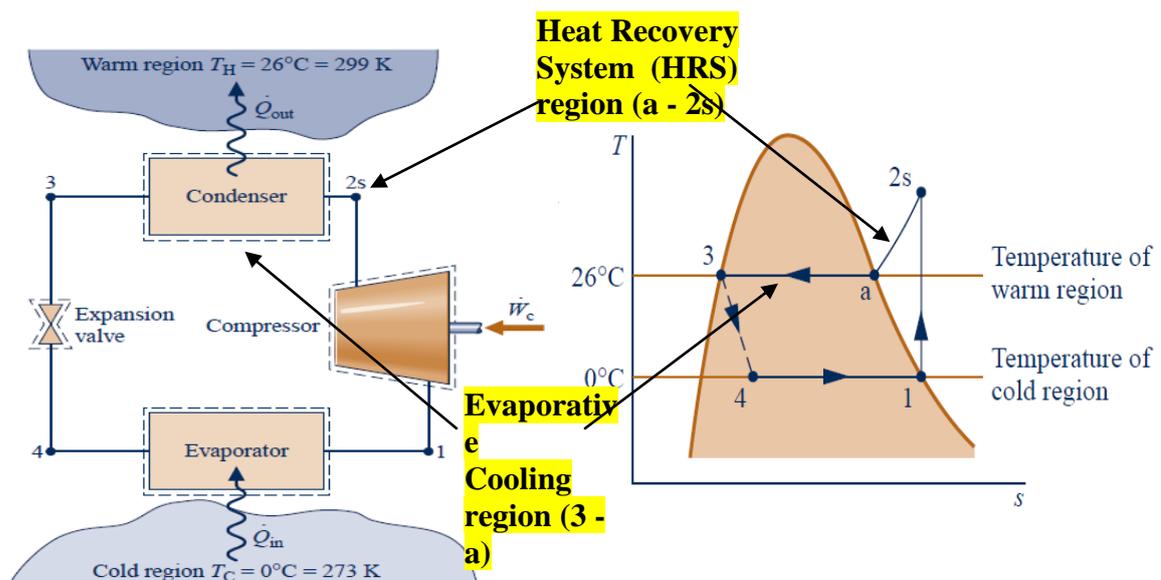


BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

State of the art penelitian

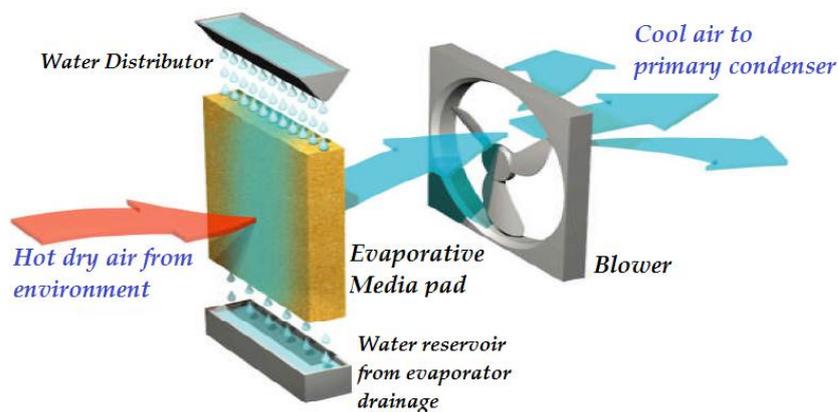
Mesin refrigerasi Siklus Kompresi Uap Standar (SKU) pada adalah salah satu jenis mesin konversi energi, dimana sejumlah energi dibutuhkan untuk menghasilkan efek pendinginan. Efek pendinginan dapat diperoleh di evaporator karena refrigeran (fluida kerja) di evaporator yang berada pada temperatur dan tekanan yang rendah akan menyerap panas dalam ruangan yang bertemperatur lebih tinggi dari evaporator (*indoor*). Refrigeran ini selanjutnya akan berada dalam fasa uap seluruhnya (evaporasi) dan selanjutnya diisap (*suction*) masuk ke dalam kompresor dan kerja kompresi dari kompresor menyebabkan temperatur dan tekanannya naik lebih tinggi. Refrigeran ini kemudian masuk ke kondensor dan membuang panas tadi ke udara luar (*outdoor*) yang bertemperatur lebih rendah sehingga refrigeran seluruhnya akan berada dalam fasa cair (kondensasi). Refrigeran cair ini kemudian akan masuk ke katup ekspansi sehingga temperatur dan tekanannya kembali turun lebih rendah, dan selanjutnya kembali akan menyerap panas ruangan (*indoor*) yang temperaturnya lebih tinggi, sehingga refrigeran tersebut menjadi fasa uap seluruhnya. Proses ini akan terjadi berulang terus-menerus (siklus refrigerasi), proses pendinginan (penyerapan panas) di evaporator dan proses pembuangan panas (proses pemanasan) di kondensor, sehingga kenyamanan termal yang diinginkan tercapai.



Gambar 1. Model Siklus Kompresi Uap (Moran et al., 2011)

Siklus Kompresi Uap (SKU) standar, seperti tampak pada Gambar 1, memiliki empat komponen utama yaitu kompresor, kondensor, katup ekspansi dan evaporator. Dari Gambar 1. diatas tampak bahwa temperatur refrigeran yang keluar dari kompresor masih sangat

tinggi, refrigeran bertemperatur tinggi ini sangat ideal untuk dimanfaatkan sebagai *Heat Recovery System* (HRS) pada daerah a-2s dengan menempatkan kondensator *dummy* sebelum kondensator utama untuk kebutuhan air panas. Pada kondensator utama ditempatkan sebuah modul *Evaporative Cooling* (EC) pada daerah 3-a. Air dingin untuk kebutuhan EC diperoleh dari air kondensat yang diperoleh dari proses penyerapan kalor di evaporator (*indoor*), dari uap air dari udara ruangan yang mengalami pengembunan/kondensasi di evaporator (seperti segelas air es yang dinding gelas bagian luar basah oleh uap air yang mengembun di sekitar gelas yang temperturnya lebih rendah dari temperatur ruangan). Proses EC sederhana dapat dilihat pada Gambar 2. Penambahan EC pada kondensator utama dapat meningkatkan kinerja RAC (K. R. Aglawe, M. S. Matey and N. P. Gudadhe, 2013)



Gambar 2. Proses *Evaporative Cooling* sederhana (diadaptasi dari Mu'azu Musa, 2008)

Menurut Chainarong Chaktranond and Peachrakha Doungsong (2010) apabila temperatur pada kondensator (outdoor) naik 1 °C, Coefficient of Performance (COP) dari AC akan turun sekitar 3%. Pada saat temperatur kondensator berada di atas 45° C untuk waktu yang lama, maka AC akan mati secara otomatis akibat tekanan berlebih di kondensator, yang mengakibatkan *overheating protector* bekerja (on). Hal ini akan menyebabkan COP turun artinya konsumsi listrik untuk menggerakkan kompresor akan naik. Sehingga untuk mengatasi masalah ini maka udara yang akan mendinginkan kondensator perlu diturunkan temperturnya dengan *Evaporative Cooling* (EC), sehingga temperatur dan tekanan kondensator turun dan COP akan menjadi lebih baik. E.Hajidavallo (2007), Vrachopoulos (2007), Hu dan Huang (2005) telah menggunakan EC dengan media *pad* maupun menggunakan *water sprayer* untuk mengkondisikan udara yang akan melewati kondensator untuk AC *Window* (tipe jendela) dan AC industri maupun AC *Central*. Penggunaan EC

dapat menurunkan temperatur dan tekanan kondensor secara berarti sehingga akan meningkatkan efisiensi energi RAC.

Usaha lain dalam peningkatan efisiensi pemakaian energi dilakukan dengan cara memanfaatkan kembali (*recovery*) energi yang selama ini dibiarkan terbuang pada suatu mesin konversi. Salah satu alasan paling umum digunakan dalam usaha memodifikasi mesin refrigerasi adalah menghasilkan mesin refrigerasi yang lebih hemat energi. (M. Rahman et al., 2007, Jie Ji. et al, 2003, Jie Ji., and Gang Pei et al., 2005).

Berbagai usaha telah dilakukan untuk mengembangkan suatu sistem yang menggunakan prinsip refrigerasi dan pompa panas dalam satu mesin. Pada mesin terpadu ini efek pendinginan dan efek pemanasan dapat dihasilkan dan dimanfaatkan secara bersamaan, sehingga penghematan energi buang mesin menjadi lebih tinggi. Efek pemanasan merupakan jumlah kalor yang diserap sebagai efek pendinginan di ruangan yang dikondisikan ditambah dengan kerja yang diberikan ke kompresor agar mesin dapat berfungsi dengan baik. Mesin terpadu dengan fungsi ganda ini dikenal dengan mesin refrigerasi hibrida, karena mesin refrigerasi paling banyak beroperasi dengan siklus kompresi uap, maka mesin ini disebut mesin refrigerasi siklus kompresi uap hibrida. (Jongmin Choi et al, 2007, Aziz, Azridjal, 2004)

Pemanfaatan evaporator dan kondensor tersebut secara bersamaan, tentu akan terjadi perubahan atau gangguan pada siklus keseluruhan, sehingga perlu dilakukan pengujian pada instalasi yang sebenarnya untuk mendapatkan kondisi optimal kerja mesin. Permasalahan yang akan diteliti adalah pada penggunaan HRS di kondensor *dummy* sebagai pemanas air. HRS pada kondensor *dummy* akan dipasang setelah sisi keluar kompresor bertujuan menjaga kestabilan mesin refrigerasi sehingga mesin dapat berfungsi dengan baik untuk memenuhi hukum keseimbangan termodinamika (Jose M. Corbera'n et al, 2008, Arif Hepbasli., and Yildiz Kalinci., 2009, Arora, CP, 2001).

Refrigeran yang paling banyak digunakan adalah refrigeran halokarbon (*halogenated refrigerant*) salah satunya adalah jenis *HCFC-22* (*Hydrochlorofluorocarbon*) atau R-22 (Agarwal, Radhey S, 1997). Namun dari hasil penelitian, refrigeran halokarbon R-22 menunjukkan sifat yang dapat merusak lapisan ozon dan berpotensi besar terhadap



peningkatan efek pemanasan global, sehingga penggunaan refrigeran tersebut dicanangkan untuk dihapuskan produksi dan pemakaiannya. (Pasek, A.D., Tandian, N.P., Adriansyah W., 2004). Salah satu refrigeran alternatif pengganti refrigeran halokarbon R-22 adalah refrigeran hidrokarbon (*hydrocarbon referigerant*). Beberapa kelebihan yang dimiliki refrigeran hidrokarbon substitusi R-22 yaitu dapat digunakan sebagai pengganti langsung (*drop in substitute*) tanpa penggantian komponen, ramah lingkungan (tidak merusak lapisan ozon), pemakaian refrigeran lebih sedikit, hemat energi, dan memenuhi standar internasional (Pasek, A.D., Tandian, N.P., 2000).

Studi pendahuluan yang telah dan akan dilaksanakan

Penelitian pendahuluan telah dilakukan sebelumnya melalui berbagai hibah penelitian seperti disajikan pada peta jalan penelitian Gambar 2. Pada penelitian SPP/SPP UNRI, penelitian Dosen Muda dan penelitian HEDS/SDPF telah dilakukan perancangan dan pembuatan mesin refrigerasi Siklus Kompresi Uap Hibrida. Dari hasil rancangan tersebut telah diperoleh ukuran utama mesin refrigerasi hibrida yaitu: panjang pipa evaporator 20,69 m, diameter pipa 3/8 inci, luas permukaan total 0,6175 m², koefisien konveksi rata-rata 172,7496 W/(m².⁰C) dan panjang pipa kondensor 21,74 m, luas permukaan total 0,6489 m², koefisien konveksi rata-rata 236,469 W/(m².⁰C). Panjang pipa kapiler 1,65 m dengan diameter 1,7mm. Kompresor yang digunakan berdaya 1 HP. (Aziz, Azridjal, 2004,2005, 2008)

Hasil pengujian dari penelitian sebelumnya, menyimpulkan bahwa penggunaan massa refrigeran hidrokarbon HCR22 pada mesin refrigerasi hibrida lebih hemat 57,78 % dibanding penggunaan refrigeran halokarbon R22, karena refrigeran HCR22 mempunyai kalor laten yang lebih tinggi dibanding refrigeran R22. Hal tersebut juga menghasilkan penghematan daya listrik kompresor sebesar 25,12%. (Aziz, Azridjal, 2010)

Laju pendinginan dan laju pemanasan dengan refrigeran HCR22 dibandingkan terhadap refrigeran R22, lebih cepat 33,33%. Kinerja/performansi dengan refrigeran HCR22 terhadap refrigeran R22, rata-rata meningkat yaitu : COP naik sekitar 38,93 % , PF naik 22,25 % , dan TP naik 29,12 % . (Aziz, Azridjal, 2009)

Pada penelitian Andalan untuk Pengembangan Mesin Pengkondisian Udara Siklus Kompresi Uap Hemat Energi menggunakan *Ice on Coil Thermal Energy Storage* dengan Refrigeran



Hidrokarbon HCR22, penggunaan chiller berbasis mesin pendingin kompresi uap menggunakan refrigeran hidrokarbon yang ramah lingkungan dan dikombinasikan dengan penggunaan *Ice on coil Thermal Energy Storage* di bangunan rumah yang menggunakan lebih dari 1 AC split dapat menghemat penggunaan energi listrik (*Energy Efficient*). Pada pengoperasian sistem kompresi uap (siklus primer) dengan pendinginan air didapatkan temperatur air 0 °C disertai terbentuknya es pada pipa evaporator setebal lebih kurang 1 cm. Siklus primer beroperasi menggunakan refrigeran hidrokarbon HCR22 dengan daya kompresor 0,62 kW selama 1 jam. Kemudian sistem kompresi uap dimatikan dan digunakan sistem *thermal storage* dengan *ice on coil* (sistem chiller/siklus sekunder) untuk mengkondisikan ruangan.

Beda temperatur rata-rata antara koil pendingin dengan temperatur ruang pendingin berkisar 3-5 °C. Penggunaan tangki air dingin kapasitas 45 liter sebagai *thermal energy storage* dengan temperatur awal 0 °C pada kondisi *ice on coil* dapat mempertahankan ruang dingin pada temperatur 24 °C selama 120 menit. Pada sistem *thermal storage* fungsi kompresor digantikan oleh pompa dimana daya pompa lebih kecil sekitar 17% dibanding daya kompresor, sehingga terjadi penghematan energi yang cukup berarti. Apalagi penggunaan refrigeran hidrokarbon pada siklus primer juga dapat menghemat energi listrik sampai 20%.

Massa refrigeran hidrokarbon HCR22 yang digunakan pada sistem adalah sebesar 440 gram pada COP 2,221 dengan daya kompresor 0,526 kW. Terjadi penghematan waktu pendinginan selama 20 menit antara proses *Charging* dan proses *DisCharging*, dengan penghematan daya listrik untuk operasional sistem 0,6 kW. Pada proses *Charging*, terjadi pemanfaatan panas buang kondensor untuk keperluan pemanasan (*energy efficient*) dan pada proses konvensional selama proses pendinginan berlangsung. Penambahan koil pemanas *dummy* menjaga kestabilan kerja sistem pada pemanfaatan panas buang untuk keperluan pemanasan. Penerapan sistem *ice storage* untuk keperluan pendinginan di rumah tangga memungkinkan untuk dilakukan, namun terjadi biaya awal investasi yang lebih besar dibanding sistem AC split.

Pada penelitian hibah strategis nasional untuk pengembangan RAC dengan *encapsulated ice thermal storage*, massa refrigeran hidrokarbon HCR22 yang digunakan pada sistem adalah sebesar 440 gram pada COP 2,221 dengan daya kompresor 0,526 kW. Terjadi penghematan

waktu pendinginan selama 20 menit antara proses *Charging* dan proses *DisCharging*, dengan penghematan daya listrik untuk operasional sistem 0,6 kW. Pada proses *Charging* terjadi pemanfaatan panas buang kondensor untuk keperluan pemanasan (*energy efficient*) selama proses pendinginan berlangsung. Penambahan koil pemanas *dummy* menjaga kestabilan kerja sistem pada pemanfaatan panas buang untuk keperluan pemanasan. Penerapan sistem *ice storage* untuk keperluan pendinginan di rumah tangga memungkinkan untuk dilakukan, namun biaya awal investasi lebih besar dibanding sistem AC split.

Pada penelitian hibah strategis nasional untuk pengembangan RAC dengan *encapsulated ice thermal storage*, massa refrigeran hidrokarbon HCR22 yang digunakan pada sistem adalah sebesar 440 gram pada COP 2,221 dengan daya kompresor 0,526 kW. Terjadi penghematan waktu pendinginan selama 20 menit antara proses *Charging* dan proses *DisCharging*, dengan penghematan daya listrik untuk operasional sistem 0,6 kW. Pada proses *Charging* terjadi pemanfaatan panas buang kondensor untuk keperluan pemanasan (*energy efficient*) selama proses pendinginan berlangsung. Penambahan koil pemanas *dummy* menjaga kestabilan kerja sistem pada pemanfaatan panas buang untuk keperluan pemanasan. Penerapan sistem *ice storage* untuk keperluan pendinginan di rumah tangga memungkinkan untuk dilakukan, namun terjadi biaya awal investasi yang lebih besar dibanding sistem AC split.

Pada penelitian BOPTN 2013 (PUPT), dilakukan pengembangan RAC hibrida hemat energi menggunakan kondensor *dummy* sebagai *water heater*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan kondensor *dummy* pada RAC hibrida sebagai *recovery* energi untuk menghasilkan air panas dan sekaligus memberikan ruang yang nyaman, pengaruhnya tidak begitu berarti 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*. Besarnya manfaat *recovery* energi untuk pemanasan air, untuk kondisi aktual pada keadaan stedi adalah 1,2 kW atau 1,8



kali daya yang dibutuhkan untuk menjalankan sistem pendingin, jika dihitung secara teoritis, besarnya adalah 0,65 kali daya yang dibutuhkan untuk menjalankan sistem pendingin.

hasil yang telah dicapai adalah pemanfaatan panas dari refrigeran bertemperatur dan bertekanan tinggi yang keluar dari kompresor di kondensor *dummy*, sehingga temperatur dan tekanannya saat masuk ke kondensor utama lebih rendah, diharapkan nantinya akan terjadi penghematan energi listrik untuk menggerakkan kompresor. Hasil yang telah dicapai pada penelitian tersebut menunjukkan bahwa tidak terdapat pengaruh berarti dengan penambahan kondensor *dummy* terhadap kinerja SKU, temperatur ruangan dijaga pada temperatur 22°C.

Kebaruan dalam penelitian dilakukan dengan penggunaan *Evaporative Cooling* (EC) di kondensor utama dan penambahan HRS pada kondensor *dummy*. Pada penggunaan EC sumber air pendingin berasal dari air kondensat dari evaporator. Dengan penggunaan EC temperatur udara yang akan mendinginkan kondensor lebih rendah dari temperatur lingkungan sekitar, sehingga proses pendinginan akan lebih baik (Sirelkhatim K. Abbouda dan Emad A. Almuhanha, 2012). Temperatur udara masuk yang lebih rendah ini akan menurunkan temperatur dan tekanan kondensor, sehingga akan mempengaruhi kinerja kompresor. Hasil penelitian yang dilakukan K. R. Aglawe, M. S. Matey dan N. P. Gudadhe (2013) dengan sumber air untuk EC dari tangki air, menunjukkan bahwa penggunaan EC di kondensor akan menurunkan temperatur dan tekanan sistem serta lebih hemat energi listrik.

