC. Laju pemerataan suhu ruangan tersebut sangat berpengaruh pada laju angin yang dihembuskan oleh kipas angin (*ceiling fan*) dan jumlah distribusi udara yang dihasilkan.

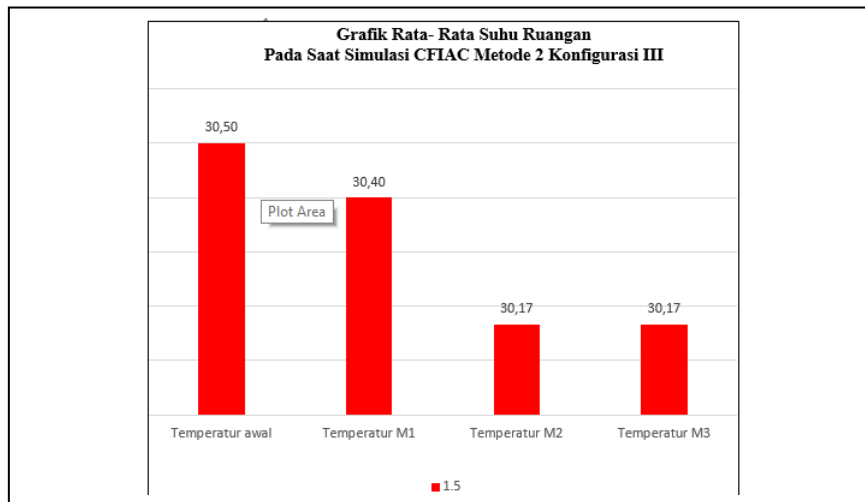
### Pengaruh Penggunaan Metode 2 Konfigurasi III terhadap Penurunan Suhu Ruang

Grafik suhu rata-rata ruangan pada simulasi CFIAC metode 2 konfigurasi III dengan 2 unit kipas angin pada jarak jauh dari AC pada jarak 3,25 m dan 4,80 m dengan kecepatan udara rata-rata  $0,7\text{ m/s}$  (*speed 3* pada kipas) di dalam ruangan tertutup yang dihembuskan oleh kipas angin (*ceiling fan*) dengan hembusan angin dari atas kebawah pada ketinggian  $\pm 3,00\text{ m}$  dari lantai dan ketinggian AC  $\pm 2,50\text{ m}$  dari lantai dengan pengaturan suhu AC terendah sebesar  $17\text{ }^{\circ}\text{C}$  yang dilakukan selama 30 menit pada jam 11:00 – 11:30 WIB dengan keadaan ruang yang kosong.

Bisa dilihat pada gambar 18 di atas terdapat perubahan suhu ruangan dari temperatur awal sampai temperatur M3. Suhu ruangan terjadi perubahan setelah dilakukan simulasi CFIAC metode 2 konfigurasi III selama 30 menit, yang mana terjadi perubahan pada 10 menit pertama (M1) sebesar -



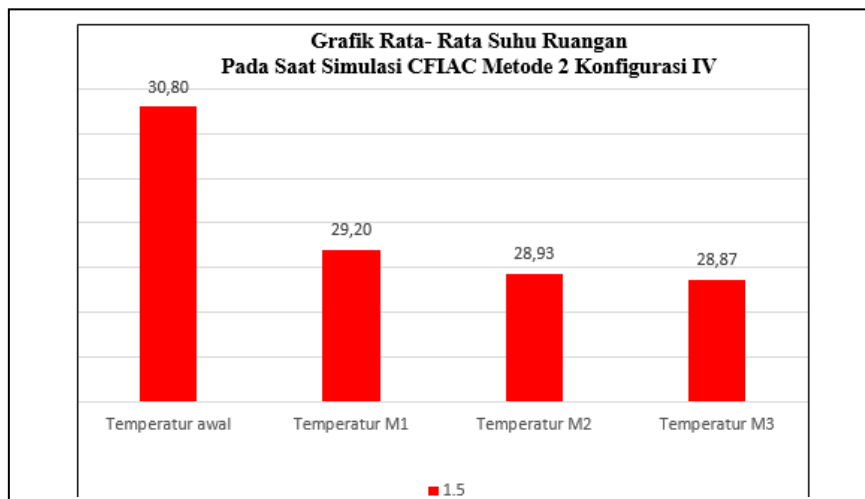
0,10 °C dari temperatur awal sebesar 30,50 °C ke suhu 30,40 °C terus terjadi perubahan sebesar - 0,17 °C pada menit ke 20 (M2) dari suhu 30,40 °C ke suhu 30,17 °C dan tidak terjadi perubahan pada menit ke 30 (M3) dengan perubahan total sebesar - 0,33 °C dari temperatur awal dengan rata-rata perubahan selama 30 menit sebesar -0,11 °C. terjadinya penurunan pada M1 1 yang kecil jika dibandingkan penurunan pada M2 hal ini dikarenakan kecepatan percampuran udara pada saat M1 sudah merata ke seluruh ruangan sehingga udara panas yang sudah naik ke atas ruangan mengalami kenaikan massa jenisnya dan bergerak keposisi yang lebih rendah sehingga terdorong oleh hembusan angin yang di hembuskan oleh kipas angin kebawah sehingga sehingga pada menit ke 30 (M3) tidak terjadinya perubahan suhu ruangan hal ini dikarenakan udara yang dihembuskan oleh kipas angin sudah mengalami percampuran yang merata.



Gambar 20. Suhu ruangan pada simulasi CFIAC metode 2 konfigurasi III

### Pengaruh Penggunaan Sistem CFIAC Metode 2 Konfigurasi IV terhadap Penurunan Suhu Ruang

Grafik suhu rata-rata ruangan pada simulasi CFIAC metode 2 konfigurasi IV tanpa kipas angin hanya menggunakan AC dengan kecepatan udara rata-rata 0,3 m/s di dalam ruangan tertutup yang dihembuskan oleh AC pada ketinggian AC ± 2.50 m dari lantai dengan pengaturan suhu AC terendah sebesar 17 °C yang dilakukan selama 30 menit pada jam 11:00 – 11:30 WIB dengan keadaan ruang yang kosong.



Gambar 21. Suhu ruangan pada simulasi CFIAC metode 2 konfigurasi IV

Gambar 21 menunjukkan terdapat perubahan suhu ruangan dari temperatur awal sampai temperatur M3. Suhu ruangan terjadi perubahan setelah dilakukan simulasi CFIAC metode 2 konfigurasi IV selama 30 menit, yang mana terjadi perubahan pada 10 menit pertama (M1) sebesar - 1,60 °C dari temperatur awal sebesar 30,80 °C ke suhu 29,20 °C terus terjadi perubahan sebesar - 0,27

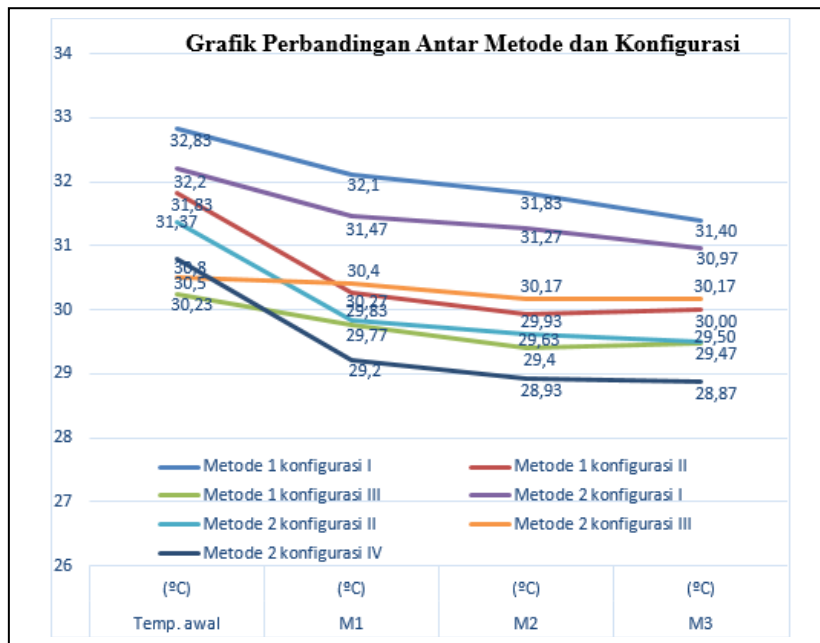
°C pada menit ke 20 (M2) dari suhu 29,20 °C ke suhu 28,93 °C dan terjadi perubahan pada menit ke 30 (M3) sebesar -0,06 °C dengan perubahan total sebesar - 1,93 °C dari temperatur awal dengan rata-rata perubahan selama 30 menit sebesar -0,64 °C. Terjadinya perubahan suhu ruangan yang signifikan pada sepuluh menit pertama (M1) jika dibandingkan dengan penurunan suhu pada M2 dan M3 hal ini dikarenakan udara dingin yang hembuskan oleh AC belum tercampur secara merata dengan suhu ruangan pada saat temperatur awal percampuran mulai merata pada saat M2 hal ini ditandai dengan berkurangnya laju penurunan suhu ruang jika dibandingkan dengan sebelumnya. Pada M3 suhu udara sudah hampir merata dan hampir mencapai suhu maksimal yang bisa diturunkan oleh AC.

**Perbandingan Efisiensi Penggunaan Sistem CFIAC terhadap Penurunan Suhu Ruang**

Berikut tabel perbandingan penggunaan sistem CFIAC pada masing-masing konfigurasi.

Tabel 8. Perbandingan penggunaan sistem CFIAC

Metode dan Konfigurasi	Temp. Awal (°C)	M1 (°C)	M2 (°C)	M3 (°C)	Perubahan Suhu (°C)
Metode 1 konfigurasi I	32,83	32,10	31,83	31,40	- 1,43
Metode 1 konfigurasi II	31,83	30,27	29,93	30,00	-1,83
Metode 1 konfigurasi III	30,23	29,77	29,40	29,47	-0,76
Metode 2 konfigurasi I	32,20	31,47	31,27	30,97	-1,23
Metode 2 konfigurasi II	31,37	29,83	29,63	29,50	-1,87
Metode 2 konfigurasi III	30,50	30,40	30,17	30,17	-0,33
Metode 2 konfigurasi IV	30,80	29,20	28,93	28,87	-1,93



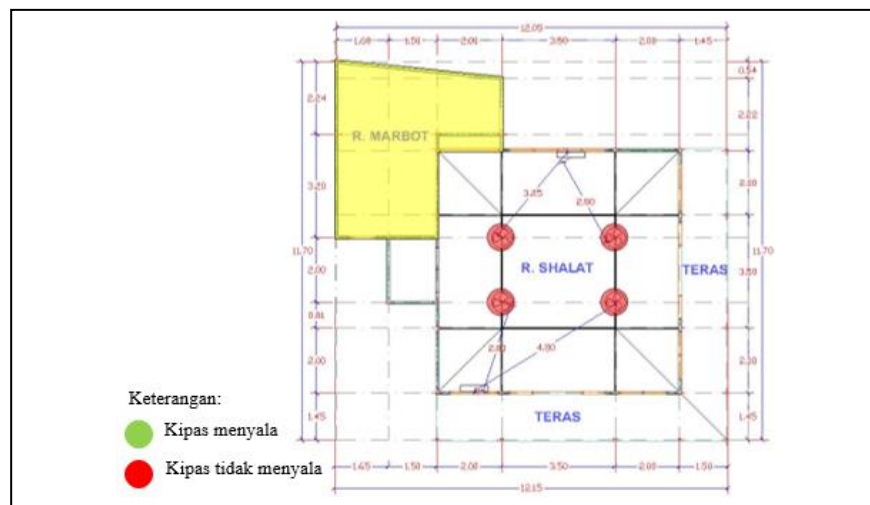
Gambar 22. Perbandingan tingkat efisiensi pada masing-masing konfigurasi

Pada tabel dan grafik perbandingan penggunaan sistem CFIAC di atas bisa dilihat masing-masing penurunan suhu ruang setelah simulasi penggunaan sistem CFIAC maka jika dibandingkan dengan tingkat kenyamanan termal menurut SNI 03-6572-2001 dengan temperatur awal rata-rata sebesar 31,40 °C (BSN, 2001) maka metode dan konfigurasi kipas angin belum bisa mencapai standar ruang dalam yang sehat menurut MENKES NO. 261/MENKES/SK/II/1998 yang berkisar antara 18°C - 26°C (Kesehatan, 1998) dalam waktu 30 menit penggunaan sistem CFIAC. Namun rata-rata sudah memenuhi SNI pada ambang batas dengan kategori hangat nyaman kecuali penggunaan metode 2 konfigurasi III. Jika diurutkan tingkat efisiensi penggunaan sistem CFIAC terhadap penurunan suhu ruang dari yang paling efisien adalah metode 2 konfigurasi IV, metode 2 konfigurasi II, metode 1 konfigurasi II, metode 1 konfigurasi I, metode 2 konfigurasi I, metode 1 konfigurasi III dan metode 2 konfigurasi III. Dilihat dari urutan yang paling efisien baik metode 1 maupun metode 2 hal ini dikarenakan percampuran dan pemerataan udara pada konfigurasi ini sangat baik.

## Simpulan

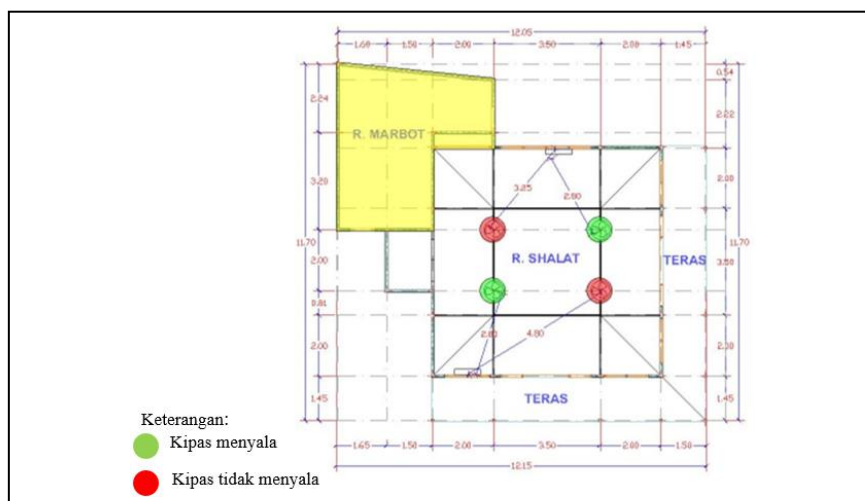
Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimen dengan pengamatan simulasi langsung di lapangan. pengamatan simulasi langsung di lapangan dilakukan untuk mengetahui pengaruh konfigurasi kipas angin dan kecepatan udara di dalam ruang dalam yang tertutup terhadap ke efektifan penggunaan sistem CFIAC terhadap penurunan suhu ruang dengan kondisi bangunan yang memiliki nilai OTTV sebesar 85,10 W/m<sup>2</sup> dan kekurangan jumlah BTU dari jumlah BTU yang ideal pada sebuah ruangan. Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa penggunaan sistem CFIAC yang paling efisien adalah sebagai berikut:

1. Penggunaan AC 2 unit tanpa kipas angin (*ceiling fan*) dengan AC tipe hembusan perfect mixing pada ketinggian  $\pm 3,00$  m dari lantai adalah yang paling efisien dari segi kecepatan penurunan suhu ruangan dengan penurunan suhu sebesar 1,93 °C selama 30 menit. Berikut gambar sistem CFIAC



Gambar 23. Gambar konfigurasi IV

2. Penggunaan konfigurasi 2 unit kipas angin (*ceiling fan*) jarak dekat dengan AC pada jarak  $\pm 2,50$  m dan  $\pm 2,80$  m dengan ketinggian AC  $\pm 3,00$  m dari lantai dengan dengan tipe hembusan perfect mixing adalah yang paling efisien dari segi penurunan suhu ruangan dan pemerataan distribusi udara keseluruh ruangan baik pada kecepatan udara rata-rata 0,7 m/s atau 0,3 m/s dengan penurunan suhu rata-rata sebesar 1,85 °C. Berikut gambar konfigurasi 2 unit kipas angin (*ceiling fan*) jarak dekat dengan AC



Gambar 24. Gambar konfigurasi II

## **Referensi**

- BSN. (2001, Agustus 8). Tata Cara Perancangan Sistem Ventilasi dan Pengkondisian Udara pada Bangunan Gedung. Jakarta Pusat, DKI, Indonesia: Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- Kesehatan, M. (1998, Februari 27). Keputusan Menteri Kesehatan No. 261/MENKES/SK/II/1998. Jakarta, DKI, Indonesia: Kemenkes RI.
- Kuniaki Mihara, Chandra Sekhar, Yuichi Takemasa, Bertrand Lasternas, Kwok Wai Tham. (2019). Thermal Comfort and Energy Performance of a Dedicate Outdoor Air System with Ceiling Fans in Hot and Humid Climate. *Energy and Buildings*, Volume 203.
- Seputra, J. A. (2018). Kajian Numerik Distribusi Udara pada Ruang Ber-Ac untuk Mencapai Tingkat Efisiensi energi yang Optimal. *ARTEKS*, Volume 3, Nomor 1, 45-56.
- Wenhua Chen, Hui Zhang, Edward Arens, Maohui Luo, Zi Wang, Ling Jin, Junjie Liu, Fred S. Bauman, Paul Raftery. (2020). Ceiling-Fan-Integrated Air Conditioning: airflow and temperature characteristics of a sidewall-supply jet interacting with a ceiling fan. *Energy and Building*, 171.