



Journal of Applied Mechanical Engineering and Green Technology

Journal homepage: <http://ojs.pnb.ac.id/index.php/JAMETECH>
p-ISSN: 2655-9145; e-ISSN: 2684-8201

Analisis perbandingan berbagai sistem AC komersial pada aplikasi gedung hotel

I Nyoman Suamir^{1*}, I Wayan Temaja¹ dan I Putu Eka Indra Yana¹

¹Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bali, Jl. Kampus Bukit Jimbaran, Kuta Selatan, Badung Bali, Indonesia

*Email: nyomansuamir@pnb.ac.id

Abstrak

Sistem AC adalah utilitas energi-signifikan terbesar dari bangunan hotel. Oleh karena itu, ada potensi luar biasa untuk meningkatkan efisiensi keseluruhan sistem AC di gedung hotel dengan melakukan optimasi baik dari aspek pemilihan sistem dan operasionalnya. Paper ini menyajikan evaluasi alternatif berbagai sistem AC yang dapat diterapkan untuk hotel bintang lima. Hotel ini merupakan resor dan vila dengan beban puncak pendinginan sebesar 2400 TR (ton of refrigeration). Aspek utama yang menjadi basis evaluasi dalam paper ini adalah kinerja energi sistem AC mencakup COP, konsumsi daya, dan konsumsi energi per tahun. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa sistem AC sentral dengan diversity factor yang relatif lebih baik memberikan fleksibilitas dalam menetapkan kapasitas sistem yang terpasang bisa lebih kecil dibandingkan dengan beban pendinginan puncak dari gedung hotel. Lebih spesifik ditemukan bahwa AC jenis water cooled chiller memiliki COP yang tinggi dibandingkan dengan sistem AC lainnya. Dikombinasikan dengan keunggulan kapasitas yang terpasang juga kecil, maka konsumsi energi tahunan untuk AC jenis water cooled chiller juga sangat unggul dengan penghematan energi lebih dari 50% dibandingkan dengan sistem AC jenis WCP dan VRV. Modular air cooled chiller juga ditemukan memiliki keunggulan kinerja energi setelah water cooled chiller. Hasil evaluasi ini dapat memberikan alternatif bagi pemilik hotel, konsultan dan kontraktor gedung dalam menetapkan sistem AC yang paling sesuai untuk diterapkan.

Kata kunci: analisis perbandingan, kinerja energi, sistem AC, gedung hotel

Abstract: Air conditioning systems are the largest energy-significant utility of hotel buildings. Therefore, there is tremendous potential to increase the overall efficiency of the air conditioning system in hotel buildings by optimizing both the system selection and operational aspects. This paper presents an evaluation of various AC systems that can be applied to five-star hotels. This hotel is a resort and villa with a peak cooling load of 2400 TR (tons of refrigeration). The main aspect that becomes the basis of evaluation in this paper is the energy performance of the AC system including COP, power consumption, and energy consumption per year. The evaluation results show that the central air conditioning system with a relatively better diversity factor provides flexibility in determining the installed system capacity which can be smaller than the peak cooling load of the hotel building. More specifically, it was found that the water cooled chiller type AC had a high COP compared to other AC systems. Combined with the advantage that the installed capacity is also small, the annual energy consumption for the water cooled chiller is also very superior with energy savings of more than 50% compared to WCP and VRV type AC systems. Modular water cooled chillers were also found to have superior energy performance just after the water cooled chiller system. The results of this evaluation can provide an alternative for hotel owners, consultants and building contractors in determining the most suitable AC system to be applied.

Keywords: comparison analysis, energy performance, AC system, hotel building

Penerbit @ P3M Politeknik Negeri Bali

1. Pendahuluan

Di Indonesia, sektor bangunan, termasuk bangunan hotel, menggunakan 50% energi secara umum atau 70% dari total konsumsi listrik. Hal ini membuat sektor tersebut menjadi pengguna energi terbesar bahkan melebihi sektor industri dan transportasi. Dari segi penggunaan energi, sistem pengkondisian udara pada bangunan mengkonsumsi 65% dari total penggunaan energi pada bangunan hotel [1].

Sektor perhotelan sendiri berkembang sangat pesat di Indonesia dan kunjungan wisatawan khususnya ke Bali terus meningkat.

Pengkondisian udara (AC) memegang peranan yang sangat penting untuk menjaga kenyamanan termal di dalam ruangan, terutama untuk iklim panas dan lembab. Energi yang dikonsumsi oleh pemanas, ventilasi dan pendingin udara di iklim tropis bisa melebihi 50% dari total konsumsi

energi bangunan [2,3], 47% di AS [4] dan 30-50% di Cina [5]. Sistem AC adalah utilitas energi-signifikan terbesar dari bangunan hotel. Oleh karena itu, ada potensi luar biasa untuk meningkatkan efisiensi keseluruhan sistem AC di gedung hotel.

Penggunaan listrik terbesar di gedung hotel adalah 70-80% untuk operasional chiller. Dimana chiller adalah sub-sistem utama dari sistem AC. Biaya operasional hotel dapat ditekan dengan mengoptimalkan penggunaan energi pada chiller. Manajemen sistem multi-chiller yang efisien bisa sangat menantang sebagai alternatif dalam mengoptimalkan penggunaan energinya [6]. Efisiensi energi keseluruhan dari sistem AC dengan multi-chiller dapat memiliki dampak besar dengan menggunakan konsep pengaturan urutan operasional chiller [7]. Metode operasional ini merupakan praktik yang baik dalam menggunakan multi-chiller dengan efisiensi terbaik dibandingkan dengan operasional chiller yang mengkonsumsi lebih banyak energi [8].

Kebutuhan energi untuk AC akan meningkat pesat di abad ke-21 [9]. Suhu luar ruangan yang lebih tinggi yang berdampak pada perubahan iklim memengaruhi energi pendinginan dalam hal suhu ruangan yang lebih tinggi dan persyaratan kenyamanan termal yang lebih ketat. Selain itu, dampak perubahan iklim terhadap AC diperkirakan akan menyebabkan kebutuhan energi melonjak hingga 72%. Konsumen terbesar energi terkait sistem AC datang dari negara berkembang. Peningkatan besar diperkirakan terjadi di Asia Selatan karena kebutuhan energi untuk sistem AC dapat meningkat sekitar 50% akibat perubahan iklim [10].

Untuk mengantisipasi perubahan tersebut, peningkatan efisiensi energi pada bangunan gedung hotel saat ini menjadi target utama kebijakan energi di tingkat regional, nasional dan internasional. Di antara utilitas bangunan, peningkatan penggunaan energi sistem pemanas, ventilasi, dan AC atau lebih dikenal dengan HVAC menjadi sangat signifikan [11]. Beberapa solusi telah diusulkan untuk mempromosikan konservasi energi seperti pengembangan sistem AC yang dilengkapi dengan sistem heat recovery untuk memanaskan air [12-16]; menjaga kinerja sistem melalui pemantauan ketat pada parameter kunci chiller termasuk temperatur approach evaporator dan kondensor [17]; dan mengoptimalkan distribusi sistem sirkulasi air dingin [18]. Hal ini dapat mendorong penerapan efisiensi energi yang lebih luas, untuk mendukung komitmen Pemerintah Indonesia dalam mengurangi emisi Gas Rumah Kaca (GRK) sebesar 26% pada tahun 2020 [19]. Hemat energi merupakan salah satu solusi cerdas untuk dapat diterapkan pada hotel. Oleh karena itu, tindakan dari sektor bangunan untuk memitigasi dan beradaptasi dengan perubahan iklim sejak dini mulai dari perencanaan dan pemilihan utilitas termasuk sistem AC yang signifikan energi menjadi sangat penting untuk mengurangi konsumsi energi bangunan dan emisi GRK [20].

Paper ini menyajikan evaluasi alternatif berbagai sistem AC yang dapat diterapkan untuk hotel bintang lima. Hotel ini merupakan resor dan vila dengan beban puncak pendinginan berdasarkan hasil perencanaan yang komprehensif sebesar 2400 TR (*ton of refrigeration*). Aspek utama yang menjadi basis evaluasi dalam paper ini adalah kinerja energi sistem mencakup COP, konsumsi daya, dan konsumsi energi per tahun. Beberapa aspek lain juga didiskusikan seperti: fleksibilitas operasional sistem AC, resiko terjadinya kerusakan, kemudahan perawatan serta

perbaikan dan umur ekonomis dari berbagai sistem AC yang dievaluasi.

2. Material dan Metode

2.1. Deskripsi Sistem AC Komersial

Sistem AC komersial yang dievaluasi dalam paper ini merupakan sistem AC yang umum dapat diterapkan pada bangunan hotel, khususnya hotel berbintang. Sistem AC tersebut mencakup 5 jenis sistem AC yaitu: water cooled chiller, air cooled chiller, modular air cooled chiller, water cooled package (WCP), dan variable refrigerant volume (VRV).

2.2. Metode

Metode utama yang diterapkan pada penelitian ini adalah metode studi literatur. Berbagai studi yang dilakukan antara lain: studi tentang kebutuhan dan karakteristik beban pendinginan pada berbagai gedung komersial lebih khususnya gedung hotel; studi tentang spesifikasi teknis yang mencakup kinerja energi, kapasitas pendinginan, konstruksi, instalasi, kebutuhan tata ruang dan umur ekonomis; studi tentang karakteristik operasional serta perawatan dan perbaikan berbagai jenis sistem AC komersial.

Hasil studi kemudian dievaluasi secara komprehensif dan dilakukan analisis komperasi antara karakteristik beban pendinginan gedung hotel dan karakteristik operasional dari sistem AC. Analisis komparasi antara berbagai jenis sistem AC juga dilakukan untuk mendapatkan skala prioritas sistem AC yang terbaik dan yang paling sesuai dengan kebutuhan gedung hotel terutama dari aspek kinerja energinya.

3. Hasil dan Diskusi

3.1. Karakteristik dan Operasional

3.1.1. Water cooled chiller

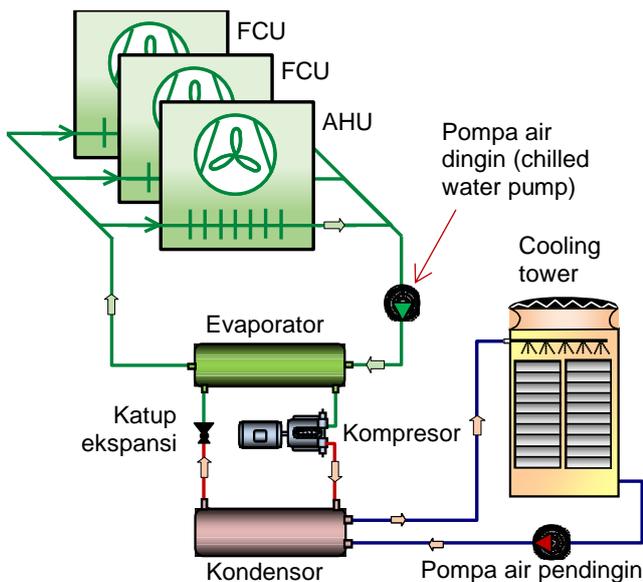
Sistem AC jenis water cooled chiller merupakan AC dengan sistem terpusat atau sentral dengan kondensor yang didinginkan oleh air melalui sistem cooling tower. Untuk studi kasus ini, jumlah unit chiller bisa mencapai 3 unit masing-masing dengan kapasitas 600 TR.

Sistem AC memproduksi air dingin (*chilled water*) dengan temperatur pada kisaran 6-7 °C. Air dingin didistribusikan ke sistem pembebanan dalam hal ini AHU (*air handling unit*) atau FCU (*Fan coil unit*) dengan menggunakan sistem pompa. Di sisi kondensor, panas kondensor diserap oleh air pendingin (*cooling water*) dan dibuang ke lingkungan melalui sistem cooling tower. Skematik sistem AC water cooled chiller disajikan pada Gambar 1.

Karakteristik dari sistem AC *water cooled chiller* dapat dirinci sebagai berikut:

- Kapasitas pendinginan sistem chiller dapat 20%-30% lebih rendah dari beban puncak karena adanya diversity factor. Untuk studi kasus gedung komersial tipe hotel, diversity factor bisa mencapai 70% - 80%;
- Jenis kompresor yang digunakan adalah kompresor sentrifugal dengan jumlah unit yang dibutuhkan 3 unit @600 TR;
- Dibutuhkan ruang mesin refrigerasi tertutup minimum dengan luas lantai 168 m² dan tinggi minimum 4.4 m [21];

- Penempatan cooling tower di udara terbuka kira-kira 234 m² [21];
- Diperlukan make up water untuk cooling tower sebesar 13-15 liter/TR.jam [21];
- Setiap ruang dilayani oleh sistem pembebanan AHU atau FCU;
- Kapasitas AHU dengan rentang dari 5 TR sampai dengan 90 TR;
- Ruangan yang kecil dilayani oleh FCU;
- Umur ekonomis pemakaian sistem AC water cooled chiller umumnya sampai 25 tahun dengan asumsi pemeliharaan yang baik;
- Relatif lebih flexible untuk gedung dengan kondisi beban ruangan yang bervariasi, atau yang dilengkapi dengan ruangan yang membutuhkan kapasitas dengan beban yang besar atau beban laten tinggi seperti ball room atau convention hall;
- Dapat memenuhi kebutuhan beban pendinginan yang besar dengan 1 unit chiller;
- Sistem refrigerasinya terpusat (sentral) dan relatif lebih sederhana;
- Memiliki efisiensi tahunan yang baik;
- Kemungkinan terjadinya gangguan unit relatif kecil karena ruang mesin refrigerasi hanya terdiri atas 3 unit chiller (3 x 600 TR).



Gambar 1. Sistem AC water cooled chiller

3.1.2. Air cooled chiller

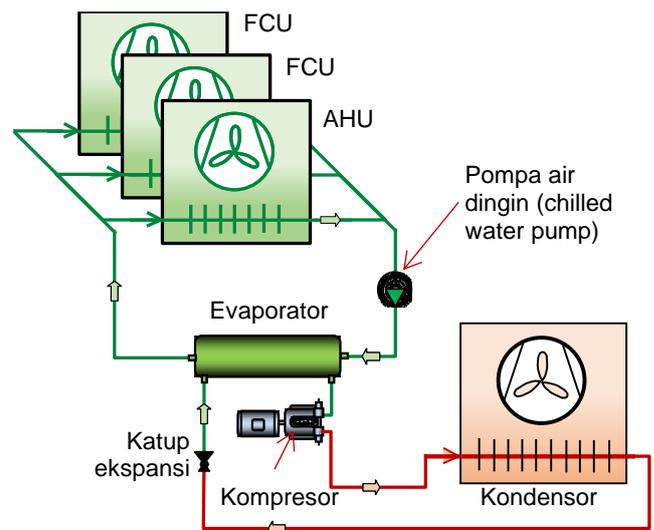
AC jenis air cooled chiller memiliki perbedaan utama pada sistem pendinginan kondensornya dibandingkan dengan AC sistem water cooled chiller. Kondensor sistem AC ini didinginkan langsung oleh udara lingkungan.

Air cooled chiller juga merupakan AC dengan sistem terpusat atau sentral. Untuk studi kasus ini, jumlah unit air cooled chiller yang dibutuhkan bisa mencapai 4 unit masing-masing dengan kapasitas 450 TR. Sistem AC ini juga memproduksi air dingin (chilled water) dengan temperatur pada kisaran 6-7 °C. Air dingin didistribusikan ke sistem pembebanan AHU (air handling unit) atau FCU (fan coil unit) dengan menggunakan sistem pompa. Di sisi kondensor, panas kondensor didinginkan langsung oleh

udara lingkungan. Skematik sistem AC air cooled chiller disajikan pada Gambar 2.

Adapun karakteristik dari sistem AC air cooled chiller adalah sebagai berikut:

- Untuk aplikasi gedung hotel, kapasitas pendinginan sistem air cooled chiller juga bisa 20%-30% lebih rendah dari beban puncak karena adanya diversity factor. Diversity factor untuk hotel bisa mencapai 70% - 80%;
- Jenis kompresor yang digunakan umumnya kompresor tipe ulir (screw) dengan jumlah unit yang dibutuhkan sebanyak 4 unit @450 TR;
- Dibutuhkan ruang mesin refrigerasi terbuka minimum dengan luas 420 m² [21], biasanya di tempatkan di lantai atap (roof top);
- Setiap ruangan yang dikondisikan dilayani oleh AHU atau FCU, dengan kapasitas AHU berkisar dari 5 TR sampai dengan 90 TR;
- Ruangan dengan ukuran kecil seperti kamar hotel dilayani oleh FCU;
- Umur ekonomis pemakaian sama dengan water cooled chiller, umumnya sampai 25 tahun dengan asumsi pemeliharaan yang baik;
- Relatif lebih flexible untuk Gedung dengan kondisi ruangan yang bervariasi, atau memiliki fasilitas ruangan yang membutuhkan beban pendinginan yang besar atau beban laten tinggi seperti ball room atau convention hall;
- Dapat memenuhi kebutuhan beban pendinginan yang besar dengan 1 unit chiller;
- Sistem refrigerasinya terpusat dan relatif lebih sederhana dibandingkan water cooled chiller karena tidak ada sistem cooling tower dan cooling waternya.
- Kemungkinan terjadinya gangguan unit relatif kecil karena ruang mesin refrigerasi hanya terdiri atas 4 unit chiller (4 x 450 TR) lengkap dengan sistem pemipaan, pompa chilled water dan kontrol.



Gambar 2. Sistem AC air cooled chiller

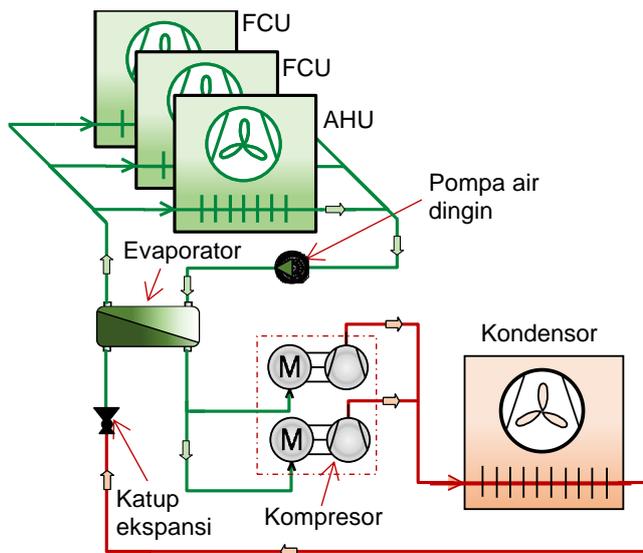
3.1.3. Modular air cooled chiller

Penempatan instalasi modular air cooled chiller harus pada tempat yang terbuka, biasanya di roof top, sehingga terjadi proses pembuangan panas ke udara lingkungan dengan baik.

Jarak antara sistem pembebanan AHU dan FCU dengan refrigeration unit bisa jauh karena dilengkapi dengan sistem pemipaan dan pompa chilled water.

Operasional chiller dengan berpendingin udara sangat mudah dan lebih flexible. Di samping itu peralatan yang diperlukan relatif lebih sedikit kalau dibandingkan dengan sistem AC jenis water cooled chiller.

Operasi modular air cooled chiller ini relatif mirip dengan air cooled chiller hanya kapasitasnya yang lebih kecil. AC jenis air cooled chiller memiliki perbedaan utama pada sistem pendinginan kondensornya dibandingkan dengan AC sistem water cooled chiller. Kondensor sistem AC ini didinginkan oleh udara lingkungan. Sehingga konstruksinya lebih sederhana. AC jenis modular air cooled chiller merupakan AC dengan sistem tidak terpusat berarti sistem refrigerasinya tersebar di seluruh Gedung menurut kebutuhan pembebanan. Kapasitas AC modular air cooled chiller berkisar antara 14 TR (48 kW) sampai dengan 66 TR (232 kW) [22]. Untuk studi kasus ini, jumlah unit modular air cooled chiller yang dibutuhkan bisa mencapai 48 unit masing-masing dengan kapasitas 50 TR. Sistem AC ini juga memproduksi air dingin (chilled water) dengan temperatur pada kisaran 6-7 °C. Air dingin juga didistribusikan ke sistem pembebanan AHU (air handling unit) atau FCU (Fan coil unit) dengan menggunakan sistem pompa. Skematik sistem AC modular air cooled chiller lengkap dengan sistem chilled water disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Sistem AC modular air cooled chiller

Adapun karakteristik dari sistem AC modular air cooled chiller adalah sebagai berikut:

- Untuk aplikasi gedung hotel, kapasitas pendinginan sistem AC modular air cooled chiller yang terpasang bisa 15% lebih rendah dari total beban puncak, karena unit dapat beroperasi semi-sentral dengan diversity factor mencapai 83%;
- Penggunaan bisa digabungkan sebanyak 5 unit untuk mendapatkan kapasitas pendinginan yang diinginkan sehingga merupakan sistem AC semi-sentral (terpusat tapi tersebar di seluruh Gedung) [22].
- Untuk studi kasus ini, dengan beban puncak 2400 TR diperlukan 8 sistem semi sentral dengan masing-

masing terdiri atas 5 unit sehingga dibutuhkan 40 unit modular air cooled chiller masing-masing dengan kapasitas pendinginan 50 TR;

- Kompresor yang digunakan adalah kompresor scroll inverter;
- Setiap ruangan yang dikondisikan juga dilayani oleh sistem AHU atau FCU;
- Kapasitas AHU memiliki rentang dari 5 TR sampai dengan 90 TR;
- Ruangan dengan ukuran yang relative kecil seperti kamar hotel dilayani oleh FCU;
- Umur ekonomis pemakaian umumnya sampai 15 tahun dengan asumsi pemeliharaan yang baik;
- Masih cukup flexibel untuk gedung dengan kondisi ruangan yang bervariasi, atau hotel yang memiliki fasilitas dengan beban pendinginan yang besar atau beban laten tinggi seperti ball room atau convention hall;
- Untuk dapat memenuhi kebutuhan beban yang besar diperlukan gabungan unit chiller;
- Sistem refrigerasinya semi-terpusat atau terpusat tetapi masih tersebar di seluruh gedung dalam bentuk kelompok atau gabungan chiller. Sehingga sistem refrigerasinya relatif lebih kompleks;
- Memiliki efisiensi tahunan yang sangat baik, khususnya untuk gedung hotel yang memiliki load factor yang fluktuatif;
- Kemungkinan terjadinya gangguan unit relatif lebih banyak karena diperlukan jumlah sistem mencapai 40 unit @ 50 TR.

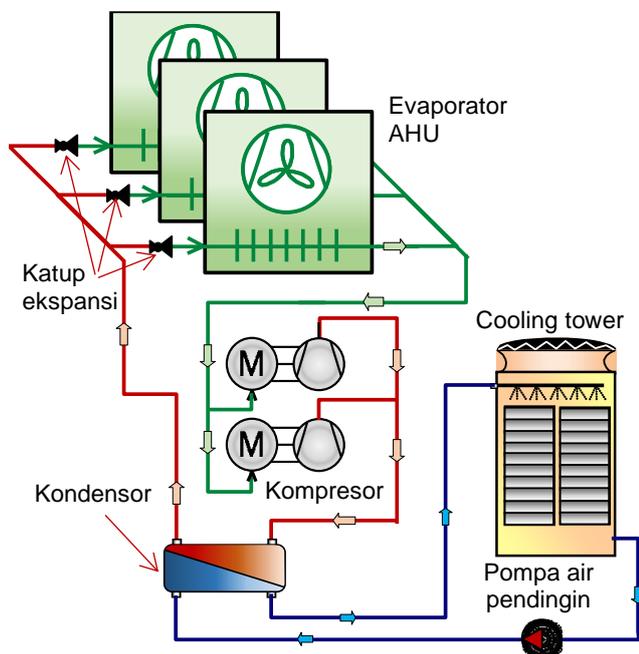
3.1.4. Water cooled package (WCP)

Instalasi sistem AC Water Cooled Packaged (WCP) bisa di lantai atau di atas plafon, atau di lantai atap (roof top). Jarak antara indoor dengan outdoor tidak bisa jauh. Sehingga harus dipasang dekat dengan ruangan yang dikondisikan. Operasi unit WCP ini relatif lebih kompleks, karena sebelum sistem refrigerasi dihidupkan, cooling tower dan cooling water pump harus dijalankan terlebih dahulu. Diagram skematik dari sistem AC WCP dapat dilihat pada Gambar 4.

Karakteristik dan operasional sistem AC water cooled package (WCP) dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Sistem AC WCP adalah direct expansion dengan pendinginan air pada kondensornya;
- Terdiri atas WCP tipe gantung dengan kapasitas pendinginan dengan rentang 9 TR sampai dengan 56 TR [23];
- Untuk studi kasus ini diperlukan sekitar 48 unit WCP dengan kapasitas masing-masing 50 TR;
- Komponen utama sistem refrigerasi, seperti sistem pemipaan refrigeran (liquid maupun gas), kompresor dan kondensor sudah merupakan satu unit packaged;
- Kompresor yang digunakan adalah kompresor scroll inverter;
- Kondensor sistem WCP didinginkan oleh air pendingin dari unit cooling tower secara sentral.
- Diperlukan make up water untuk cooling tower sebesar 13-15 liter/TR.jam;
- Kapasitas sistem yang terpasang merupakan total beban puncak, karena unit bekerja sendiri-sendiri untuk keperluan masing-masing ruangan yang dikondisikan dengan diversity factor 100%;

- Penempatan sistem WCP di ruang dengan jarak yang tidak ada masalah dengan unit cooling tower karena didistribusikan memakai pompa;
- Setiap ruangan atau kelompok ruangan dilayani oleh sistem WCP dengan sistem AHU;
- Umur ekonomis pemakaian umumnya sampai 15 tahun dengan asumsi pemeliharaan yang baik;
- Kurang flexibel, karena WCP adalah unit standard yang terbatas jumlah row koilnya.
- Instalasi tersebar dan sangat banyak dan belum dapat dikelompokkan sebagai semi-sentral;
- Biaya perawatan menjadi lebih mahal dan lebih menyita waktu;
- Kemungkinan terjadi kerusakan lebih sedikit dibanding dengan Split Unit. Tetapi karena jumlah unit tetap banyak dengan total jumlah 48 unit yang tersebar menurut ruangan yang didinginkan.



Gambar 4. Sistem AC water cooled package (WCP)

3.1.5. Variable refrigerant volume (VRV)

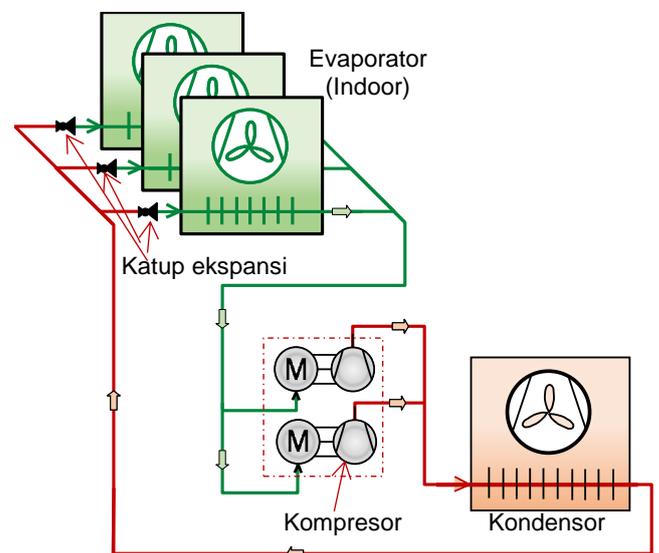
Sistem AC Variable Refrigerant Volume (VRV) adalah salah satu dari jenis sistem Heating, Ventilation and Air Conditioning (HVAC) di dalam Gedung dengan tipe multi-split yang menggunakan kontrol aliran refrigerant sesuai kebutuhan beban pendinginan. Sistem VRV di dalam gedung dapat menghemat ruang untuk instalasi. Efisiensi ruang ditingkatkan dengan ukuran unit individu yang kompak, panjang perpipaan maksimum yang panjang.

Selain itu, sistem memberikan fleksibilitas desain yang unggul terutama dalam perubahan tata letak yang dapat dibuat dengan mudah. Unit outdoor dapat ditempatkan di atap atau lantai atau di roof top. Diagram skematik dari sistem AC VRV disajikan pada Gambar 5.

Karakteristik dari sistem AC VRV dapat diuraikan sebagai berikut:

- Sistem AC VRV merupakan sistem AC dengan direct expansion dan tidak sentral, instalasinya tersebar di seluruh gedung menurut beban pendinginan ruangan yang dikondisikan;

- Terdiri atas indoor unit dan outdoor unit, tempat instalasi outdoor unit harus disediakan pada masing-masing lantai;
- Rentang kapasitas dari 6 TR sampai dengan 30 TR;
- Untuk studi kasus ini diperlukan sekitar 80 unit VRV dengan kapasitas masing-masing 30 TR [24];
- Pendinginan kondensator dengan udara lingkungan;
- Jumlah aliran refrigeran di dalam sistem variabel menurut beban pendinginan;
- Kapasitas terpasang adalah total beban puncak, karena unit beroperasi sendiri-sendiri untuk keperluan masing-masing ruang yang dikondisikan dengan diversity factor 100%.
- Jumlah outdoor unit akan sangat banyak dan instalasinya bisa jadi permasalahan untuk gedung hotel yang menonjolkan estetika;
- Setiap ruangan yang dikondisikan dilayani oleh Indoor Unit (IU) dengan rentang kapasitas dari 0.5 TR sampai dengan 20 TR;
- Umur ekonomis pemakaian umumnya sampai 15 tahun dengan asumsi pemeliharaan yang baik;
- Kurang flexible, karena Indoor Unit adalah unit standard yang jumlah row koilnya terbatas;
- Untuk ruang besar diperlukan banyak unit yang tersebar di sekitar ruangan;
- Biaya perawatan lebih mahal dan lebih menyita waktu dibandingkan dengan sistem chiller;
- Kemungkinan terjadi kebocoran refrigeran lebih banyak, karena pelaksanaan pemasangan pipa, pengisian refrigeran dan test dilakukan di tempat instalasi.



Gambar 5. Sistem AC variable air volume (VRV)

3.2. Analisis Kinerja dan Konsumsi Energi

Hasil kajian kinerja sistem AC komersial yang diinvestigasi menunjukkan berbagai variasi kinerja yang dipengaruhi oleh sistem pembuangan panas pada kondensator dan optimasi perpindahan panas pada komponen penukar kalor (kondensator dan evaporator). Kinerja juga sangat dipengaruhi oleh jenis kompresor dan refrigeran yang digunakan.

Kinerja sistem AC secara langsung juga berpengaruh pada konsumsi energinya. Pada Tabel 1 disajikan perbandingan kinerja dan konsumsi daya serta konsumsi energi tahunan yang ditentukan berdasarkan asumsi faktor

penggunaan (use factor) sebesar 75% yang bermakna bahwa sistem AC hanya digunakan selama 75% dari total jam dalam satu tahun.

Tabel 1. Hasil kajian kinerja energi berbagai sistem AC yang diinvestigasi

Sistem AC	Kapasitas terpasang (TR)	COP	Efisiensi (kW/TR)	Konsumsi Daya (kW)	Konsumsi Energi per tahun (kWh)
Water cooled chiller (Centrifugal compressor) [25]	1800	5,79 – 6,29	0,61 – 0,56	1053	6.918,210
Air cooled chiller (rotary screw compressor) [26]	1800	3,34 – 3,40	1,05 – 1,03	1872	12,299,040
Modular air cooled chiller (inverter scroll compressor) [22]	2000	4.10 – 4.35	0,86 – 0,81	1670	10,971,900
Water cooled packaged (WCP) (inverter scroll compressor) [23]	2400	3.55 – 4.29	0,99 – 0,82	2172	14,270,040
Variable refrigerant volume (VRV) inverter scroll compressor) [24]	2400	3,43 – 3,75	1,03 – 0,94	2364	15,531,480

Asumsi: sistem AC hanya beroperasi dengan use factor 75% (beroperasi selama 6570 jam dalam satu tahun (1 tahun = 8760 jam); Variasi kapasitas terpasang disebabkan oleh diversity factor

Berdasarkan karakteristik sistem AC dan hasil analisis yang disajikan pada Tabel 1, maka dapat diidentifikasi keunggulan dan kelemahan masing-masing sistem AC kalau diterapkan pada gedung komersial jenis hotel dengan beban pendinginan yang besar. Gedung hotel memiliki karakteristik dengan load faktor yang sangat fluktuatif dan memberikan keunggulan untuk sistem AC sentral dengan diversity faktor yang relatif lebih baik. Sehingga kapasitas sistem yang terpasang bisa lebih kecil dibandingkan dengan beban pendinginan puncak dari gedung.

Dari aspek kinerja energi juga dapat diidentifikasi bahwa AC jenis water cooled chiller memiliki COP yang tinggi dibandingkan dengan sistem AC lainnya. Dikombinasikan dengan keunggulan kapasitas yang terpasang juga kecil, maka konsumsi energi tahunan untuk AC jenis water cooled chiller juga sangat unggul dengan penghematan energi lebih dari 50% dibandingkan dengan sistem AC jenis WCP dan VRV.

Modular air cooled chiller juga memiliki keunggulan kinerja energi setelah water cooled chiller. Sistem AC ini mengkonsumsi energi sebesar 10,97 GWh per tahun. Dengan konsumsi energi sebesar itu, AC jenis modular air cooled chiller lebih unggul kinerja energinya dibandingkan dengan AC jenis air cooled chiller, WCP dan VRV.

Hasil kajian ini dapat memberikan alternatif pilihan bagi pemilik hotel, konsultan dan kontraktor gedung dalam menetapkan sistem AC yang paling sesuai diterapkan. Juga sangat bermanfaat bagi peneliti untuk melakukan kajian lebih lanjut pada berbagai aplikasi termasuk aspek kelayakan ekonomi dari berbagai sistem AC untuk berbagai aplikasi gedung komersial.

Ucapan Terima Kasih

Dengan telah diterbitkan artikel ini, penulis menyampaikan terima kasih atas bantuan dan dukungan administratif dari tim lab refrigerasi dan tata udara Politeknik Negeri Bali.

Kesimpulan

Evaluasi berbagai jenis sistem AC untuk aplikasi gedung komersial hotel dengan kapasitas pendinginan yang besar sudah dilakukan. Berdasarkan karakteristik sistem AC dan

hasil analisis ditemukan AC jenis water cooled chiller memiliki COP yang tinggi dibandingkan dengan sistem AC lainnya. Dikombinasikan dengan keunggulan kapasitas yang terpasang juga kecil, maka konsumsi energi tahunan untuk AC jenis water cooled chiller juga sangat unggul dengan penghematan energi lebih dari 50% dibandingkan dengan sistem AC jenis WCP dan VRV, sekitar 44% dibandingkan dengan sistem AC air cooled chiller dan 37% dibandingkan dengan sistem AC modular air cooled chiller.

Modular air cooled chiller juga memiliki keunggulan kinerja energi setelah water cooled chiller. Sistem AC ini mengkonsumsi energi sebesar 10,97 GWh per tahun. Dengan konsumsi energi sebesar itu, AC jenis modular air cooled chiller lebih unggul kinerja energinya dibandingkan dengan AC jenis air cooled chiller, WCP dan VRV.

Daftar Pustaka

- [1] ICED, "Indonesia Clean Energy Development", 2015, [online] available at: www.iced.or.id (Accessed 27 Jul. 2020).
- [2] K.J. Chua, S.K. Chou, W.M. Yang, J. Yan, "Achieving better energy-efficient air conditioning - A review of technologies and strategies", *Appl Energy*, 104, 2013, pp. 87-104.
- [3] N.A. Kurekci, "Determination of optimum insulation thickness for building walls by using heating and cooling degree-day values of all Turkey's provincial centers", *Energy Build*, 118, 2016, pp. 197-213.
- [4] US Department of Energy, "Building energy data book", 2011, [online] available at: <https://catalog.data.gov/dataset/buildings-energy-data-book> (Accessed 12 Jul. 2020).
- [5] Building energy conservation research center, "Annual Report on China Building Energy Efficiency", 2017, [online] available at: <https://berc.bestchina.org/Files/CBEU2017.pdf> (Accessed 10 Jul. 2020).
- [6] F.W. Yu and K.T. Chan, "Improved energy management of chiller systems by multivariate and data envelopment analyses", *Appl Energy* 92, 2012, pp. 168-74.

- [7] L. Jayamaha, "Energy-efficient building systems: green strategies for operation and maintenance", 1st ed. McGraw-Hill, US, 2006.
- [8] F.W. Yu and K.T. Chan, "Experimental determination of the energy efficiency of an air cooled chiller under part load conditions", *Energy*, 30, 2005, pp. 1747-58.
- [9] I. Morna and P.V.V. Detlef, "Modeling global residential sector energy demand for heating and air conditioning in the context of climate change", *Energy Policy*, 37, 2009, pp. 507-21.
- [10] M.J. Scott, and Y.J. Huang, "Annex A: Technical note: methods for estimating energy consumption in buildings in effects of climate change on energy production and use in the United States a Report by the US climate change science program and the subcommittee on global change research", Washington DC, 2007.
- [11] J. Deng, S. He, Q. Wei, M. Liang, Z. Hao, H. Zhang, "Research on systematic optimization methods for chilled water systems in a high-rise office building", *Energy Build.*, 209, 2020, pp. 109695.
- [12] I.N. Suamir, I.N. Ardita and I.G.A.B. Wirajati, "Waste Heat Recovery from Central AC System for Hot Water Supply; A Case Study for Hotel Building Application in Indonesia", *Adv. Sci. Lett.*, 23, 2017, pp. 12206-12210.
- [13] I.N. Suamir, I.N. Ardita and N.I.K. Dewi, "Integration of heat pump and heat recovery of central AC system for energy use reduction of hotel industry", *Refrigeration Science and Technology*, 2015, pp. 3581-3588.
- [14] I.N. Suamir, I.N.G. Baliarta, M.E. Arsana, I.W. Temaja, "The Role of condenser approach temperature on energy conservation of water cooled chiller", *Adv. Sci. Lett.*, 23, 2017, pp. 12202-12205.
- [15] I.N. Suamir, I.N. Ardita and I.M. Rasta, "Effects of cooling tower performance to water cooled chiller energy use: a case study toward energy conservation of office building", *International Conference on Applied Science and Technology (iCAST)*, 1, 2018, pp. 712-717.
- [16] I.N. Suamir, M.E. Arsana, I.W.A. Subagia, I.M. Rasta, L.P.I. Midiani and A. Wibolo, "Site investigation on water cooled chiller plant for energy conservation and environmental impact reduction of a large shopping mall", *AIP Conference Proceedings*, 2019, pp. 2187 020042.
- [17] I.N. Suamir, I.N.G. Baliarta, M.E. Arsana, Sudirman and I.M. Sugina, "Field-based Analyses on Approach Temperatures for Performance Evaluation of Centralized Air Conditioning System in a Shopping Mall Building", *J. Phys. Conf. Ser.* 1569, 2020, pp. 032041.
- [18] I.N. Suamir, Sudirman, I.N. Ardita and G. Santanu, "Experimental and numerical optimization on chilled water configuration for improving temperature performance and economic viability of a centralized chiller plant", *J. Phys. Conf. Ser.*, 1450, 2020, pp. 012106.
- [19] Building energy data United States, 2010, [online] available at: <http://buildingsdatabook.eren.doe.gov/ChapterIntro1.aspx> [Accessed 10 Nov. 2021].
- [20] IPCC Climate Change, "Synthesis Report: Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC", Geneva, Switzerland, 2014.
- [21] Glenn Hawkins, "Rules of thumb guidelines for building services", 5th ed., BSRIA, 2011, pp. 101
- [22] Trane, "Modular Air-cooled Chillers: High Seasonal Efficiency (HSE) version cooling capacity 48 - 232 kW", 2017, pp. 8, available at: www.trane.com/WEBCACHE/CG-SLB043-GB_07012017.PDF.
- [23] Daikin, "Water Cooled Packaged Unit", Daikin Industries, Ltd., 2021, pp. 39, available at: https://www.daikin.com.sg/resources/ck/files/catalogue/Watercooled%20package_UCCP.pdf.
- [24] Daikin, "VRV III", Daikin Industries, Ltd., 2021, pp. 24, available at: <http://www.daikinac.com/content/assets/DOC/Product%20Brochures/PCVUSE13-05C-VRVIII-Brochure-Daikin-AC.PDF>.
- [25] Daikin, "Water Cooled Centrifugal Chiller", Daikin Industries, Ltd., 2021, pp. 16, available at: <https://www.daikin.com.sg/resources/ck/files/catalogue/HTS%20-%20Water%20Cooled%20Centrifugal%20Chiller.pdf>.
- [26] Trane, "Air-cooled Chillers: A full portfolio of solutions for comfort and process applications", 2020, pp. 12, available at: https://www.trane.com/content/dam/Trane/Commercial/global/products-systems/equipment chillers/air-cooled/PROD-SLB049-EN_0923 2020.pdf.