

Analisis Kinerja Sistem *Variable Refrigerant Flow* LG pada Saat *Peak Load Control*

Muhammad Irsan Nurwan Setiawan¹, Susilawati², Muhammad Akmal³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

¹E-mail : muhammad.irsan.tptu420@polban.ac.id

²E-mail : susilawati@polban.ac.id

³E-mail : muhammad.akmal@polban.ac.id

ABSTRAK

Sistem tata udara pada bangunan bertujuan untuk mengolah dan menghasilkan kualitas udara yang nyaman dan sehat bagi penghuninya. Dengan meningkatnya kesadaran akan efisiensi dan keberlanjutan energi, pengembangan teknologi pendingin udara yang canggih menjadi prioritas utama dalam sektor konstruksi dan manajemen gedung. Salah satu inovasi signifikan adalah sistem *Variable Refrigerant Flow* (VRF), yang dikenal karena kemampuannya mengontrol temperatur ruangan secara independen dan efektif, didukung oleh fitur *peak load control* pada sistem LG AC Smart 5. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh *peak load control* terhadap performa dan efisiensi energi sistem VRF LG Multi V5. Variasi *peak load control* yang digunakan adalah 100%, 80%, 60%, dan 50%, dengan variasi temperatur *setting* 16°C, 20°C, dan 24°C dilakukan setiap 60 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beban pendinginan rata-rata berbanding lurus dengan penurunan *peak load control*; semakin tinggi persentase *peak load control*, semakin tinggi pula beban pendinginannya. Selain itu, daya input cenderung menurun dengan penurunan *peak load control*. Nilai COP dan EER meningkat seiring dengan peningkatan persentase *peak load control*. Hal ini menunjukkan bahwa variasi *peak load control* dan temperatur *setting* secara signifikan mempengaruhi performa dan efisiensi sistem.

Kata Kunci

Variable Refrigerant Flow (VRF), Peak Load Control, LG Multi V5, pengendali sentral, AC Smart 5, COP, dan EER.

ABSTRACT

The air conditioning system in buildings aims to process and produce air quality that is comfortable and healthy for its occupants. With the increasing awareness of energy efficiency and sustainability, the development of advanced air cooling technology becomes a top priority in the construction and building management sector. One significant innovation is the *Variable Refrigerant Flow* (VRF) system, known for its ability to control room temperature independently and effectively, supported by the *peak load control* feature on the LG AC Smart 5 system. This research aims to analyze the influence of *peak load control* on the performance and energy efficiency of the LG Multi V5 VRF system. The variations of *peak load control* used are 100%, 80%, 60%, and 50%, with temperature setting variations of 16°C, 20°C, and 24°C performed every 60 minutes. The research results show that the average cooling load is directly proportional to the decrease in *peak load control*; the higher the percentage of *peak load control*, the higher the cooling load. In addition, the input power tends to decrease with the decrease in *peak load control*. The COP and EER values increase along with the increase in the percentage of *peak load control*, indicating that the variation of *peak load control* and temperature setting significantly affects the performance and efficiency of the system.

Keywords

Variable Refrigerant Flow (VRF), Peak Load Control, LG Multi V5, AC Smart 5, central controller, COP, and EER.

1. PENDAHULUAN

Sistem tata udara pada bangunan bertugas mengolah udara dan menghasilkan kualitas udara yang baik (nyaman dan sehat) bagi penghuninya. Selain untuk ditempati manusia dan dalam melakukan pekerjaannya, manusia menginginkan keadaan dalam ruangan dengan kondisi yang nyaman, sehingga aktivitas yang dilakukan dapat berjalan dengan maksimal (1).

Penghematan energi menggunakan sistem efisiensi energi tinggi penting untuk mengatasi perubahan iklim (2). Selama 200 tahun terakhir (1800-2000), terdapat peningkatan energi 35 kali lipat, peningkatan emisi karbon 20 kali lipat dan populasi dunia tumbuh 6 kali lipat (3).

Ada 2 tipe dasar sistem VRF yaitu *heat pump tipe VRF (HP-VRF)* dan *heat recovery tipe (HR-VRF)* (4). Efisiensi maksimum sistem VRF dapat dimaksimalkan dengan melakukan pengendalian beban puncak (*Peak Load Control*). Meningkatkan kapasitas konsumsi energi terbarukan, dan meningkatkan keandalan pasokan energi (5).

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Sistem Tata Udara

Sistem pengkondisi udara adalah metode yang digunakan untuk menciptakan lingkungan yang nyaman di dalam suatu ruangan. Ini dilakukan dengan mengendalikan temperatur, kelembaban, dan distribusi udara, sambil memastikan udara tetap bersih. Tujuannya adalah untuk mencapai temperatur dan kelembaban ruangan yang optimal.

2.2 Penggunaan Sistem Tata Udara

Dalam penggunaannya umumnya sistem tata udara dibagi menjadi tiga (6)

1. Sistem tata udara untuk kenyamanan
2. Sistem tata udara untuk industri.
3. Sistem tata udara khusus

2.3 Faktor yang mempengaruhi kenyamanan termal

1. Temperatur udara kering
Temperatur udara kering berpengaruh terhadap besar kecilnya jumlah kalor yang dilepas pada proses evaporasi (7). Pada daerah tropis, daerah kenyamanan termal dapat terbagi menjadi daerah sejuk nyaman dengan temperatur efektif berkisar

antara 20,5°C – 22,8°C, daerah nyaman optimal dengan temperatur efektif berkisar antara 22,8°C – 25,8°C, dan daerah hangat nyaman dengan temperatur efektif berkisar antara 25,8°C – 27,1°C (8).

2. Kelembaban udara relatif
Kelembaban udara relatif merupakan perbandingan jumlah uap air yang dikandung udara dibandingkan dengan jumlah kandungan uap air pada keadaan jenuh pada temperatur temperatur ruangan. Pada daerah tropis RH yang dianjurkan berkisar antara 40%-50%, namun untuk ruangan dengan jumlah padat RH masih diperbolehkan berkisar hingga 55%-60% (8).

3. Kecepatan udara
Berdasarkan standar yang ada di Indonesia, kecepatan udara ditunjukkan pada Tabel 1. (8).

Tabel 1. Kecepatan Udara Ruangan

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

4. Radiasi permukaan yang panas
Apabila dalam suatu ruangan yang sejuk namun terdapat dinding yang panas disekitarnya maka hal tersebut dapat berpengaruh terhadap temperatur ruangan yang sejuk, misalnya seperti sebuah ruangan kerja yang berdekatan dengan dapur yang memiliki temperatur yang lebih tinggi, tentu akan mempengaruhi temperatur ruangan kerja di dekatnya (9).

5. Aktivitas manusia
Aktivitas seseorang dalam ruangan dapat mempengaruhi kebutuhan pendinginan dalam suatu ruangan seperti halnya beban pendinginan pada pusat perbelanjaan tentu akan berbeda dengan beban pendinginan pada ruangan kantor karena aktivitas orang yang dilakukan pada ruangan tersebut berbeda.
Besarnya kalor total wanita dewasa nilainya 85% dari nilai kalor pria dewasa, untuk anak-anak nilainya 75% dari nilai kalor pria dewasa (8).

2.4 Jenis Sistem Tata Udara

Sistem udara terbagi menjadi dua jenis yaitu sistem pendingin langsung (*direct cooling*) dan sistem pendinginan tidak langsung (*indirect cooling*).

1. *Direct Cooling*

Dalam sistem ini udara didinginkan langsung oleh refrigerant yang disirkulasikan oleh kompresor.

2. *Indirect Cooling*

Pada sistem ini digunakan air dingin dengan temperatur sekitar 5°C yang diproduksi pada *chiller*, lalu mesin ini menggunakan refrigeran sebagai media pendingin airnya. Dalam pendistribusiannya biasanya menggunakan AHU (*Air Handling Unit*)/FCU (*Fan Coil Unit*). Sistem ini biasanya digunakan pada bangunan tinggi (10).

2.5 Massa Jenis Udara dan Cp Udara

Massa jenis udara dan Cp udara dalam tekanan 1atm ditunjukkan pada Tabel 2. (11).

Tabel 2. Massa Jenis Udara dan Cp Udara

Temp T, (°C)	Density ρ , kg/m ³	Specific Heat Cp, J/kg·K
10	1,246	1007
15	1,225	1007
20	1,204	1007
25	1,184	1007
30	1,164	1007

2.6 Kenyamanan Termal

Berdasarkan standar yang ditetapkan oleh SNI 03-6572-2001, tingkatan temperatur yang nyaman untuk orang Indonesia dibagi atas tiga bagian yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Kategori Kenyamanan Temperatur

Kategori	Temperatur Efektif (TE)	Kelembaban/ Realitve Humidity (RH)
Sejuk Nyaman	20,5°C - 22,8°C	50%
Ambang Batas	24°C	80%
Nyaman Optimal	22,5°C - 25,8°C	70%
Ambang Batas	28°C	
Hangat Nyaman	25,8°C - 27,1°C	60%
Ambang Batas	31°C	

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini akan dilakukan di tiga ruangan kelas yang berada di Gedung Laboratorium Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung. Dalam penelitian ini dibahas tentang analisis kinerja sistem AC *Variable Refrigerant Flow* LG Multi V5 yang terpasang di Gedung Laboratorium Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, saat fitur *peak load control* LG AC Smart 5 diaktifkan. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan *settingan peak load control* 100%, 80%, 60%, dan 50%. Penelitian ini dilakukan selama 60 menit untuk setiap variasinya. Penelitian ini juga

membuat variasi temperatur *setting* pada temperatur 16°C, 20°C, dan 24°C untuk mendapatkan perbandingan lain dari kinerja sistem saat *peak load control*. Kecepatan udara diatur dalam mode *high*.

Perlengkapan yang dibutuhkan untuk penelitian Analisis Kinerja VRF LG pada saat *peak load control* dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Perlengkapan dan Alat Ukur yang Digunakan dalam Penelitian

No	Nama	Jumlah
1	VRF LG Multi V5	1 Unit
2	LG Ceiling Concealed Duct Built-In	1 Unit
3	LG Ceiling Concealed Duct	1 Unit
4	LG Round Cassette	1 Unit
5	AC Smart 5	1 Unit
6	Tang Ampere	1 Set
7	Fan Anemometer	1 Buah

Daya listrik adalah tingkat konsumsi energi dalam sebuah sirkuit atau rangkaian listrik. Daya listrik menyatakan banyaknya energi listrik yang terpakai setiap detiknya (1). Daya input/daya aktif dapat dihitung menggunakan Persamaan (1).

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi \quad (1)$$

Keterangan:

P = Daya Aktif (kW)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

Cos ϕ = Faktor Daya

Laju aliran massa udara adalah ukuran jumlah massa udara yang mengalir melalui suatu titik atau permukaan dalam satuan waktu. Ini merupakan konsep penting dalam dinamika fluida dan termodinamika karena berkaitan dengan transfer energi dan materi dalam sistem tata udara (12). Laju aliran massa udara dapat dihitung menggunakan Persamaan (2).

$$\dot{m} = v \times A \times \rho \quad (2)$$

Keterangan:

\dot{m} = Laju aliran massa udara (kg/s)

v = Kecepatan udara (m/s)

A = Luas area diffuser (m²)

ρ = Massa jenis udara (kg/m³)

Beban Pendinginan atau kalor yang dihasilkan dari setiap ruangan bisa berasal dari beban penghuni, peralatan, infiltrasi, eksfiltrasi, radiasi, dan beban lainnya. Beban pendinginan biasa disebut juga sebagai kW cooling (13). Beban pendinginan pada suatu ruangan dapat dihitung menggunakan Persamaan (3).

$$Q = \dot{m} \times C_p \times \Delta T \quad (3)$$

Q = Beban Pendinginan/ Kalor (kW)

C_p = Specific Heat (J/kg·K)

ΔT = Perubahan Temperatur (°C)

COP atau *coefficient of performance* adalah perbandingan laju kalor bersih yang dilepaskan terhadap laju masukan energi total atau perbandingan antara kapasitas pendinginan yang dihasilkan dengan termal kompresor yang digunakan dalam satuan kW. Koefisien performansi dapat dihitung menggunakan Persamaan (4).

$$COP = \frac{kW \text{ Cooling}}{kW \text{ Input}} \quad (4)$$

Keterangan:

COP = *Coefficient of Performance*

kW Cooling (Q) = Beban Pendinginan/ Kalor (kW)

kW Input (P) = Daya Input/ Daya Aktif (kW)

EER adalah *Energy Efficiency Ratio* yaitu perbandingan antara kapasitas pendinginan yang dihasilkan dengan kebutuhan daya kompresor yang digunakan pada sistem pendinginan (12). Nilai rasio efisiensi energi dapat dihitung menggunakan Persamaan (5).

$$EER = COP \times 3.41 \quad (5)$$

Keterangan:

EER = *Energy Efficiency Ratio* (Btu/hW)

COP = *Coefficient of Performance*

Efisiensi daya input dapat dihitung dengan Persamaan (6). (14).

$$\eta = \frac{Q}{P \times \text{Operation Time}} \times 100\% \quad (6)$$

η = Efisiensi daya (%)

P = Daya Input (kW)

P rated = Daya Input berdasarkan spesifikasi sistem (kW)

Efisiensi daya input dapat dihitung dengan perbandingan daya input yang telah diberikan pada spesifikasi sistem yang ditunjukkan pada Persamaan (7). (15).

$$\eta = \frac{P}{P \text{ (rated)}} \times 100\% \quad (7)$$

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Performa dan efisiensi dari sistem *Variable Refrigerant Flow* LG Multi V5 dapat dianalisis dengan menggunakan data *Coefficient of*

Performance (COP) dan *Energy Efficiency Ratio* (EER). Baik COP maupun EER didapatkan melalui perhitungan persamaan. Dalam perhitungan COP dibutuhkan nilai dari beban pendinginan yang dihasilkan (kW) dan data daya input yang dibutuhkan (kW). Perhitungan COP didapatkan menggunakan persamaan (7) dengan hasil yang ditunjukkan pada Tabel 5 hingga Tabel 7.

Tabel 5. Nilai Koefisien Performansi Pendinginan Temperatur Setting 16°C

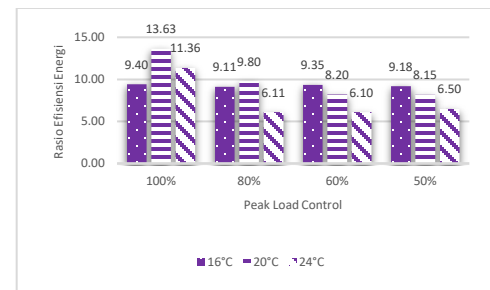
Menit ke	Temperatur Setting			
	16°C			
	Peak Load Control			
	100%	80%	60%	50%
15	2,70	2,78	1,63	0,99
30	2,25	2,92	2,78	2,70
45	2,82	2,41	2,82	3,25
60	2,75	2,32	2,89	2,82
Rata-rata	2,76	2,67	2,74	2,69

Tabel 6. Nilai Koefisien Performansi Pendinginan Temperatur Setting 20°C

Menit ke	Temperatur Setting			
	20°C			
	Peak Load Control			
	100%	80%	60%	50%
15	3,33	2,54	1,85	0,83
30	4,48	4,09	2,52	2,25
45	5,02	1,88	1,59	2,98
60	3,49	2,46	2,69	2,67
Rata-rata	4,00	2,87	2,41	2,39

Tabel 7. Nilai Koefisien Performansi Pendinginan Temperatur Setting 24°C

Menit ke	Temperatur Setting			
	24°C			
	Peak Load Control			
	100%	80%	60%	50%
15	2,93	2,72	1,16	3,14
30	3,10	1,84	1,47	1,85
45	3,03	1,66	1,47	1,70
60	2,87	1,09	2,19	0,79
Rata-rata	3,33	1,79	1,79	1,91



Gambar 1. Grafik Nilai Koefisien Performansi Pendinginan

Berdasarkan grafik hasil penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 1. Nilai COP pada

variasi temperatur *setting* 16°C cenderung stabil dikisaran 2,67 hingga 2,76. Nilai COP tertinggi didapatkan pada variasi *peak load control* 100% dengan temperatur *setting* 20°C yakni 4, sedangkan nilai COP terendah didapatkan variasi *peak load control* 60% dengan temperatur *setting* 24°C yakni 1,79.

Setelah nilai COP didapatkan maka nilai EER juga bisa didapatkan. Perhitungan EER didapatkan menggunakan persamaan (8) dengan hasil yang ditunjukkan pada Tabel 8 hingga Tabel 10.

Tabel 8. Nilai Rasio Efisiensi Energi Temperatur Setting 16°C

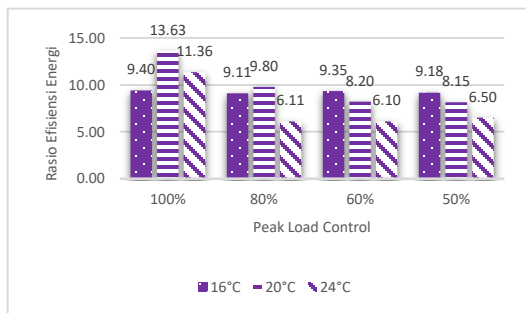
Menit ke	Temperatur Setting			
	16°C			
	Peak Load Control			
	100%	80%	60%	50%
15	9,22	9,48	5,56	3,36
30	7,67	9,95	9,49	9,22
45	9,62	8,21	9,61	11,08
60	9,38	7,91	9,86	9,61
Rata-rata	9,40	9,11	9,35	9,18

Tabel 9. Nilai Rasio Efisiensi Energi Temperatur Setting 20°C

Menit ke	Temperatur Setting			
	20°C			
	Peak Load Control			
	100%	80%	60%	50%
15	11,35	8,67	6,30	2,84
30	15,26	13,93	8,60	7,67
45	17,13	6,40	5,41	10,16
60	11,91	8,39	9,18	9,10
Rata-rata	13,63	9,80	8,20	8,15

Tabel 10. Nilai Rasio Efisiensi Energi Temperatur Setting 24°C

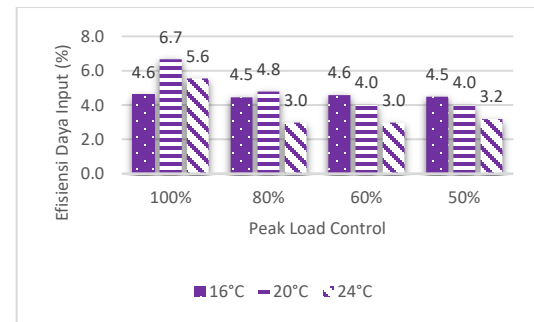
Menit ke	Temperatur Setting			
	24°C			
	Peak Load Control			
	100%	80%	60%	50%
15	9,98	9,27	3,94	10,71
30	10,58	6,27	5,01	6,31
45	10,33	5,65	5,02	5,80
60	9,80	3,71	7,45	2,70
Rata-rata	11,36	6,11	6,10	6,50



Gambar 2. Grafik Rasio Efisiensi Energi

Berdasarkan grafik hasil penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 2. Nilai COP pada variasi temperatur *setting* 16°C cenderung stabil dikisaran 2,67 hingga 2,76. Nilai COP tertinggi didapatkan pada variasi *peak load control* 100% dengan temperatur *setting* 20°C yakni 4, sedangkan nilai COP terendah didapatkan variasi *peak load control* 60% dengan temperatur *setting* 24°C yakni 1,79.

Setelah nilai COP didapatkan maka nilai EER juga bisa didapatkan maka dapat dihitung Rasio Efisiensi Energi.



Gambar 3. Grafik Rasio Efisiensi Daya Input

Berdasarkan grafik yang ditunjukkan pada Gambar 3. Efisiensi daya input paling tinggi didapatkan pada variasi *peak load control* 100% dengan temperatur *setting* 20°C yakni 6,7%, sedangkan untuk efisiensi daya input paling rendah didapatkan pada variasi *peak load control* 60% dengan temperatur *setting* 24°C yakni 3%. Dengan demikian, nilai daya input paling efisien ada pada variasi *peak load control* 100% dengan temperatur *setting* 20°C.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka penulis dapat mengambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

- Temperatur ruangan lebih rendah ketika *peak load control* diatur pada target 100%. *Peak load control* yang lebih rendah menghasilkan temperatur ruangan yang lebih tinggi. Dengan demikian, temperatur ruangan lebih cepat tercapai jika menggunakan *peak load control* 100%.
- Temperatur udara *supply* lebih tinggi ketika *peak load control* diatur lebih rendah.
- Peak load control* tidak mempengaruhi kecepatan *supply* udara, dengan nilai kecepatan stabil antara 2,31 m/s dan 2,65 m/s. Hal ini disebabkan kecepatan tidak diatur dalam mode

- auto.
- d. Laju aliran udara stabil antara 1,5 kg/s dan 1,98 kg/s di berbagai variasi *peak load control*.
 - e. Beban pendinginan rata-rata di setiap variasi berbanding lurus dengan penurunan variasi *peak load control*. Nilai rata-rata beban pendinginan tertinggi ada pada variasi *setting* temperatur 20°C.
 - f. Efisiensi daya input paling tinggi didapatkan pada variasi *peak load control* 100% dengan temperatur *setting* 20°C yakni 6,7%. Efisiensi daya input pada variasi *peak load control* 100% selalu lebih tinggi dibandingkan dengan variasi *peak load control* yang lebih rendah. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi *peak load control* maka daya input yang digunakan sistem dalam proses pendinginan semakin efisien.
 - g. COP dan EER tertinggi pada *peak load control* 100% dengan temperatur *setting* 20°C, dan terendah pada *peak load control* 60% dengan *setting* 24°C. COP dan EER paling stabil pada *setting* 16°C, menunjukkan bahwa baik *peak load control* maupun pengaturan temperatur mempengaruhi performa dan efisiensi sistem.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara yang telah memfasilitasi selama penelitian berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fatowil Aulia N, Winardi Y. Evaluasi Kinerja AC Sistem VRF (*Variable Refrigerant Flow*) Berkapasitas 20 PK pada Rumah Sakit X. *Jurnal Teknik Mesin*. 2023.
- [2] Rachman A, Yuana Dewi A, Effendi A, Nesti L. Evaluasi Kinerja Sistem Pendingin Kompresi Uap VRF Dengan Siklus Injeksi. *Jurnal Teknologi dan Vokasi*. 2023 Jan 25;1(1):86–92.
- [3] Nakićenović N. Special report on emissions scenarios: a special report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Internet]. 2000 [cited 2023 Dec 8]. Available from: https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/6101/1/emissions_scenarios.pdf
- [4] Lin X, Lee H, Hwang Y, Radermacher R, Oh S. Purdue e-Pubs Experimental Investigation of Multi-Functional *Variable Refrigerant Flow* System Experimental Investigation of Multi-Functional *Variable Refrigerant Flow* System [Internet]. 2014. Available from: <http://docs.lib.purdue.edu/iracc/1461>
- [5] Gadd H, Werner S. Daily heat load variations in Swedish district heating systems. *Appl Energy*. 2013; 106:47–55.
- [6] Dewadi FM, Lillahulhaq Z, Irwanto, Bhimadi T, Sari DK. Teknik Pendingin Dan Tata Udara [Internet]. 2023. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/370631014>
- [7] Badan Standarisasi Nasional. SNI 6390:2011 : Konservasi Energi Sistem Tata Udara Bangunan Gedung. 2011.
- [8] Badan Standarisasi Nasional. SNI 03-6572-2001 : Tata Cara Perancangan Sistem Ventilasi Dan Pengkondisian Udara Pada Bangunan Gedung. 2001;
- [9] Febriani F, Setyawan A, Simbolon LM, Najmudin H, Kunci K. Kaji Eksperimental Pengaruh Perubahan Tegangan Suplai terhadap Performansi Sistem AC Split. 2023.
- [10] Nugroho W. Analisis Sistem Air Conditioner (Ac) VRV IV Pada Gedung Admisi Universitas Muhammadiyah Yogyakarta Tugas Akhir. 2018.
- [11] S. A. Klein and F. L. Alvarado. TABLE A-15, Properties of Air at 1 atm pressure [Internet]. 2014 [cited 2024 May 17]. Available from: <https://cecs.wright.edu/~sthomas/htappendix02.pdf>
- [12] Syahri Romadhon C. Analisis Coefficient of Performance (COP) Dan *Energy Efficiency Ratio* (EER) Pada AC Split Inverter Kapasitas ½ PK Dengan Menggunakan Freon R-22 dan Freon R-32. 2023;7(1).
- [13] Fitriadi I. Analisis Kehilangan Energi Panas (Heat Loss) Pada. 2017.
- [14] Nuriyadi M, Jurnal R. Evaluasi Dan Optimasi Efisiensi Energi Sistem Chiller Dengan Proses Descaling. Vol. 12. 2019.
- [15] Qian M, Yan D, Liu H, Berardi U, Liu Y. Power consumption and energy efficiency of VRF system based on large scale monitoring virtual sensors. *Build Simul*. 2020 Oct 1;13(5):1145–56.