



Journal of Applied Mechanical Engineering and Green Technology

Journal homepage: <https://ojs2.pnb.ac.id/index.php/JAMETECH>
p-ISSN: 2655-9145; e-ISSN: 2684-8201

Kajian termodinamik kinerja AC split: studi kasus pada bangunan pendidikan dengan menerapkan program komputer

I Wayan Adi Subagia¹, I Dewa Made Susila¹, Ketut Bangse¹ dan I Nyoman Suamir^{1*}

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

*Email: nyomansuamir@pnb.ac.id

Abstrak

Paper ini menyajikan sebuah kajian termodinamik kinerja energi sistem AC split dengan R-32 untuk aplikasi bangunan pendidikan di Politeknik Negeri Bali. Kajian dilakukan dengan menggunakan program komputer mandiri U-CoolS V.1.12 yang dikembangkan pada program EES (Engineering Equation Solver) V11.334. Sebuah model termodinamik sistem AC split dikembangkan dan divalidasi menggunakan data dari spesifikasi teknis berbagai jenis AC split. Kajian termodinamik dilakukan berdasarkan variasi temperatur udara lingkungan di Daerah Bali. Pengaruh dua parameter operasional sistem AC split yaitu temperatur kondensasi di kondensor dan temperatur evaporasi refrigeran di evaporator terhadap kinerja kompresor dan kinerja energi sistem AC disimulasikan. Hasil simulasi termodinamik menunjukkan kuatnya pengaruh temperatur kondensasi dan temperatur evaporasi terhadap kinerja kompresor dan kinerja energi keseluruhan sistem AC split. Ditemukan pada setiap kenaikan 1 °C temperatur kondensasi daya kompresor meningkat cukup signifikan sekitar 2,1%, kapasitas pendinginan sistem AC split menurun 1,8%, COP dan EER juga menurun sebesar 3,9%. Sedangkan pada setiap kenaikan 1 °C temperatur evaporasi ditemukan adanya peningkatan konsumsi daya kompresor sekitar 0,31%, peningkatan kapasitas pendinginan mencapai 4,4% serta peningkatan COP dan EER sebesar 4,1%. Hasil kajian termodinamik ini juga menunjukkan bahwa kinerja sistem AC split dengan menggunakan refrigeran R-32 memiliki rentang COP yang sangat baik dari 3,27 sampai 5,95 dengan implikasi bahwa refrigeran R-32 sangat potensial menjadi refrigeran untuk sistem AC split.

Kata kunci: kajian termodinamik, temperatur kondensasi, temperatur evaporasi, kinerja energi, sistem AC split

Abstract: This paper presents a thermodynamic study on energy performance of a split AC system with R-32 for the application of educational buildings at the Bali State Polytechnic. The study was conducted using a standalone computer program U-CoolS V.1.12 which was developed on the EES (Engineering Equation Solver) V11,334 program. A thermodynamic model was developed and validated using data from the technical specifications of various types of split AC. Thermodynamic studies were carried out based on variations in ambient temperature in the Bali Region. The effect of two operating parameters of a split AC system, namely the condensing temperature in the condenser and the evaporation temperature of the refrigerant in the evaporator, on the compressor performance and energy performance of the AC system is simulated. Thermodynamic simulation results show the strong influence of condensing temperature and evaporation temperature on compressor performance and overall energy performance of the split AC system. It was found that for 1 °C increase in condensing temperature, the compressor power increased quite significantly around 2.1%, the cooling capacity of the split AC system decreased by 1.8%, COP and EER also decreased by 3.9%. Meanwhile, for 1 °C increase in evaporation temperature, it was found an increase in compressor power consumption of around 0.31%, an increase in cooling capacity of 4.4% and an increase in COP and EER of 4.1%. The results of this thermodynamic study also show that the split AC system performance using R-32 refrigerant has a very good COP range from 3.27 to 5.95 with the implication that R-32 refrigerant has the potential to be a refrigerant for a split AC system.

Keywords: thermodynamic study, condensing temperature, evaporation temperature, energy performance, split AC system

Penerbit @ P3M Politeknik Negeri Bali

1. Pendahuluan

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 sistem ventilasi dan pendingin udara di iklim tropis bisa melebihi 50% dari total konsumsi energi

bangunan [1,2]. Sistem AC juga merupakan utilitas energi-signifikan terbesar dari bangunan komersial khususnya hotel. Oleh karena itu, ada potensi yang luar biasa untuk meningkatkan efisiensi keseluruhan sistem AC di hotel untuk tujuan konservasi energi gedung. Kebutuhan energi untuk AC akan meningkat pesat di abad ke-21 [3]. 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 dari sistem AC diperkirakan akan menyebabkan kebutuhan energi melonjak hingga 72%. Konsumen terbesar energi terkait sistem AC datang dari negara berkembang. Peningkatan besar diperkirakan terjadi di Kawasan Asia Selatan karena kebutuhan energi untuk sistem AC dapat meningkat sekitar 50% akibat perubahan iklim [4].

Untuk mengantisipasi perubahan tersebut, peningkatan efisiensi energi pada bangunan saat ini menjadi target utama kebijakan energi baik tingkat nasional maupun internasional. Di antara berbagai utilitas bangunan, terjadi peningkatan konsumsi energi yang signifikan pada sistem ventilasi dan AC [5]. Beberapa solusi konservasi energi untuk bangunan gedung telah dipromosikan mencakup pengembangan sistem AC gedung yang dilengkapi sistem pemanfaatan panas buang (heat recovery) untuk tujuan memanaskan air [6-10]; menjaga kinerja sistem dengan cara pemantauan ketat parameter kunci dari chiller termasuk temperatur approachnya evaporator dan kondensor [11]; dan mengoptimalkan distribusi sistem sirkulasi air dingin [12]. Solusi konservasi energi untuk bangunan ini dapat mendorong aplikasi efisiensi energi menjadi lebih luas, dalam mendukung komitmen dan program Pemerintah Indonesia untuk menurunkan emisi dari Gas Rumah Kaca (GRK) mencapai 26% sampai tahun 2020 [13]. Oleh karena itu, tindakan dari sektor bangunan untuk memitigasi dan beradaptasi dengan perubahan iklim sejak dini menjadi sangat penting untuk mengurangi konsumsi energi bangunan dan emisi GRK [14].

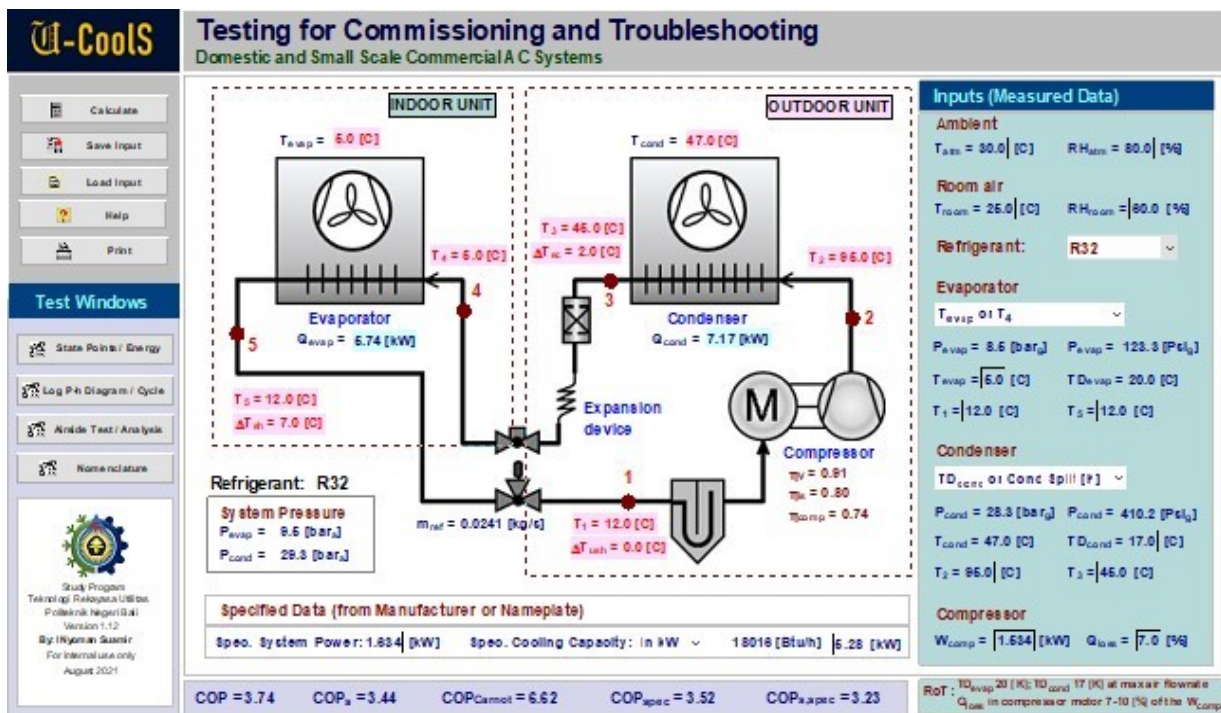
Untuk bangunan yang menggunakan sistem AC split, metode pemasangan juga dapat menjadi faktor yang dapat menyebabkan sistem AC menjadi boros energi dan juga

dapat menyebabkan kerusakan dini pada kompresor AC tersebut [15]. Kerusakan dini dapat terjadi dua atau tiga tahun setelah pemasangan. Meskipun masa pakai sistem AC tipe split dalam kondisi operasi normal dapat mencapai 15 tahun. Praktisnya penggantian sistem AC split dianjurkan setelah setiap jangka waktu 10 tahun [16].

Paper ini menyajikan kajian energi secara termodinamik melalui siklus refrigerasi kompresi uap. Kajian dilakukan dengan menerapkan sebuah program komputer yang dibuat khusus untuk simulasi kinerja sistem AC split pada berbagai parameter operasional. Aspek utama yang dikaji dan dievaluasi dalam paper ini adalah kinerja energi mencakup COP, EER, efisiensi kompresor dan konsumsi daya pada berbagai kondisi operasional pada sistem AC split bangunan komersial yang menggunakan refrigeran R-32A. Refrigeran R-32A merupakan tipe refrigeran yang umum dipilih oleh berbagai manufaktur karena memiliki keunggulan tidak berpotensi menyebabkan penipisan lapisan ozon (ODP = 0) dan potensi pemanasan global yang relatif rendah dibandingkan R-410A dan R-407C [17].

2. Metode

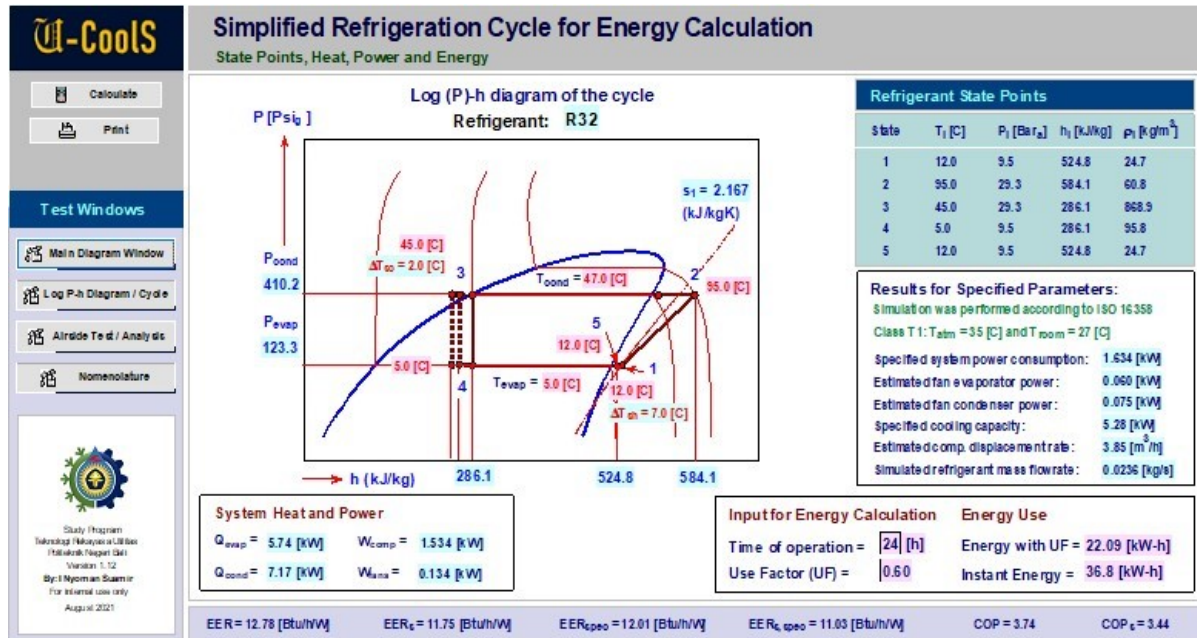
Simulasi termodinamik kinerja sistem refrigerasi untuk aplikasi sistem AC split menggunakan program komputer mandiri diterapkan sebagai metode dalam penelitian ini. Program komputer mandiri ini disebut program U-CoolS V.1.12 dikembangkan pada program Engineering Equation Solver (EES) Professional V11.334. Metode studi literatur juga diterapkan untuk mendapatkan data sekunder khususnya dari pabrikan berbagai AC split. Data sekunder dimanfaatkan untuk validasi model AC split yang dibuat dalam program komputer mandiri U-CoolS V.1.12. Tampilan model AC split lengkap dengan parameter operasionalnya di dalam diagram window utama program U-CoolS disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram window utama program U-CoolS V.1.12 menyajikan skematik sistem AC split dan parameter operasional dari simulasi termodinamik

Parameter operasi utama yang dikaji dalam penelitian ini mencakup temperatur udara lingkungan, temperature kondensasi di kondensor, temperatur evaporasi di evaporator. Pengaruh dari perubahan parameter operasi ini terhadap kinerja kompresor, kinerja energi sistem AC seperti COP (Coefficient of Performance) dan EER (Energy Efisiensi Ratio) dievaluasi secara komprehensif dalam paper ini. Untuk dapat melakukan kajian secara komprehensif model AC Split juga dilengkapi dengan siklus

refrigerasi berdasarkan parameter operasional sistem AC split pada diagram window utama. Identifikasi masing-masing titik pengamatan dari siklus refrigerasi juga mengacu kepada skematik sistem AC pada diagram window utama tersebut. Diagram anak window yang menyajikan siklus refrigerasi dalam diagram log P-h lengkap dengan tingkat keadaan masing-masing titik pengamatan dari sistem AC split seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram anak window dengan siklus refrigerasi pada diagram log P-h lengkap dengan tingkat keadaan refrigeran dan spesifikasi teknis dari AC split

Adapun kinerja kompresor yang dikaji dan dievaluasi mencakup efisiensi kompresor, temperatur kompresor yang dapat diestimasi dari temperatur refrigeran yang ke luar dari kompresor (T_2), laju massa refrigeran dan konsumsi daya kompresor. Dalam simulasi termodinamik pada program U-CoolS V.1.12, efisiensi isentropik dan volumetrik kompresor ditentukan dengan menggunakan persamaan dari referensi [18] yang telah disesuaikan dengan faktor koreksi melalui validasi program berdasarkan data spesifikasi dari pabrikan untuk berbagai tipe dan merk AC split.

$$\eta_s = 1.32 (0.00476.R_p^2 - 0.09238.R_p + 0.89810) \quad (1)$$

$$\eta_v = 1.18 (0.00816.R_p^2 - 0.15293.R_p + 1.13413) \quad (2)$$

Dimana: η_s = efisiensi isentropic; η_v = efisiensi volumetric dan R_p = rasio tekanan tinggi dan tekanan rendah dari sistem AC. Efisiensi isentropik (η_s) dapat juga ditentukan dengan membagi kerja kompresi isentropik spesifik kompresor ($h_{2s} - h_1$) dengan kerja kompresi hidrolik spesifiknya ($h_2 - h_1$).

$$\eta_s = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} \quad (3)$$

Sedangkan efisiensi kompresor (η_{kom}) dapat ditentukan berdasarkan rasio kerja kompresi hidrolik kompresor ($\dot{m}_r(h_2 - h_1)$) dan daya kompresor (W_{kom}) seperti yang dapat dilihat pada persamaan (4).

$$\eta_{kom} = \frac{\dot{m}_r(h_2 - h_1)}{W_{kom}} \quad (4)$$

Dimana: \dot{m}_r = laju massa refrigeran (kg/s); h_1 = entalpi spesifik refrigeran pada saluran masuk kompresor (kJ/kg); h_2 = entalpi spesifik refrigeran pada saluran ke luar kompresor (kJ/kg); h_{2s} = entalpi spesifik refrigeran pada saluran keluar kompresor yang memiliki entropi sama dengan saluran masuk kompresor (kJ/kg); W_{kom} = konsumsi daya listrik kompresor (kW).

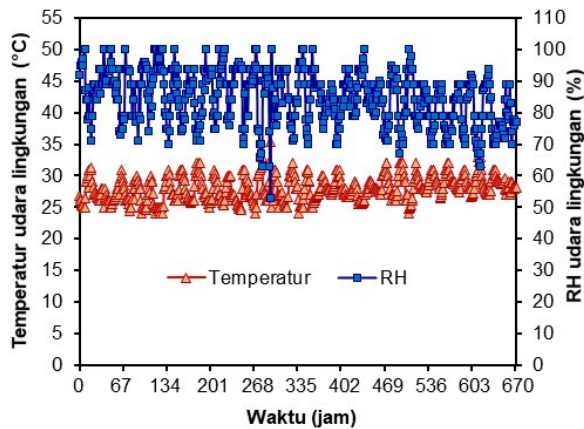
Koefisien kinerja sistem AC split (COP) dihitung dari kapasitas pendinginan sistem AC (Q_{eva}) dalam kW dan daya kompresor (W_{kom}) juga dalam kW seperti yang ditampilkan pada persamaan (5).

$$COP = \frac{Q_{eva}}{W_{kom}} \quad (5)$$

Sedangkan rasio efisiensi energi (EER) dihitung dari kapasitas pendinginan sistem AC (Q_{eva}) dan daya kompresor (W_{kom}). Satuan Q_{eva} dibuat dalam Btu/h sedangkan satuan W_{kom} menjadi Watt dan dapat dirumuskan menjadi persamaan (6).

$$EER = \frac{Q_{eva}}{W_{com}} \quad (Btu/Wh) \quad (6)$$

Kajian termodinamik kinerja AC split pada penelitian ini diterapkan pada sebuah sistem AC split 2 Pk dengan refrigeran R-32 yang diaplikasikan pada salah satu ruang laboratorium komputer pada Gedung Pendidikan di Politeknik Negeri Bali. Evaluasi dibuat berdasarkan temperatur udara lingkungan di Daerah Bali yang berada pada rentang temperatur dari 24 °C sampai dengan 35 °C dengan sumber data dari stasiun meteorologi Bandara Ngurah Rai Bali yang dapat diambil dari referensi [19]. Variasi lengkap temperatur dan RH (Relative Humidity) dari udara lingkungan yang digunakan merupakan data pada bulan Februari seperti yang dipresentasikan pada Gambar 3.



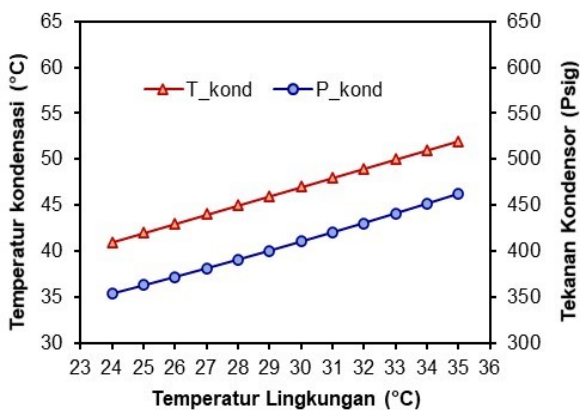
Gambar 3. Variasi temperatur dan RH udara lingkungan di Daerah Bali per jam pada bulan Februari [19]

Kajian termodinamik kinerja sistem AC split pada berbagai variasi temperatur lingkungan yang berpengaruh langsung terhadap temperatur kondensator dari sistem AC dilakukan pada sistem AC dengan berbagai kondisi temperatur evaporasi. Tetapi dengan derajat sub-cooling kondensator dan derajat superheat evaporator dijaga konstan berturut-turut pada tingkat 3 °C dan 7 °C. Juga diasumsikan kondensator TD (Temperature Difference) atau condenser split standar sebesar 17 °C dan evaporator memiliki spesifikasi evaporator split juga standar sebesar 20 °C.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Temperatur dan Tekanan Kondensator

Hasil simulasi dan kajian pada pengaruh temperatur udara lingkungan terhadap temperatur kondensasi refrigeran di kondensator disajikan pada Gambar 4.



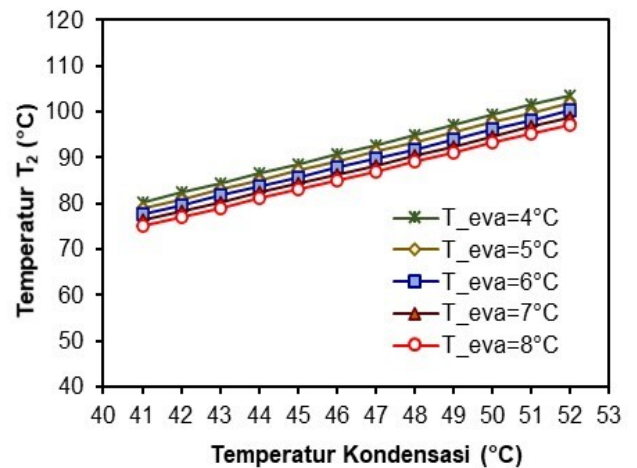
Gambar 4. Efek temperatur udara lingkungan terhadap temperatur dan tekanan kondensator (T_{kond} dan P_{kond})

Dievaluasi berdasarkan temperatur udara lingkungan dari 24 °C sampai dengan 35 °C terjadi peningkatan yang proporsional pada temperatur kondensasi sistem AC split yaitu dari 41 °C sampai dengan 52 °C. Hal ini terjadi karena kondensator split atau kondensator TD dari kondensator konstan yang disebabkan oleh tidak adanya perubahan putaran kipas kondensator serta koil dan fin kondensator dianggap masih bersih selama dalam penelitian.

Tekanan kondensator mengalami peningkatan yang cukup signifikan apabila temperatur lingkungan berubah naik dari 24 °C menjadi 35 °C. Besar peningkatan mencapai sebesar 109 Psi yaitu dari tekanan yang awalnya 354 Psig naik menjadi 462 Psig. Variasi selengkapnya antara temperatur kondensasi dan tekanan kondensator sebagai akibat dari perubahan temperatur udara lingkungan disajikan pada Gambar 4.

3.2. Kajian Pengaruh Temperatur Kondensasi dan Evaporasi terhadap Kinerja Kompresor

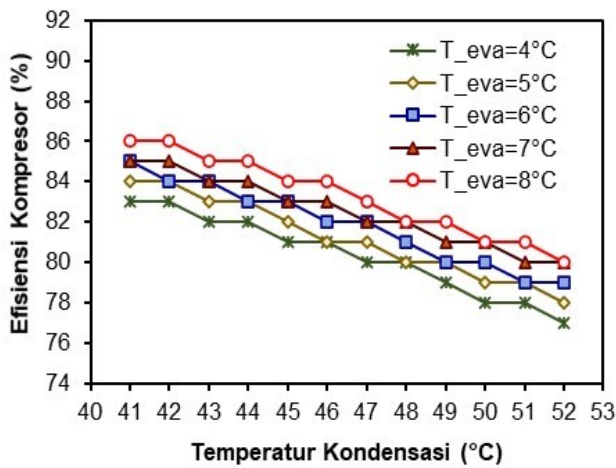
Temperatur kondensasi yang berkorelasi dengan tekanan kondensator dan temperatur evaporasi (T_{eva}) refrigeran di evaporator berkaitan erat dengan tekanan evaporator dapat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kinerja kompresor dan sistem AC secara keseluruhan. Kedua parameter tersebut dapat berpengaruh terhadap temperatur kompresor, efisiensi, daya kompresor dan laju massa refrigeran yang mampu disirkulasikan oleh kompresor.



Gambar 5. Temperatur kompresor yang dapat diestimasi dari temperatur refrigeran keluar kompresor (T_2)

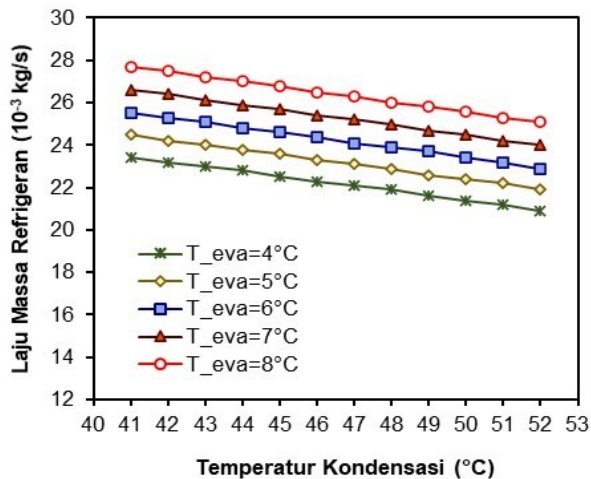
Pada Gambar 5 disajikan variasi temperatur kompresor yang diindikasikan dari temperatur refrigeran yang ke luar kompresor (T_2). Dapat dilihat dengan jelas bahwa temperatur kompresor semakin tinggi apabila temperatur kondensasi meningkat. Diamati pada temperatur evaporasi ($T_{eva}=5^\circ\text{C}$) 5 °C, apabila temperatur kondensasi naik dari 41 °C ke 52 °C maka temperatur kompresor meningkat sekitar 23 °C (dari 79 °C menjadi 102 °C).

Dari Gambar 5 juga dapat diilustrasikan bahwa temperatur evaporasi (T_{eva}) juga dapat mempengaruhi temperatur kompresor. Walaupun pengaruhnya tidak sekuat pengaruh temperatur kondensasi dan justru pengaruhnya merupakan kebalikan dari pengaruh temperatur kondensasi. Temperatur kompresor meningkat semakin tinggi apabila sistem AC beroperasi pada temperatur evaporasi yang semakin rendah.



Gambar 6. Efisiensi kompresor pada berbagai temperatur kondensasi dan evaporasi

Hasil kajian termodinamik juga menunjukkan pengaruh dari temperatur kondensasi terhadap efisiensi kompresor. Efisiensi kompresor dapat turun sampai 6% apabila temperatur kondensasi naik dari 41 °C menjadi 52 °C. Efisiensi kompresor sebaliknya meningkat sebesar 3% apabila temperatur evaporasi naik dari 4 °C ke 8 °C (Gambar 6). Variasi ini disebabkan oleh karena perubahan temperatur kondensasi dan evaporasi dapat berpengaruh secara langsung terhadap rasio kompresi kompresor. Rasio kompresi meningkat dengan adanya kenaikan temperatur kondensasi dan/atau penurunan temperatur evaporasi. Dimana efisiensi kompresor sangat dominan dipengaruhi oleh rasio kompresi kompresor.

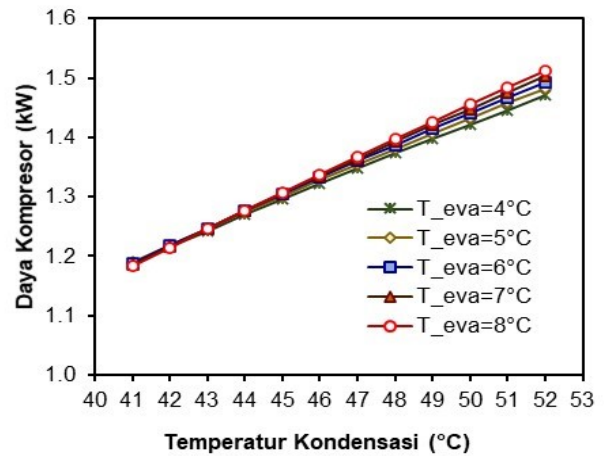


Gambar 7. Pengaruh temperatur kondensasi dan evaporasi terhadap laju massa refrigeran yang dialirkan kompresor

Temperatur kondensasi dan temperatur evaporasi juga dapat mempengaruhi laju massa refrigeran yang mampu disirkulasikan oleh kompresor seperti yang disajikan pada Gambar 7. Laju massa refrigeran menurun sekitar 10,7% pada 11 °C kenaikan temperatur kondensasi (dari 41 °C ke 52 °C) atau menurun sekitar 1% per 1 °C kenaikan temperatur kondensasi. Penurunan laju massa refrigeran akibat kenaikan temperatur kondensasi dipengaruhi oleh adanya penurunan efisiensi volumetrik kompresor apabila beroperasi pada rasio kompresi yang lebih tinggi. Naiknya temperatur kondensasi pada kondisi temperatur evaporasi

yang konstan dapat meningkatkan rasio kompresi kompresor.

Pengaruh temperatur evaporasi menunjukkan kebalikan dari pengaruh temperatur kondensasi. Massa refrigeran yang mampu dialirkan oleh kompresor semakin meningkat apabila sistem AC beroperasi pada temperatur evaporasi yang semakin tinggi. Peningkatan laju massa refrigeran dapat terjadi sekitar 4,3% per 1 °C kenaikan temperatur evaporasi. Kenaikan laju massa refrigeran ini disebabkan oleh karena meningkatnya massa jenis gas refrigeran pada temperature dan tekanan yang lebih tinggi.



Gambar 8. Pengaruh temperatur kondensasi dan evaporasi terhadap daya kompresor

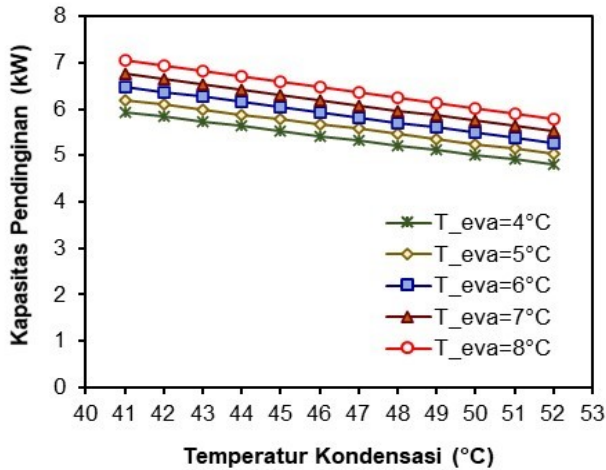
Pada Gambar 8 diilustrasikan pengaruh temperatur kondensasi dan evaporasi terhadap daya kompresor. Terlihat sangat jelas bahwa daya kompresor meningkat cukup signifikan sebesar 0,3 kW apabila temperatur kondensasi naik dari 41 °C menjadi 52 °C. Terjadi peningkatan konsumsi daya sekitar 2,1% per 1 °C kenaikan temperatur kondensasi. Hal ini menunjukkan bahwa kerja kompresi kompresor semakin berat apabila temperatur kondensasi sistem AC meningkat.

Sedangkan pengaruh variasi temperatur evaporasi terhadap konsumsi daya kompresor tidak begitu signifikan. Perubahan temperatur evaporasi pada sistem AC yang beroperasi pada temperatur kondensasi di bawah 44 °C tidak mengakibatkan adanya perubahan yang berarti pada konsumsi daya kompresor. Pengaruh temperatur evaporasi nampak relatif lebih signifikan pada sistem AC yang beroperasi pada temperatur kondensasi yang lebih tinggi. Konsumsi daya sedikit meningkat sekitar 0,31% per 1 °C kenaikan temperatur evaporasi. Kenaikan konsumsi daya terjadi sebagai akibat dari laju massa refrigeran yang dialirkan semakin besar apabila temperatur evaporasi meningkat. Peningkatan laju aliran massa dapat meningkatkan kerja kompresi dari kompresor sebagai akibatnya terjadi peningkatan daya yang dibutuhkan oleh kompresor.

3.3. Kajian Pengaruh Temperatur Kondensasi dan Evaporasi Terhadap Kinerja Energi Sistem AC Split

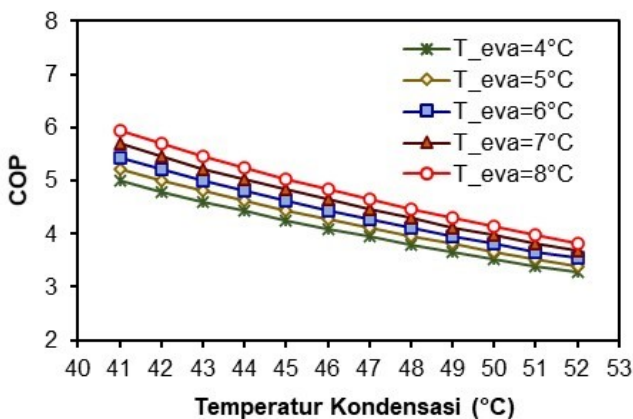
Hasil kajian termodinamik tentang efek dari perubahan temperatur kondensasi dan evaporasi terhadap kapasitas pendinginan sebagai salah satu parameter kinerja energi dari sistem AC disajikan pada Gambar 9. Kapasitas pendinginan (Cooling Capacity) sistem AC split dengan R-

32 menunjukkan adanya penurunan walaupun tidak signifikan apabila temperatur kondensasinya meningkat. Besarnya penurunan kapasitas pendinginan berkisar 1,8% per 1 °C kenaikan temperatur kondensasi. Sebaliknya Nampak dari grafik pada Gambar 9, terjadi kenaikan kapasitas pendinginan yang cukup signifikan apabila sistem AC bekerja pada temperatur evaporasi yang lebih tinggi. Untuk sistem AC split 2 Pk dengan kapasitas pendinginan 5,37 kW pada temperatur evaporasi 4 °C, dapat terjadi kenaikan kapasitas pendinginan mencapai 1,04 kW apabila temperatur evaporasinya naik dai 4 ke 8 °C. Peningkatan kapasitas pendinginan tersebut terhitung mencapai 4,4% per 1 °C kenaikan temperatur evaporasi.



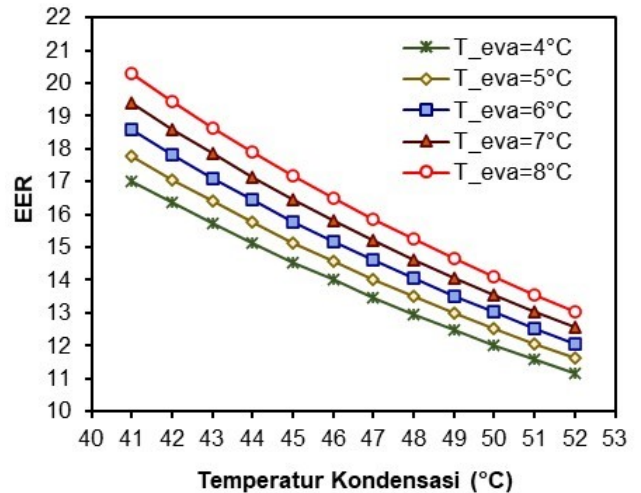
Gambar 9. Variasi kapasitas pendinginan pada berbagai temperatur kondensasi dan evaporasi

Parameter kinerja utama sistem refrigerasi yaitu COP atau EER sudah dapat dipastikan juga dipengaruhi oleh adanya perubahan temperatur kondensasi dan evaporasi seperti yang ditampilkan pada Gambar 10 dan 11. Nampak dari grafik terjadi penurunan COP dan EER yang lebih signifikan dibandingkan dengan penurunan kapasitas pendinginan pada saat sistem AC beroperasi pada temperatur kondensasi yang meningkat. Besarnya penurunan COP atau EER per 1 °C kenaikan temperatur kondensasi bisa mencapai 3,9%. Perubahan ini disebabkan oleh di samping adanya penurunan kapasitas pendinginan juga terjadi peningkatan daya kompresor apabila temperatur kondensasi sistem AC meningkat.



Gambar 10. Variasi kinerja energi COP sistem AC split akibat berubahnya temperatur kondensasi dan evaporasi

Sebaliknya COP atau EER ditemukan meningkat dengan cukup signifikan apabila temperatur evaporasi naik. Untuk sistem AC 2 Pk yang beroperasi dengan peningkatan temperatur evaporasi dari 4 °C ke 8 °C akan terjadi perbaikan COP atau EER sebesar 16,4% atau sekitar 4.1% per 1 °C kenaikan temperatur evaporasi. Prosentase kenaikan COP atau EER ini lebih kecil dibandingkan dengan kenaikan kapasitas pendinginan sebagai akibat dari adanya peningkatan konsumsi daya kompresor apabila beroperasi pada temperatur evaporasi yang lebih tinggi.



Gambar 11. Pengaruh temperatur kondensasi dan evaporasi terhadap kinerja EER sistem AC split

Hasil kajian ini menunjukkan bahwa untuk menjamin sistem AC split dapat beroperasi secara efisien dengan kinerja yang tinggi, maka sangat penting untuk menjaga sistem AC split agar dapat beroperasi pada temperatur kondensasi yang lebih rendah dan temperatur evaporasi yang lebih tinggi.

Hasil kajian ini juga menunjukkan bahwa kinerja sistem AC split dengan menggunakan refrigeran R-32 memiliki rentang COP yang sangat baik dari 3,27 sampai 5,95. Hasil ini dapat memberikan indikasi bahwa refrigeran R-32 sangat potensial menjadi refrigeran untuk aplikasi sistem AC split.

4. Kesimpulan

Kajian termodinamik kinerja energi sistem AC split dengan R-32 untuk aplikasi bangunan pendidikan di Politeknik Negeri Bali telah dilakukan dengan menggunakan program mandiri U-CoolS V.1.12 yang dikembangkan pada program EES V11.334. Hasil kajian menunjukkan kuatnya pengaruh parameter operasional temperatur kondensasi kondensor dan temperatur evaporasi evaporator terhadap kinerja kompresor dan kinerja energi keseluruhan sistem AC split.

Hasil kajian termodinamik ini juga mengindikasikan bahwa sistem AC split dapat beroperasi secara efisien dengan kinerja energi yang tinggi, maka sangat penting untuk menjaga sistem AC split agar dapat beroperasi pada temperatur kondensasi yang relatif lebih rendah dan temperatur evaporasi yang relatif lebih tinggi.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih atas dukungan dana dari Penelitian Institusi DIPA Politeknik Negeri Bali. Juga kepada P3M Politeknik Negeri Bali atas bantuan dan

dukungan administratif, monitoring dan evaluasi sehingga penelitian ini dapat dilaksanakan dengan terarah dan lancar. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada tim laboratorium Komputer dan laboratorium Tata Udara Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bali atas bantuan teknis yang sudah diberikan.

Daftar Pustaka

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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. 2187-220042.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] Building energy data United States, 2010, online <http://buildingsdatabook.eren.doe.gov/ChapterIntro1.aspx> (diakses 28 Maret. 2022).
- [14] 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.
- [15] I.M. Rasta, and I.N. Suamir, "Air conditioning system performance of a city hotel appraised for energy use efficiency", *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 83, 2021, pp. 118-130.
- [16] ASHRAE, "ASHRAE Handbook - HVAC Systems and Equipment", American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, USA, 2019.
- [17] BS EN 378-1, "Refrigerating systems and heat pumps- Safety and environmental requirements Part 1: Basic Requirements, Definitions, Classification and Selection Criteria", BSI Standards Limited, 70 pgs., 2016.
- [18] T.S. Lee, C.H. Liu, T.W. Chen, "Thermodynamic Analysis of Optimal Condensing Temperature of Cascade-condenser in CO₂/NH₃ Cascade Refrigeration Systems", *International Journal Refrigeration*, 29, 2006, pp. 1100-1108.
- [19] R. Liggett and M. Milne, "Climate Consultant 6", UCLA Energy Design Tools Group, 2021.