

Analisis potensi energi panas matahari untuk digunakan pada sistem refrigerasi absorpsi di bangunan perkantoran

Yusvardi Yusuf¹, Imron Rosyadi¹, Mekro Permana Pinem¹

¹Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jl. Jenderal Sudirman KM 3, Kotabumi, Kec. Purwakarta, Kota Cilegon, Banten 42435
Email korespondensi: yusvardi.yusuf@untirta.ac.id

Abstrak

Sistem pendingin konvensional yang digunakan pada gedung perkantoran merupakan salah satu penyebab penipisan lapisan ozon dan efek rumah kaca. Untuk itu diperlukan kemajuan teknologi baru yang aman bagi lingkungan untuk digunakan pada sistem pendingin di gedung perkantoran. Sistem pendingin absorpsi menggunakan energi panas matahari memiliki banyak keunggulan dengan menggunakan fluida kerja yang tidak merusak seperti air, atau dalam bentuk larutan garam. Ini merupakan bentuk penghematan energi dan aman bagi lingkungan. Untuk memperoleh data pengukuran yang nyata dan objektif, pengujian dilakukan dalam dua tahap, yaitu tahap pengujian alat uji dan tahap kedua pengumpulan data pada saat alat uji beroperasi penuh. Peralatan uji dapat digunakan dalam sistem yang berdiri sendiri atau AC konvensional. Dalam pengujian diketahui bahwa rata-rata persentase konsumsi energi panas matahari per hari adalah 40% dari total energi, sehingga karena konsumsi energi panas matahari, nilai rata-rata COP sistem ini per hari adalah 2 dan nilai ini lebih besar dari yang serupa sistem pendingin absorpsi konvensional, maka dengan mengetahui nilai konsumsi energi matahari, dapat diketahui nilai penurunan emisi CO₂ sebesar 143,8 kg CO₂ per hari.

Kata kunci: sistem pendingin, sistem absorpsi, energi panas matahari, pengurangan emisi.

Abstract

Conventional cooling systems used in office buildings are one of the causes of ozone layer depletion and greenhouse effects. It requires the advancement of new technologies that are safe for the environment to be used in cooling systems in office buildings. Absorption cooling systems using solar thermal energy have many advantages by using non-destructive working fluids such as water, or in the form of saline solutions. This is a form of energy saving and safe for the environment. In order to obtain real and objective measurement data, testing is performed in two stages, namely the test equipment testing stage and the second stage is data collection when the test equipment is fully operational. The test equipment can be used in stand-alone systems or conventional air conditioners. In the test, it is known that the average percentage of solar thermal energy consumption per day is 40% of total energy so due to solar thermal energy consumption, the average COP value of this system per day is 2 and this value is greater than similar absorption cooling systems. conventional, then by knowing the value of solar energy consumption, can be seen the value of CO₂ emissions reduction of 143.8 kg CO₂ per day.

Keywords: cooling system, absorption system, solar thermal energy, emission reduction.

1. Pendahuluan

Terdapat banyak masalah di dunia modern ini, tetapi efek rumah kaca atau pemanasan global berada di urutan atas. Sementara itu, jumlah pendinginan kompresi uap konvensional dan sistem pendingin udara meningkat secara dramatis kira-kira 2 miliar unit pendingin udara (AC) sekarang beroperasi di seluruh dunia [1]. Di samping efek rumah kaca akibat melonjaknya pemakaian sistem pendingin konvensional, perubahan iklim yang diakibatkan oleh pemanasan global juga mendorong upaya baru untuk mengurangi konsumsi energi dan meningkatkan teknologi refrigerasi absorpsi [2].

Oleh karena itu banyak kajian yang mengarah kepada energi terbarukan atau pemanfaatan energi panas matahari sebagai sumber energi. Negara-negara Eropa seperti Spanyol, Jerman dan Inggris telah melakukan kajian mengenai sistem pendingin yang

memanfaatkan energi matahari [9]. Kajian tersebut menunjukkan hasil positif bahwa sistem pendingin tersebut dapat bekerja dengan stabil serta memiliki performa baik. Negara-negara yang terletak di wilayah tropis memiliki keuntungan jumlah energi panas matahari pertahunnya yang lebih besar di bandingkan negara-negara non-tropis. Beberapa negara tropis seperti Thailand dan Malaysia telah melakukan kajian sistem pendingin absorpsi yang menggunakan energi panas matahari baik secara simulasi maupun melakukan pengujian secara langsung [13]. Indonesia yang letaknya di wilayah tropis dan tepat di garis khatulistiwa, memiliki rata-rata potensi energi matahari perharinya sebesar 4,8 kW/m² untuk keseluruhan wilayahnya. Sebaran nilai radiasi matahari di seluruh wilayah Indonesia dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Global horizontal irradiation di Indonesia.

Chiller absorpsi dengan *air-lithium bromide* telah lama dioperasikan sejak tahun 1950 di Amerika Serikat [19]. Chiller absorpsi dengan memakai *air-lithium bromide* biasanya dikonfigurasi sebagai pendingin air untuk sistem pendingin udara di gedung- gedung besar. Spesifikasi yang tersedia dari chiller adalah dalam kisaran 10-1500 ton refrigerasi. Koefisien kinerja (COP) dari mesin ini, didefinisikan oleh rasio antara kapasitas pendinginan dan masukan panas yang dikendalikan, bervariasi selama rentang $0,7 < COP < 1,3$. Untuk menentukan koefisien kinerja dari mesin digunakan Persamaan 1 berikut, di mana COP adalah *coefficient of performance*, Q_c adalah energi pendingin (kW), dan Q_g adalah energi bahan bakar gas (kW).

$$COP = \frac{Q_c}{Q_g} \quad (1)$$

Siklus absorpsi menggunakan *air-lithium bromide* sebagai fluida kerja dapat menjadi sistem yang paling sederhana dari teknologi absorpsi. Siklus terdiri dari empat komponen utama, yaitu generator, kondensor, evaporator, dan absorber. Transfer energi antara siklus dan sekitarnya terjadi dalam empat komponen utama dan pompa, arah dari transfer energi ditunjukkan oleh panah. Gambar 2 menunjukkan susunan tabung kolektor matahari yang terpasang di atap gedung. Keseluruhan sistem ini terdiri dari 5 komponen utama yaitu atap yang terpasang tabung kolektor matahari, 80 ton air-LiBr chiller absorpsi efek tunggal, tangki penyimpanan air panas, sistem pendukung termal dan unit *fan coil*. Tabung kolektor matahari seluas 240 m² mengonversi iradiasi sinar matahari menjadi energi termal dan dipakai untuk memanaskan air. Air panas ini digunakan untuk memanaskan 80 ton air-LiBr yang menghasilkan air dingin. Untuk menjaga agar suplai air panas ini tetap stabil, maka digunakan tangki penyimpanan air panas dengan volume 1000 liter yang berfungsi menjaga panas antara tabung kolektor matahari dan chiller. Chiller membutuhkan air panas dengan suhu dari 70°C sampai 95°C. Penyimpanan turun di bawah 70°C, maka CNG diaktifkan untuk memanaskan air. Air dingin untuk chiller disuplai oleh cooling tower. Air dingin disirkulasikan melalui 15 unit fan coil, yang mensuplai air-conditioning (AC) untuk gedung.



Gambar 2. Susunan tabung kolektor matahari di atap gedung perkantoran.

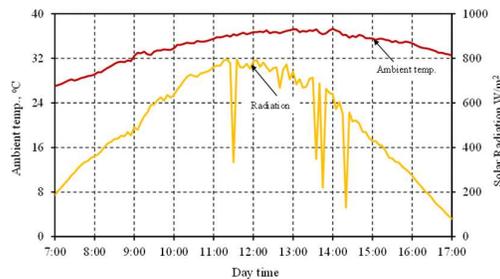
Sistem pendingin absorpsi dengan energi panas matahari berfungsi untuk mensuplai udara dingin ke seluruh ruangan gedung. Gedung ini terdiri dari 5 lantai yang memiliki fungsi sebagai ruang staf pengajar dan ruang rapat. Sistem pendingin ini bekerja dari pukul 08:00-17:00. Sistem ini menggunakan solar collector berjenis *evacuated tubular* yang terletak di atas gedung yang memiliki luas total 240 m². Hot water yang dihasilkan oleh collector tidak langsung dialirkan kepada mesin pendingin absorpsi, tetapi disimpan sementara di dalam tangki hot water yang memiliki kapasitas volume sebesar 1000 liter guna menjaga konstan suhu hot water. Mesin pendingin absorpsi memiliki kapasitas pendinginan sebesar 240 kW. Pendistribusian air dingin untuk gedung dikerjakan oleh FCU (*fan coil unit*). Untuk membuang panas yang dihasilkan oleh mesin pendingin absorpsi maka digunakan cooling tower berkapasitas 443 kW. Pada saat hot water yang dihasilkan oleh collector melebihi 95°C, maka panas tersebut akan dilepaskan ke lingkungan oleh radiator. Peralatan pendukung lainnya adalah pompa, katup, dan tabung ekspansi. Pengukuran sistem ini menggunakan DAQ yang dapat mencatat data per detik. Sistem ini dikontrol dengan menggunakan perangkat lunak.

2. Metode

Metode eksperimental dilakukan guna mendapatkan data-data pengukuran yang riil dan objektif. Guna mendapatkan data yang valid, maka pada alat uji dipasang beberapa sensor suhu, alat ukur tekanan dan flow meter. Semua data pengukuran yang dihasilkan disimpan dalam data komputer. Pengujian dilakukan dalam 2 tahap, tahap pertama adalah tahap uji coba, di mana setelah alat uji selesai terpasang lalu dioperasikan guna mengetahui apakah semua komponen yang terpasang dapat berfungsi dengan sempurna. Tahap kedua adalah pengambilan data, di mana dalam tahap ini alat uji dikondisikan bekerja penuh guna mensuplai udara sejuk ke gedung dan data yang terekam dibuat tren grafiknya guna mengetahui kemampuan riil dari alat uji. Keseluruhan sistem ini terdiri dari 5 komponen utama yaitu atap yang

terpasang tabung kolektor matahari, 80 ton air-LiBr *chiller* absorpsi efek tunggal, tangki penyimpanan air panas, sistem pendukung termal dan unit *fan coil*. Tabung kolektor matahari seluas 240 m² mengonversi iradiasi sinar matahari menjadi energi termal dan dipakai untuk memanaskan air. Air panas ini digunakan untuk memanaskan 80 ton air-LiBr yang menghasilkan air dingin. Untuk menjaga agar suplai air panas ini tetap stabil, maka digunakan tangki penyimpanan air panas dengan volume 1000 liter yang berfungsi menjaga panas antara tabung kolektor matahari dan *chiller*. *Chiller* membutuhkan air panas dengan suhu dari 70°C sampai 95°C. Penyimpanan turun di bawah 70°C, maka CNG diaktifkan untuk memanaskan air. Air dingin untuk *chiller* disuplai oleh *cooling tower*. Air dingin disirkulasikan melalui 15 unit *fan coil*, yang mensuplai air dingin untuk gedung.

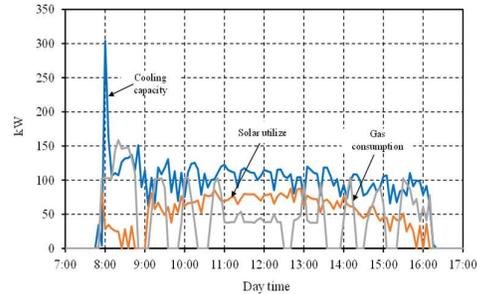
Gambar 3 menampilkan perubahan suhu *ambient* dan radiasi matahari terhadap waktu dimulai pukul 07:00-17:00. Nilai radiasi matahari bergerak naik dari pagi hingga siang hari dengan nilai maksimum sekitar 800 W/m² dan kemudian bergerak turun kembali sampai pukul 17:00. Penurunan nilai yang tiba-tiba terjadi karena radiasi matahari yang tertutup oleh awan. Selain itu perubahan suhu *ambient* pun hampir sama dengan perubahan nilai radiasi matahari dimana memiliki nilai maksimum sekitar 34°C.



Gambar 3. Radiasi matahari dan suhu ambient.

Berdasarkan kondisi lingkungan, didapatkan karakteristik dari sistem ini yang dapat diperhatikan pada Gambar 3. Sistem ini mulai bekerja pukul 08:00 yang ditandai dengan menurunnya secara drastis nilai *chilled water temperature*. Pada saat sistem ini mulai bekerja terlihat jelas bahwa *hot water temperature* di dalam tangki penyimpanan sebesar 56°C. Untuk memanfaatkan *hot water*, maka nilai suhunya harus lebih besar 2°C dibandingkan dengan suhu *solution* di dalam mesin, sehingga kondisi tertentu atau khususnya pagi hari (kurangnya energi panas matahari) menyebabkan mesin pendingin ini menggunakan bahan bakar gas untuk mencapai *cooling capacity*. *Hot water temperature* terus bergerak naik hingga pukul 09:00. Tanda mulai dimanfaatkannya air panas dapat dilihat dari penurunan nilai suhu *solution* di *high generator*. Ketika suhu tersebut turun, berarti menandakan penurunan konsumsi bahan bakar gas. Karena jumlah energi panas matahari yang tidak stabil

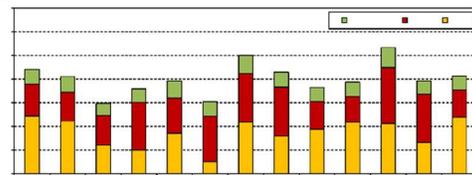
pada setiap waktu, maka bahan bakar gas berperan penting untuk membuat stabil nilai *cooling capacity*, ditandai dengan naik turunnya nilai suhu *solution* di *high generator*. *Cooling water temperature* terlihat cukup stabil dalam bekerja menyerap panas dari mesin pendingin absorpsi.



Gambar 4. Nilai energi dari beban pendinginan, energi matahari dan bahan bakar gas terhadap waktu.

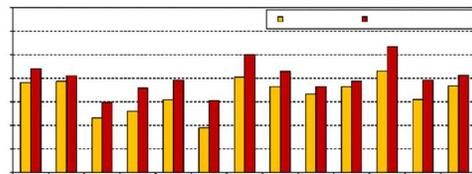
3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan pemaparan pada pembahasan sebelumnya maka dibuatlah grafik histogram untuk menggambarkan performa dari sistem ini. Dari Gambar 5, dapat dibuat rata-rata persentase penggunaan energi listrik, matahari dan gas secara keseluruhan. Persentase terbesar adalah gas dengan nilai 45%, sedangkan energi matahari sebesar 40%, dan sisanya adalah energi listrik 15%. Jumlah energi listrik yang digunakan berasal dari peralatan-peralatan seperti pompa dan kipas *cooling tower*. Energi listrik tidak digunakan untuk menghasilkan panas pada generator di mesin absorpsi. Energi utama mesin pendingin absorpsi adalah energi matahari dan gas.



Gambar 5. Persentase total energi keseluruhan.

Gambar 6 dapat dilihat perbandingan antara energi input secara keseluruhan dibandingkan dengan energi *cooling* yang dihasilkan.



Gambar 6. Perbandingan energi input dan output.

Energi matahari merupakan energi yang tersedia melimpah di alam, sehingga dapat diabaikan sebagai

energi input, kemudian energi listrik juga hanya digunakan untuk peralatan pendukung seperti pompa dan kipas, sehingga juga dapat diabaikan, dengan demikian hanya energi gas yang digunakan sebagai energi input.

4. Kesimpulan

Karakteristik dan performa yang didapatkan belum dapat menarik kesimpulan secara menyeluruh, namun sudah bisa dijadikan sebagai acuan bahwa sistem ini dapat bekerja dengan baik untuk menyuplai *cooling* dan dapat memanfaatkan energi matahari hampir setiap harinya. Pada pengujian diketahui bahwa rata-rata persentase penggunaan energi panas matahari perharinya sebesar 40% dari total keseluruhan energi, kemudian karena pemanfaatan energi panas matahari tersebut, maka nilai rata-rata COP sistem ini perharinya sebesar 2 dan nilai ini lebih besar dibandingkan sistem pendingin absorpsi sejenis tetapi yang konvensional, selanjutnya dengan diketahui nilai pemanfaatan energi matahari maka dapat diketahui nilai pengurangan emisi gas CO₂ sebesar 143,8 kg CO₂ perharinya.

Daftar Pustaka

- [1] Almasri R.A., Abu-Hamdeh N.H., Esmacil K.K., Suyambazhahan S., Thermal solar sorption cooling systems – A review of principle, technology, and applications. *Alexandria Engineering Journal* (2022) 61, 367 – 402.
- [2] Anand J. et.al., The relative role of solar reflectance and thermal emittance for passive daytime radiative cooling technologies applied to rooftops. *Sustainable Cities and Society* 65 (2021) 102612.
- [3] Herrando M. et.al., Solar combined cooling, heating and power systems based on hybrid PVT, PV or solar-thermal collectors for building applications. *Renewable Energy* 143 (2019) 637-647.
- [4] Pintaldi S. et.al., Model predictive control of a high efficiency solar thermal cooling system with thermal storage. *Energy & Buildings* 196 (2019) 214-226.
- [5] R. Hirmiz, M.F. Lightstone, J.S. Cotton, Performance enhancement of solar absorption cooling systems using thermal energy storage with phase change materials. *Applied Energy* 223 (2018) 11-29.
- [6] Bjorn Nienborg et.al., Approaches for the optimized control of solar thermally driven cooling systems. *Applied Energy* 185 (2017) 732-744,
- [7] Francesco Reda et.al., Energy assessment of solar cooling thermally driven system configurations for an office building in a Nordic country. *Applied Energy* 166 (2016) 27-43.
- [8] Ali Shirazi et.al., A systematic parametric study and feasibility assessment of solar-assisted single-effect, double-effect, and triple-effect absorption chillers for heating and cooling applications. *Energy Conversion and Management* 114 (2016) 258-277.
- [9] A. Salman et. al., Solar thermally driven cooling systems: Some investigation results and perspectives, *Energy Conversion and Management*. 65 (2013) 663-669.
- [10] A. Francis et. Al., Design and experimental testing of the performance of an outdoor LiBr/H₂O solar thermal absorption cooling system with a cold store, *Solar Energy*. 84 (2010) 735-744.
- [11] M. Pedro J. et. al., Design and test results of a low-capacity solar cooling system in Alicante (Spain), *Solar Energy*, 86 (2012) 2950-2960.
- [12] Suri M, Cebecauer T. *Global Horizontal Radiation* 2015.
- [13] Pongtornkulpanich, a. et. al., Experience with fully operational solar-driven 10-ton LiBr/H₂O single-effect absorption cooling system in Thailand, *Renewable Energy*, 33 (2008) 943-949.
- [14] Assilzadeh, F. et. al., Simulation and optimization of a LiBr solar absorption cooling system with evacuated tube collectors, *Renewable Energy*, 30 (2005) 1141-1159.
- [15] Ministry of Energy and Mineral Resources Indonesia. *Energy Outlook 2013*, Jakarta.
- [16] Gomri Rabah.,2013, Simulation study on the performance of solar/natural gas absorption cooling chillers. *Energy Conversion and Management* 65,pp. 675–681.
- [17] Jaruwongwittaya Tawatchai, Chen Guangming.,2010, A review: Renewable energy with absorption chillers in Thailand. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14,pp.1437–1444.
- [18] Pongtornkulpanich, S. Thepa, M. Amornkitbamrung, C. Butcher.,2008, Experience with fully operational solar-driven 10-ton LiBr/H₂O. single-effect absorption cooling system in Thailand. *Renewable Energy* 33,pp.943–949.
- [19] Sriksirin P, Aphornratana S, Chungpaibulpatana S.,2001, A review of absorption refrigeration technologies. *Renew Sust Energy*,pp.343–72.
- [20] Karagiorgas Michaelis, Tsoutsos Theocharis, Moia´-Pol A.,2007, A Simulation Of The Energy Consumption Monitoring In Mediterranean Hotels Application In Greece. *Energy and Buildings* 39,pp.416-426.
- [21] Tsoutsos T., Aloumpi E., Karagiorgas M.,2010, Design of a solar absorption cooling system in a Greek hospital. *Energy and Buildings* 42,pp.265 – 272.
- [22] Al-Alili A., Hwang Y., Radermacher R., Kubo I.,2010, Optimization of a solar powered absorption cycle under Abu Dhabi's weather conditions. *Solar Energy* 84,pp.2034-2040.

- [23] Molero-Villar N., Cejudo-Lo'pez J.M., Dom'nguez- Mun'oz F., Carrillo-Andre's A.,2012, A comparison of solar absorption system configuration. *Solar Energy* 86,pp.242-252.
- [24] Edem N'Tsoukpoe Kokouvi, Le Pierrès Nolwenn, Luo Lingai.,2012, Experimentation of a LiBr-H₂O absorption process for long term solar thermal storage. *Energy Procedia* 30,pp.331-341.