

STUDI VARIASI PENYIMPANAN ENERGI TERMAL PADA SISTEM PENDINGIN (HVAC) GEDUNG KOMERSIAL (di BAWAH 150 kVA)

Moh. Fiqi Firmansah A¹, Margianto², Cepi Yazirin³

^{1*)}Universitas Islam Malang
email: firmansaharozzi@gmail.com

²Universitas Islam Malang
email: Margianto@unisma.ac.id

³Universitas Islam Malang
email: cepiyazirin10@Unisma.ac.id

ABSTRACT

HVAC or Heating, Ventilation, and Air Conditioning is an important system for maintaining environmental comfort in commercial buildings that is responsible for regulating temperature, humidity, and air circulation. One of the problems with HVAC systems is the considerable energy consumption in running the system. The (HVAC) Water cooled chiller system is combined with the use of cold thermal energy storage (CTES) which is based on the principle that heat energy can be stored and reused when needed. The advantage of CTES itself is an energy storage method that can reduce chiller electricity consumption. This is because the operation of CTES can be set to operate outside of peak load hours (LWBP), thus saving electricity costs around 20% compared to full 24-hour operation. This study aims to calculate and analyze the cooling system (HVAC) using the Cold Thermal Energy Storage (CTES) variation method that takes into account the time outside the peak load (LWBP) and identify the effectiveness of Thermal energy storage in the cooling system (HVAC) in commercial buildings with a capacity of less than 150 kVA with the optimum model resulting from energy analysis in the Cold Thermal Energy Storage (CTES) system with variations of Full storage, Levelling storage, 30% Partial storage, 50% Partial storage, 70% Partial storage, and 90% Partial storage. in commercial buildings (below 150 kVA). This research uses a simulation study method, with modeling of the CTES system using simplex linear programming optimization in combination with 6 (Six) variations of energy storage modes, where there is a balance between the size of CTES storage and chilled water stored.

Keywords: Thermal Energy; Cooling system (HVAC); Cold Thermal Energy Storage (CTES); Chiller; Commercial Building.

ABSTRAK

HVAC atau Heating, Ventilation, and Air Conditioning merupakan sistem yang penting untuk menjaga kenyamanan lingkungan dalam gedung komersial yang bertanggung jawab dalam pengaturan suhu, kelembapan, dan sirkulasi udara. Salah satu masalah pada sistem HVAC adalah konsumsi energi yang cukup besar dalam menjalankan sistem tersebut. Sistem (HVAC) Water cooled chiller yang di kombinasikan dengan menggunakan cold thermal energy storage (CTES) yang didasarkan pada prinsip bahwa energi panas dapat disimpan dan digunakan kembali ketika diperlukan. Keunggulan CTES sendiri merupakan suatu metode penyimpanan energi yang dapat mengurangi konsumsi listrik chiller. Hal ini karena pengoperasian CTES dapat diatur untuk beroperasi di luar waktu jam beban puncak (LWBP), sehingga menghemat biaya listrik sekitar 20% dibandingkan dengan pengoperasian 24 jam penuh. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung dan menganalisis sistem pendingin (HVAC) dengan menggunakan metode variasi Cold Thermal Energy Storage (CTES) yang memperhatikan waktu diluar beban puncak (LWBP) dan mengidentifikasi efektivitas dari penyimpanan energi Thermal dalam sistem pendingin (HVAC) pada gedung komersial dengan kapasitas kurang dari 150 kVA dengan model optimum yang dihasilkan dari analisis energi pada sistem Cold Thermal Energy Storage (CTES) dengan variasi penyimpanan penuh (Full storage), penyimpanan bertingkat (Levelling storage), penyimpanan sebagian 30% (30 % Partial storage), penyimpanan sebagian 50% (50 % Partial

storage), penyimpanan sebagian 70% (70 % *Partial storage*), penyimpanan sebagian 90% (90% *partial storage*) di gedung komersial (di bawah 150 kVA). Penelitian ini menggunakan metode studi simulasi, dengan modeling dari sistem CTES yang menggunakan optimasi *simplex linear programming* yang di kombinasikan dengan 6 (Enam) variasi mode penyimpanan energi, dimana terdapat keseimbangan antara ukuran CTES storage dan air dingin (*water chilled*) yang disimpan.

Kata Kunci: Energi Thermal; Sistem pendingin (HVAC); Cold Thermal Energy Storage (CTES); Chiller; Gedung Komersial.

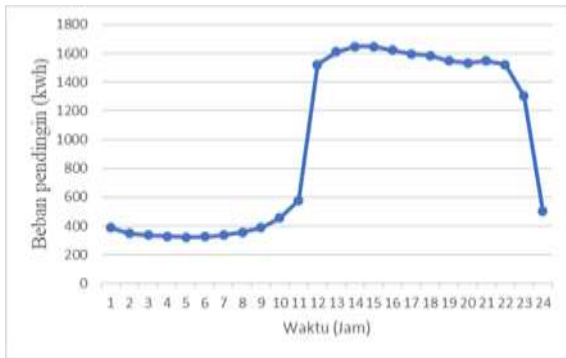
PENDAHULUAN

HVAC atau *Heating, Ventilation, and Air Conditioning* merupakan sistem yang penting untuk menjaga kenyamanan lingkungan dalam gedung komersial. Sistem ini bertanggung jawab dalam pengaturan suhu, kelembapan, dan sirkulasi udara. Salah satu masalah pada sistem HVAC adalah konsumsi energi yang cukup besar dalam menjalankan sistem tersebut. Penggunaan energi yang tinggi ini dapat memicu peningkatan emisi gas rumah kaca (ERK) dan meningkatkan biaya operasional gedung[1]. Oleh karena itu, diperlukan penggunaan energi yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Salah satu yang dapat digunakan adalah sistem penyimpanan energi *Thermal*. Sistem penyimpanan energi *Thermal* dapat menyimpan energi yang dihasilkan oleh sistem HVAC saat kondisi lingkungan tidak memerlukan pendinginan atau pemanasan, sehingga dapat digunakan pada saat yang dibutuhkan. Studi mengenai variasi penyimpanan energi *Thermal* pada sistem pendingin (HVAC) gedung komersial (di bawah 150 kVA) dapat memberikan pemahaman mengenai efisiensi penggunaan energi pada sistem HVAC, sehingga dapat membantu mengurangi biaya operasional dan emisi gas rumah kaca (ERK) [2]. Pemerintah membuat peraturan No. 70 Tahun 2009 menerapkan batas penggunaan energi di atas 6000 TOE (*Ton Oil Equivalent*) atau setara dengan 70 GWh/tahun masih terlalu sedikit menjangkau pengguna energi terutama untuk bangunan gedung komersial. Konsumsi penggunaan energi di atas 6000 TOE (*Ton Oil Equivalent*) lebih banyak di sektor industri. Dari hasil *survey Benchmarking Specific Energy Comsumptions* terdapat bangunan komersial peralatan pengguna energi yang lebih signifikan dari setiap gedung komersial adalah

peralatan pengkondisian udara AC, dengan penggunaan energi di atas 62%. Banyak pengguna di gedung-gedung komersial memilih sistem pengkondisian udara AC, tanpa memikirkan penyebab tingginya konsumsi energi dan meningkatnya biaya listrik HVAC [3]. Bahwa tulisan ini berbeda dengan penelitian sebelumnya karena hanya fokus terhadap sistem (HVAC) *Water coold chiller* yang di kombinasikan dengan menggunakan *cold thermal energy storage (CTES)* memperkenalkan konsep sistem pendingin (HVAC) baru[4]. Konsep CTES sendiri didasarkan pada prinsip bahwa energi panas dapat disimpan dan digunakan kembali ketika diperlukan, dengan menggunakan media penyimpanan yang sangat baik dan digunakan di negara lain, dikembangkan dalam beberapa proyek penelitian di seluruh dunia. Salah satunya di Swedia, di mana sebuah kawasan hunian di kota vujö menggunakan sistem CTES sebagai bagian dari proyek "*Fossil Free Energy Districts*". Dalam proyek ini, CTES digunakan untuk menyimpan panas yang dihasilkan oleh sistem pemanas pusat, dan kemudian menggunakannya kembali ketika diperlukan, mengurangi penggunaan energi dan emisi karbon

METODE

Metode penelitian ini menggunakan studi simulasi. Dengan sistem CTES yang menggunakan optimasi *simplex linear programming*. Berdasarkan beban pendinginan gedung rumah sakit dibawah 150 kVA yang tidak memperhatikan tarif waktu beban puncak.



Gambar 1. Profil beban pendingan gedung rumah sakit

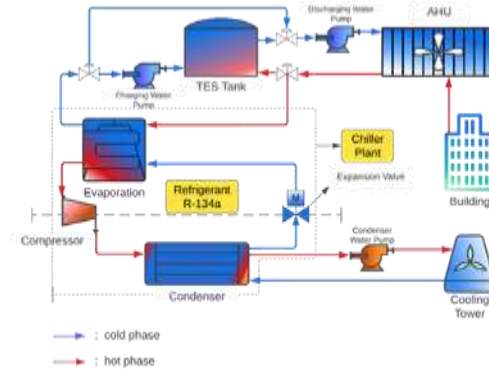
Dalam kasus ini untuk menyalurkan air dingin yang dibutuhkan oleh gedung rumah sakit, penyimpanan ini menyimpan energi pendinginan dan kemudian dibandingkan secara termodinamika. Sebuah studi kasus rumah sakit, dimana profil suhu lingkungan harian dan tahunan daerah Malang ditunjukkan pada Gambar 2. Suhu lingkungan maksimum sepanjang tahun adalah antara 29 dan 30 °C, dengan suhu lingkungan terendah sekitar 19 °C. Perlu diketahui bahwa suhu sekitar berpengaruh terhadap kerja kondensor untuk menara pendingin dimana keluar air pendingin dari menara pendingin sangat dipengaruhi oleh suhu udara.



Gambar 2. Profil temperature suhu lingkungan harian

Bahwa prinsip kerja dari sistem pendingin menggunakan *TES* tidak jauh berbeda dengan sistem pendingin konvensional. Akan tetapi pada sistem pendingin menggunakan *TES* terdapat tangki penyimpanan yang berfungsi untuk menyimpan air dingin dan air panas yang mana di produksi oleh *chiller*. Pada sistem pendinginan menggunakan *TES* terdapat 2 proses, yakni proses pengisian dan penyaluran. Pengisian adalah proses pengisian *TES tank* oleh air dingin (*chilled water*) dari *chiller* pada temperatur antara 4°C sampai 5°C. Sedangkan air

dingin yang kembali dari *AHU* pada temperatur antara 12°C sampai 15°C akan di distribusikan dari tangki penyimpanan dan di pompa ke *chiller* untuk didinginkan kembali. Proses pengisian dilakukan pada saat tarif listrik murah atau kondisi *LWBP*. Proses penyaluran adalah proses pengeluaran air dingin pada temperatur antara 4°C sampai 5°C dari tangki penyimpanan ke *AHU*. Pada saat yang sama air dingin yang kembali dari *AHU* di pompa untuk mengisi tangki penyimpanan.



Gambar 3. Skema sistem pendinginan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam berbagai variasi untuk penyimpanan energi panas dingin, *CTES* digunakan untuk menyelidiki kapasitas konsumsi energi *chiller*. Pemanfaatan *CTES* dapat diketahui bahwa seberapa banyak energi yang disimpan, dan bagaimana energi yang disimpan dan di distribusikan. Gambar grafik beban Gedung terhadap waktu, kapasitas *chiller* ditandai dengan garis warna merah merupakan proses *chiller* yang menghasilkan air dingin setiap jamnya. Garis warna hitam merupakan beban pendinginan gedung dengan menggunakan sistem pendinginan konvensional, garis warna biru merupakan proses pengisian (*charging*) dan penyaluran (*discharging*) air dingin yang disimpan ke tangki *CTES* melalui pompa pengisian (*charging water pump*) kemudian disalurkan (*discharging*) air dari tangki *CTES* ke gedung melalui *AHU*.

1. Kapasitas *chiller* pada setiap variasi *TES*

Perhitungan kapasitas *chiller* dan kapasitas *TES tank* didapatkan dari hasil optimasi, fungsi objektif dan fungsi batas yang digunakan sesuai dengan persamaan (1). Dalam penelitian ini, efek dari pemanfaatan

CTES yang berbeda terhadap kinerja termodinamika sistem CTES untuk gedung rumah sakit. Tujuan dari optimasi adalah perbedaan kapasitas *chiller* dan beban pendinginan di optimalkan dengan *heat loss* pada tangkapienyimpanan yang cukup kecil sesuai dengan persamaan t: 24 jam di bawah ini:

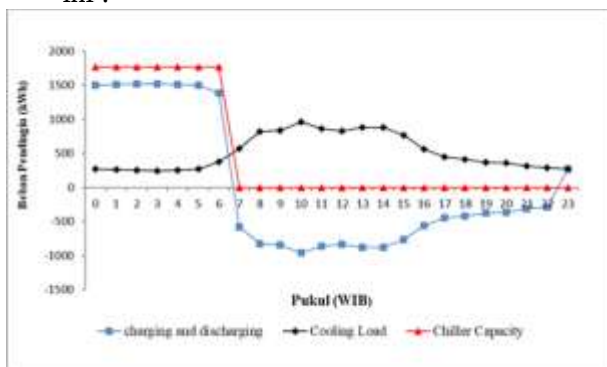
$$J_{min} = \sum_{t=1}^{24} ((X(t) - B(t) + y(t))) \quad (1)$$

$X(t)$ adalah jumlah *cold water energy* (kW)

$B(t)$ adalah beban pendinginan (kW)

$y(t)$ adalah *heat loss* pada TES tank (kW)

Bahwa sanya hasil optimasi dengan menggunakan solver linear programing yang sudah disderhanakan dengan gambar dibawah ini :



Gambar 4. Profil optimasi penyimpanan penuh dengan CTES

Bahwa sanya proses variasi mode penyimpanan penuh, dimana produksi air dingin (*chilled water*) dilakukan pada saat malam hari pada pukul 00.00 WIB hingga pukul 06.00 WIB dan kemudian pompa akan digunakan untuk mendistribusikan air dingin untuk memenuhi kebutuhan beban pendinginan sesuai dengan profil beban pendinginan gedung. Skema ini membutuhkan kapasitas *chiller*, karena operasi *chiller* akan berhenti pada pukul 07.00 WIB hingga pukul 23.00 WIB sebesar 1769. *Chiller* tidak beroperasi selama siang hari pada saat tarif waktu beban puncak (WBP). Semua beban pendinginan yang dibutuhkan akan disediakan pada saat harga listrik murah (LWBP). Namun variasi penyimpanan penuh ini memerlukan

kapasitas *chiller* dan volume CTES yang sangat besar.

2. Profil penggunaan energi dengan penyimpanan energi ermal

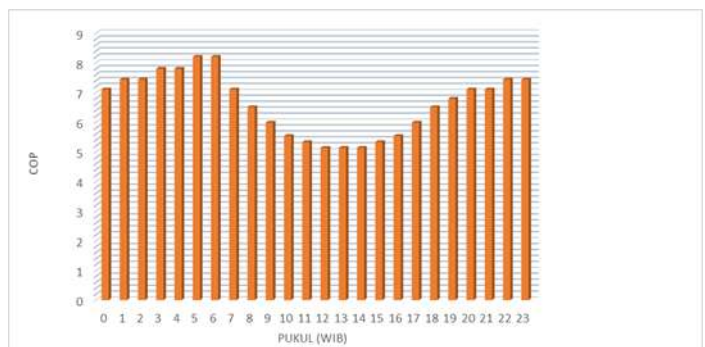
Peralatan sistem pendinginan meliputi pompa pengisian, pompa penyaluran, pompa kondensor dan menara pendingin. Energi peralatan sistem pendinginan dihitung berdasarkan laju aliran massa air dingin. Laju aliran massa dari pompa dan menara pendingin menggunakan persamaan berikut:

$$Q = \dot{m} \times C_p \text{ air} \times \Delta T \quad (2)$$

Coefficient of Performance kompresor *chiller* dapat diketahui dengan persamaan di bawah ini (Safytri et al., 2020):

$$COP = \frac{\text{Beban pendinginan}}{\text{Daya konsumsi}} \quad (3)$$

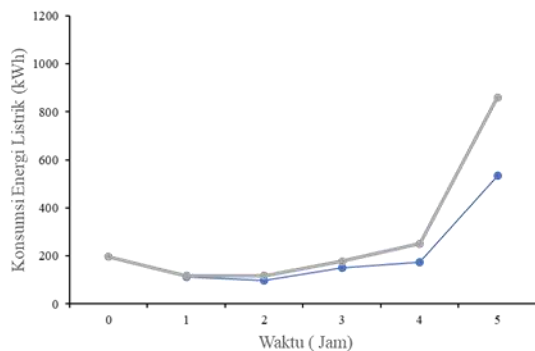
Dari profil harian suhu lingkungan dan perbedaan antara suhu kondensor dan lingkungan diatur pada 10°C. Terdapat suhu kondensor diatur pada suhu lingkungan + 10°C. Dilihat bahwa *COP* kinerja *chiller* dipengaruhi oleh suhu kondensor dan evaporator. Pada proses pengisian pada malam hari, *COP* memberikan keuntungan yang lebih tinggi (7,804) sehingga mengurangi konsumsi listrik kompresor seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.14 dan Gambar 5 menunjukkan koefisien kinerja (*COP*) *chiller* pada siklus 24 jam. Terlihat bahwa kenaikan *COP* (7,804) hingga (8,20) *chiller* terjadi pada malam hari dari pukul 03.00 hingga 06.00. Periode ini dapat dianggap sebagai operasi *chiller* yang sangat optimal. Sebaliknya, *COP* terendah (5,134) terjadi pada siang hari mulai pukul 13.00 pagi sampai 16.00 sore.



Gambar 5. Profil Coofesience of performance

Gambar 4.6 menunjukkan desain konsumsi energi listrik pada sistem pendinginan

dengan CTES. Bahwa desain total konsumsi energi tertinggi (861,18kW) adalah variasi penyimpanan penuh seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.6. Sistem pendinginan langsung mengkonsumsi energi sekitar 38% lebih sedikit dari pada variasi penyimpanan penuh. Perlu dicatat bahwa sistem pendingin langsung dioperasikan tanpa pompa air pengisian. system pendinginan dengan CTES bekerja selama waktu yang sama tetapi nilai konsumsi diwaktu tersebut lebih kecil maka tarif harga listrik lebih murah. Perlu diketahui bahwa konsumsi energi dari sistem penyimpanan pendingin terkait dengan *chiller*, menara pendingin, dan pompa pengisian, penyaluran, dan kondensor dalam sistem CTES. Biaya peralatan lain hampir sama sehingga tidak diperhitungkan dalam perhitungan konsumsi harian.



Gambar 6. Konsumsi listrik pada peralatan sistem pendinginan dengan CTES

Peralatan pada sistem pendingin adalah pompa pengisian (*Charging water pump*), pompa penyaluran (*Discharging water pump*), pompa air kondensor (*Condenser water pump*), dan menara pendingin (*Cooling tower*). Di lihat pada desain konsumsi energi listrik pada berbagai variasi CTES. Bahwa desain total konsumsi energi tertinggi (543,15 kW) adalah variasi penyimpanan penuh seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 di atas. Perlu dicatat bahwa sistem pendingin langsung dioperasikan tanpa pompa air pengisian dan mempunyai keuntungan dari pendingin langsung.

KESIMPULAN

1. Hasil menunjukkan bahwa kapasitas *chiller* yang diperlukan

untuk penyimpanan air dingin pada variasi penyimpanan penuh 1966 kW, penyimpanan bertingkat 573 kW, penyimpanan sebagian (*Partial storage*) 30% 804 kW, Penyimpanan sebagian 50% 1136 kW, penyimpanan sebagian 70% 1468 kW dan penyimpanan sebagian 90% 1799 kW.

2. Diketahui bahwa semakin rendah suhu temperature lingkungan maka semakin tinggi nilai COP yang diperoleh.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Biyanto, T. R., Alhikami, A. F., Nugroho, G., Hantoro, R., Bayuaji, R., Firmanto, H., Waluyo, J., & Sonhaji, A. I. (2015). *Thermal energy storage optimization in shopping center buildings*. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 47(5), 549–567. <https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2015.47.7>
- [2] Gabriele Comodi., Francesco Carducci., Balamurugan Nagarajan., Alessandro Romagnolo (2016). *Application of cold thermal energy storage (CTES) for the management of hot climate building needs*
- [3] Balai Besar Teknologi Konversi Energi (B2TKE-BPPT), 2020. (n.d.-b).
- [4] Lundqvist, per, and karl Hillman. “Circular Thermal Energy Storage-A Review of System, Components and applications.” *Energies* 12, no. 19 (2019):3697. Doi:10.3390/en12193697.
- [5] Sabate, C.C., Santiago, V.B., & Jabbari. (June 4-6, 2014). *Optimizing performance of a Thermal Energy Storage System*. Portland, Oregon, USA,: American control conference (ACC) 2014
- [6] Nyoman Suamir, I., Temaja, W., Putu, D. I., & Yana, E. I. (2021b). Analisis perbandingan berbagai sistem AC komersial pada aplikasi gedung hotel. *Journal of Applied Mechanical Engineering and Green Technology Journal Homepage*, 2, 128–134.
- [7] Danial Ahmad Fauzi, Bayu Rudiyanto (2021). *Analisa Performa Menara Pendingin Pada PT. GEO DIPA ENERGI UNIT DIENG*.
- [8] Anggara Trisna Nugraha, Mayda Zita Aliem Tiwara, Alwy Muhammad Ravi (2021). *Analisis Optimasi Manajemen Daya Chiller*

- Untuk Rencana AC Sentral Industri
- [9] Wang, X, Liu, G., Zhang. G., dan Ma, L. (2015). *Performance analysis and optimization of a water-cooled chiller system. Applied Thermal Engineering.* 89, 1028-1037
- [10] Circular Thermal Energy Storage: A Key Technology for a Sustainable Energy System." *Energies* 14, no. 3 (2021): 751. doi:10.3390/en14030751.