
***Recovery* Energi pada *Residential Air Conditioning* Hibrida sebagai Pemanas Air dan Penyejuk Udara yang Ramah Lingkungan**

**Azridjal Aziz, Herisiswanto, Hardianto Ginting,
Noverianto Hatorangan, Wahyudi Rahman**

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293
azridjal@yahoo.com

Abstrak

Air Conditioning (AC) adalah mesin penyejuk udara yang dioperasikan oleh kerja kompresi pada siklus kompresi uap (SKU). Pada AC, proses penyejukan udara terjadi karena kalor (panas) ruangan diserap/diambil oleh evaporator (*indoor unit*) yang berisi refrigeran (fluida/zat pendingin) pada tekanan dan temperatur yang rendah. Kemudian, pada tekanan dan temperatur yang tinggi akibat kerja kompresor, kalor ini dibuang di kondensor (*outdoor unit*) yang umumnya tidak dimanfaatkan lagi atau dibuang percuma. Kalor yang dibuang di kondensor ini energinya sangat besar, karena merupakan kumpulan energi dari energi input kerja kompresor dan energi dari kalor yang diserap di evaporator. Energi yang dibuang percuma di kondensor ini dapat dimanfaatkan sebagai pemanas air dengan menambahkan sebuah kondensor *dummy*, sehingga terjadi penghematan energi yang cukup besar dibandingkan dengan pemanas air gas atau listrik. *Recovery* energi berupa kalor buang kondensor ini pada *Residential Air Conditioning* (RAC) atau AC rumah tangga sebagai pemanas air akan menghemat penggunaan energi listrik dan gas sebagai sumber energi pemanas air. Hasil penelitian menunjukkan bahwa setelah pengoperasian RAC selama 120 menit diperoleh temperatur air panas 50,42 °C, sekaligus saat bersamaan temperatur ruangan turun mencapai kondisi stedi pada temperatur 22 °C setelah 75 menit. Penambahan kondensor *dummy* sebagai *recovery* energi tidak berpengaruh pada tekanan dan daya kompresor.

Kata kunci: evaporator, kondensor, *recovery*, AC, pemanas air

1 Pendahuluan

Mesin refrigerasi adalah salah satu mesin konversi energi yang bekerja dengan cara menyerap kalor dari ruangan yang dikondisikan, sehingga terjadi penguapan (evaporasi) dari refrigeran (zat/fluida pendingin) di dalam evaporator pada temperatur dan tekanan rendah. Kerja kompresor dari energi listrik akan mengkompresi/mendorong refrigeran temperatur dan tekanan rendah dari evaporator berpindah ke kondensor sehingga menjadi refrigeran bertemperatur dan bertekanan tinggi yang terkondensasi (mengembun) di dalam kondensor dengan membuang kalor yang diserap ke lingkungan luar ruangan. Energi dari kalor yang

dibuang di kondensor ini biasanya dibiarkan terbuang percuma, sehingga kalor ini dapat dimanfaatkan kembali (*recovery* energi) untuk pemanas air.

Kebutuhan air panas biasanya diperoleh dari listrik dan gas yang membutuhkan energi yang cukup besar, dengan *recovery* energi dari kalor buang AC di kondensor akan terjadi penghematan energi yang cukup besar. Secara termodinamika, ditinjau dari keseimbangan energinya, energi yang dibuang di kondensor merupakan kumpulan dari energi kerja kompresor dan energi dari kalor yang diserapkan di evaporator, artinya energi yang dibuang di kondensor sangat besar sehingga potensi penghematan energi buang kondensor juga sangat besar.

Penghematan penggunaan energi listrik untuk keperluan pemanas air dengan memanfaatkan energi dari kalor buang kondensor secara tidak langsung juga menghemat penggunaan bahan bakar minyak (BBM). Penghematan penggunaan BBM sebagai sumber energi untuk pembangkitan energi listrik akan berdampak positif pada lingkungan, sehingga *recovery* energi dari kalor buang kondensor menggunakan kondensor *dummy* berpotensi sebagai perangkat ramah lingkungan. Penggunaan RAC dengan penambahan kondensor *dummy* untuk keperluan air panas akan menghemat biaya penggunaan energi listrik atau gas, karena biaya pemanasan air dari kondensor *dummy* diperoleh secara gratis tanpa menambah biaya pemakaian RAC. Dengan penggunaan kondensor *dummy* pada RAC akan didapat dua manfaat sekaligus yaitu ruangan yang nyaman dan air panas untuk berbagai keperluan.

Penelitian yang dilakukan tentang AC yang juga dapat berfungsi sebagai pompa kalor maupun sebagai pemanas air telah banyak dilakukan. Ji, Jie. Chow, Tin-tai. Fei, Gang. Dong, Jun. dan dan He, Wei. 2003., serta Liu, Fei. Huang, Hui. Ma, Yingjiang. dan Zhuang, Rong. 2008., telah meneliti penggunaan AC domestik sebagai pemanas air terintegrasi untuk iklim subtropis dan sistem AC yang sekaligus berfungsi sebagai pemanas air. Yilmaz, Mehmet. 2003., melaporkan analisa kinerja pompa panas kompresi uap menggunakan refrigeran campuran zeotropic. Rahman, M. M., Wai Meng, Chin. dan Ng, Adrian. 2007., melaporkan bahwa temperatur air dalam tangki dapat meningkat dari 25°C menjadi 42°C dan bersamaan dengan itu temperatur evaporator turun dari 27°C menjadi 17 °C selama 7 menit. Ji, Jie. Pei, Gang. Chow, Tin-Tai. He, Wei. Zhang, Aifeng. Dong, Jun dan Yi, Hua. 2005., melaporkan performansi sistem pompa kalor domestik multi fungsional memberikan energi yang lebih baik dan menyebabkan polusi termal yang lebih sedikit. U. Kongre, U. V. Chiddarwar, A. Dhumatkar , R. P. C. dan Ari S, A.B., 2013., telah melaporkan analisis AC sekaligus sebagai *water dispenser* untuk mendapatkan air panas.

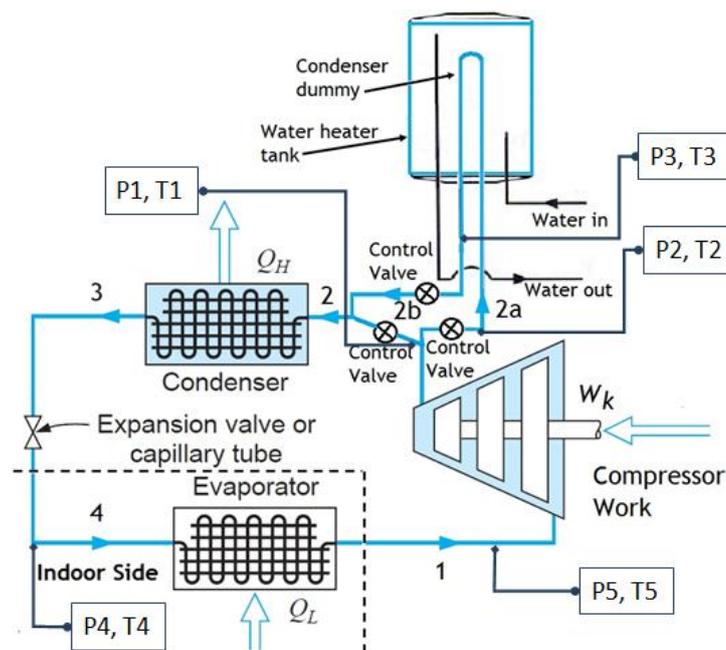
Pada penelitian ini dilakukan analisis penggunaan RAC yang berfungsi sebagai penyejuk ruangan dan dalam waktu bersamaan dapat menghasilkan air panas dengan *recovery* energi atau memanfaatkan kembali energi dari panas buang kondensor (*outdoor* unit). RAC ini disebut sebagai RAC hibrida. *Recovery* energi

dilakukan dengan melakukan penambahan kondensator *dummy* agar secara termodinamika keseimbangan energinya tidak terganggu.

2 Metodologi

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental, untuk menguji pengaruh penambahan kondensator *dummy* pada RAC sebagai penyejuk ruangan sekaligus sebagai pemanas air (RAC hibrida). RAC hibrida pada penelitian ini dibuat dengan memodifikasi RAC, dengan daya 1 PK, kapasitas pendinginan 8.900 Btu/h atau 2,6 kW dengan daya 670 W. Kondensator *dummy* ditempatkan dalam sebuah tangki air khusus untuk air panas yang berkapasitas 50 L.

Diagram skematik RAC hibrida dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1. *Control valve* (katup kontrol) digunakan untuk mengontrol siklus sistem refrigerasi RAC hibrida. Jika katup kontrol arah aliran 2 ditutup dan arah aliran 2a dan 2b dibuka maka RAC berfungsi sebagai RAC hibrida yaitu sebagai penyejuk ruangan dan pemanas air, dimana setelah keluar kompresor refrigeran akan mengalir ke *condenser dummy* lalu masuk ke *condenser*. Sebaliknya jika katup arah aliran 2a dan 2b ditutup dan katub arah aliran 2 dibuka, maka RAC berfungsi sebagai RAC biasa atau standar hanya sebagai penyejuk ruangan.



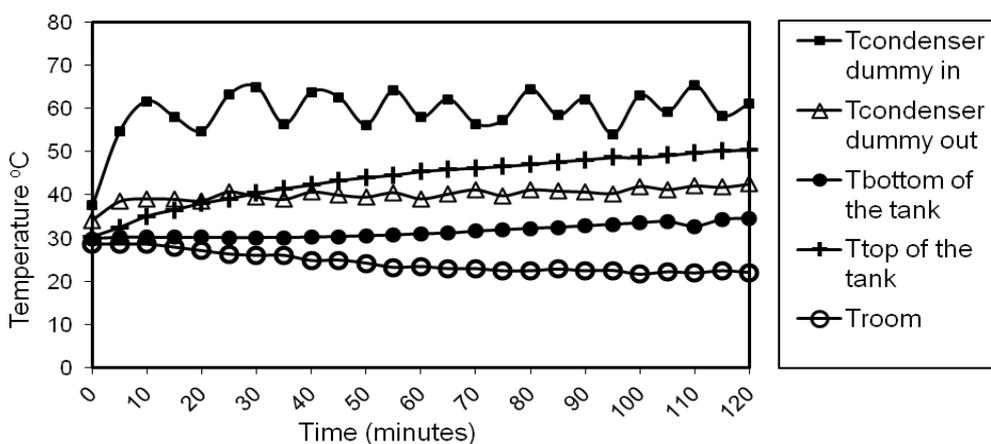
Gambar 1. Diagram skematik RAC hibrida
(diadaptasi dari Sonntag, Richard E. Borgnakke, Claus., 2009)

3 Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini pengujian RAC dilakukan pada mode RAC hibrida dan pada mode RAC biasa atau standar. Pengujian dilakukan pada keadaan transien dan pada keadaan stedi, untuk melihat hubungan antara temperatur dan waktu pemanasan, serta pengaruhnya terhadap daya kompresor. Pengujian RAC dilakukan dalam 4 kondisi: kondisi 1 yaitu kondisi pemanasan air dari kondensator *dummy* kondisi awal dari 0 sampai 120 menit pada keadaan transien, kondisi 2 yaitu kondisi lanjutan

menuju keadaan stedi 120 menit ke-2, kondisi 3 yaitu kondisi penggunaan air panas setelah keadaan stedi tercapai menuju kondisi stedi penggunaan air panas dan pengujian 120 menit ke-3. Kondisi 1, kondisi 2 dan kondisi 3 adalah mode RAC hibrida. Yang terakhir, kondisi 4 yaitu kondisi pada mode RAC standar atau biasa, merupakan pengujian ke-4 yang dilakukan selama 120 menit. Temperatur lingkungan rata-rata pengujian kondisi 1 adalah 27,1 °C. Ruangan dijaga pada temperatur 22 °C, dengan mengatur bukaan pintu ruangan sebagai beban pendinginan.

Pada pengujian mode RAC hibrida keadaan transien, dproses pemanasan air dimulai dari nol (saat mesin mulai dihidupkan) sampai 120 menit (kondisi 1), energi dari kalor buang kondensor *dummy* diserap oleh air dalam tangki yang berada dalam kondisi penuh. Gambar 2 menunjukkan hubungan antara perubahan temperatur yang terjadi pada RAC hibrida terhadap waktu untuk memanaskan air di dalam tangki.



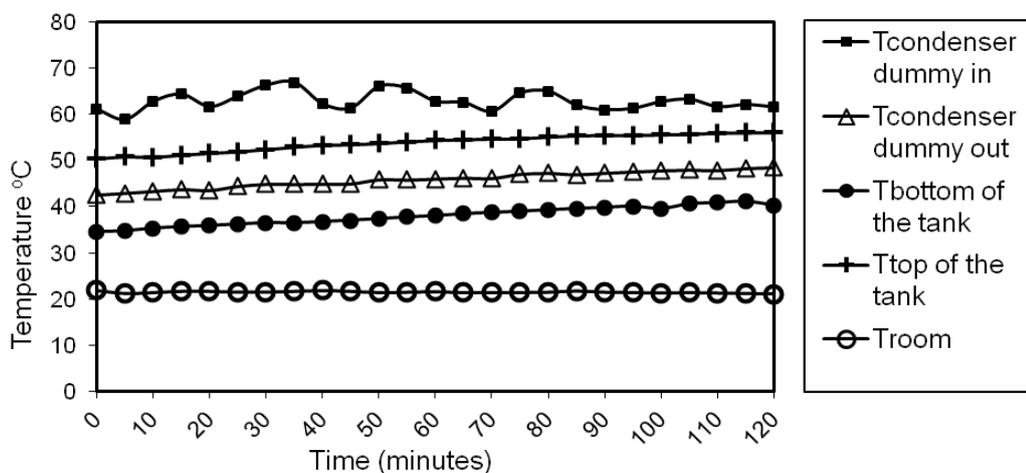
Gambar 2. Temperatur kondensor *dummy in* dan *out*, temperatur *bottom* dan *top of the tank* dan temperatur *room* pada mode RAC hibrida kondisi 1 keadaan transien

Perpindahan kalor antara kondensor *dummy* dengan air didalam tangki menyebabkan temperatur air naik dari 30,29 °C menjadi 50,42 °C, dimana temperatur *condenser dummy in* dan *out* cenderung berada pada variasi temperatur yang sama. Hal ini berarti kalor yang diterima oleh air cenderung konstan sehingga temperatur air akan terus naik sampai keadaan stedi tercapai.

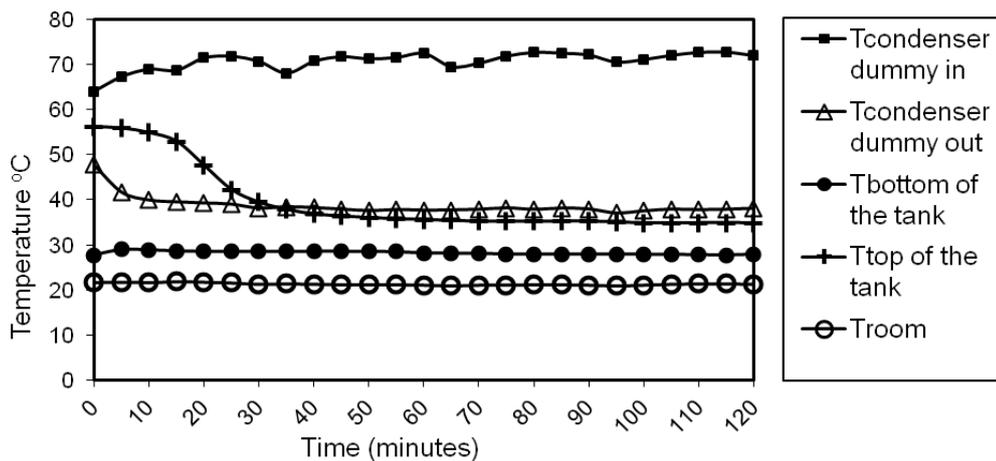
Temperatur air bagian bawah tangki naik dari 28,6 °C menjadi 34,54 °C, karena temperatur air pada bagian atas sudah cukup tinggi. Pada saat bersamaan ruangan (*room*) mengalami proses penyerapan kalor sehingga temperaturnya turun dan mencapai keadaan stedi setelah 75 menit, dengan temperatur ruangan 22 °C, seperti tampak pada Gambar 2.

Mode pengujian RAC hibrida kondisi 2, dilakukan pada keadaan temperatur air panas dalam tangki menuju stedi, dimana pemanasan air merupakan lanjutan dari

kondisi 1 selama 120 menit seperti tampak pada Gambar 3. Pada kondisi 2, temperatur air bagian atas tangki tetap mengalami kenaikan dari 50,42 °C menjadi 56,11 °C, kenaikan temperatur tidak terlalu tinggi karena perbedaan temperatur antara kondensor dummy dan air cenderung turun, dan menuju keadaan stedi pada menit ke-105. Temperatur air bagian bawah tangki naik dari 34,54 °C menjadi 40,31 °C, hal ini karena aliran air panas dari bagian atas tangki mempengaruhi bagian bawah tangki. Temperatur bagian atas tangki tetap lebih panas dari temperatur bagian bawah tangki karena masa jenis air turun seiring naiknya temperatur air, air panas akan lebih ringan dari air dingin, sehingga air panas akan berkumpul di bagian atas tangki. Pada saat bersamaan, temperatur ruangan pada kondisi 2 ini dapat dijaga cenderung tetap pada temperatur 22 °C seperti tampak pada Gambar 3.



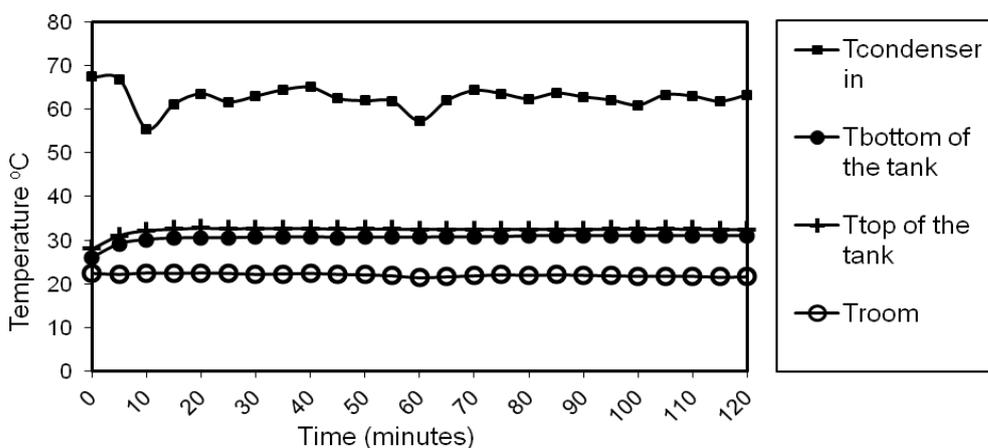
Gambar 3. Temperatur kondensor *dummy in* dan *out*, temperatur *bottom* dan *top of the tank* dan temperatur *room* pada mode RAC hibrida menuju keadaan stedi (kondisi 2)



Gambar 4. Temperatur kondensor *dummy in* dan *out*, temperatur *bottom* dan *top of the tank* dan temperatur *room* pada mode RAC hibrida pada kondisi 3

Perubahan temperatur kondensor *dummy in* dan *out*, temperatur *bottom* dan *top of the tank* dan temperatur *room* pada mode RAC hibrida pada kondisi 3 selama 120 menit pengoperasian dapat dilihat pada Gambar 4. Pada kondisi 3, saat penggunaan air panas dalam tangki, air mengalir ke dalam tangki pada laju aliran massa air rata-rata konstan pada 0,0403 kg/s, sehingga tangki air selalu penuh. Pada penggunaan air panas selama 120 menit, air pada bagian atas tangki mencapai keadaan stedi setelah pemakaian selama 60 menit sedangkan air bagian bawah tangki cenderung konstan pada 27,7 °C karena kalor dari kondensor *dummy* langsung digunakan untuk menaikkan temperatur aliran air pada rentang temperatur yang kecil. Beda temperatur bagian atas tangki dan bagian bawah tangki pada keadaan stedi adalah 7 °C dari temperatur 35 °C dan 28 °C.

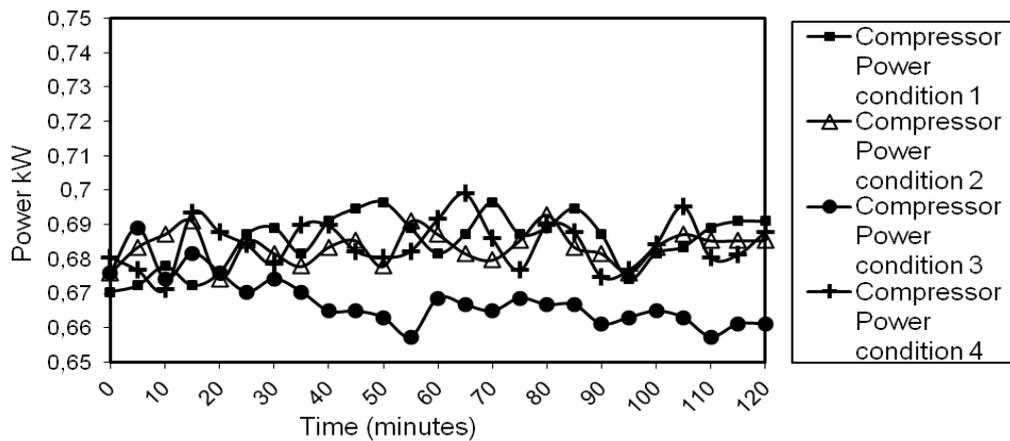
Pada mode pengujian RAC standar kondisi 4, pada mode ini RAC berfungsi tanpa pemanfaatan kondensor *dummy* atau pada kondisi pemakaian RAC pada umumnya dapat dilihat pada Gambar 5. RAC dioperasikan selama 120 menit setelah keadaan stedi tercapai. Temperatur pada *bottom of the tank* dan *top of the tank* tetap berada temperatur 32 °C karena pada kondisi 4 tidak terjadi pemanasan di tangki air, karena kondensor *dummy* tidak digunakan. Temperatur kondensor rata-rata yang didapatkan pada kondisi 4 adalah 62 °C, sedangkan temperatur ruangan dapat dijaga pada 22 °C.



Gambar 5. Temperatur kondensor *in*, temperatur *bottom* dan *top of the tank* dan temperatur *room* pada mode RAC hibrida pada kondisi 4

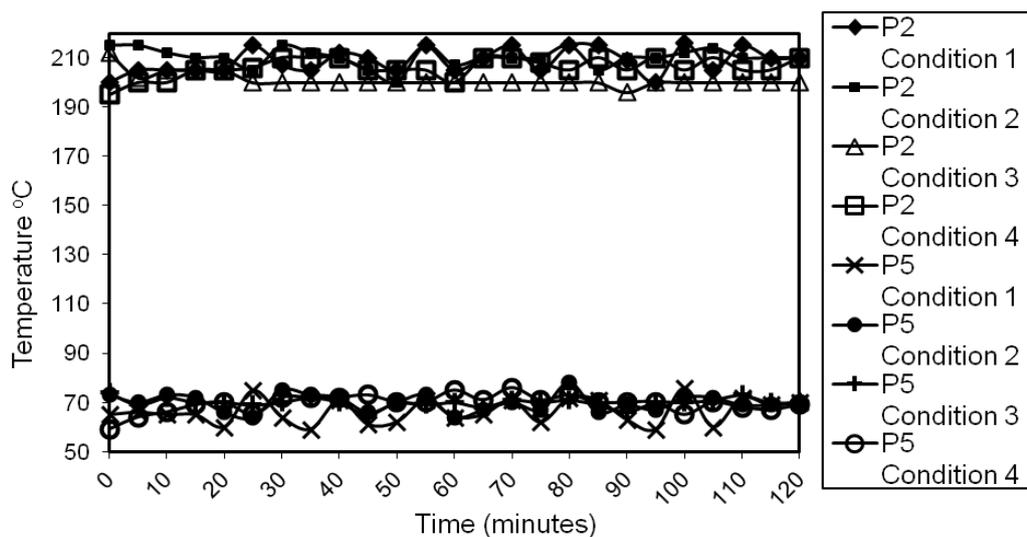
Besar daya kompresor yang digunakan pada pengujian RAC baik mode RAC hibrida maupun RAC standar dari kondisi 1, kondisi 2, kondisi 3 dan kondisi 4 pada pengoperasian selama 120 menit dapat dilihat pada Gambar 6. Dari Gambar 6 dapat dianalisis bahwa daya kompresor pada kondisi 1, kondisi 2 dan kondisi 4 cenderung seragam dibanding daya kompresor pada kondisi 3. Terjadi penghematan daya kompresor walaupun tidak terlalu besar setelah beroperasi selama 30 menit pada kondisi 3, hal ini karena tidak terjadi akumulasi panas di tangki air, kalor buangan dari kondensor *dummy* langsung digunakan untuk memanaskan air, sehingga temperatur dan tekanan kondensor *dummy* turun lebih rendah dibanding kondisi 1, 2

dan 4. Secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa penambahan kondensor *dummy* tidak berpengaruh pada daya kompresor, daya kompresor cenderung tetap, penghematan daya kompresor hanya terjadi pada saat pemakaian air panas (kondisi 3) walaupun tidak terlalu besar.



Gambar 6. Daya kompresor berbagai kondisi (1,2,3, dan 4) pada RAC hibrida standar model hibrida kondisi transien

Tekanan di evaporator dan tekanan di kondensor yang dihasilkan sebelum dan setelah kompresor pada pengujian RAC baik mode RAC hibrida maupun RAC standar dari kondisi 1, kondisi 2, kondisi 3 dan kondisi 4 pada pengoperasian selama 120 menit dapat dilihat pada Gambar 7. Dari Gambar 7 tampak bahwa variasi tekanan pada kondisi 1, 2, 3 dan 4 baik untuk sisi tekanan tinggi di kondensor dan sisi tekanan rendah di evaporator cenderung sama. Jadi dapat dikatakan bahwa tidak terjadi perubahan yang berarti pada tekanan kondensor dan tekanan evaporator dengan penambahan kondensor *dummy*, sehingga RAC beroperasi secara wajar.



Gambar 7. Tekanan kondensor dan tekanan evaporator pada mode RAC standar dan model RAC hibrida pada kondisi 1, 2, 3, dan 4

4 Kesimpulan

Penambahan kondensor *dummy* pada RAC hibrida, sebagai *recovery* energi untuk menghasilkan air panas dan sekaligus memberikan ruang yang nyaman, tidak berpengaruh pada sistem RAC. *Recovery* energi dari penambahan kondensor *dummy*, pada RAC hibrida, setelah pengoperasian selama 120 menit terjadi kenaikan temperatur air dari 30,29 °C menjadi 50,42 °C, sedangkan ada pengoperasian 120 menit kedua temperatur naik dari 50,42 °C menjadi 56,11 °C. Pada pengoperasian 120 menit ketiga setelah 60 menit pengoperasian, beda temperatur tangki sisi atau sisi bawah cenderung tetap pada 7 °C. Temperatur ruangan dapat dijaga pada temperatur 22 °C baik pada kondisi 1, kondisi 2, kondisi 3, dan kondisi 4. Tidak terlihat perbedaan yang berarti pada temperatur dan tekanan sistem, dengan penambahan kondensor *dummy*. Tidak terdapat penghematan energi kompresor yang berarti akibat penambahan kondensor *dummy*. Jadi dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat pengaruh yang berarti pada tekanan dan daya kompresor masukan dengan penambahan kondensor *dummy* sebagai *recovery* energi untuk memanaskan air.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Lembaga Penelitian Universitas Riau yang telah membiayai penelitian ini melalui dana desentralisasi Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi tahun 2013.

5 Daftar Pustaka

- Ji, Jie. Chow, Tin-tai. Fei, Gang. Dong, Jun. dan dan He, Wei. 2003. "Performance of Multi-functional Domestic Heat-pump System" *Applied Thermal Engineering*. 23:581-592.
- Ji, Jie. Pei, Gang. Chow, Tin-Tai. He, Wei. Zhang, Aifeng. Dong, Jun dan Yi, Hua. 2005. "Performance of multi-functional domestic heat-pump system". *Applied Energy* 80: 307-326.
- Kongre, U. V. Chiddarwar, A. Dhumatkar, R. P. C. dan Ari S, A.B., 2013. "Testing and Performance Analysis on Air Conditioner cum Water Dispenser" *International Journal of Engineering Trends and Technology*. 4(4): 772-775.
- Liu, Fei. Huang, Hui. Ma, Yingjiang. dan Zhuang, Rong. 2008. "Research on The Air Conditioning Water Heater System" *International Refrigeration and Air Conditioning*. Purdue. 2210, 1-7.
- Rahman, M. M., Wai Meng, Chin. dan Ng, Adrian. 2007. "Journal of Engineering Education" 31(2):38-46.
- Sonntag, Richard E, Borgnakke, Claus. 2009. *Fundamentals of Thermodynamics*. John Wiley & Sonse, Inc.
- Yilmaz, Mehmet. 2003. "Performance Analysis of a Vapor Compression Heat Pump Using Zeotropic Refrigerant Mixtures" 44:267-282.