

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Pengkondisian Udara

Sistem pengkondisian udara (air conditioning) adalah sistem yang berfungsi mengatur kondisi udara di dalam ruangan agar tetap berada pada rentang yang nyaman dan sehat bagi penghuninya, melalui pengendalian empat parameter utama, yaitu suhu, kelembaban, sirkulasi udara, dan kualitas udara (Indonesian Public Health, 2025). Keempat parameter tersebut saling berkaitan dan secara bersama-sama menentukan tingkat kenyamanan termal (thermal comfort) suatu ruangan.

a. Suhu (Temperatur Udara)

Suhu udara merupakan parameter yang paling berpengaruh terhadap kenyamanan kerja, karena tubuh manusia secara terus-menerus menghasilkan panas metabolisme yang harus dilepaskan ke lingkungan sekitar agar suhu tubuh tetap stabil (Indonesian Public Health, 2025). Apabila suhu ruangan terlalu tinggi, pelepasan panas tubuh terhambat sehingga menimbulkan rasa tidak nyaman, penurunan konsentrasi, dan kelelahan (Ojs Unikom, 2025). Standar Nasional Indonesia SNI 03-6572-2001 tentang Tata Cara Perancangan Sistem Ventilasi dan Pengkondisian Udara pada Bangunan Gedung menetapkan rentang temperatur efektif nyaman sebesar 22,8°C–25,8°C (Jurnal Polban, 2023). Standar ini mengacu pada ASHRAE Standard 55 yang mendefinisikan kenyamanan termal sebagai kondisi pikiran yang mengekspresikan kepuasan terhadap lingkungan termal, dengan rentang suhu nyaman berkisar 23°C hingga 26°C (ASHRAE, 2024, Jurnal Polban, 2023).

b. Kelembaban Udara

Kelembaban relatif (relative humidity/RH) menyatakan perbandingan kandungan uap air di udara terhadap kondisi jenuhnya pada suhu tertentu. Kelembaban yang terlalu rendah meningkatkan laju evaporasi keringat dari tubuh sehingga ruangan terasa lebih dingin dari suhu sebenarnya, sedangkan kelembaban yang terlalu tinggi menghambat pelepasan panas tubuh melalui penguapan sehingga ruangan terasa pengap (Eprints UPJ, n.d.). SNI 03-6572-2001 menetapkan rentang kelembaban relatif nyaman sebesar 40%–50% (Jurnal Polban, 2023), sementara standar ASHRAE menetapkan rentang yang sedikit lebih lebar, yaitu 20%–70% pada zona kenyamanan 55%–74% (ASHRAE, 1981, dalam Indonesian Public Health, 2025).

c. Sirkulasi Udara

Sirkulasi udara merupakan proses pergerakan dan penggantian udara di dalam ruangan, baik secara alami maupun mekanis, yang berfungsi menjaga distribusi suhu tetap merata serta membawa keluar panas berlebih, bau, debu, dan gas hasil pernapasan maupun pembakaran. Pada sistem AC sentral, udara ruangan dihisap kembali (return air) untuk didinginkan ulang dan disirkulasikan bersama sebagian udara segar (fresh air), yang secara umum terdiri atas 85%–100% udara campuran (Indonesian Public Health, 2025). Kecepatan aliran udara yang direkomendasikan untuk kenyamanan berkisar antara 0,1–0,5 m/detik; kecepatan di luar rentang tersebut dapat menimbulkan sensasi tidak nyaman, baik berupa hembusan angin berlebih (draft) maupun udara yang terasa pengap (Prianto & Depecker, 2003, dalam Jurnal Sains Riset (JSR), 2024).

d. Kualitas Udara

Kualitas udara dalam ruangan (indoor air quality/IAQ) mencakup kebersihan udara dari partikulat, gas pencemar, serta laju ventilasi yang memadai untuk mengencerkan

(dilusi) konsentrasi CO₂ dan polutan lain hasil aktivitas penghuni. ASHRAE Standard 62.1 Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality menjadi salah satu pedoman utama dalam menentukan laju aliran udara ventilasi minimum, baik untuk ventilasi mekanik maupun alami, guna menjaga kualitas udara tetap layak dihirup (KC UMN, t.t.; Standarku, 2021). Kebutuhan ventilasi ini juga diatur pada SNI 6390:2020 tentang Konservasi Energi Sistem Tata Udara pada Bangunan Gedung, yang menetapkan tingkat kepadatan penghuni standar sebagai dasar perhitungan kebutuhan udara segar per ruangan (IAI Jatim, 2023).

2.2 Siklus Kompresi Uap

Sebagian besar sistem AC, baik tipe split maupun VRF, bekerja berdasarkan siklus kompresi uap (vapor compression cycle), yaitu siklus termodinamika yang memanfaatkan perubahan fase refrigeran (cair ↔ gas) untuk memindahkan kalor dari ruangan (bersuhu rendah) ke lingkungan luar (bersuhu lebih tinggi). Komponen utama siklus ini terdiri atas kompresor, kondensor, pipa kapiler/expansion valve, dan evaporator (Peneliti Politeknik Negeri Bali, 2022). Fungsi dan proses termodinamika tiap komponen dijelaskan sebagai berikut.

1. Kompresor menaikkan tekanan dan suhu refrigeran dari fase gas bertekanan rendah menjadi gas bertekanan tinggi melalui kerja mekanis (kerja input listrik); proses ini disebut kompresi isentropik.
2. Kondensor melepas kalor laten refrigeran ke lingkungan (udara luar), sehingga refrigeran berubah fase dari gas bertekanan tinggi menjadi cairan bertekanan tinggi.
3. Expansion valve/pipa kapiler menurunkan tekanan refrigeran cair secara mendadak (proses throttling), sehingga sebagian refrigeran menguap dan suhunya turun drastis.

4. Evaporator menyerap kalor dari udara ruangan, menyebabkan refrigeran menguap seluruhnya menjadi gas bertekanan rendah sebelum kembali dihisap oleh kompresor.

Penelitian termodinamik pada AC split menunjukkan bahwa kenaikan temperatur kondensasi sebesar 1°C dapat meningkatkan daya kompresor sekitar 2,1% serta menurunkan kapasitas pendinginan dan nilai COP/EER masing-masing sekitar 1,8% dan 3,9%, sedangkan kenaikan temperatur evaporasi sebesar 1°C dapat meningkatkan kapasitas pendinginan serta COP/EER sekitar 4,1%–4,4% Peneliti (Peneliti Politeknik Negeri Bali, 2022). Temuan ini menegaskan bahwa performa siklus kompresi uap sangat sensitif terhadap kondisi operasi kondensor dan evaporator, sehingga perawatan heat exchanger menjadi faktor penting dalam menjaga efisiensi AC.

2.3 Efisiensi Energi COP dan EER

Coefficient of Performance (COP) adalah parameter tak berdimensi yang menyatakan rasio antara kalor pendinginan (efek refrigerasi) yang dihasilkan evaporator terhadap kerja listrik yang dikonsumsi kompresor:

$$COP = Q_{\text{pendinginan}} \text{ (watt)} \div W_{\text{listrik}} \text{ (watt)}$$

dengan $Q_{\text{pendinginan}}$ adalah kapasitas pendinginan evaporator (watt) dan W_{listrik} adalah daya listrik input kompresor (watt). Sebagai ilustrasi, apabila sebuah unit AC memiliki kapasitas pendinginan 2.600 W dan mengonsumsi daya listrik 780 W, maka COP unit tersebut adalah $2.600 \div 780 \approx 3,33$; artinya, setiap 1 watt energi listrik yang dikonsumsi menghasilkan efek pendinginan setara 3,33 watt (National Elektronik, 2024).

Energy Efficiency Ratio (EER) merupakan besaran tidak berdimensi yang secara konsep serupa dengan COP, namun dinyatakan dalam satuan campuran (BTU/h terhadap watt), sehingga umum digunakan pada label energi produk AC (National Elektronik, 2024):

$$EER = \text{Kapasitas pendinginan (BTU/h)} \div \text{Daya listrik (W)}$$

Karena 1 watt $\approx$ 3,412 BTU/h, nilai EER secara numerik kurang lebih 3,412 kali nilai COP untuk unit AC yang sama. Sebagai contoh, unit AC dengan kapasitas 9.000 BTU/h dan daya 780 W memiliki $EER = 9.000 \div 780 \approx 11,54$ BTU/Wh. Semakin tinggi nilai COP maupun EER suatu unit AC, semakin efisien unit tersebut dalam mengonversi energi listrik menjadi efek pendinginan (Amir & Kusnandar, 2023). kriteria kinerja AC split di Indonesia umumnya mengklasifikasikan $EER > 13$ sebagai kategori efisien, dengan tren nilai EER produk AC split yang terus meningkat seiring perkembangan teknologi kompresor dan refrigerant (Biantoro & Permana, 2018)

2.4 Sistem AC pada Gedung

Pemilihan jenis sistem AC pada gedung bertingkat umumnya disesuaikan dengan luas area, jumlah zona pendinginan, dan kebutuhan pengendalian suhu per ruangan. Empat jenis sistem AC yang umum digunakan dijelaskan sebagai berikut.

a. Split AC sistem AC dengan unit indoor dan outdoor terpisah yang dihubungkan pipa refrigeran, umum digunakan untuk ruangan tunggal berskala kecil–menengah karena biaya investasi awal yang relatif rendah, meskipun efisiensinya per satuan kapasitas pendinginan (refrigeration ton) tergolong paling rendah dibanding sistem VRF maupun chiller (CKY HVAC Engineering, 2025)

b. VRF/VRV (Variable Refrigerant Flow) sistem AC dengan satu unit outdoor yang melayani banyak unit indoor, mampu memodulasi laju aliran refrigeran secara kontinu mengikuti beban tiap zona, sehingga unggul dalam efisiensi energi pada kondisi beban parsial (partial load) dan cocok untuk gedung bertingkat dengan kebutuhan kontrol suhu per ruangan yang independen (Mountain Mechanical NY, 2026).

c. AC Sentral (Chiller) sistem yang mendinginkan air atau fluida melalui unit chiller terpusat, kemudian mendistribusikannya ke seluruh gedung melalui pipa air dingin menuju unit AHU/FCU; cocok untuk gedung berskala besar meski memerlukan investasi awal dan ruang mekanikal yang lebih besar (CKY HVAC Engineering, 2025).

d. AHU (Air Handling Unit) & FCU (Fan Coil Unit) unit penukar kalor yang mendistribusikan udara dingin hasil olahan chiller ke ruangan-ruangan gedung; AHU umumnya melayani area yang lebih luas dengan saluran udara (ducting), sedangkan FCU melayani zona yang lebih kecil.

2.5 Faktor yang Memengaruhi Efisiensi Gedung

Efisiensi sistem AC pada level gedung tidak hanya ditentukan oleh spesifikasi teknis unit AC itu sendiri, melainkan juga oleh kondisi bangunan dan pola operasionalnya secara menyeluruh. Berikut dipaparkan enam faktor utama yang memengaruhi efisiensi tersebut beserta mekanisme pengaruhnya.

a. Kondisi Perpindahan Panas pada Heat Exchanger

Kondensor dan evaporator merupakan alat penukar kalor (heat exchanger) yang efisiensi kerjanya bergantung pada luas permukaan sirip (fin) yang bersih serta aliran udara yang lancar melintasinya. Penumpukan debu, kotoran, maupun kerak pada sirip kondensor menghambat pelepasan kalor ke lingkungan, sehingga tekanan dan temperatur kondensasi meningkat. Penelitian termodinamik pada AC split menunjukkan bahwa setiap kenaikan 1°C temperatur kondensasi meningkatkan daya kompresor sekitar 2,1% serta menurunkan kapasitas pendinginan, COP, dan EER masing-masing sekitar 1,8% dan 3,9% (Peneliti Politeknik Negeri Bali, 2022). Oleh karena itu, pembersihan berkala pada sirip kondensor dan evaporator menjadi salah

satu langkah pemeliharaan yang berpengaruh langsung terhadap efisiensi operasional AC.

b. Jenis Refrigeran

Refrigeran berperan sebagai fluida kerja yang menyerap dan melepas kalor sepanjang siklus kompresi uap, sehingga sifat termodinamikanya (tekanan kerja, kalor laten penguapan, dan volume spesifik) secara langsung memengaruhi nilai COP dan EER sistem. Refrigeran R-22, meskipun telah lama digunakan, memiliki potensi merusak ozon (ODP) yang menyebabkan penggunaannya mulai dibatasi secara bertahap, sedangkan R-32 dilaporkan memiliki rentang COP yang lebih baik, yaitu 3,27 hingga 5,95, dengan potensi pemanasan global (GWP) yang lebih rendah dibandingkan R-22 (Peneliti Politeknik Negeri Bali, 2022: Amir & Kusnandar, 2023). Perbedaan tekanan kerja antar-refrigeran juga memengaruhi desain kompresor dan pipa kapiler yang digunakan, sehingga pemilihan refrigeran perlu disesuaikan dengan spesifikasi komponen sistem.

c. Isolasi Termal Selubung Bangunan

Selubung bangunan (building envelope) meliputi dinding, atap, dan kaca jendela berfungsi sebagai penghalang perpindahan kalor antara lingkungan luar dan ruang dalam gedung. Selubung yang tidak terisolasi dengan baik, misalnya penggunaan kaca tanpa lapisan reflektif pada fasad yang menghadap matahari langsung, meningkatkan beban kalor masuk (heat gain) sehingga menambah beban kerja sistem pendinginan secara terus-menerus. SNI 6390:2020 tentang Konservasi Energi Sistem Tata Udara pada Bangunan Gedung mengatur persyaratan teknis terkait beban sistem, termasuk kebutuhan untuk memperhitungkan dan meninjau ulang beban kalor yang masuk melalui selubung bangunan secara cermat (IAI Jatim, 2023).

d. Distribusi Udara

Distribusi udara dingin dari unit AC ke seluruh ruangan bergantung pada tata letak diffuser, grille, dan saluran udara (ducting). Distribusi yang tidak merata menyebabkan sebagian area menerima udara dingin secara berlebihan sementara area lain kekurangan, sehingga penghuni cenderung menurunkan set-point suhu secara keseluruhan untuk mengompensasi area yang kurang dingin suatu praktik yang justru meningkatkan konsumsi energi tanpa meningkatkan kenyamanan secara merata. Kajian pada sistem AC sentral dan AC split duct menunjukkan bahwa desain ducting dan penempatan titik distribusi udara yang tepat berkontribusi terhadap pencapaian suhu ruangan sesuai target dengan konsumsi energi yang lebih rendah (Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, 2024)

e. Beban Internal

Beban internal (internal heat gain) berasal dari kalor yang dilepaskan oleh penghuni ruangan (melalui metabolisme tubuh), peralatan elektronik seperti komputer dan mesin fotokopi, serta sistem pencahayaan buatan. Semakin tinggi kepadatan penghuni dan jumlah peralatan elektronik yang menyala dalam suatu ruangan, semakin besar pula beban kalor yang harus diserap oleh sistem AC agar suhu ruangan tetap berada pada rentang nyaman (Indonesian Public Health, 2025). Faktor ini menjadi salah satu pertimbangan penting dalam perhitungan kapasitas pendinginan yang dibutuhkan suatu ruangan, sebagaimana diatur dalam standar kepadatan hunian pada ASHRAE Standard 62.1 (dalam Ifc Guide/SNI 03-6572-2001, t.t.).

f. Pola Operasi dan Perawatan

Jadwal operasional AC yang tidak disesuaikan dengan jam kerja atau tingkat hunian ruangan misalnya AC yang tetap menyala pada ruangan kosong atau di luar jam operasional gedung merupakan salah satu penyebab pemborosan energi yang

paling umum ditemukan pada audit energi gedung perkantoran. Hasil audit energi pada gedung perkantoran menunjukkan bahwa konsumsi AC dapat mencapai 50–60% dari total konsumsi listrik gedung, dengan potensi penghematan signifikan melalui perbaikan jadwal operasional dan perawatan berkala (Jurnal Penelitian dan Karya Ilmiah Lembaga Penelitian Universitas Trisakti, n.d.). Perawatan berkala, termasuk pembersihan filter dan pengecekan tekanan refrigeran, juga terbukti menjaga AC tetap beroperasi mendekati nilai COP/EER rancangannya (Biantoro & Permana, 2018).

2.6 Standar Efisiensi Energi dan Intensitas Konsumsi Energi (IKE)

COP dan EER menggambarkan efisiensi pada level unit AC tunggal, namun keduanya belum cukup untuk menilai efisiensi energi suatu gedung secara keseluruhan, karena satu gedung umumnya memiliki banyak unit AC dengan kapasitas, usia, dan pola pemakaian yang berbeda-beda. Untuk itu, evaluasi pada level gedung menggunakan indikator yang disebut Intensitas Konsumsi Energi (IKE), yaitu rasio antara total konsumsi energi listrik gedung dalam satu bulan terhadap luas area gedung yang dikondisikan (ber-AC):

$$IKE (kWh/m^2/bulan) = \text{Konsumsi energi listrik (kWh/bulan)} \div \text{Luas gedung ber-AC (m}^2\text{)}$$

Nilai IKE diperoleh dari data konsumsi listrik bulanan gedung, yang pada praktiknya dapat ditelusuri dari catatan rekening listrik (PLN) atau hasil pembacaan meter listrik (kWh meter) gedung setiap bulan. Karena bersifat rasio terhadap luas area, IKE memungkinkan perbandingan efisiensi energi antar gedung dengan ukuran berbeda, maupun perbandingan efisiensi periode-ke-periode atau skenario teknologi AC yang berbeda pada gedung yang sama (Purnami & dkk., n.d.). Semakin rendah nilai IKE suatu gedung, semakin sedikit energi listrik yang dikonsumsi untuk setiap

satuan luas area yang dikondisikan, yang mengindikasikan tingkat efisiensi yang

Standar/Acuan	Cakupan	Lingkup
SNI 6390:2011	Konservasi energi sistem tata udara pada bangunan gedung	Nasional (Indonesia)
Permen ESDM No. 13 Tahun 2012	Penghematan pemakaian tenaga listrik dan perhitungan IKE gedung	Nasional (Indonesia)
ASHRAE Standard 90.1	Energy standard for buildings except low-rise residential buildings, termasuk efisiensi minimum unit AC/VRF	Internasional
ASEAN–USAID (1992)	Acuan klasifikasi IKE listrik gedung (kWh/m ² /bulan)	Regional (ASEAN)

lebih baik.

Penilaian IKE tidak dilakukan secara sembarangan, melainkan mengacu pada standar dan regulasi resmi yang telah ditetapkan baik di tingkat nasional maupun internasional. Tabel 2.1 merangkum empat standar/acuan utama yang relevan dengan penelitian ini, mencakup cakupan pengaturan serta lingkup keberlakuannya.

Tabel 2.1 Standar dan acuan efisiensi energi sistem tata udara gedung

SNI 6390:2011 mengatur persyaratan teknis konservasi energi pada sistem tata udara gedung di Indonesia, termasuk batasan beban pendinginan dan efisiensi minimum peralatan (IAI Jatim, 2023). Permen ESDM No. 13 Tahun 2012 menjadi dasar hukum kewajiban penghematan energi listrik pada bangunan gedung pemerintah maupun komersial, termasuk metode perhitungan IKE sebagai indikator pemantauan (Peraturan Menteri ESDM, 2012). Pada tataran internasional, ASHRAE Standard 90.1 menjadi acuan luas yang mengatur batas efisiensi minimum peralatan HVAC,

termasuk unit AC dan VRF, dan kerap dijadikan pembanding bagi standar nasional negara lain (ASHRAE, 2024; VRF FAQ – Energy.gov). Sementara itu, klasifikasi ASEAN–USAID (1992) merupakan acuan praktis yang paling banyak digunakan pada studi audit energi gedung di Indonesia untuk mengategorikan tingkat efisiensi berdasarkan nilai IKE listrik (Purnami & dkk., n.d.; Kartini, 2017)

Berdasarkan acuan ASEAN–USAID (1992) tersebut, tingkat efisiensi IKE listrik gedung ber-AC penuh diklasifikasikan ke dalam enam kategori sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.2. Gedung dengan nilai IKE yang berada pada kategori “Boros” atau “Sangat Boros” umumnya menjadi prioritas untuk dilakukan audit energi rinci dan identifikasi peluang hemat energi (PHE), sebagaimana ditemukan pada berbagai studi kasus gedung perkantoran dan kampus di Indonesia (Jurnal Kitekro USK; Jurnal Cyclotron UMSurabaya).

Kriteria	IKE (kWh/m²/bulan)
Sangat Efisien	4,17 – 7,92
Efisien	7,93 – 12,08
Cukup Efisien	12,09 – 14,58
Agak Boros	14,59 – 19,17
Boros	19,18 – 23,75
Sangat Boros	23,76 – 37,50

Tabel 2.2 Kriteria klasifikasi IKE listrik gedung ber-AC penuh

Selain digunakan untuk klasifikasi tingkat efisiensi, data konsumsi listrik bulanan juga dapat dimanfaatkan sebagai dasar pembandingan langsung antar teknologi AC yang berbeda pada beban operasi yang setara. Tabel 2.3 menyajikan ilustrasi perbandingan tersebut, yaitu estimasi konsumsi energi bulanan antara sistem AC non-inverter (kontrol on–off) dan sistem AC inverter, dengan asumsi pola operasi

selama 8 jam per hari dan 26 hari kerja per bulan. Perbedaan konsumsi energi ini terjadi karena AC non-inverter bekerja pada kapasitas penuh setiap kali kompresor menyala lalu berhenti total ketika suhu tercapai (siklus on-off), sedangkan AC inverter memodulasi putaran kompresor secara kontinu mengikuti beban aktual ruangan sehingga menghindari lonjakan daya berulang (Biantoro & Permana, 2018). Angka pada tabel bersifat ilustratif, disusun dari kisaran nilai daya operasi yang dilaporkan pada penelitian sejenis.

Tabel 2.3 Ilustrasi perbandingan estimasi konsumsi listrik bulanan AC non-inverter vs inverter

Parameter	Non-inverter	Inverter
Jenis sistem AC	Non-inverter (on-off)	Inverter
Estimasi daya rata-rata operasi	$\approx 750 \text{ W}$	$\approx 570 \text{ W}$
Jam operasi	8 jam/hari	8 jam/hari
Hari operasi	26 hari/bulan	26 hari/bulan
Estimasi konsumsi energi/bulan	156,0 kWh	118,6 kWh
Estimasi penghematan energi	–	$\approx 24\%$ terhadap sistem non-inverter

Pendekatan perbandingan konsumsi listrik bulanan seperti pada Tabel 2.3 akan diterapkan pada Bab 3 dan Bab 4 dengan data teknis yang lebih lengkap, mengacu pada spesifikasi unit AC dari literatur serta katalog teknis produsen, sehingga hasil kajian dapat memberikan gambaran kuantitatif yang lebih menyeluruh mengenai potensi penghematan energi pada gedung bertingkat.

2.7 Penelitian Terdahulu

Untuk memposisikan penelitian ini di antara kajian-kajian sejenis, bagian ini memaparkan tinjauan naratif terhadap penelitian terdahulu yang dikelompokkan ke dalam tiga tema utama, yaitu (1) pengujian COP/EER pada level unit AC, (2) audit energi dan IKE pada level gedung, serta (3) komparasi teknologi AC (split, VRF, dan jenis refrigeran).

a. Pengujian COP dan EER pada Level Unit AC

Pada tema pertama, Amir dan Kusnandar (2023) melakukan pengujian eksperimental terhadap AC split inverter berkapasitas $\frac{1}{2}$ PK menggunakan refrigeran R-22 dan R-32 pada berbagai kecepatan putaran kipas evaporator, dan menemukan bahwa jenis refrigeran memengaruhi nilai COP dan EER secara signifikan. Sejalan dengan itu, kajian termodinamik oleh peneliti Politeknik Negeri Bali (2022) menggunakan program komputer menunjukkan bahwa refrigeran R-32 memiliki rentang COP yang sangat baik, yaitu 3,27 hingga 5,95, serta mengungkap sensitivitas performa sistem terhadap perubahan temperatur kondensasi dan evaporasi. Kedua penelitian ini memperkuat pemahaman bahwa performa COP/EER bukan hanya fungsi dari desain unit AC, tetapi juga sangat dipengaruhi kondisi operasi aktualnya.

b. Audit Energi dan IKE pada Level Gedung

Pada tema kedua, sejumlah penelitian audit energi gedung di Indonesia secara konsisten melaporkan bahwa AC merupakan kontributor terbesar konsumsi listrik gedung. Biantoro dan Permana (2018) mengaudit energi Gedung AB di Kabupaten Tangerang dan menemukan bahwa penggantian AC konvensional dengan unit berlabel hemat energi mampu meningkatkan nilai EER gedung secara keseluruhan. Kajian pada gedung perkantoran di Jakarta (Jurnal Penelitian dan Karya Ilmiah Lembaga Penelitian Universitas Trisakti, n.d.) melaporkan bahwa konsumsi AC dapat

mencapai 50–60% dari total konsumsi listrik gedung, sedangkan penelitian pada bangunan Yayasan Widya Dharma Pontianak (Kartini, 2017) serta beberapa kampus (Jurnal Cyclotron, Universitas Muhammadiyah Surabaya, n.d.) menggunakan nilai IKE sebagai indikator praktis untuk menentukan apakah suatu gedung memerlukan audit energi rinci lebih lanjut. Studi pada Fakultas Teknik Universitas Udayana (Jurnal Sosial dan Teknologi (SOSTECH), 2025) turut menunjukkan bahwa pemilihan AC berlabel hemat energi dan inverter merupakan salah satu langkah konservasi energi yang paling banyak direkomendasikan pada kerangka penilaian bangunan hijau seperti UI GreenMetric.

c. Komparasi Teknologi AC (Split, VRF, dan Refrigeran)

Pada tema ketiga, penelitian mengenai perbandingan sistem VRF dan split/mini-split menunjukkan hasil yang beragam bergantung pada skala dan kondisi iklim bangunan. (Hussien et al., 2024) membandingkan efisiensi energi Mini-Split dan VRF pada gedung perkantoran di iklim panas (Kota Aswan, Mesir) dan melaporkan bahwa VRF unggul dalam efisiensi pada kondisi beban parsial. Namun demikian, kajian ekonomi-teknis pada bangunan multi-keluarga (Arid Zone Journal of Engineering, Technology and Environment, 2019) serta laporan teknis mengenai VRF berskala besar (New York City Department of Housing Preservation and Development (NYC HPD), n.d.) justru menunjukkan bahwa VRF berkapasitas besar dapat memiliki efisiensi terukur yang lebih rendah dibandingkan sistem mini-split/multi-split berkapasitas kecil, terutama karena perbedaan metrik pengujian efisiensi antara kedua kelas peralatan tersebut. Hal ini mengindikasikan bahwa keunggulan efisiensi VRF terhadap split AC tidak bersifat mutlak, melainkan bergantung pada kapasitas sistem, profil beban gedung, dan kondisi iklim setempat sebuah nuansa yang perlu diperhitungkan dalam komparasi teknis pada penelitian ini.

Ringkasan penelitian terdahulu di atas, beserta temuan utamanya, dirangkum secara sistematis pada Tabel 2.4 untuk memudahkan pembacaan lintas tema.

Tabel 2.4 Rangkuman penelitian terdahulu

Peneliti (Tahun)	Fokus Penelitian	Temuan Utama
Amir & Kusnandar (2023)	COP dan EER AC split inverter ½ PK, refrigeran R-22 vs R-32	Jenis refrigeran memengaruhi nilai COP/EER secara signifikan
Biantoro & Permana (2018)	Audit energi gedung perkantoran	AC berlabel hemat energi meningkatkan EER gedung
Politeknik Negeri Bali (2022)	Kajian termodinamik AC split R- 32	COP R-32 berkisar 3,27–5,95, berpotensi sebagai refrigeran efisien
Jurnal ELTIKOM	Penghematan energi AC low- watt/inverter	Penghematan energi 11,62%–13,67% dibanding AC konvensional
Kartini (2017)	Audit energi dan IKE gedung	IKE menjadi indikator praktis tingkat efisiensi gedung
Trisakti (2024)	Audit energi AC gedung perkantoran Jakarta	Konsumsi AC mencapai 50–60%

		dari total listrik gedung
SOSTECH (2025)	Efisiensi sistem pendingin berbasis UI GreenMetric	AC berlabel hemat energi & inverter jadi rekomendasi utama konservasi energi
Hussien dkk. (2024)	Perbandingan efisiensi Mini-Split vs VRF pada iklim panas	VRF menunjukkan efisiensi energi lebih baik pada beban parsial
Arid Zone Journal (2019)	Analisis ekonomi-teknis VRF vs Mini-Split	VRF berbiaya lebih tinggi; mini-split lebih unggul dari sisi Net Present Value
NYC HPD (Laporan Teknis)	Perbandingan efisiensi VRF besar vs mini/multi-split	VRF berkapasitas besar cenderung memiliki efisiensi terukur lebih rendah

Secara keseluruhan, tinjauan pustaka pada Bab 2 ini menunjukkan bahwa efisiensi sistem AC pada gedung bertingkat merupakan persoalan multidimensi dipengaruhi oleh performa termodinamika unit AC (COP/EER), kondisi bangunan dan operasionalnya (IKE), maupun pilihan teknologi sistem secara keseluruhan (split, VRF, dan jenis refrigeran). Ketiga dimensi inilah yang akan dianalisis secara terintegrasi pada tahap penelitian selanjutnya sebagaimana dijelaskan pada Bab 3.

2.8 Pemeliharaan Preventif (Preventive Maintenance) Sistem AC Gedung

Pemeliharaan preventif adalah kegiatan perawatan yang dilakukan secara terjadwal sebelum unit AC mengalami penurunan kinerja atau kerusakan, berbeda dengan pemeliharaan korektif yang baru dilakukan setelah terjadi gangguan. Tujuan utamanya adalah menjaga nilai COP dan EER unit tetap mendekati kondisi rancangan (design condition), mencegah kegagalan operasional yang mengganggu kenyamanan penghuni gedung, serta memperpanjang umur teknis komponen utama seperti kompresor, kondensor, dan evaporator.

Sebagaimana disinggung pada sub-bab 2.5 poin f, pola operasi dan perawatan merupakan salah satu faktor yang memengaruhi efisiensi AC pada level gedung. Secara umum, jadwal pemeliharaan preventif sistem AC gedung bertingkat mengikuti pola berikut.

1. Harian: pengecekan visual kondisi unit indoor/outdoor, suara operasional, dan kebocoran air kondensasi pada unit-unit di area publik (Lobby, Gym, Function Room).
2. Mingguan hingga bulanan: pembersihan filter udara indoor unit serta pengecekan saluran drainase (drain pipe) agar tidak tersumbat.
3. Tiga bulanan: pembersihan sirip kondensor dan evaporator (coil cleaning) dari debu dan kotoran, sebagaimana jadwal yang berlaku pada objek penelitian dan menjadi dasar salah satu saran pada Bab 5.
4. Tahunan: pengecekan tekanan dan kemungkinan kebocoran refrigeran, pengecekan arus dan tegangan kompresor, pengencangan sambungan kelistrikan, serta kalibrasi ulang termostat/kontrol unit.

5. Pelaksanaan pemeliharaan preventif secara konsisten menjadi salah satu prasyarat agar hasil perhitungan COP, EER, dan IKE pada Bab 3 dan Bab 4 tetap relevan menggambarkan kondisi operasional aktual, mengingat penurunan performa akibat kotoran pada heat exchanger dapat menurunkan efisiensi tanpa mengubah spesifikasi nameplate unit.

2.9 Prosedur Penanganan Pemadaman Listrik PLN pada Gedung

Gedung bertingkat dengan beban AC yang besar umumnya dilengkapi sistem catu daya cadangan untuk mengantisipasi pemadaman listrik dari PT PLN (Persero), mengingat terhentinya suplai listrik secara tiba-tiba dapat mengganggu operasional AC, lift, serta sistem keselamatan gedung. Komponen utama yang lazim digunakan meliputi genset (generator set) sebagai sumber cadangan, panel ATS/AMF (Automatic Transfer Switch/Automatic Mains Failure) yang mengalihkan suplai secara otomatis, serta UPS (Uninterruptible Power Supply) untuk beban kritis yang tidak boleh terputus sama sekali, seperti sistem keselamatan kebakaran dan penerangan darurat.

Secara umum, rincian tindakan yang dilakukan pada saat terjadi pemadaman listrik PLN adalah sebagai berikut.

1. Deteksi kegagalan suplai PLN oleh panel AMF pada Main Distribution Panel (MDP) gedung.
2. Panel AMF secara otomatis menjalankan genset dan menunggu tegangan serta frekuensi genset stabil, umumnya dalam rentang waktu sekitar 10-15 detik.

3. Panel ATS mengalihkan (transfer) suplai beban dari jalur PLN ke jalur genset setelah genset siap menanggung beban.
4. Penerapan prioritas beban (load shedding): beban esensial seperti lift, penerangan darurat, dan pompa kebakaran diutamakan, sedangkan sebagian beban AC non-kritis dapat ditunda penyalanya agar tidak membebani kapasitas genset secara bersamaan.
5. Penyalan kembali (restart) unit AC dilakukan secara bertahap (staggered/sequential start) dengan jeda beberapa detik antarunit, untuk menghindari lonjakan arus start (inrush current) yang terjadi apabila seluruh kompresor menyala serentak.
6. Setelah suplai PLN pulih dan dinyatakan stabil, panel ATS mengalihkan kembali beban ke jalur PLN (retransfer), kemudian genset dijalankan dalam kondisi tanpa beban (cooling down) selama beberapa menit sebelum dimatikan.
7. Kejadian pemadaman dicatat dalam log operasional gedung sebagai bahan evaluasi jadwal pemeliharaan preventif genset dan panel kelistrikan pada sub-bab 2.8.

Prosedur di atas merupakan praktik umum kelistrikan gedung bertingkat dan belum diverifikasi terhadap SOP internal spesifik pengelola Apartemen Eastcoast Mansion Amor Tower, mengingat dokumen yang digunakan pada penelitian ini berfokus pada data nameplate dan konsumsi listrik AC (sub-bab 3.4 dan 3.5), bukan dokumen kelistrikan cadangan gedung. Verifikasi terhadap SOP aktual dapat menjadi salah satu arah penelitian lanjutan.