

Analisa Performansi Sistem Pendingin Ruangan dan Efisiensi Energi Listrik pada Sistem *Water Chiller* dengan Penerapan Metode *Cooled Energy Storage*

Komang Metty Trisna Negara^{a)}, Hendra Wijaksana^{b)},
Nengah Suarnadwipa^{b)}, Made Sucipta^{b)}

^{a)} Program Magister, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Udayana, Kampus Jl. PB Sudirman, Denpasar.

^{b)} Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran, Badung.
email:nengah.suarnadwipa@me.unud.ac.id

Abstraksi

Untuk menghemat penggunaan energi listrik sebagai akibat penggunaan AC (air conditioning) yang semakin meningkat maka telah dilakukan modifikasi pada sistem AC tersebut dengan mengganti fungsi evaporator menjadi box Cooled Energy Storage (CES). Pada modifikasi ini fungsi AC digabungkan dengan AHU dengan memanfaatkan fungsi evaporator sebagai sumber pendinginannya, dimana evaporator dimasukkan kedalam box yang telah diisi air dengan volume 0,072 m³. Dengan menggunakan pompa, air dingin tersebut dialirkan ke AHU, selanjutnya dimanfaatkan sebagai pendingin ruangan. Pengujian dilakukan dengan membandingkan dua cara pengoperasian. Pertama, sistem AC dan AHU dioperasikan secara bersamaan, sedangkan cara kedua sistem AC dioperasikan untuk mendinginkan air di box CES sampai mencapai temperatur yang hampir sama seperti pada saat cara pertama. Selanjutnya sistem AC dimatikan dan AHU dioperasikan untuk mendinginkan ruangan. Hasil yang diperoleh pada cara pertama adalah temperatur air di box CES mencapai sekitar 0,9°C dalam waktu pengujian selama 1 jam (interval pencatatan data setiap 10 menit) sedangkan temperatur ruangan mencapai 12,9°C dan penggunaan daya listriknya mencapai 0,8650 kWh. Pada cara kedua, temperatur air di box CES mencapai sekitar 0,5°C pada selang waktu pengujian selama 30 menit. Setelah AC dimatikan dan AHU dioperasikan, ruangan hanya mampu didinginkan mencapai temperatur 17,8°C dalam waktu 30 menit. Tetapi temperatur air di box CES mencapai 16,5°C pada 10 menit pertama dan terjadi peningkatan yang sangat kecil pada menit-menit berikutnya. Penggunaan daya listrik dengan cara yang kedua ini menunjukkan terjadinya penghematan sebesar 0,4201 kW dibandingkan dengan cara pertama.

Kata kunci : Air Conditioning (AC), Cooled Energy Storage (CES), Air Handling Unit (AHU), Evaporator.

1. PENDAHULUAN

Refrigerasi adalah suatu usaha untuk mencapai atau memperoleh dan menjaga temperatur lebih rendah dari temperatur atmosfer lingkungan atau sama dengan memindahkan panas dari temperatur rendah ke temperatur tinggi dengan melakukan kerja terhadap sistem [1,5]. Dalam sistem refrigerasi dikenal dua siklus, yaitu refrigerasi siklus kompresi uap dan refrigerasi absorpsi.

Pada dasarnya prinsip kerja *Air Conditioner* (AC) sama dengan refrigerasi, namun *Air Conditioner* (AC) tidak berfungsi sebagai pendingin saja, tetapi harus dapat menghasilkan udara nyaman. Hal ini dilakukan dengan jalan pengontrolan terhadap kondisi fisika dan kimiawi udara yang meliputi suhu, kelembaban, gerakan udara, tekanan udara, debu, bakteri, bau, gas beracun dan ionisasi [2]. Contohnya terdapat pada AC rumah atau gedung.

Karena itu tingkat kenyamanan yang didapat dari pendingin dan pengkondisian udara akan sangat terasa manfaatnya pada kehidupan sehari-hari terlebih bagi perkantoran dan dunia industri. Jenis AC untuk ruangan yang sering terdapat dalam aplikasi adalah jenis *AC Split*. Salah satu kelemahan dari Sistem *AC Split* ini adalah dalam penggunaannya memerlukan energi listrik yang cukup besar.

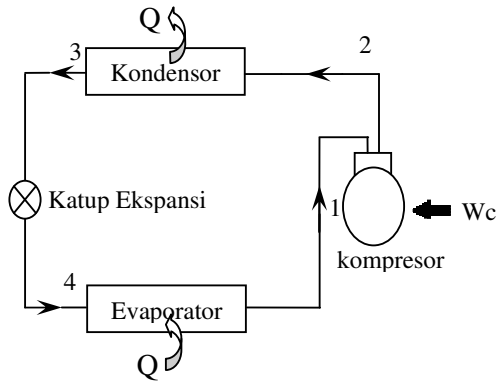
Berangkat dari hal tersebut, maka telah dilakukan modifikasi pada sistem AC tersebut dengan mengganti fungsi evaporator menjadi box CES sebagai salah satu alternatif dalam penghematan energi dengan pengurangan penggunaan energi listrik.

Harapan kedepannya dapat digunakan pada saat beban puncak yang diperkirakan beban puncak berada pada jam 18.00-20.00 terutama untuk pelanggan-pelanggan industri seperti hotel, rumah sakit, bandara dll yang menggunakan sistem *water chiller*.

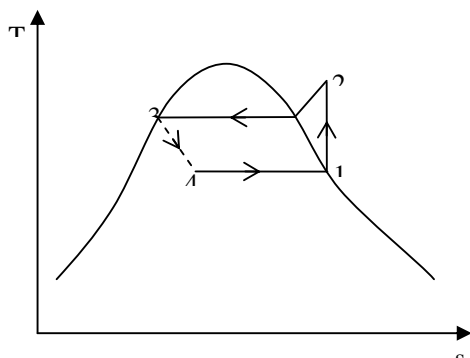
2. DASAR TEORI

Siklus refrigerasi kompresi uap merupakan jenis mesin pendingin yang paling sering digunakan saat ini. Mesin pendingin ini terdiri dari empat komponen utama yaitu kompresor, kondensor, katup ekspansi dan evaporator. Dalam siklus ini uap refrigeran bertekanan rendah akan ditekan oleh kompresor sehingga menjadi uap refrigeran bertekanan tinggi, dan kemudian uap refrigeran bertekanan tinggi diembunkan menjadi cairan refrigeran bertekanan tinggi dalam kondensor. Kemudian cairan refrigeran tekanan tinggi tersebut tekanannya diturunkan oleh katup ekspansi agar

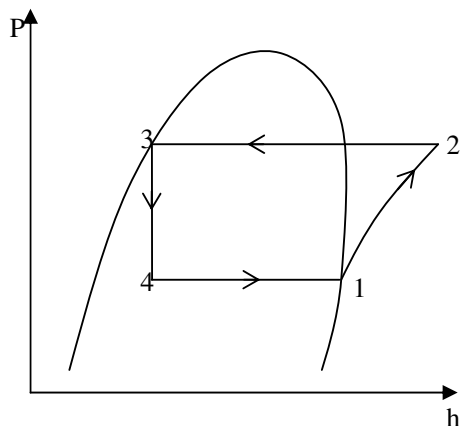
cairan refrigeran tekanan rendah tersebut dapat menguap kembali dalam evaporator menjadi uap refrigeran tekanan rendah. Susunan keempat komponen tersebut secara skematik dapat ditunjukkan pada Gambar 1 dan sketsa proses siklus kompresi uap standar dalam diagram T-S ditunjukkan pada Gambar 2 sedangkan dalam diagram P-h ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 1. Skematik Sistem Pendingin Siklus Kompresi Uap Standar [5].



Gambar 2. T-s Diagram Siklus Kompresi Uap Standar [5].



Gambar 3. P-h Diagram Siklus Kompresi Uap Standar [5].

Di dalam siklus kompresi uap standar ini,

refrigeran mengalami empat proses (mengacu Gambar 3) yaitu:

Proses 1-2:

Kompresi adiabatik reversibel ; merupakan kompresi kering (uap dalam keadaan superheated) yang berlangsung didalam kompresor, dari tekanan evaporator menuju tekanan kompresor. Refrigeran dihisap kompresor dan meninggalkan evaporator dalam wujud uap jenuh dengan kondisi temperatur dan tekanan rendah, kemudian oleh kompresor uap tersebut dinaikan tekanannya menjadi uap dengan tekanan yang lebih tinggi (tekanan kondensor). Kompresi diperlukan untuk menaikkan temperatur refrigeran, sehingga temperatur refrigeran didalam kondensor lebih tinggi dari pada temperatur lingkungan. Maka perpindahan panas dari refrigeran ke lingkungan dapat terjadi. Dengan demikian proses 1-2 tersebut adalah kompresi isentropik disepanjang garis entropi konstan, mulai dari uap jenuh hingga tekanan pengembunan.

Proses 2-3:

Setelah mengalami proses kompresi, refrigeran berada dalam fase panas lanjut dengan tekanan dan temperatur tinggi. Untuk merubah wujudnya menjadi cair, kalor harus dilepaskan ke lingkungan. Proses ini terjadi pada alat penukar kalor yang disebut kondensor. Refrigeran mengalir melalui kondensor dan pada sisi lain dialirkan fluida pendingin (air atau udara) dengan temperatur yang lebih rendah dari temperatur refrigeran. Kalor akan berpindah dari refrigeran ke fluida pendingin dan sebagai akibat refrigeran mengalami penurunan temperatur dari kondisi uap panas lanjut menuju kondisi uap jenuh. Selanjutnya mengembun menjadi fase cair dan keluar dari kondensor berfase cair jenuh. Kesimpulannya proses kondensasi ini adalah proses pengeluaran kalor secara isobarik reversibel pada kondensor. Dengan kata lain proses 2-3 tersebut merupakan penurunan panas lanjut dan pengembunan dengan tekanan tetap, yang merupakan garis lurus mendatar pada diagram tekanan entalpi.

Proses 3-4:

Refrigeran dalam wujud cair jenuh mengalir melalui alat ekspansi. Refrigeran mengalami proses ekspansi pada entalpi konstan terjadi pada katup ekspansi dan berlangsung secara tak reversibel. Selanjutnya refrigeran keluar dari alat ekspansi berwujud campuran uap-cair pada tekanan dan temperatur sama dengan tekanan evaporator. Proses 3-4 berlangsung pada entalpi tetap, karena tegak lurus pada bagan.

Proses 4-1

Refrigeran dalam fasa campuran uap-cair, mengalir melalui sebuah penukar kalor yang disebut evaporator. Pada tekanan evaporator, titik didih refrigeran haruslah lebih rendah daripada temperatur

lingkungan (media kerja atau media yang didinginkan), sehingga dapat terjadi perpindahan panas dari media kerja ke dalam refrigeran. Kemudian refrigeran yang masih berwujud cair menguap di dalam evaporator dan selanjutnya refrigeran meninggalkan evaporator dalam fasa uap jenuh. Proses penguapan tersebut adalah proses pemasukan kalor secara isobarik reversibel pada evaporator yang menyebabkan refrigeran menguap menjadi uap jenuh. Proses 4-1 merupakan garis lurus mendatar karena aliran refrigeran melalui evaporator dinggap tekanan tetap.

Kerja Kompresi

Kerja kompresi merupakan perubahan enthalpy pada proses 1-2 pada gambar 3. Hubungan ini diturunkan dari persamaan energi umum untuk analisa volume atur/control volume [4] :

$$\dot{Q} - \dot{W} + \sum \dot{m} \left(h + \frac{V^2}{2} + gz \right) - \sum \dot{m}_e \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + gz_e \right) = \frac{dE_{st}}{dt} \quad (2.1)$$

Kerja kompresi dapat ditulis :

$w = w_c =$ kerja yang dibutuhkan kompresor

$$w_c = h_2 - h_1 \left(\frac{kJ}{kg} \right) \quad ..$$

(2.4) Dimana:

$w_c =$ kerja kompresor (kJ/kg)

$h_1 =$ enthalpi awal kompresi (kJ/kg)

$h_2 =$ enthalpi akhir kompresi (kJ/kg)

$\dot{m} =$ laju aliran massa (kg/s)

Dampak Refrigerasi

Dampak refrigerasi merupakan besarnya kalor yang dipindahkan pada proses 4-1 yaitu sebagai berikut:

$$q_r = h_1 - h_4 \quad (kJ/kg) \quad (2.5)$$

Dimana:

$q_r =$ dampak refrigerasi (kJ/kg)

$h_1 =$ entalpi awal kompresi (kJ/kg)

$h_4 =$ entalpi akhir ekspansi (kJ/kg)

Dampak refrigerasi sangat penting karena merupakan tujuan utama seluruh proses.

Koefisien Prestasi (COP)

COP dari siklus kompresi uap standar adalah dampak refrigerasi dibagi kerja kompresi, yaitu:

$$COP = \frac{q_r}{w_c} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (2.6)$$

dimana:

$COP =$ koefisien prestasi atau unjuk kerja

$h_1 =$ entalpi awal kompresi (kJ/kg)

$h_2 =$ enthalpi akhir kompresi (kJ/kg)

$h_4 =$ entalpi akhir ekspansi (kJ/kg)

Laju Pendinginan Udara

Laju pendinginan adalah kecepatan penurunan temperatur oleh sistem pendingin terhadap ruangan per satuan waktu atau selang waktu tertentu.

Laju pendinginan ruangan terhadap udara (\dot{q}_{ud}) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\dot{q}_{ud} = m_{ud} \cdot c_p \cdot \frac{dT}{dt} \quad (2.7)$$

$$\dot{q}_{ud} = m_{ud} \cdot c_p \cdot \frac{T_{awal} - T_{akhir}}{\Delta t}$$

dimana:

$m_{ud} =$ massa udara ruangan yang didinginkan (kg)

$c_p =$ kalor spesifik udara ruangan yang didinginkan (J/kg)

$T_{awal} =$ temperatur awal ruangan ($^{\circ}C$)

$T_{akhir} =$ temperatur akhir dari ruangan ($^{\circ}C$)

$\Delta t =$ selang waktu pengujian (detik)

Atau pengolahan data laju pendinginan dapat dilakukan dengan persamaan berikut, dimana massa udara ruangan dapat dicari dengan mengalikan massa jenis udara dengan volume ruangan. Sehingga persamaanya menjadi:

$$\dot{q}_{ud} = m_{ud} \cdot c_p \cdot \frac{T_{awal} - T_{akhir}}{\Delta t} \rightarrow \dot{q}_{ud} = \rho \cdot V \cdot c_p \cdot \frac{T_{awal} - T_{akhir}}{\Delta t} \quad (2.8)$$

dimana:

$\dot{q}_{ud} =$ laju pendinginan (kJ/s)

$m_{ud} =$ massa udara ruangan yang didinginkan (kg)

$c_p =$ kalor spesifik udara ruangan yang didinginkan (kJ/kg . K)

$\rho =$ massa jenis udara (kg/m³)

$V =$ volume ruangan refrigerator (m³)

$T_{awal} =$ temperatur awal ruangan ($^{\circ}C$)

$T_{akhir} =$ temperatur akhir dari ruangan ($^{\circ}C$)

$\Delta t =$ selang waktu pengujian (detik)

Laju Pendinginan Air

Laju pendinginan air adalah kecepatan peningkatan temperatur oleh sistem pendingin air pada box cooled energy storage satuan waktu tertentu.

Laju pendinginan air (\dot{q}_{air}) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\dot{q}_{air} = m_{air} \cdot c_p \cdot \frac{dT}{dt} \quad (2.9)$$

$$\dot{q}_{air} = m_{air} \cdot c_p \cdot \frac{T_{akhir} - T_{awal}}{\Delta t}$$

dimana:

m_{air} = massa air pada tabung yang dipanaskan (kg)

c_p = kalor spesifik air yang dipanaskan (J/kg)

T_{awal} = temperatur awal air (°C)

T_{akhir} = temperatur akhir dari air (°C)

Δt = selang waktu pengujian (detik)

Konsumsi Energi

Konsumsi energi adalah konsumsi energi yang dibutuhkan selama pengoperasian sistem berlangsung.

$$\dot{w}_{com} = VI_1 \cos\phi \quad (2.10)$$

$$\dot{w}_{pompa} = VI_2 \cos\phi \quad (2.11)$$

Dimana :

\dot{w}_{com} = Daya kompresor (watt)

\dot{w}_{pompa} = Daya pompa (watt)

V = Tegangan (Volt)

I_1 = Kuat Arus kompresor (Ampere)

I_2 = Kuat Arus pompa (Ampere)

$\cos\phi = 0,85$ (diperoleh dari pengalaman lapangan)

Sehingga konsumsi keseluruhan untuk metode tanpa CES adalah kerja kompresor dijumlahkan dengan kerja pompa dikalikan dengan waktu pengoperasian :

$$\text{Konsumsi energi} = (\dot{w}_{com} + \dot{w}_{pompa}) \cdot t \quad (2.12)$$

Dan konsumsi keseluruhan untuk metode CES adalah kerja kompresor dijumlahkan dengan kerja pompa dikalikan dengan setengah waktu pengoperasian karena sistem berjalan secara bertahap :

$$\text{Konsumsi energi} = \dot{w}_{com} \cdot t_{(com)} + \dot{w}_{pompa} \cdot t_{(pompa)} \quad (2.13)$$

Dimana :

t = waktu yang dibutuhkan untuk mencapai temperatur yang diinginkan (detik).

3. METODE PENELITIAN

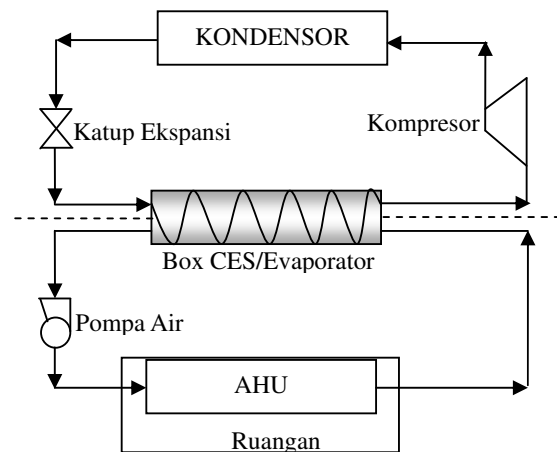
Penelitian ini dilakukan dengan melakukan pengambilan data di lapangan dan pengolahan data secara matematis. Menggunakan 1 unit AC Split dengan kapasitas 1 PK, box aluminium 1x1x1 m sebagai ruangan pengujian dan refrigeran yang digunakan menggunakan R22. Pada modifikasi ini, fungsi AC digabungkan dengan AHU dengan

memanfaatkan fungsi evaporator sebagai sumber pendinginannya, dimana evaporator dimasukkan kedalam box yang telah diisi air dengan volume 0,072 m³.

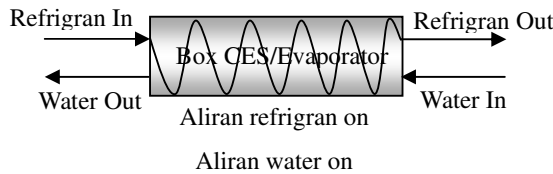
Dengan menggunakan pompa, air dingin tersebut dialirkan ke AHU, selanjutnya dimanfaatkan sebagai pendingin ruangan. Pengujian dilakukan dengan membandingkan dua cara pengoperasian. Pertama, sistem AC dan AHU dioperasikan secara bersamaan, sedangkan cara kedua sistem AC dioperasikan untuk mendinginkan air di box CES sampai mencapai temperatur yang hampir sama seperti pada saat cara pertama. Selanjutnya sistem AC dimatikan dan AHU dioperasikan untuk mendinginkan ruangan.

3.1 Rangkaian alat uji dan cara kerja sistem refrigerasi tanpa CES (Full Sistem)

Pada Gambar 4. menunjukkan Siklus refrigran (siklus primer) dimulai dari evaporator. Evaporator merupakan penukar kalor yang memegang peranan penting dalam siklus refrigrasi, yaitu mendinginkan media sekitarnya. Didalam evaporator terjadi penguapan dari cair menjadi gas dan selanjutnya refrigeran meninggalkan evaporator dalam fase uap jenuh [3]. Melalui perpindahan panas di dinding-dindingnya, mengambil panas disekitarnya kedalam sistem kemudian panas tersebut dibawa ke kompresor. Kompresor merupakan suatu alat yang digunakan untuk menaikkan tekanan fluida (uap dalam keadaan superheated). Refrigeran dihisap kompresor dan meninggalkan evaporator dalam wujud uap jenuh dengan kondisi temperatur dan tekanan rendah lalu mengkompresikan gas tersebut sehingga menjadi gas dengan temperatur dan tekanan tinggi. Kemudian gas tersebut mengalir ke kondensator dan terjadi pelepasan kalor, sehingga refrigeran dalam bentuk gas mengembun menjadi fase cair dan keluar dari kondensator berfase cair jenuh.



Gambar 4. Rangkaian Alat Uji Sistem Pendingin tanpa cooled energy storage



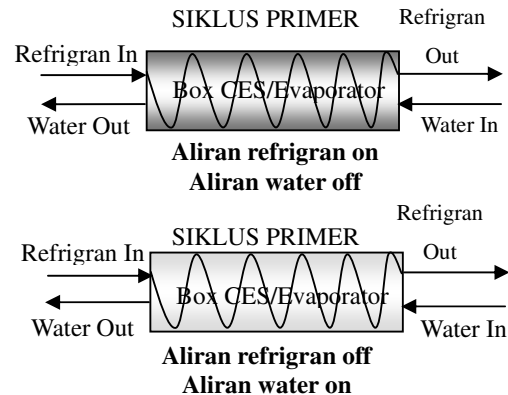
Gambar 5. Box CES/Evaporator

Selanjutnya mengalir melalui katup ekspansi mengalami proses ekspansi pada entalpi konstan dan keluar dari katup ekspansi berwujud campuran uap cair dan kembali menuju evaporator. Selanjutnya siklus sekunder terlihat pada Gambar 5. atau ketika air melewati evaporator terjadi dimana air dingin yang dihasilkan evaporator dipompa terlebih dahulu kemudian barulah disalurkan ke AHU. Di AHU terjadi penyerapan kalor dari udara yang dikondisikan ke air dingin dan dialirkan kembali ke evaporator. Air yang datang dari AHU (temperatur air meningkat) didinginkan kembali oleh refrigeran yang ada di evaporator. Akhirnya air dingin yang ada dalam evaporator tadi dipompa kembali untuk mendinginkan ruangan. Begitu seterusnya antara siklus primer dan siklus sekunder beroperasi secara bersamaan.

3.2 Rangkaian alat uji dan cara kerja sistem refrigrasi dengan CES (Half Sistem)

Rangkaian sistem masih sama seperti rangkaian diatas, namun yang membedakan disini adalah proses aliran refrigeran dan hembusan air dingin yang dialirkan ke ruangan berjalan secara bertahap terlihat pada Gambar 6. Siklus refrigeran berjalan sama seperti alur siklus refrigeran diatas, namun yang berbeda disini adalah penggantian fungsi evaporator menjadi box CES (menyimpan energi dingin terlebih dahulu). Sistem AC dioperasikan untuk mendinginkan air di box CES sampai mencapai temperatur yang hampir sama seperti pada saat cara pertama. Setelah air dingin (mencapai temperatur dingin yang diinginkan) sistem AC dimatikan.

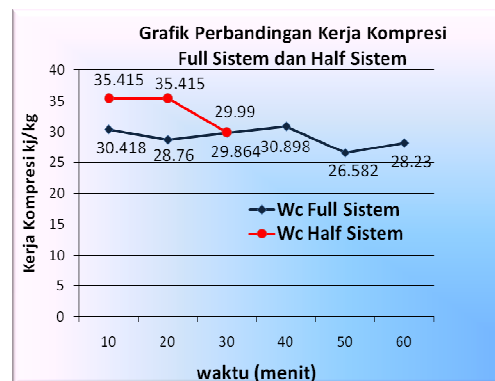
Barulah siklus sekunder berjalan, air dingin yang telah disimpan tadi dipompa kemudian disalurkan ke AHU. Dari AHU terjadi penyerapan kalor dari udara yang dikondisikan ke air dingin dan dialirkan kembali ke box CES. Jadi perbedaannya siklus primer dan siklus sekunder berjalan secara bertahap. Dimulai dari siklus primer berjalan sampai air mencapai temperatur yang diinginkan dan ketika sudah dicapai dilanjutkan siklus sekunder berjalan. Begitu seterusnya siklus ini berjalan.



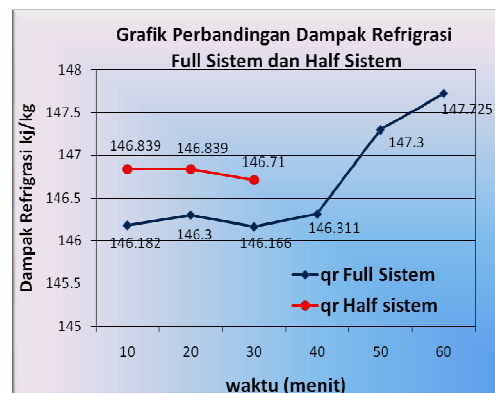
Gambar 6. Box CES/Evaporator

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

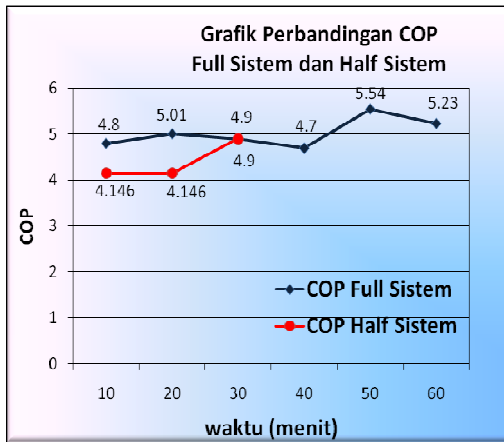
Dibawah ini merupakan gambar yang menunjukkan grafik hubungan waktu terhadap kerja kompresi, dampak refrigrasi, COP (Coefficient of Performance).



Gambar 7. Perbandingan Kerja Kompresi Full Sistem Dan Half Sistem Terhadap Waktu



Gambar 8. Perbandingan Dampak Refrigrasi Full Sistem Dan Half Sistem Terhadap Waktu



Gambar 9. Perbandingan COP Full Sistem Dan Half Sistem Terhadap Waktu

Dari gambar 7. terlihat bahwa hubungan antara kerja kompresi terhadap waktu terjadi penurunan, artinya semakin lama waktu pengoperasian AC split, semakin rendah kerja kompresinya hal ini disebabkan karena air sudah semakin dingin. Pada AC split dengan full sistem bekerja selama 60 menit karena kompresor terus bekerja sampai 60 menit sedangkan pada AC split dengan half sistem hanya memiliki 30 menit karena kerja kompresor hanya bekerja pada 30 menit pertama dan 30 menit berikutnya kompresor berhenti bekerja selanjutnya AHU dioperasikan.

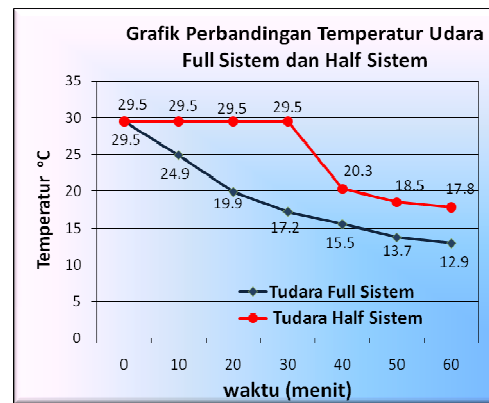
Disini terlihat bahwa AC split dengan full sistem kerja kompresinya lebih rendah dibandingkan dengan AC split half sistem, disebabkan karena air yang terdapat pada box evaporator full sistem volumenya mengecil akibat dari air bersirkulasi sedangkan pada half sistem kerja kompresi lebih tinggi karena air pada box CES diam (tidak bersirkulasi) volume air tetap, namun pada menit ke 30 terjadi penurunan kerja kompresi diakibatkan karena temperatur air sudah semakin rendah sehingga tidak membutuhkan kerja kompresi yang besar.

Dari gambar 8. dapat dilihat bahwa, AC Split full sistem mempunyai Dampak Refrigerasi yang lebih rendah dari AC split half sistem. Pada full sistem lebih rendah hal ini disebabkan karena selama 30 menit pertama air di evaporator bersirkulasi dan panas ruangan hanya sedikit yang diserap namun pada 30 menit berikutnya yaitu menit ke 40-60 terjadi kenaikan yang cukup tajam dari sebelumnya disebabkan karena panas ruangan yang diserap sudah semakin banyak dari sebelumnya, kerja sistem semakin besar akibat dari beban pendinginan yang semakin besar untuk mendinginkan ruangan (menurunkan temperatur ruangan). Berbeda dengan half sistem nilainya lebih tinggi dibanding dengan full sistem karena air yang didinginkan di box CES

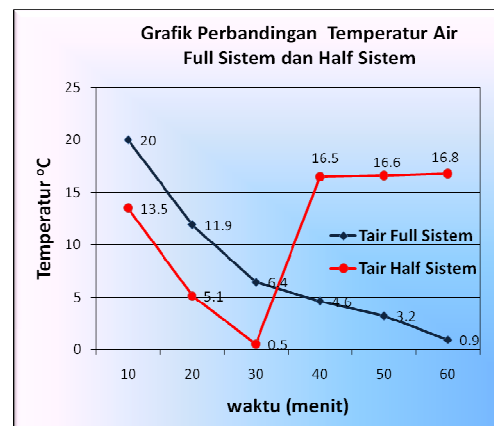
dalam keadaan diam (tidak bersirkulasi) kompresor hanya bekerja pada 30 menit pertama untuk mendinginkan air saja dan tidak mengambil panas lingkungan.

COP (Coefficient of Performance) adalah perbandingan dari Dampak Refrigerasi dengan Kerja Kompresi. Dari Gambar 9. dapat dilihat bahwa, COP dari AC split half sistem lebih rendah jika dibandingkan dengan AC split full sistem. Dari grafik juga dapat dilihat bahwa selama 60 menit selang waktu pengujian, tidak terjadi penurunan COP yang signifikan pada AC split full sistem. Perubahan paling besar terlihat pada AC split half sistem terjadi peningkatan COP terutama selang waktu menit ke 20-30 hal ini disebabkan karena pada selang waktu tersebut terjadi penurunan kerja kompresi karena temperatur air sudah semakin rendah serta peningkatan dampak refrigerasi (pembagi COP kecil).

Selanjutnya hubungan waktu terhadap temperatur udara dan temperatur air dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 10. Perbandingan Temperatur Udara Full Sistem Dan Half Sistem Terhadap Waktu



Gambar 11. Perbandingan Temperatur Air Full Sistem Dan Half Sistem Terhadap Waktu

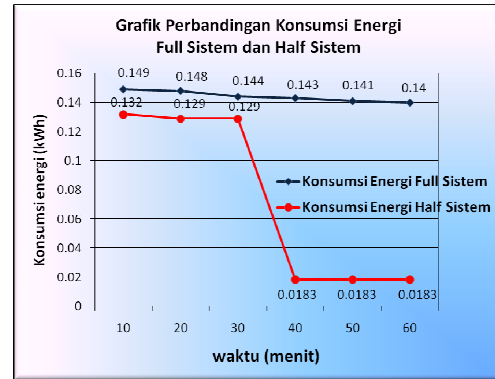
Dapat dilihat dari Gambar 10. terlihat bahwa hubungan temperatur udara terhadap waktu adalah berbanding terbalik artinya semakin lama proses pengujian maka temperatur yang dicapai akan semakin menurun sesuai dengan tujuan dari sistem pendinginan. Dari grafik dapat dilihat bahwa pada AC Split Full sistem lebih rendah dibandingkan dengan half sistem. Pada grafik dapat juga dilihat terjadi penurunan temperatur udara karena semakin banyak panas yang diserap oleh evaporator mengakibatkan kerja kompresi semakin mengecil. Pada half sistem dari menit ke 0-30 temperatur udara konstan yaitu sebesar 29,5°C masih merupakan temperatur lingkungan karena belum terjadi proses penyerapan kalor (udara dingin belum dihembuskan keruangan) sementara hanya kompresor yang bekerja untuk mendinginkan air di evaporator. Barulah dari menit ke 30-60 kerja kompresor mati dilanjutkan dengan air yang telah tersimpan tadi disirkulasikan oleh kerja pompa. Udara dingin mulai dihembuskan keruangan. Di ruangan mulai terjadi penyerapan kalor sehingga perlahan temperatur udara akan menurun (terlihat pada gambar 10).

Sama halnya pada perbandingan temperatur udara, perbandingan temperatur air pada Gambar 11. juga terlihat bahwa hubungan temperatur air terhadap waktu adalah berbanding terbalik artinya semakin lama proses pengujian maka temperatur yang dicapai akan semakin menurun sesuai dengan tujuan dari sistem pendinginan. Dari grafik dapat dilihat bahwa pada AC Split Full sistem lebih tinggi dibandingkan dengan half sistem.

Dari grafik terlihat bahwa pada full sistem terjadi penurunan temperatur secara teratur disebabkan karena proses berlangsung dengan stabil artinya kompresor dan pompa sama-sama berjalan. Sedangkan pada half sistem terjadi perubahan yang cukup tajam. Pada menit ke 10-30 penurunan temperatur air jauh lebih bagus (lebih rendah) daripada full sistem, karena pada menit ini kompresor bekerja hanya untuk mendinginkan air yang tersimpan pada box CES. Namun pada menit selanjutnya mulai terjadi kenaikan temperatur disebabkan udara dingin dari air yang tersimpan tadi sudah mulai disirkulasikan ke ruangan sementara kompresor sudah mati. Jadi udara yang disirkulasikan hanya memakai udara dingin yang tersimpan pada box CES.

Sehingga grafik terakhir adalah mencari hubungan waktu terhadap konsumsi energi yang akan dipergunakan. Pada Gambar 12. terlihat bahwa jumlah konsumsi energi selama 60 menit pada Full sistem yaitu 0,8650 kWh sedangkan pada Half sistem yaitu 0,4449 kWh bisa dikatakan konsumsi energi pada Half sistem adalah setengahnya dari full sistem. AC Split Full sistem lebih tinggi pemakaian konsumsi energinya karena penggunaan kompresor dan pompa secara bersamaan selama proses refrigrasi berlangsung dibandingkan dengan half sistem

kompresor dan pompa bekerja secara bertahap, dimulai dari kompresor bekerja sampai mencapai temperatur yang diinginkan kemudian setelah tercapai, kompresor berhenti bekerja selanjutnya AHU dioperasikan untuk mensirkulasikan udara dingin keruangan.



Gambar 12. Perbandingan Konsumsi Energi Full Sistem Dan Half Sistem Terhadap Waktu

Pada full sistem terjadi penurunan konsumsi energi secara stabil karena sistem bekerja bersamaan dan temperatur udara sudah semakin rendah sehingga kerja kompresor akan semakin mengecil mengakibatkan konsumsi energi yang digunakan akan semakin berkurang. Pada half sistem terjadi penurunan yang cukup tajam terutama menit ke 30-40 karena disini terjadi pengalihan kerja dari kerja kompresor yang membutuhkan energi lebih banyak daripada kerja pompa yang hanya untuk mensirkulasikan udara keruangan saja.

5. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian, pengolahan data, analisis grafik dan pembahasan diperoleh beberapa kesimpulan, antara lain :

- Performansi sistem pendingin dengan penggunaan full sistem lebih rendah daripada performansi sistem pendingin pada penggunaan half sistem. Hal ini dapat dilihat pada hasil perhitungan kerja kompresi, dampak refrigrasi dan COP.
- Dengan penggunaan half sistem konsumsi energi selama 1 jam lebih sedikit sebesar **0,4449 kWh** dibandingkan penggunaan full sistem sebesar 0,8650 kWh atau dengan selisih **0,4201 kWh**. Namun temperatur udara yang dicapai half sistem lebih tinggi yaitu **17,8°C** dibandingkan dengan full sistem yaitu **12,9°C**. Untuk sistem pengkondisian udara temperatur **17,8°C** sudah cukup dingin apabila diaplikasikan pada suatu ruangan. Perbedaan temperatur ini cukup wajar mengingat konsumsi energi listrik pada half sitem jauh lebih rendah (hampir setengahnya) dibandingkan dengan full sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Arismunandar, W., Saito, H. 2002, *Penyegaran Udara*, Cetakan ke-6, PT Pradnya Paramita Jakarta.
- [2]. Arora, C.P., 2000, *Refrigeration and Air Conditioning*, Second Edition. Tata McGraw-Hill.
- [3]. Brown, A.I., Marco, S.M., 1958, *Introduction to Heat Transfer*, ed, McGraw-Hill Book Company, New York.
- [4]. Incropera, David, F.P., dan DeWitt, D.P., 1990, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 3rd Ed., John Wiley & Sons, Inc., USA.
- [5]. Stoecker, Wilbert F., Jerold W. J., 1992. *Refrigerasi Dan Pengkondisian Udara*, alih bahasa Supratman Hara, Edisi Kelima, Penerbit Erlangga, Jakarta.