

PERBANDINGAN PERFORMANSI AIR CONDITIONING HIBRIDA PADA *STANDBY MODE (TRADITIONAL AC)* DENGAN BEBAN PENDINGINAN 1000 WATT DAN TANPA BEBAN PENDINGINAN

Azridjal Aziz, Eko Prasetyo dan Rahmat Iman Mainil

Laboratorium Rekayasa Termal, Jurusan Teknik Mesin,
Fakultas Teknik, Universitas Riau, Jl. Subrantas Km 12.5 Panam, Pekanbaru, 28293, Indonesia

E-mail: azridjal.aziz@lecturer.unri.ac.id

ABSTRAK

Pengujian mesin AC (*Air Conditioning*) hibrida (pemanfaatan sisi pendinginan dan sisi pemanasan sekaligus) pada pengoperasian *standby mode* (tradisional AC) dengan kondisi tanpa beban pendinginan dan dengan beban pendinginan 1000 Watt telah dilakukan pada penelitian ini. Kinerja AC hibrida pada kondisi tanpa beban dibanding kondisi dengan beban 1000W adalah rata-rata COP (Coefficient of Performance) sekitar 2,460 berbanding 2,452, PF (Performance Factor) sekitar 3,42 berbanding 3,41 dan TP (Total Performance) sekitar 5,88 berbanding 5,86. Hasil pengujian menunjukkan bahwa dengan beban pendinginan 1000 Watt mampu memberikan temperatur ruang pendingin rata-rata sebesar 28,3 °C, temperatur ruang pemanas 44,9 °C, kerja kompresor 0,5825 kW sedangkan pada kondisi tanpa beban pendinginan, temperatur ruang pendingin rata-rata sebesar 22,5 °C, temperatur ruang pemanas 38,8 °C, kerja kompresor 0,5449 kW. Hasil pengujian mesin AC hibrida dengan refrigeran HCR-22 menunjukkan bahwa kondisi tanpa beban pendinginan memiliki performansi tidak jauh berbeda dibanding dengan beban pendinginan 1000W. Hal ini menunjukkan temperatur ruang pendingin dengan beban pendinginan 1000 Watt menjadikan temperatur ruang pendingin dalam kondisi jauh dari rasa nyaman bagi penggunaannya, sehingga beban pendinginnya harus dikurangi atau kapasitas pendinginannya dinaikkan

Kata kunci : Standby mode (traditional AC), HCR-22, COP, refrigerasi

ABSTRACT

The experimental study of a hybrid AC (Air Conditioning) system (utilizing both cooling and heating sides) in standby mode (traditional AC) operated without cooling load and with 1000 Watt cooling load has been carried out in this study. Hybrid AC performance without load compared to condition with a load of 1000W had the average COP (Coefficient of Performance) of around 2.460 versus 2.452, PF (Performance Factor) of around 3.42 versus 3.41 and TP (Total Performance) of around 5.88 versus 5.86, respectively. The test results showed that by using cooling load of 1000 Watt, could provide an average cooling room temperature of 28.3 °C, a heating room temperature of 44.9 °C, a compressor power of 0.5825 kW while the result of without cooling load condition, the temperature of the cool room was average 22.5 °C, heating room temperature of 38.8 °C, compressor work of 0.5449 kW. The test results of the AC hybrid machine with HCR-22 refrigerant showed that the condition of without cooling load had a performance that was little bit different compared to the cooling load of 1000W. This results showed that the temperature of the cold room with a cooling load of 1000 Watt made the temperature of the cold room was uncomfortable for human, so that the cooling load must be reduced or the cooling capacity must be increased.

Keywords : Standby mode (traditional AC), HCR-22, COP, refrigeration

PENDAHULUAN

Pemakaian sistem pengkondisian udara yang lebih dikenal sebagai Air Conditioning (AC) terutama jenis split atau jenis terpisah semakin pesat penggunaannya untuk penggunaan di sektor perkantoran, hotel, rumah tangga dll. Penggunaan sistem pengkondisian udara sudah semakin pesat, hampir semua gedung bertingkat, pusat perkantoran, pusat perbelanjaan, serta perumahan (*residential*) menggunakan sistem ini. Tujuan pengkondisian utama pengkondisian udara adalah untuk menciptakan zona kenyamanan termal (*thermal comfort zone*) di ruangan/gedung yang diinginkan. Penggunaan AC akan meningkatkan produktifitas bagi penghuni yang beraktifitas di ruangan/gedung (Daghigh *et al.*, 2009; Azizpour *et al.*, 2013; Daghigh, 2015; Ciuha and Mekjavic, 2017; Thu *et al.*, 2017; Barbadilla-Martín *et al.*, 2018; Buonocore *et al.*, 2020; Fabozzi and Dama, 2020).

Untuk meningkatkan efisiensi energi dan penghematan energi pada AC umumnya dengan melakukan konservasi energi pada sistem refrigerasi terutama pada refrigeran (fluida kerja) dan komponen utama mesin refrigerasi. Totok, Nabil, Rismanchi, dong menggunakan thermal energy storage untuk meningkatkan efisiensi mesin refrigerasi. Penggunaan *evaporative cooling* untuk penghematan energi sistem pendingin pada kondensor telah dilakukan oleh banyak peneliti (Chen, Mo and Teng, 2018; Dhamneya, Rajput and Singh, 2018; Pan *et al.*, 2018; Harby and Al-Amri, 2019; Ndukaife and Nnanna, 2019; Yang, Cui and Lan, 2019; Patel *et al.*, 2020; Yang *et al.*, 2020). Penggunaan air kondensat dari evaporator sebagai *precooling* pada sisi kondensor dan pendingin kompressor sehingga terjadi penghematan energi sistem refrigerasi telah dilakukan oleh beberapa peneliti (Ibrahim, Al-Farayedhi and Gandhidasan, 2017; Ardita and Subagia, 2018; Sumeru, Pramudantoro and Setyawan, 2018; Sumeru, Margana and Hidayat, 2019; Yoon *et al.*, 2019).

Bolaji, 2012; Sanukrishna, Vishnu and Jose Prakash, 2017; Nethaji, Mohideen and Nethaji, 2019; Saravanan, Lal and Selvam, 2020 menggunakan refrigerant hidrokarbon dan nanorefrigeran untuk peningkatan efisiensi energi. Roger *et al.*, 2018 menggunakan compressor inverter pada penelitiannya. Sabry and Ker, 2020 menggunakan *compressor dc variable speed* untuk efisiensi energi pada sistem refrigerasi dan pengkondisian udara

AC sebagai mesin refrigerasi untuk pengkondisian udara tidak hanya berfungsi untuk memberikan efek dingin tetapi yang lebih penting adalah memberikan rasa kenyamanan (*comfort air conditioning*) yang merupakan suatu proses perlakuan termodinamika terhadap udara dengan mengatur temperatur, kelembaban, kebersihan, dan pendistribusiannya secara bersamaan untuk memperoleh kondisi nyaman bagi penghuni yang berada didalamnya (G. F. Hundy, A. R. Trott, T.C., 2008; Khurmi and Gupta, 2009; Wijeyesundera, 2016).

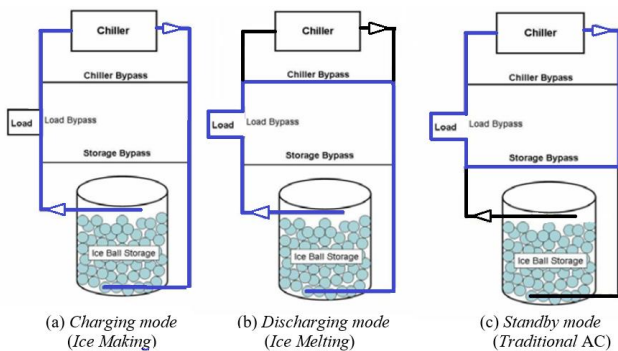
Mesin refrigerasi pada dasarnya adalah mesin yang dapat menghasilkan efek pendinginan dan efek pemanasan secara bersamaan. Efek pendinginan terjadi di evaporator dimana refrigeran yang bertemperatur dan bertekanan rendah menyerap kalor di sekitarnya sehingga temperaturnya turun di bawah temperatur lingkungan. Sebaliknya efek pemanasan terjadi di kondensor dimana refrigeran yang bertekanan dan bertemperatur tinggi akan membuang kalornya ke lingkungan sehingga temperatur sekitar kondensor lebih tinggi dari temperatur lingkungan. Penamaan mesin refrigerasi berdasarkan efek yang diinginkan. Refrigerator atau pendingin adalah mesin refrigerasi yang memanfaatkan efek pendinginan untuk berbagai keperluan (penyejuk ruangan didaerah tropis atau saat musim panas, mesin pembuat es, kulkas dan lain-lain). Heat pump atau pompa kalor adalah mesin refrigerasi yang memanfaatkan efek pemanasannya untuk berbagai keperluan (penyejuk ruangan di saat musim dingin, pemanas air, pengering dll). Mesin refrigerasi hibrida adalah mesin refrigerasi yang memanfaatkan efek pendinginan dan efek pemanasan secara bersamaan dengan tetap memperhatikan keseimbangan termodinamik (Nasution *et al.*, 2013; Aziz, Mainil and Mainil, 2015; Sulaiman, Aziz and Mainil, 2016).

Chiller adalah mesin refrigerasi dimana evaporatornya menyerap kalor dari cairan etilen glikol/air sehingga diperoleh cairan yang sangat dingin dan cairan ini disirkulasikan ke ruangan yang akan didinginkan atau keperluan pendinginan lainnya. Chiller biasanya digunakan pada mesin refrigerasi jenis AC sentral, karena pada AC kapasitas besar lebih mudah mendistribusikan air dingin (water chiller/liquid) ke FCU (fan coil unit) untuk mendinginkan/menyejukkan udara ruangan. *Water chiller* adalah salah satu jenis AC untuk mendinginkan cairan (umumnya air) sebagai *secondary refrigerant* yang mengaplikasikan

sistem refrigerasi tidak langsung. Air akan disirkulasikan ke FCU untuk menyerap kalor dari ruangan dan kemudian disirkulasikan kembali ke chiller evaporator sehingga siklus pendinginan berlangsung untuk mendinginkan ruangan (Biyanto *et al.*, 2015; Fazri and Maryanti, 2016; Saito, 2017; Thu *et al.*, 2017; Sunu *et al.*, 2018; Martínez *et al.*, 2020; Sun *et al.*, 2020; Yang *et al.*, 2020).

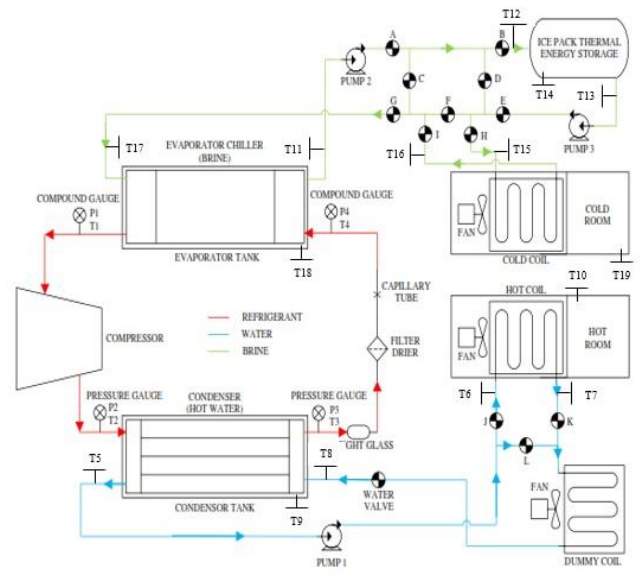
BAHAN DAN METODE

Pada penelitian ini mesin refrigerasi yang digunakan adalah residential air conditioning yang dimodifikasi jadi mesin refrigerasi hibrida. Penelitian ini dilakukan secara eksperimental pada kondisi *standby mode (traditional AC)*. Fluida kerja pada mesin *residential air conditioning* hibrida pada penelitian ini adalah refrigeran HCR-22 yang lebih ramah lingkungan. HCR-22 memiliki potensi pemanasan global/Global Warming Potential (GWP) dan potensi perusakan ozon/ODP (Ozone Depleting Potential) yang sangat rendah (Ahamed, Saidur and Masjuki, 2014; Sumeru, Margana and Hidayat, 2019). Kondisi operasi *Standby mode (traditional AC)* yaitu kondisi operasi dimana mode aliran brine (*liquid chilled*) yang bertemperatur dibawah titik beku air yaitu -15°C tanpa penggunaan es atau mode pendinginan langsung brine dialirkan untuk penyejuk udara ruangan. Gambar 1 menunjukkan tiga mode operasi pada mesin refrigerasi dengan *ice thermal cold storage* yaitu *charging mode (ice making)* yaitu mode penyimpanan termal dingin dengan pembentukan es, *discharging mode (ice melting)* yaitu mode sirkulasi cairan hasil penyimpanan dingin dan *standby mode (traditional AC)* yaitu mode sirkulasi cairan dingin.

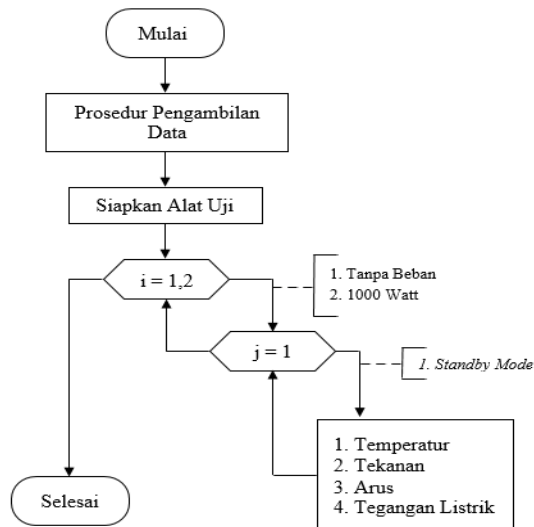


Gambar 1. *Ice Thermal Cold Storage mode operation (Innovative Cooling Technologies Of Canada Limited, 2007)*

Data yang diambil dalam penelitian ini dan akan menggunakan menggunakan analisis termodinamika adalah sebagai berikut: temperatur masuk kompresor (T_1), temperatur masuk kondensor (T_2), temperatur masuk ekspansi (T_3), emperatur masuk evaporator (T_4), temperatur air keluar tangki kondensor (T_5), temperatur air masuk koil ruang pemanas (T_6), temperatur air keluar koil ruang pemanas (T_7), temperatur air masuk tangki kondensor (T_8), temperatur air tangki kondensor (T_9), temperatur ruang pemanas (T_{10}), temperatur *brine* keluar tangki evaporator (T_{11}), temperatur *brine* masuk koil ruang pendingin (T_{12}), temperatur *brine* keluar koil ruang pendingin (T_{13}), temperatur *brine* masuk tangki evaporator (T_{14}), temperatur *brine* tangki evaporator (T_{15}), temperatur ruang pendingin (T_{16}), temperatur lingkungan (T_L), tekanan masuk kompresor (P_1), tekanan masuk kondensor (P_2), tekanan masuk ekspansi (P_3), tekanan masuk evaporator (P_4), tegangan listrik (v) dan arus listrik (I). Skematik diagram *residential hybrid refrigeration system* dengan *ice thermal storage* sebagai pendingin dan pemanas ruangan (Prasetyo, 2016) ditunjukkan pada Gambar 2. Kondisi operasi *standby mode (traditional AC)* diperoleh dengan menutup katup aliran ke *ice pack thermal energy storage* yaitu katup B, katup C, katup E, katup F dan katup G.



Gambar 2. Skematik diagram *residential hybrid refrigeration system* dengan *ice thermal storage* sebagai pendingin dan pemanas ruangan (Prasetyo, 2016)



Gambar 2. Diagram Alir Pengambilan Data (Prasetyo et al. 2016)

Pengambilan data dilakukan setiap 5 menit selama 120 menit untuk kondisi operasi pengujian pada *standby mode (traditional AC)* menggunakan refrigeran HCR-22. Data yang diambil untuk berbagai variabel yang digunakan: temperature, tekanan, arus listrik dan tegangan listrik, dapat dilihat pada Gambar 3, pada kondisi tanpa beban dan kondisi dengan beban 1000 Watt. Gambar 3 menunjukkan diagram alir proses pengambilan data pengujian.

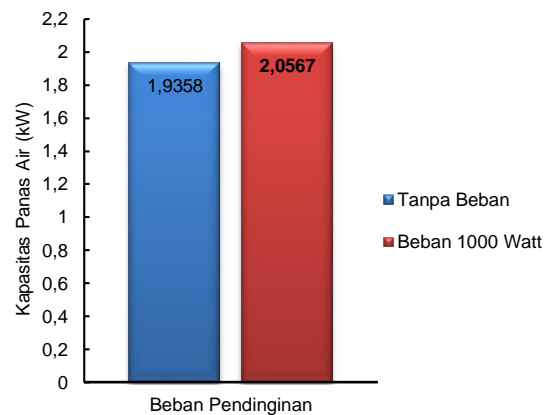
HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi operasi *standby mode (traditional AC)* dicapai setelah dilakukan pendinginan terlebih dahulu pada cairan *brine* di tangki evaporator sampai temperatur cairan *brine* mencapai 5°C. Setelah kondisi tersebut tercapai, cairan *brine* dialirkan ke ruang pendingin. Pada kondisi operasi *standby mode (traditional AC)* ini perbandingan variasi beban pendinginan, yaitu kondisi tanpa beban pendinginan dan kondisi dengan beban pendinginan. 1000 Watt yang diperoleh dari lampu pijar 10 lampu pijar 100 Watt, dengan asumsi daya lampu pijar sepenuhnya dianggap sebagai sumber kalor,

Kapasitas panas air

Dari hasil kapasitas panas air rata-rata dengan nilai tertinggi yaitu beban pendinginan 1000 Watt sebesar 2,0567 kW sedangkan pendinginan tanpa beban pendinginan sebesar 1,9358 kW. Hal ini terjadi karena pada beban pendinginan 1000 Watt kalor yang dilepaskan oleh sistem refrigerasi ke air dari koil tangki kondensor lebih banyak, seperti

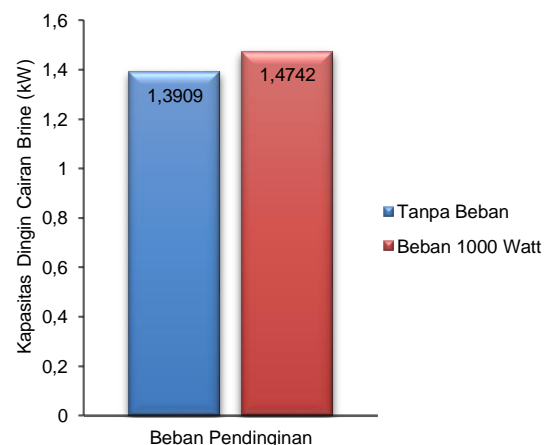
terlihat pada Gambar 4. Gambar 4 menunjukkan perbedaan kapasitas panas air pada kondisi tanpa beban pendinginan dan kondisi dengan beban pendinginan 1000 Watt.



Gambar 4. Kapasitas Panas Air

Kapasitas dingin cairan *brine*

Untuk hasil kapasitas dingin cairan *brine* rata-rata dengan nilai tertinggi yaitu pada beban pendinginan 1000 Watt sebesar 1,4742 kW sedangkan pada kondisi tanpa beban pendinginan sebesar 1,3909 kW. Besarnya kalor yang dilepaskan oleh cairan *brine* ke ruang pendingin dengan beban 1000 Watt, membuat kerja dari sistem refrigerasi lebih besar sehingga kalor yang dilepaskan ke cairan *brine* dari koil tangki evaporator lebih banyak, terlihat pada Gambar 5.

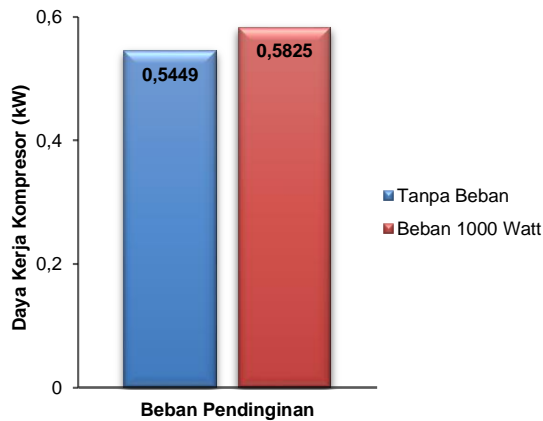


Gambar 5. Kapasitas Dingin Cairan *Brine*

Daya kerja kompresor.

Hasil dari daya sebagai kerja kompresor rata-rata tertinggi yaitu pada beban pendinginan 1000 Watt sebesar 0,5825 kW sedangkan tanpa beban pendinginan sebesar 0,5449 kW. Besarnya daya kerja kompresor pada pendinginan beban 1000

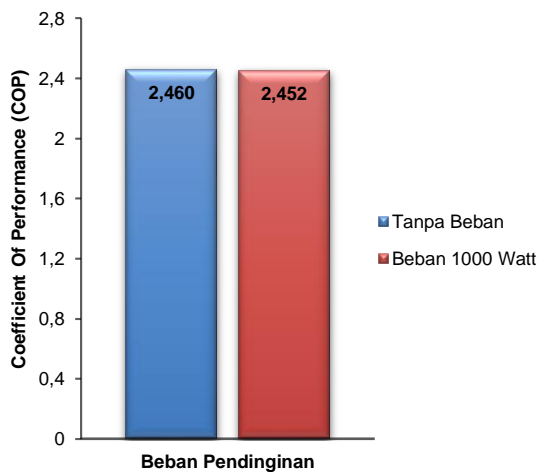
Watt menjadikan penggunaan listrik oleh sistem refrigerasi tidak efisien (boros konsumsi energi listrik). Hal ini dipengaruhi oleh kalor dari ruang pendingin lebih besar sehingga membutuhkan pendinginan yang lebih dari cairan *brine* untuk mendinginkan ruang pendingin, terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Daya Kerja Kompresor

Coefficient of Performance (COP)

Untuk hasil *coefficient of performance (COP)* rata-rata tidak terlalu jauh perbandingannya. Tetapi hasil *COP* yang tertinggi pada pendinginan tanpa beban sebesar 2,460. Dengan demikian dapat dipastikan bahwa pada pendinginan tanpa beban membuat kerja sistem refrigerasi lebih baik, karena sistem refrigerasi tidak bekerja terlalu paksa yang disebabkan oleh beban pendinginan, terlihat pada Gambar 7.

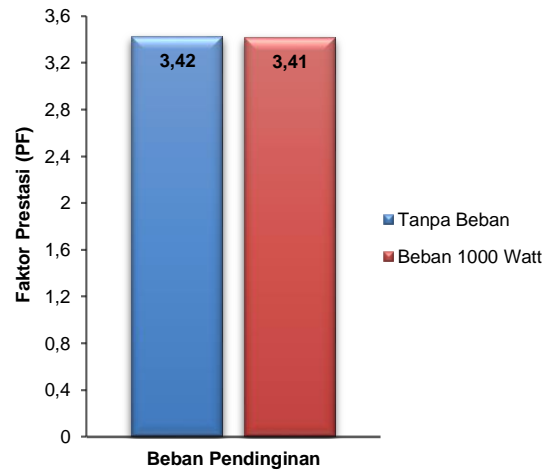


Gambar 7. Coefficient of Performance (COP)

Faktor Prestasi (FP)

Jika hasil dari *coefficient of performance (COP)* menyatakan bahwa pada tanpa beban pendinginan lebih baik, maka hal itu berlaku terhadap faktor prestasi (PF). Untuk hasil perbandingan PF tidak terlalu besar, tetapi hasil PF rata-rata tertinggi ada

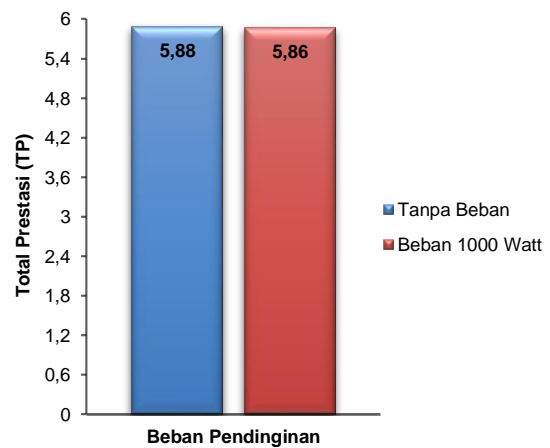
pada pendinginan tanpa beban sebesar 3,42 sedangkan pendinginan beban 1000 Watt sebesar 3,41, terlihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Faktor Prestasi (PF)

Total Prestasi (TP)

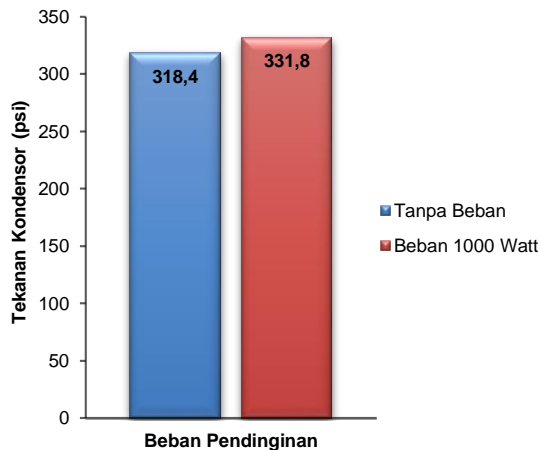
Jika hasil dari *coefficient of performance (COP)* dan faktor prestasi (PF) menyatakan bahwa pada pendinginan tanpa beban lebih baik, maka untuk total prestasi (TP) berlaku hal yang sama. Dengan hasil perbandingan yang tidak terlalu besar, maka untuk TP rata-rata tertinggi yaitu pada pendinginan tanpa beban sebesar 5,88, terlihat pada Gambar 9.



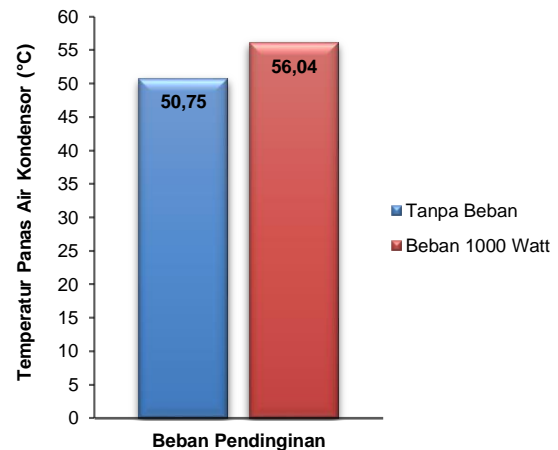
Gambar 9. Total Prestasi (TP)

Tekanan kondensor

Pada coil tangki kondensor yang melepaskan kalor ke air dengan jumlah pelepasan yang lebih banyak untuk pendinginan beban 1000 Watt, maka didapatkan untuk hasil tekanan kondensor rata-rata tertinggi pada pendinginan beban 1000 Watt sebesar 331,8 psi sedangkan pada pendinginan tanpa beban sebesar 318,4 psi, terlihat pada Gambar 10.



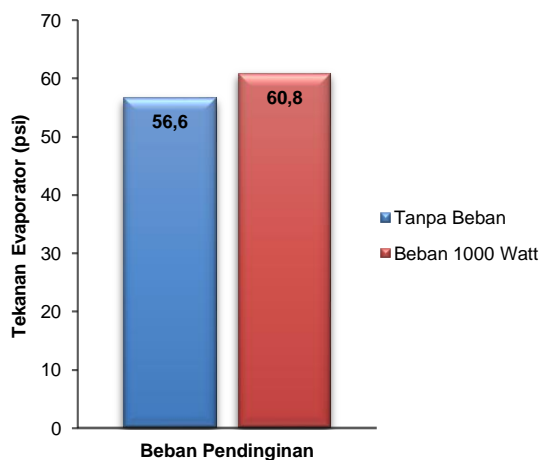
Gambar 10, Tekanan Kondensor



Gambar 12 Temperatur Panas Air Kondensor

Tekanan evaporator

Sama halnya dengan tekanan kondensor, pada tekanan evaporator rata-rata tertinggi yaitu pada pendinginan beban 1000 Watt sebesar 60,8 psi sedangkan pendinginan tanpa beban sebesar 56,6 psi. Hal yang mempengaruhi tingginya tekanan evaporator pada pendinginan beban 1000 Watt yaitu adanya upaya paksa untuk mendinginkan kembali cairan *brine* pada tangki evaporator yang telah dipengaruhi oleh kalor dari ruang pendingin.

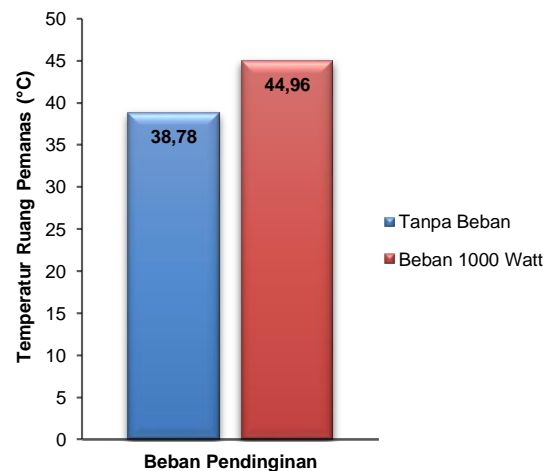


Gambar 11. Tekanan Evaporator

Temperatur panas air kondensor

Dari pelepasan kalor ke air tangki kondensor yang lebih banyak, maka menjadikan temperatur air tangki kondensor lebih panas. Untuk temperatur panas air tangki kondensor rata-rata tertinggi yaitu pada pendinginan beban 1000 Watt sebesar 56,04 °C sedangkan pada pendinginan tanpa beban sebesar 50,75 °C. Selisih dari perbandingan tersebut menjelaskan bahwa sebagai bukti upaya untuk menjaga kestabilan dari sistem refrigerasi, terlihat pada Gambar 12.

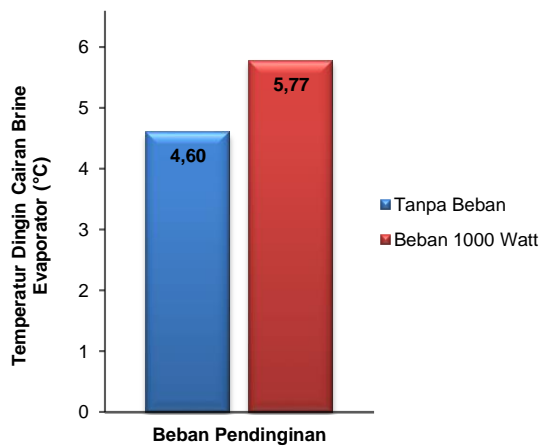
Temperatur ruang pemanas. Hasil dari temperatur panas air tangki kondensor oleh sistem refrigerasi, dapat dimanfaatkan sebagai pengeringan. Untuk hasil dari temperatur ruang pemanas berbanding lurus dengan hasil temperatur panas air tangki kondensor. Adapun hasil temperatur ruang pemanas rata-rata tertinggi yaitu pada pendinginan beban 1000 Watt sebesar 44,96 °C sedangkan pada pendinginan tanpa beban sebesar 38,78 °C. Kedua hasil dari temperatur ruang pemanas sama-sama bisa dimanfaatkan sebagai pengeringan, hanya saja pada temperatur ruang pemanas dengan pendinginan beban 1000 Watt memiliki panas lebih baik dan cepat dalam proses pengeringan, terlihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Temperatur Ruang Pemanas

Pada ruang pendingin terdapat kalor dari lampu pijar sebesar 1000 Watt maka sistem refrigerasi berupa kondisi paksa untuk mendinginkan cairan *brine* yang ada pada tangki evaporator. Terlihat pada Gambar 14. bahwa temperatur dingin cairan *brine* tangki evaporator rata-rata tertinggi yaitu pada pendinginan beban 1000 Watt sebesar 5,77

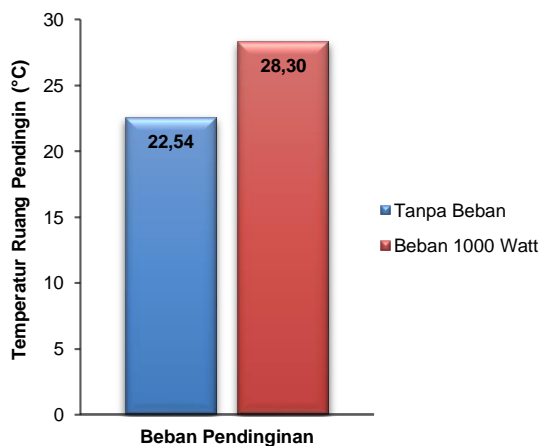
°C. Dengan temperatur yang tinggi pada cairan *brine* tangki evaporator menunjukkan bahwa terjadi penyerapan kalor dari ruang pendingin oleh cairan *brine*, seperti di lihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Temperatur Dingin Cairan *Brine* Evaporator

Temperatur ruang pendingin

Terlihat pada Gambar 15 untuk hasil temperatur ruang pendingin rata-rata tertinggi yaitu pada pendinginan beban 1000 Watt sebesar 28,30 °C sedangkan pendinginan tanpa beban sebesar 22,54 °C. Adapun penjelasan dari selisih yang terjadi dari variasi pendinginan karena pada pendinginan beban 1000 Watt memiliki kalor yang lebih besar dari pada pendinginan tanpa beban, sehingga kalor yang dilepaskan oleh cairan *brine* ke ruang pendingin tidak mampu menjadikan ruang pendingin pada kondisi temperatur nyaman.



Gambar 15. Temperatur Ruang Pendingin

KESIMPULAN

Performansi dari mesin *residential air conditioning* hibrida pada kondisis operasi metode *standby*

mode (traditional AC) menggunakan refrigeran HCR-22 ini, diperoleh pada kondisi tanpa beban pendinginan diperoleh *COP* rata-rata sebesar 2,460, *PF* rata-rata sebesar 3,42 dan *TP* rata-rata sebesar 5,88 hasil ini cenderung sama dengan perbedaan yang tidak signifikan dibandingkan dengan beban pendinginan 1000 Watt yang memiliki *COP* rata-rata sebesar 2,452, *PF* rata-rata sebesar 3,41 dan *TP* rata-rata sebesar 5,86. Dari variasi beban pendinginan didapatkan bahwa pendinginan beban 1000 Watt mampu mendinginkan ruang pendingin dengan temperatur ruang pendingin rata-rata sebesar 28,30 °C sedangkan pendinginan tanpa beban temperatur ruang pendingin rata-rata sebesar 22,54 °C. Selisih dari perbandingan tersebut dinyatakan bahwa hasil dari temperatur ruang pendingin beban pendinginan 1000 Watt menjadikan temperatur ruang pendingin dalam kondisi jauh dari rasa nyaman bagi penggunanya, sehingga beban pendinginan perlu dikurangi sehingga kondisi nyaman dapat dicapai. Hasil temperatur air panas dari tangki kondensor yang disirkulasikan ke ruang pemanas, pada beban pendinginan 1000 Watt memiliki temperatur air panas diperoleh lebih tinggi (kalor dari beban pendinginan) sehingga pemanfaatan untuk pemanasan menjadi lebih baik, namun disisi lain (ruang pendingin) kondisi nyaman tidak tercapai.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Laboratorium Rekayasa Termal, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Riau sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahamed, J. U., Saidur, R. and Masjuki, H. H. (2014) 'Investigation of Environmental and Heat Transfer Analysis of Air Conditioner Using Hydrocarbon Mixture Compared to R-22', *Arabian Journal for Science and Engineering*, 39(5), pp. 4141–4150. doi: 10.1007/s13369-014-0961-6.
- Ardita, I. N. and Subagia, I. W. A. (2018) 'The application of condensate water as an additional cooling media intermittently in condenser of a split air conditioning', *Journal of Physics: Conference Series*, 953(1). doi: 10.1088/1742-6596/953/1/012059.
- Aziz, A., Mainil, I. and Mainil, K. (2015) 'Comparative Study of Residential Split Air Conditioner as Water Heater (RSACWH) Using R-22 and HCR-22 Refrigerant', *Proceeding of Ocean, Mechanical*

- and *Aerospace*, 2, pp. 65–71. Available at: <http://isomase.org/OMase/Vol.2-1-2015/2-1-13.pdf>.
- Azizpour, F. *et al.* (2013) 'A thermal comfort investigation of a facility department of a hospital in hot-humid climate: Correlation between objective and subjective measurements', *Indoor and Built Environment*, 22(5), pp. 836–845. doi: 10.1177/1420326X12460067.
- Barbadilla-Martín, E. *et al.* (2018) 'Assessment of thermal comfort and energy savings in a field study on adaptive comfort with application for mixed mode offices', *Energy and Buildings*, 167, pp. 281–289. doi: 10.1016/j.enbuild.2018.02.033.
- Biyanto, T. R. *et al.* (2015) 'Thermal energy storage optimization in shopping center buildings', *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 47(5), pp. 549–567. doi: 10.5614/j.eng.technol.sci.2015.47.7.
- Bolaji, B. O. (2012) 'Performance of A R22 split-air-conditioner when retrofitted with ozone friendly refrigerants (R410A and R417A)', *Energy in South Africa*, 23(3), pp. 16–22.
- Buonocore, C. *et al.* (2020) 'Thermal preference and comfort assessment in air-conditioned and naturally-ventilated university classrooms under hot and humid conditions in Brazil', *Energy and Buildings*, 211, p. 109783. doi: 10.1016/j.enbuild.2020.109783.
- Chen, W. H., Mo, H. E. and Teng, T. P. (2018) 'Performance improvement of a split air conditioner by using an energy saving device', *Energy and Buildings*, 174, pp. 380–387. doi: 10.1016/j.enbuild.2018.06.055.
- Ciuha, U. and Mekjavic, I. B. (2017) 'Thermal comfort zone of the hands, feet and head in males and females', *Physiology and Behavior*, 179(July), pp. 427–433. doi: 10.1016/j.physbeh.2017.07.020.
- Daghigh, R. *et al.* (2009) 'Thermal comfort of an air-conditioned office through different windows-door opening arrangements', *Building Services Engineering Research and Technology*, 30(1), pp. 49–63. doi: 10.1177/0143624408099448.
- Daghigh, R. (2015) 'Assessing the thermal comfort and ventilation in Malaysia and the surrounding regions', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 48, pp. 681–691. doi: 10.1016/j.rser.2015.04.017.
- Dhamneya, A. K., Rajput, S. P. S. and Singh, A. (2018) 'Theoretical performance analysis of window air conditioner combined with evaporative cooling for better indoor thermal comfort and energy saving', *Journal of Building Engineering*, 17, pp. 52–64. doi: 10.1016/j.jobe.2018.01.012.
- Fabozzi, M. and Dama, A. (2020) 'Field study on thermal comfort in naturally ventilated and air-conditioned university classrooms', *Indoor and Built Environment*, 29(6), pp. 851–859. doi: 10.1177/1420326X19887481.
- Fazri, A. and Maryanti, B. (2016) 'Analisa Karakteristik Katup Ekspansi Termostatik Dan Pipa Kapiler Pada Sistem Pendingin Water Chiller', *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, 4(1), pp. 18–25. doi: 10.32487/jtt.v4i1.124.
- G. F. Hundy, A. R. Trott, T.C., W. (2008) *Refrigeration and Air-Conditioning*. fourth. Butterworth-Heinemann.
- Harby, K. and Al-Amri, F. (2019) 'An investigation on energy savings of a split air-conditioning using different commercial cooling pad thicknesses and climatic conditions', *Energy*, 182, pp. 321–336. doi: 10.1016/j.energy.2019.06.031.
- Ibrahim, N. I., Al-Farayedhi, A. A. and Gandhidasan, P. (2017) 'Experimental investigation of a vapor compression system with condenser air pre-cooling by condensate', *Applied Thermal Engineering*, 110, pp. 1255–1263. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2016.09.042.
- Khurmi, R. S. and Gupta, J. (2009) 'A Textbook of Refrigeration and Air Conditioning', p. 1734.
- Martínez, F. J. R. *et al.* (2020) 'Energy consumption reduction of a chiller plant by adding evaporative pads to decrease condensation temperature', *Energies*, 13(9). doi: 10.3390/en13092218.
- Nasution, H. *et al.* (2013) 'Retrofitting R-22 split type air conditioning with hydrocarbon (HCR-22) refrigerant', *Applied Mechanics and Materials*, 388, pp. 91–95. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.388.91.
- Ndukaife, T. A. and Nnanna, A. G. A. (2019) 'Enhancement of Performance and Energy Efficiency of Air Conditioning System Using Evaporatively Cooled Condensers', *Heat Transfer Engineering*, 40(3–4), pp. 375–387. doi: 10.1080/01457632.2018.1429063.
- Nethaji, N., Mohideen, T. and Nethaji, M. (2019) 'Energy conservation in room air conditioner unit by recovering cold energy from condensate', *International Journal of Refrigeration*, 104, pp. 95–102. doi: 10.1016/j.ijrefrig.2019.05.005.
- Off Peak Cooling. 2007. *Air Conditioning for The 21st Century*. Innovative Cooling Technologies of Canada Limited.
- Pan, S. *et al.* (2018) 'Design and experimental study of a novel air conditioning system using evaporative condenser at a subway station in Beijing, China', *Sustainable Cities and Society*, 43, pp. 550–562. doi: 10.1016/j.scs.2018.09.013.
- Patel, H. N. *et al.* (2020) 'Performance Analysis of Evaporative Cooled Condenser of Split Air Conditioner', 1(1), pp. 20–24.
- Prasetyo, E. (2016) 'Kaji Eksperimental Efisiensi Energi pada Residential Air Conditioning Hibrida dengan Thermal Energy Storage sebagai Penyejuk Udara Ruang dan Pemanas Air/Pengering'. Program Studi Teknik Mesin S1, Fakultas Teknik Universitas Riau.
- Prasetyo, E., Aziz, A. and Mainil, I. (2016) 'Performansi Residential Air Conditioning Hibrida dengan Standby Mode Menggunakan Refrigeran HCR-22

- untuk Pendingin dan Pemanas Ruangan, *JOM FTeknik*, 3(1), pp. 1-5.
- Roger, B. *et al.* (2018) 'Seasonal Energy Efficiency Rating Improvement of Residential HVAC Systems Using a Low Power Inverter with a PSC Compressor', 1, pp. 1–10.
- Sabry, A. H. and Ker, P. J. (2020) 'DC Environment for a Refrigerator with Variable Speed Compressor; Power Consumption Profile and Performance Comparison', *IEEE Access*, 8, pp. 147973–147982. doi: 10.1109/ACCESS.2020.3015579.
- Saito, K. (2017) 'Latest heat pump technologies in Japan', *12th IEA Heat Pump Conference 2017, Rotterdam*, pp. 3–4.
- Sanukrishna, S. S., Vishnu, A. S. and Jose Prakash, M. (2017) 'Nanorefrigerants for energy efficient refrigeration systems', *Journal of Mechanical Science and Technology*, 31(8), pp. 3993–4001. doi: 10.1007/s12206-017-0746-4.
- Saravanan, A. L., Lal, D. M. and Selvam, C. (2020) 'Experimental Investigation on the Performance of Condenser for Charge Reduction of HC-290 in a Split Air-Conditioning System', *Heat Transfer Engineering*, 41(17), pp. 1499–1511. doi: 10.1080/01457632.2019.1649937.
- Sulaiman, A. W., Aziz, A. and Mainil, R. I. (2016) *Aplikasi modul evaporative cooling aktif pada ac split 1 pk*.
- Sumeru, K., Margana, A. S. and Hidayat, S. (2019) 'Condensate water as a compressor discharge cooler to generate subcooling on the residential air conditioning using R32 as refrigerant', *Journal of Physics: Conference Series*, 1295(1). doi: 10.1088/1742-6596/1295/1/012044.
- Sumeru, K., Pramudantoro, T. P. and Setyawan, A. (2018) 'Experimental investigation on the performance of residential air conditioning system using water condensate for subcooling', *MATEC Web of Conferences*, 197. doi: 10.1051/mateconf/201819708002.
- Sun, Y. *et al.* (2020) 'Development of an optimal control method of chilled water temperature for constant-speed air-cooled water chiller air conditioning systems', *Applied Thermal Engineering*, 180(June), p. 115802. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2020.115802.
- Sunu, P. W. *et al.* (2018) 'Heat Transfer Characteristics of Fan Coil Unit (FCU) under the Effect of Chilled Water Volume Flowrate', *Journal of Physics: Conference Series*, 953(1). doi: 10.1088/1742-6596/953/1/012058.
- Thu, K. *et al.* (2017) 'Experimental investigation of a mechanical vapour compression chiller at elevated chilled water temperatures', *Applied Thermal Engineering*, 123, pp. 226–233. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2017.05.091.
- Wijeyesundera, N. E. (2016) 'Principles of Heating, Ventilation and Air Conditioning with Worked Examples', *Principles of Heating, Ventilation and Air Conditioning with Worked Examples*. doi: 10.1142/9562.
- Yang, H. *et al.* (2020) 'Experimental research on spray evaporative cooling system applied to air-cooled chiller condenser', *Energy Reports*, 6, pp. 906–913. doi: 10.1016/j.egy.2020.04.001.
- Yang, Y., Cui, G. and Lan, C. Q. (2019) 'Developments in evaporative cooling and enhanced evaporative cooling - A review', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 113(June 2016), p. 109230. doi: 10.1016/j.rser.2019.06.037.
- Yoon, J. I. *et al.* (2019) 'Performance characteristics of portable air conditioner with condensate-water spray', *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 675(1). doi: 10.1088/1757-899X/675/1/012043.