Studi Kelayakan dari Penggunaan Mesin Pengkondisi Udara Jenis *Absorption Chiller* pada Gedung di Negara Beriklim Tropis

Luga Martin
Teknik Refrigerasi & Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia
luga_martin@yahoo.com

Abstrak

Salah satu jenis mesin pengkondisi udara yang digunakan di gedung dapat menggunakan sistem absorption chiller, dimana sistem ini memiliki absorber, generator dan pompa untuk menyirkulasikan larutan fluida kerja. Jika dibandingkan dengan sistem kompresi uap, absorption chiller memiliki COP atau unjuk kerja yang sangat kecil, yaitu sekitar 0,7, sedangkan sistem kompresi uap dapat mencapai 5. Akan tetapi, absorption chiller menjadi menarik untuk diteliti karena sumber energi utamanya adalah panas, dimana sumbernya dapat diperoleh dari buangan sistem lain. Pada penelitian kali ini, dilakukan suatu pengujian kinerja absorption chiller dengan metoda penggabungan antara mesin generator listrik (gen-set) dan absorption chiller. Metoda penggabungan tersebut adalah dengan menambahkan alat penukar kalor di saluran exhaust (knalpot) gen-set, dimana panas buangnya kemudian dimanfaatkan sebagai sumber energi utama untuk menjalankan absorption chiller. Dengan sistem pemanfaatan panas buang ini, satu sumber energi input (bahan bakar gen-set) akan memberikan dua energi output, yaitu energi listrik dan energi pendinginan. Jika ditinjau dari sisi penggunaan energinya, effisisensi gen-set meningkat dari 23% menjadi 60% dan kapasitas pendinginan yang diperoleh adalah 200 Watt. Dengan memperhitungkan tarif dasar listrik yang berlaku, maka penghematan biaya dari 200 Watt selama setahun adalah Rp 651.600; serta penurunan emisi karbon akibat penggunaan listrik selama setahun adalah 32,640 kg CO_2.

Kata kunci: *absorption chiller*, generator listrik, panas buang, energi

1.Pendahuluan

Kondisi udara yang nyaman pada lingkungan kerja merupakan salah satu faktor yang dapat mendukung kinerja bagi orang yang melakukan pekerjaan di dalam sebuah ruangan atau gedung.Untuk memperoleh tingkat kenyamanan udara pada gedung dapat dipenuhi oleh sistem pengolah udara, dalam hal ini adalah sistem pengkondisi udara (Air Conditioning). Sistem pengkondisi udara ini dapat memberikan pengontrolan beberapa parameter seperti temperatur, laju aliran udara dan kelembaban relatif udara yang tidak hanya ditujukan untuk kenyamanan manusia tapi juga untuk menjaga kondisi fisik dari ruangan atau gedung itu sendiri. Ada beberapa jenis sistem pengkondisi udara (Air Conditioner) yang dapat digunakan di gedung-gedung perkantoran. Karena alasan performansi kerja yang baik, pengkondisi udara yang menggunakan *chiller* dengan sistem kompresi uap sering digunakan. Akan tetapi, jika mempertimbangkan dampak lingkungan yang berkaitan dengan emisi Karbondioksida dan penghematan sumber energi (listrik), maka sangatlah penting untuk mencari alternatif dari sistem pengkondisi udara yang lain. Salah satu altenatif sistem yang dapat diusulkan untuk digunakan adalah pengkondisi udara yang menggunakan *chiller* dengan sistem absorpsi.

2.Penggantian sistem Absorption Chiller

Dalam penggantian *chiller* sitemkompresi uap dengan sistem absorpsi, ada beberapa permasalahan yang harus dipertimbangkan, diantaranya adalah:

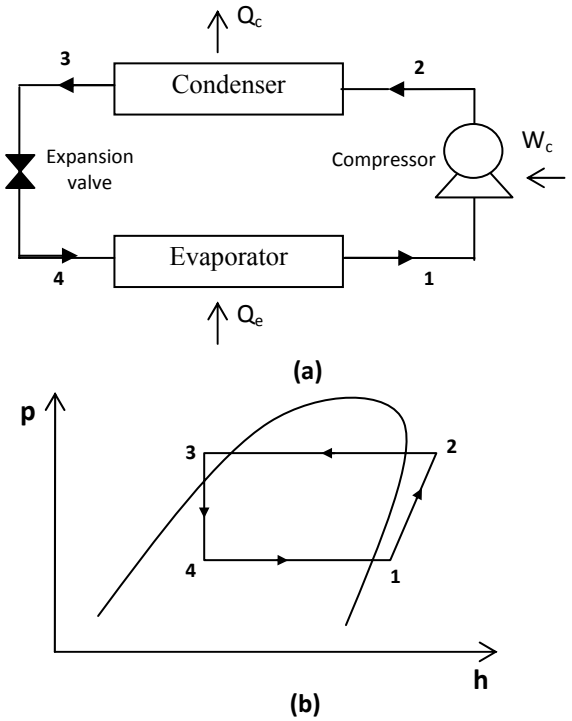
- Unjuk kerja atau *Coefficient of Performance* (COP) dari sistem absorpsi adalah sangat rendah jika dibandingkan dengan sistem kompresi uap. Hal ini akanmenjadikan sistem absorpsi tidak ekonomis ketika tidak tersedianya sumber energi alternatif (kalor buangan) atau energi yang terbarukan.
- Sistem absorpsi memilik dimensi yang lebih besar jika dibandingkan dengan sistem kompresi uap pada kapasitas pendinginan yang sama.

Berdasarkan permasalahan di atas, maka dibuat suatu penelitian dengan tujuan memberikan hasil evaluasi penggantian sistem kompresi uap menjadi sistem absorpsi.Evaluasi ini mengacu kepada pertimbangan nilai ekonamis (biaya) dan dampak terhadap lingkungan.

3.Tinjauan Pustaka

Tassou (2005), pada bukunya *Energy Conversion Technologies* menjelaskan bahwa*Chiller* dengan sistem absorpsi mempunyai kesamaan dengan sistem kompresi uap, dimana sistem ini memiliki fluida kerja sebagai media untuk memindahkan panas dari sistem ke lingkungan. Dengan menyerap kalor dari fluida sekunder, refrigerant akan menguap pada tekanan rendah di evaporator dan akan terkondensasi ketika didinginkan oleh media pendingin di kondenser bertekanan tinggi. Perbedaan utama pada sistem absorpsi jika dibandingkan dengan sistem kompresi uap adalah digantikannya kerja kompresor dengan absorber, generator dan pompa untuk menyirkulasikan larutan fluida kerja.

Untuk gambar skematik dari *chiller* yang menggunakan sistem kompresi uap dapat dilihat pada Gambar 1



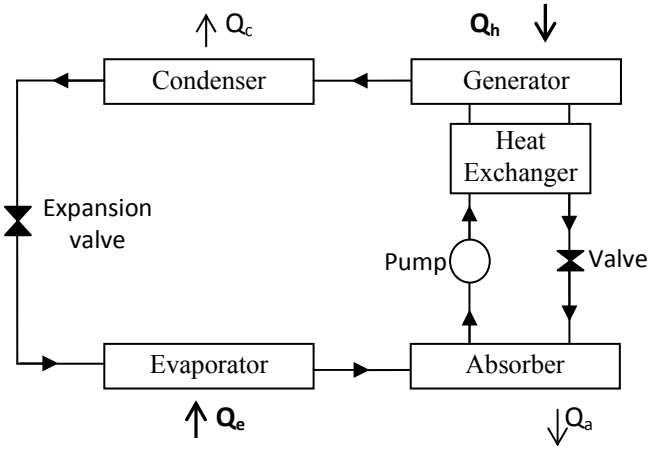
Gambar 1 *Chiller* Kompresi Uap; (a) Diagram skematik, (b) Diagram P-h dari Sistem (Sumber: Tassou, 2005)

Diagram P-h (*Pressure-enthalpy*) digunakan untuk menghitung dan mengevaluasi Performansi dari sistem kompresi uap. Dengan menggunakan persamaan Termodinamika, maka besaran-besaran yang dapat dihitung adalah:

- Kapasitas pendinginan diperoleh dengan mengalikan laju aliran masa refrigerant (kg/s) dengan selisih enthalpy keluar dan masuk evaporator (kJ/kg):
  $Q_e = \dot{m}_r (h_1 - h_4)$ [kW] (1)
- Kerja kompresor diperoleh dengan mengalikan laju aliran masa refrigerant (kg/s) dengan selisih enthalpy masuk dan keluar kompresor (kJ/kg):
  $W_c = \dot{m}_r (h_2 - h_1)$ [kW] (2)
- Coefficient of Performance (COP) untuk sistem pendinginan adalah:
-

$$COP_c = \frac{Refrigerationeffect}{Workinput} = \frac{(h_1 - h_4)}{(h_2 - h_1)} \quad (3)$$

Tassou juga menjelaskan bahwa pada umumnya COP untuk sistem kompresi uap dapat mencapai 5, sedangkan untuk sistem absorpsi COPnya hanya 0.7 untuk *single effect* dan dapat mencapai 1 untuk *double effect*.Untuk lebih jelasnya, Gambar 2 contoh dari *chiller* yang menggunakan sistem absorpsi dengan sistem *single effect*, dimana efek pemanasan di generator dan penyerepan kalor di evaporator hanya 1 kali siklus.



Gambar 2 Diagaram Skematik *Chiller*Absorpsi (Single-effect) (Sumber: Tassou, 2005)

Untuk menentukan unjuk kerja (COP) dari sistem absorpsi ini adalah dengan membagi jumlah kalor yang dapat diserap di evaporator (Q_e) dengan energi input di generator (Q_h), sehingga persamaannya menjadi:

$$COP = \frac{Heat\ absorbed}{Energy\ input} = \frac{Q_e}{Q_h} \quad (4)$$

Dari persamaan COP di atas, energi input yang dimaksud adalah berupa kalor yang secara langsung diberikan untuk memanaskan generator, Q_h.
Florides (2003), dalam perancangan *absorption* chiller, menjelaskan bahwa kalor yang digunakan sebagai energi input dapat berasal dari pemanas listrik, boiler, *solar collector*, pembakaran langsung dari bahan bakar dan panas dari buangan mesin motor bakar. Sumber-sumber panas yang dapat digunakan dipilih berdasarkan ketersediaan sumbernya dan dipertimbangkan secara ekonomi. Untuk negara yang mendapatkan intensitas radiasi matahari sangat tinggi, seperti negara-negara pada daerah katulistiwa, negara di Timur Tengah dan bahkan negara yang beriklim subtropis dapat memanfaatkannya sebagai sumber panas untuk *chiller* absorpsi, Balghouthi (2008).

Elsafty (2002) menambahkan, walaupun biaya awal pemasangan yang sangat tinggi, namun sistem absorpsi akan memberikan nilai ekonomis dari pemanfaatan panas matahari. Selain panas dari radiasi matahari, panas buang dari mesin generator listrik juga dapat dimanfaatkan.Pemanfaatan panas buang ini dikenal dengan sebutan *Tri-Generation.* Pada sistem *Tri-Generation*,Ge (2009) menjelaskan bahwa generator listrik yang digunakan sebagai sumber listrik cadangan pada gedung-gedung perkantoran dapat digunakan sebagai sumber energi input untuk menggerakkan *chiller* jenis absopsi. Pada saat generator listrik bekerja, mesin penggeraknya (umumnya adalah mesin motor bakar) menghasilkan panas buang yang dilepaskan bersamaan dengan gas hasil pembakaran melalui saluran *exhaust*. Panas buang ini yang kemudian dapat digunakan sebagai sumber energi input. Penggerak generator listrik (gen-set) pada gedung. Pada penelitian ini, sumber kalor yang akan digunakan adalah kalor buangan dari mesin generator listrik, dimana sistem ini disebut sistem kombinasi antara pendinginan, pemanasan dan sumber listrik.

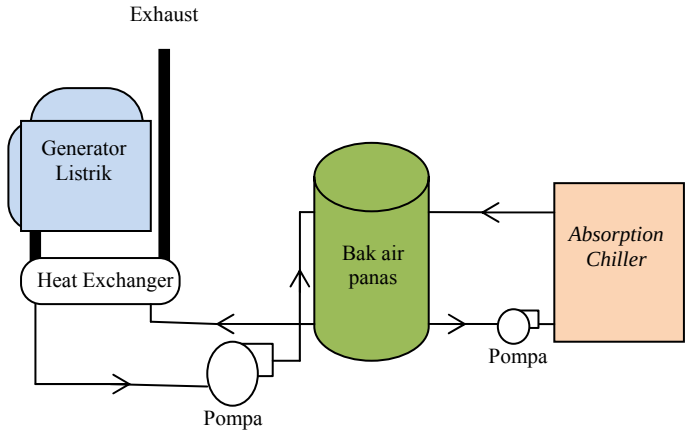
4.Metode Penelitian

Metode yang diadopsi pada penetilitian ini adalah:

- Merancang dan membuat simulasi pemanfaatan kalor buangan dari sistem generator listrik pada skala kecil.
- Memberikan gambaran tentang *chiller* yang menggunakan sistem kompresi uap dan sistem absorpsi.
- Menganalisa nilai ekonomis dari kedua sistem yang berkaitan dengan jumlah biaya dan konsumsi energi.
- Memberikan rekomendasi untuk menggunakan sistem pengkondisi udara jenis absorpsi atas dasar pertimbangan secara keseluruhan.

5.Hasil dan Pembahasan

Untuk menentukan nilai panas buang yang dapat digunakan sebagai energi penggerak sistem penkondisi udara jenis absorpsi, maka pada penelitiaan ini dirancang suatu alat simulasi yang akan memberikan nilai besaran kalor yang dapat digunakan tersebut. Perancangan ini meliputi perencanaan dan pemasangan alat penukar kalor (heat exchanger) pada mesin generator listrik. Gambar 3 menunjukkan skema penempatan *heat exchanger* yang berfungsi sebagai penukar kalor dari exhaust generator listrik ke air yang kemudian ditampung pada bak air panas. Air panas yang sudah ditampung kemudian dimanfaatkan sebagai sumber energi pada *absorption chiller*.



Gambar 3 Skema Pemanfaatan Kalor Buang dari Generator Listrik

5.1 Kajian Efisiensi Generator Listrik

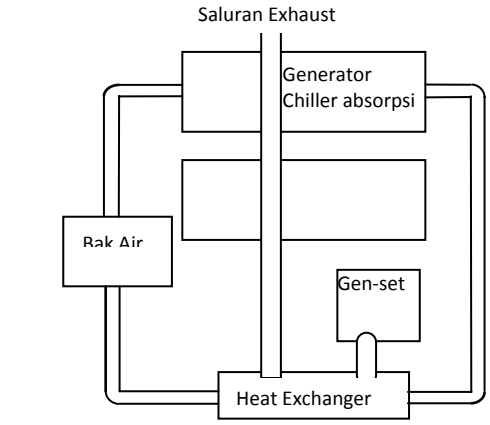
Generator yang digunakan pada percobaan ini menghasilkan energi listrik sebesar 650 Watt (ratted power output) dengan konsumsi bahan bakar rata-rata 0,3 liter/jam. Temperatur air pada alat penukar kalor sangat bergantung dari temperatur gas buang hasil pembakaran di saluran exhaust generator listrik.Pada kondisi dimana generator listrik bekerja secara maksimum, temperatur air pada heat exchanger dapat mencapai 90^0C sedangkan pada kondisi tanpa bebantemperatur air hanya 50^0C.Jika generator listrik hanya ditinjau dari segi penghasail listrik, maka efisiensinya dapat dihitung sebagai berikut:

Jika kalor pembakaran bensin 10500 kcal/kg(= 43961,4 kJ/kg),
massa jenis bensin 770 kg/m^3

konsumsi0,3 l/jam = $8,3x10^{-8}m^3/s$
maka daya inputnya:
Q_i = 43961,4 kJ/kg x 770 kg/m^3 x $8,3x10^{-8}m^3/s$
= 2,82 kJ/s atau **2,82 kW** (= 2820 Watt)

Sehingga efisiensi generator listriknya:
η = Power output / Q_i
= 650/2820 = 0.23 atau **23%**

Nilai efisiensi di atas menunjukkan bahwa hanya 23% energi dari bensin dapat dirubah menjadi energi listrik. Nilai efisiensi akan meningkat ketika panas buangnya dimanfaatkan. Untuk mengkaji besaran energi panas yang dapat dimanfaatkan diperlukan alat penukar kalor (heat exchanger) yang kemudian akan dipasang pada saluran *exhaust* generator listrik (genset) dan pompa air panas untuk menyirkulasikan dari *heat exchanger* menuju bak penampung dan ke absorption chiller seperti yang terlihat pada gambar 4.



Gambar 4 Peletakan Heat Exchanger, Skematik (atas), foto sistem (bawah)

Heat exchanger yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis *shell and tube* dimana data dan karakteristiknya ada pada tabel 1 dan 2

Tabel 1 Data Heat exchanger

Panjang heat exchanger	0,3 m
Panjang tube	0,2 m
Jumlah tube dalam shell	19 buah
Diameter tube	3/8" (inch)
Tebal bafle	0,004 m
Tebal ujung bafle	0,09 m
Diameter dalam shell	0,09 m
Diameter luar shell	0,1 m
Jumlah bafle	5 buah
Bahan Shell dan Bafle	Besi
Insulasi heat exchanger	Pita asbes

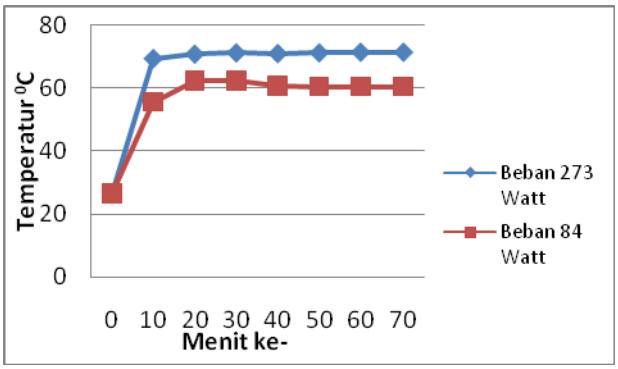
Tabel 2 Karakteristik Heat Exchange

No	Nama Bahan	Tebal (m)	K (W/m.oC)
1	Besi	0,01	73
2	Pipa tembaga	0,0023	385

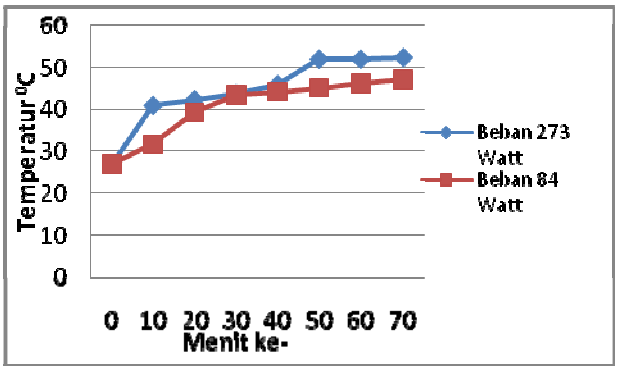
(*Sumber* :*Perpindahan Kalor,* J.P.Holman (1993)

Pada pengujian ini, genset diberi beban berbeda, 84 Watt dan 273 Watt , dimana beban ini berasal dari pompa air listrik yang digunakan pada sistem keseluruhan. Gambar 5 dan 6 menunjukkan bahwa temperatur exhaust dipengaruhi oleh beban yang ditangani, semakin besar bebanya maka panas yang dibuang juga semakin besar. Demikian juga temperatur air yang melewati heat exchanger, semakin besar beban pada generator listrik, maka semakin besar pula temperatur air keluarnya. Dalam awal penelitian ini tidak dibahas tentang efektivitas dari heatexchanger, karena yang pertama ingin diketahui adalah seberapa

besar jumlah kalor yang dapat diambil oleh air dari saluran exhaust (knalpot).



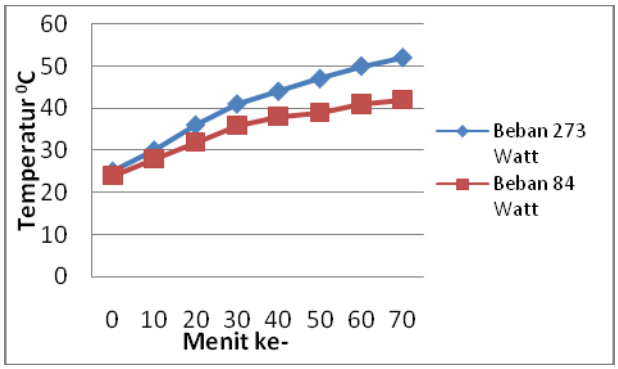
Gambar 5 Temperatur Asap Masuk Heat Exchanger



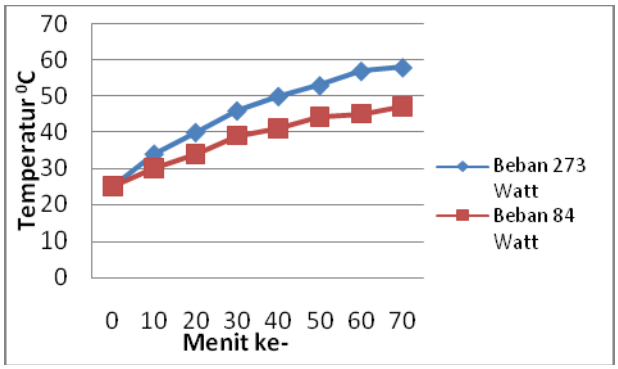
Gambar 6 Temperatur Asap Keluar Heat Exchanger

Perbedaan temperatur pada gambar 7 dan 8 akan digunakan dalam perhitungan jumlah kalor yang diserap oleh air. Data yang digunakan adalah data pada saat genset menangani beban 273 Watt, karena pada kondisi ini, panas air keluar heat exchanger lebih tinggi

.



Gambar 7 Temperatur Air Masuk Heat Exchanger



.**Gambar 8 Temperatur Air Keluar Heat Exchanger**

Besarnya kalor yang dapat diambil oleh air dari asap buangan genset, dihitung berdasarkan debit aliran air panas yang diperoleh dari data spesifikasi pompanya, yaitu 2000 liter per jam atau 0,00005 m^3/s dan temperatur air masuk heat exchanger 50°C.
Persamaan yang digunakannya adalah:

$$Q_{air} = \dot{m}_{air} \times CP_{air} \times \Delta T_{air} \quad (5)$$

Berdasarkan tabel A-9 (*Perpindahan Kalor,* J.P. Holman), diperoleh sifat-sifat air pada temperatur 50°C :

- Massa jenis air: ρ = 991 kg/m3
- Kalor jenis air: Cp = 4,17 kJ/kg.°C
- Konduktivitas termal air: k = 0,635 W/m. °C
- Bilangan Prandtl air: Pr = 4,17
- Viskositas air: ì = 6,34 x 10^{-4} kg/m.s

Mencari laju aliran massa air :

- Laju aliran massa air = debit air x massa jenis air
  m_{air} = ύ x ρ = 0,00005 x 991 = 0,049 kg/s

Mencari selisih temperatur air keluar dan temperatur air masuk heat exchanger :

- ΔT_{air} = Temperatur air keluar heat exchanger – temperatur air masuk heat exchanger

= 57 – 50
= 7°C

Jumlah kalor yang diserap oleh air :

- $Q_{air} = \dot{m}_{air} \times CP_{air} \times \Delta T_{air}$
  = 0,049 x 4,17 x 7
  = **1,43 kW**(=1430 Watt)

Dengan demikian energi *output* total dari genset adalah penjumlahan dari kalor air dan beban listrik yang ditangani, yaitu:

- $Q_o = Q_{ai} + Q_{El}$
  = 1430 + 273
  = **1703 Watt** (1,703 kW)

Dari perhitungan energi input dalam bentuk bahan bakar, diketahui besarnya adalah 2,82 kW. Maka efisiensi total menjadi:

$\eta = Q_o / Q_i$
= 1,703/2,82 = 0.6 atau **60%**

Dari perhitungan ini diketahui bahwa dengan memanfaatkan panas buang, efisiensi awal genset 23% menjadi 60%.

5.2 Kajian Sistem Pengkondisi Udara

Pada bagian 3, menurut Tassou (2005) COP mesin chiller jenis absorpsi satu tingkat dapat mencapai 0,7, dengan demikian kapasitas pendinginan dihitung dengan persamaan 4:

$$COP = \frac{Heat\ absorbed}{Energy\ input} = \frac{Q_e}{Q_h}$$

Q_e = COP x Energy input = 0.7 x 1.43 kW
= **1 kW**

Jika di bandingkan dengan Chiller yang menggunakan mesin kompresi uap (Tassou juga menambahkan bahwa COPnya dapat mencapai 5), dengan kapasitas pendinginan 1 kW maka daya kompresornya dapat dihitung menggunakan persamaan 3 berikut:

$$COP_r = \frac{Refrigeration\ effect}{Work\ input} = \frac{(h_1 - h_4)}{(h_2 - h_1)}$$

Work input = 1 kW / 5
= **0,2 kW** (200 Watt)

Jika diasumsikan rugi-rugi mekanik pada motor kompresor diabaikan maka Daya listrik input minimal yang digunakan sama dengan work inputnya, dengan kata lain konsumsi listriknya adalah 0,2 kW atau 200 Watt. Hal ini juga menunjukkan bahwa dengan memanfaatkan panas buang dari generator listrik sebagai energi input untuk mesin chiller jenis absorpsi, maka listrik yang dapat dihemat adalah **0,2 kW** atau **200 Watt**.

5.3 Kajian Nilai Ekonomis dan Emisi Karbon

Sistem Pengkondisi udara pada gedung di negara beriklim tropis beroperasi sepanjang tahun selama gedung tersebut digunakan. CIBSE (The Chartered Institute of Building Services Engineers) memberi rekomendasi bahwa sistem pengkondisi udara mulai dinyalakan 3 jam sebelum dan 3 jam sesudah waktu kerja. Misalkan waktu kerja dimulai dari jam 8:00 pagi hingga 5:00 petang, maka sistem pengkondisi udara mulai dinyalakan dari jam 5:00 pagi hingga jam 8:00 malam, maka dalam satu hari sistem pengkondisi udara beroperasi selama 15 jam. Jika dalam satu bulan ada 20 hari kerja, maka total penggunaan sistem pengkondisi udara adalah **300 jam perbulan**. Penghematan listrik (P) yang diperoleh tiap bulanya adalah:

P = Work input x Work Hour
= 200 Watt x 300 Jam
= 60000 Watt Jam atau **60 kWh**

Jika Tarif Dasar Listrik (TDL) yang digunakan adalah tarif bisnis untuk golongan 2.200VA – 5.500VA adalah sebesar Rp 905 perkWh, maka biaya listrik yang dapat dihemat (P_{el}) tiap bulanya adalah:

P_{el} = P x TDL
= 60 kWh x Rp905/kWh
= **Rp 54.300**;

Untuk satu tahunya menjadi : 12 x Rp 54.300; = **Rp 651.600;**(pert tahun)

Untuk penurunan emisi karbonya dapat menggunakan tabel konversi antara penggunaan energi listrik dengan emisi karbon. Pada tabel ini, tiap 1 kWh energi listrik akan mengemisikan 0,544 kg CO_2. Berdasarkan data ini maka pengurangan emisi karbon tiap tahunya adalah:

E = P x eC
= 60 kWh x 0,544
= **32,640 kg CO_2**(pertahun)

6.Kesimpulan dan Saran

Penelitian ini menghasilkan beberapa kesimpulan bahwa dengan menggunakan sistem pengkondisi udara jenis absorpsi yang memanfaatkan panas buang generator listrik, maka:

- Efisiensi generator listrik meningkat dari 23% menjadi 60%
- Penggunaan listrik dari sistem pengkondisi udara akan berkurang 200 Watt dan energi listrik tiap tahunya 60 kWh

- Biaya listrik yang dihemat karena penggunaan sistem ini adalah **Rp 651.600;** untuk tiap tahunya
- Penurunan emisi karbon dari penggunaan listrik yang dapat dikurangi tiap tahunya adalah **32,640 kg CO_2**.

- Keuntungan atau nilai ekonomis dari sistem yang digunakan pada penelitian ini berdasarkan hasil dari kapasitas pendinginan sistem sebesar 1 kW.Kapasitas pendinginan ini berkaitan dengan kapasitas nominal dari mesin generator listrik. Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah dengan menaikan kapasitas nominal mesin generator listrik, selain akan meningkatkan kapasitas pendinginan juga akan meningkatkan nilai ekonomis dari sistem keseluruhan

1. Daftar Pustaka

1. Action Energy., Good Practice Guide (GPG 388): *Combined Heat and Power for Buildings*, 2004. Available at: http://files.harc.edu/Sites/GulfCoastCHP/ProjectDevelopment/UKGoodPracticeGuide.pdf [Accessed 7th July 2011]

2. ASHRAE., ASHRAE Handbook-Fundamental. Atlanta, USA: American Society of Heating Refrigerating and Air-conditioning Engineers, 2001.

3. Balghouthi, M. et al., 'Feasibility of Solar Absorption Air Conditioning in Tunisia', *Building and Environment*, 43 pp. 1459-1470, 2008

4. CIBSE., CIBSE Guide A: *Environmental Design*. London, the UK: The Chartered Institute of Building Services Engineers, 2006.

5. DEFRA, Carbon Trust: *Conversion Factor,* (2009). Available at: http://www.carbontrust.co.uk [Accessed 7th July 2011]

6. Dossat, R.J., Francis, E. ed., Principles of Refrigeration. 4th edn. London: Prentice-Hall International, 1997

7. Elsafty, A., Al-Daini, A.D., 'Economical Comparison Between A Solar-powered Vapour Absorption Air-caonditioning System and A Vapour Compression System in The Middle East', *Renewable Energy*, 25 pp. 569-583, 2002

8. Florides, S. A. et al., 'Design and Construction of a LiBr–water Absorption Machine', *Energy Conversion and Management*, 44 (15) pp. 2483-2508, 2003

9. Ge, Y.T. et al., 'Performance Evaluation of a Tri-Generation System with Simulation and Experiment', *Applied Energy*, 86 (11) pp.2317–2326, 2009

10. Jones, W.P., Air Conditioning Engineering.5th edn. Oxford: Butterworth-Heinemann, London, 2001

11. Korolija E. et al., 'HVACSystems Energy Demand vs. Building Energy Demand', Proceedings of Conference: *IESD PhD Conference: Energy and Sustainable Development*: held at: Institute of Energy and Sustainable Development, Queens Building, De Montfort University, Leicester, UK, 21st May 2010, 2010

12. Pe´rez-Lombard L. et al., 'A Review on Buildings Energy Consumption Information', *Energy and Buildings*, 40 (2008) pp. 394–398, 2007.

13. Smith B.E., Reynolds, Kirby, R. (ed), Reay, D.A. (ed), Zhao, C.Y. (ed)., Energy Conversion Technologies part 2: *Combined Heat and Power*. Brunel University: Brunel University,2007.

14. Tassou, S.A., Air conditioning part 1. Brunel University: Brunel University., London, 2001

15. Tassou, S.A., Energy Conversion Technologies part 1: *Refrigeration*. Brunel University: Brunel University., London, 2005