

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

Egi Dwi Gusuma^{1*)}, Margianto², Cepi Yazirin³

^{1*)} Universitas Islam Malang.

email: Egidwigusuma.13@gmail.com

² Universitas Islam Malang.

email: Margianto@unisma.ac.id

³ Universitas Islam Malang.

email: Cepiyazirin10@unisma.ac.id

ABSTRACT

Commercial buildings that have electrical energy needs above 150 kVA with power consumption imposed by the electricity system at peak load time (WBP). energy consumption in the Indonesian commercial sector starting in 2011 has increased 17.11% because the human population is increasing and the rapid development of building infrastructure. In this research, the (HVAC) Water coold chiller system is combined using cold thermal energy storage (CTES). CTES is an energy storage method, which can reduce the electricity consumption of the chiller. By shifting the peak load time this study uses full storage mode. This research method is conducted using simplex linear programming. Using CTES results in electricity tariffs that save 16.6% compared to conventional cooling systems.

Keywords : *Electric energy consumption, Cold thermal energy storage, simplex liniear programming*

ABSTRAK

Gedung komersial yang memiliki kebutuhan energi listrik di atas 150 kVA dengan pemakaian daya dikenakan oleh sistem kelistrikan di waktu beban puncak (WBP). konsumsi energi disektor komersial Indonesia mulai tahun 2011 mengalami kenaikan 17,11% sebab populasi manusia semakin meningkat dan pesatnya perkembangan infrastuktur gedung. Dalam penelitian ini sistem (HVAC) *Water coold chiller* dengan kombinasi menggunakan *cold thermal energy storage (CTES)*. CTES adalah metode penyimpanan energinya, yang dapat mengurangi konsumsi listrik *chiller*. Dengan menggeser waktu beban puncak penelitian ini menggunakan mode penyimpanan penuh. Metode penelitian ini dilakukan menggunakan *simplex liniear programming*. Dengan menggunakan CTES menghasilkan tarif listrik yang menghemat 16,6 % dibandingkan dengan sistem pendinginan konvensional.

Kata Kunci: *Konsumsi energi listrik, Cold thermal energy storage, simplex liniear programming*

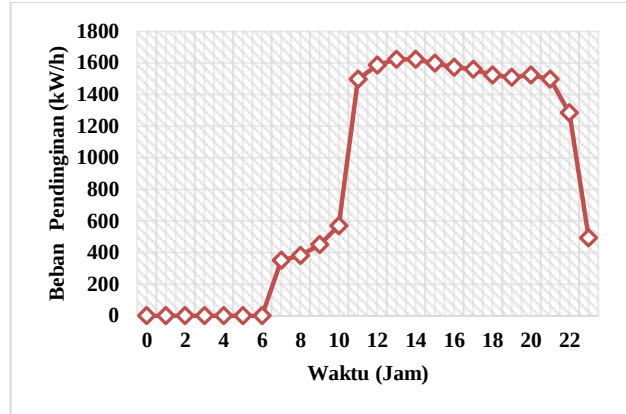
PENDAHULUAN

Konsumsi energi yang berlebihan memiliki faktor dari *Urban heat island (UHI)*, ditemukan dampak *UHI* yang dilaporkan menunjukkan variasi antar kota yang kuat dengan peningkatan konsumsi energi pendinginan dari 10% menjadi 120% karena urbanisasi yang cepat, perubahan iklim, dan faktor pendukung lainnya [1]. *The Canada Green Buildings Strategy (Government of Canada, 2022)* menemukan bahwa bangunan komersial menyumbang 88 megaton (Mt) emisi gas rumah kaca (ERK) [2]. Dalam *hand book of energy & economic statistics of Indonesia* bahwa total konsumsi energi disektor komersial Indonesia mulai tahun 2011 semakin meningkat dan pesatnya perkembangan infrastruktur gedung sehingga pada tahun 2021 konsumsi listrik mencapai 87,53 %. Sektor komersial mengkonsumsi besar energi listrik dengan skala besar berkontribusi 5 % pada supermarket dan 30 % dari sistem *HVAC* [3].

Dalam penelitian ini sistem (*HVAC*) *water coold chiller* dengan kombinasi menggunakan *cold thermal energy storage (CTES)* memperkenalkan konsep sistem pendingin (*HVAC*) baru [4]. kapasitas *Cold Thermal Energy Storage (CTES)* dapat beroperasi di luar jam beban puncak (LWBP), mengurangi konsumsi daya *chiller* selama jam beban puncak (WBP) [5]. Untuk menggeser waktu beban puncak penelitian ini terdapat variasi penyimpanan penuh yang digunakan.

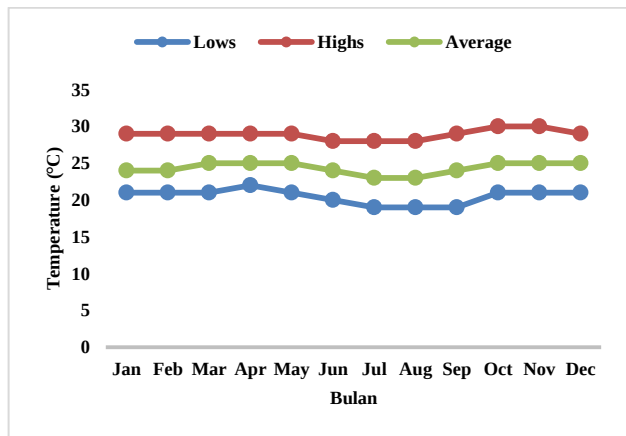
METODE

Metode penelitian ini dilakukan menggunakan studi simulasi. Dengan *modeling* dari sistem *CTES* ini menggunakan optimasi *simplex linear programming* [6]. Berdasarkan gambar 1 beban pendinginan gedung pusat perbelanjaan diatas 150 kVA yang memiliki tarif waktu beban puncak merupakan salah satu studi kasus dapat dihitung terhadap sistem pendinginan gedung dan jam operasional. Perubahan kerja sistem pada *chiller* mempengaruhi beban pendinginan di waktu tertentu terhadap konsumsi energi dan kapasitas pendinginan dengan menggunakan *TES tank*.



Gambar 1. Profil beban pendinginan gedung
Sumber: Balai besar teknologi konversi energi, (2020)

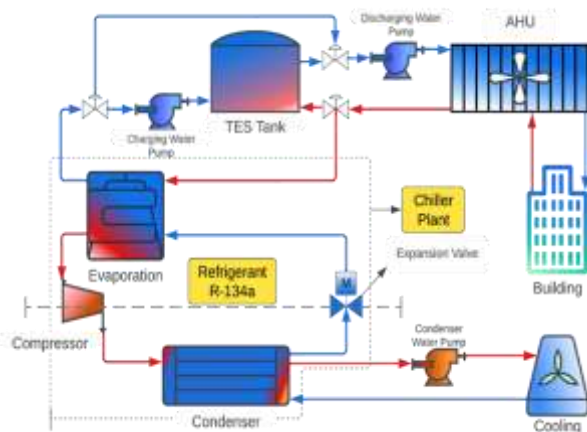
Dalam studi ini, untuk mendistribusikan *chilled water* yang dibutuhkan di pusat perbelanjaan, penyimpanan ini didiskusikan untuk menyimpan energi pendinginan dan kemudian dibandingkan secara termodinamika. Sebuah studi kasus pusat perbelanjaan, dimana profil suhu lingkungan harian dan tahunan daerah Malang ditunjukkan pada Gambar 2. Suhu lingkungan maksimum sepanjang tahun adalah antara 28 dan 30 °C, dengan suhu lingkungan terendah sekitar 19 °C. Perlu dicatat bahwa suhu sekitar berkontribusi terhadap kinerja kondensor di menara pendingin dimana keluaran air pendingin dari menara pendingin sangat dipengaruhi oleh suhu udara [7].



Gambar 2. Temperatur lingkungan
Sumber: BMKG, (2023)

Gambar 3 menjelaskan pada dasar prinsip sistem kinerja dari sistem pendingin menggunakan penyimpanan energi termal atau *CTES* tidak jauh

berbeda dengan sistem pendingin HVAC konvensional. Namun sistem pendingin terpusat dengan menggunakan penyimpanan energi termal terdapat *tank isolator (TES tank)* yang berfungsi sebagai media untuk menyimpan *chilled water* yang dihasilkan oleh *chiller plant*. Sistem pendinginan yang menggunakan penyimpanan energi termal terdapat 2 kinerja, yakni proses pengisian dan penyaluran. Pengisian adalah proses pengisian pada CTES memproduksi *chilled water* dari *chiller* pada temperatur yang dihasilkan 4°C hingga 5°C. Sementara *chilled water* yang disalurkan dari *Air Handling Unit* pada temperature suhu 12°C hingga 15°C yang akan disalurkan dari penyimpanan energi termal (CTES) dan di pompa kembali ke *chiller* untuk didinginkan. Proses pengisian saat luar waktu beban puncak mulai pukul 00.00 hingga 17.00 ketika harga tarif konsumsi listrik murah. Proses penyaluran merupakan *chilled water* yang diproduksi akan disalurkan pada temperature suhu 4°C hingga 5°C dari penyimpanan energi termal CTES ke AHU. Pada sistem pendinginan selama beroperasi *chilled water* akan digunakan kembali dari AHU untuk diproduksi. Proses penyaluran dilakukan saat waktu kebutuhan beban pendinginan berlangsung serta dengan CTES dapat meminimalisir tarif konsumsi energi listrik mahal atau kondisi Waktu beban puncak.



Gambar 3. Konsep sistem pendinginan dengan penyimpanan energi termal

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini dilakukan studi simulasi penyimpanan energi termal dengan menggunakan CTES pada penyimpanan penuh saat waktu beban

puncak sistem pendinginan tidak beroperasi selama pukul 17.00 hingga 22.00. hasil analisis ditentukan berdasarkan operasi sistem pendinginan dibawah ini:

1. Kapasitas *chiller* pada setiap variasi TES

Kapasitas *chiller* dan kapasitas penyimpanan energi termal diketahui dari hasil optimasi, fungsi objektif dan fungsi (*constrain*) atau batas yang digunakan sesuai dengan persamaan (1). Dalam penelitian ini, efek dari pemanfaatan CTES yang berbeda terhadap kinerja termodinamika sistem CTES untuk pusat perbelanjaan. Maksud dari optimasi yaitu perbedaan kapasitas *chiller* dan beban pendinginan di minimalkan serta *heat loss* pada penyimpanan energi termal yang cukup kecil sesuai dengan persamaan t: 24 jam di bawah ini [8][9]:

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

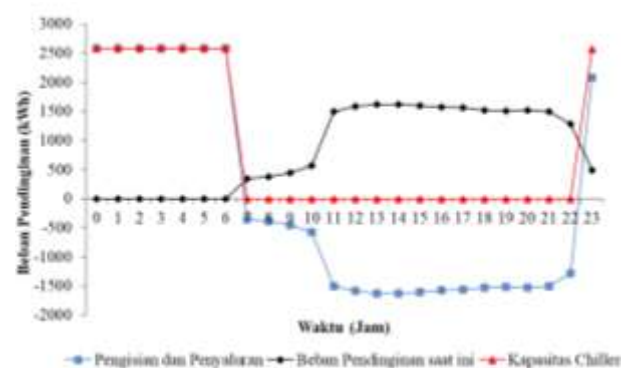
dengan:

X (t) yaitu jumlah produksi kebutuhan beban pendingin atau kapasitas *chiller* (kW)

B (t) yaitu kebutuhan beban pendingin saat waktu tertentu (kW)

y (t) yaitu *heat loss* pada tangki penyimpanan (TES tank) (kW)

Didapat hasil optimasi dengan menggunakan *solver linear programing* yang disederhanakan dengan gambar grafik dibawah ini.



Gambar 4. Profil optimasi penyimpanan penuh dengan CTES

Dapat diketahui gambar 4 merupakan penyimpanan penuh menggunakan CTES kapasitas *chiller* sebesar 2580 kW lebih besar dibandingkan dengan sistem pendinginan

konvensional yang memiliki kapasitas sebesar 1623 kW tetapi. Pada garis merah Digambar menjelaskan sistem Ketika bekerja untuk memenuhi kebutuhan pendinginan dimulai pukul 23.00 hingga 06.00 hanya beroperasi selama 8 jam kerja sedangkan sistem konvensional bekerja selama pukul 07.00 hingga 23.00. dijelaskan pada garis biru dengan nilai negatif bahwa dengan menggunakan *CTES* proses penyaluran kebutuhan tetap akan sesuai dengan permintaan beban gedung.

2. Profil penggunaan energi dengan penyimpanan energi termal

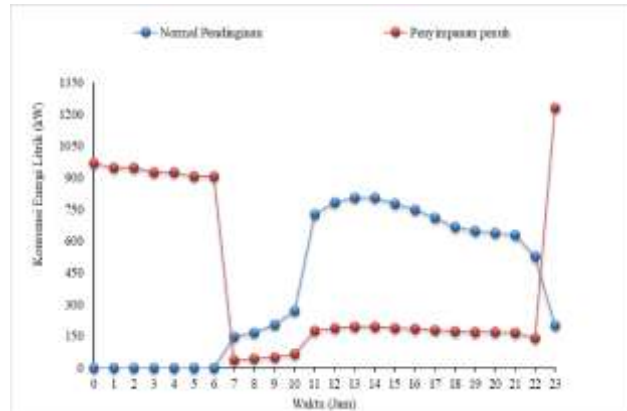
Pada dasarnya konsumsi kerja energi peralatan pompa dan menara pendinginan untuk untuk menentukan laju aliran massa pada sistem pendinginan dengan menggunakan persamaan dibawah ini [10]:

$$Q = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (2)$$

Coefficient of Performance kompresor *chiller* dapat diketahui dengan persamaan di bawah ini [10]:

$$COP = \frac{\text{Beban Pendinginan}}{\text{Daya Konsumsi}} \quad (3)$$

Dari hasil desain simulasi bahwa perlu diketahui dengan menggunakan *software coolpack* dapat diketahui laju aliran massa dan *COP* yang terjadi pada sistem pendinginan. Suhu lingkungan dan perbedaan antara suhu kondensor dan lingkungan diatur pada 10 °C. Oleh karena itu, suhu kondensor diatur pada suhu sekitar +10 °C. Dilaporkan bahwa *COP* kinerja *chiller* dipengaruhi oleh suhu kondensor dan evaporator. Proses pengisian pada malam hari memberikan keuntungan pada *COP* yang lebih tinggi dari nilai 7,10 hingga 8,20 sehingga dengan *COP* dapat menggeser kinerja kompresor ke waktu malam hari dan mengurangi konsumsi listrik kompresor, ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Konsumsi listrik pada peralatan sistem pendinginan dengan *CTES*

Teramati bahwa desain total konsumsi energi penyimpanan penuh sebesar 10082,03 kW seperti yang ditunjukkan pada garis merah di gambar 5, sedangkan sistem pendinginan langsung yang ditunjukkan pada garis biru sebesar 9462,79 kW. Pada penyimpanan penuh selama sistem beroperasi pukul 23.00 hingga 06.00 dengan kerja sistem pada malam hari menguntungkan karena suhu lingkungan sekitar rendah maka *COP* lebih baik dibandingkan sistem pendinginan konvensional yang bekerja pada saat siang yang memiliki temperatur suhu yang tinggi. Konsumsi energi sistem pendinginan dengan menggunakan penyimpanan energi termal menggunakan mengkonsumsi energi sekitar 35,8% lebih besar dari pada sistem pendinginan tidak menggunakan penyimpanan energi termal. Perlu dicatat bahwa sistem pendingin langsung dioperasikan tanpa pompa pengisian dan sistem bekerja selama pukul 07.00 hingga 22.00 sedangkan sistem pendinginan dengan *CTES* bekerja selama waktu yang sama tetapi nilai konsumsi diwaktu tersebut lebih kecil maka tarif harga listrik lebih murah. Perlu dicatat bahwa konsumsi energi utama dari sistem penyimpanan pendingin terkait dengan *chiller*, menara pendingin, dan pompa fluida (pengisian, penyaluran, dan kondensor) dalam sistem *CTES*. Biaya peralatan lain hampir konstan sehingga tidak diperhitungkan dalam perhitungan konsumsi harian.

Harga listrik bervariasi di antara golongan tarif tersebut, tergantung daya yang dibutuhkan. Kemudian ada tarif berdasarkan jenis listrik yang digunakan, tarif penggunaan listrik tersebut bervariasi dan ditentukan oleh PLN. Pada tabel di

bawah ini didapat dari tarif tenaga listrik gedung komersial yang ditetapkan per Januari – Maret 2023 yang menunjukkan setiap kategori dan waktu pemakaian konsumsi energi saat waktu beban puncak (WBP) dan luar waktu beban puncak (LWBP). Tarif harga dengan kondisi WBP dan LWBP berbagai karakteristik beban sistem kelistrikan setempat ($1,4 \leq k \leq 2$), ditetapkan oleh direktur PT. PLN [11].

Tabel 1. Tarif tenaga listrik terhadap waktu beban puncak

Beban	Gedung	Kondisi	Pengali*	Harga/kWh
Di atas 150 kVA	Pusat perbelanjaan	WBP	k x 1.035,78	Rp 2.070
		LWBP	1.035,78	Rp 1.035,78

*faktor karakteristik gedung dengan pengali untuk nilai k sebesar 2

Berdasarkan harga tarif listrik pada tabel 1 dapat dihitung harga konsumsi energi harian dari sistem pendinginan dengan CTES dan penghematan tahunannya sesuai dengan mode penyimpanan non-CTES. Biaya harian tarif listrik dihitung berdasarkan tarif lokal dari pemerintah. Tabel 2. mencantumkan penghematan bulanan seperti yang ditabulasikan pada table dibawah ini.

Tabel 2. Biaya energi dengan CTES dan penghematan bulanan

Variasi	Kapasitas Chiller (kWh)	Harga harian konsumsi energi listrik (Rp)	Penghematan perbulan konsumsi energi listrik (Rp)
Sistem pendinginan langsung	1803	13.764.892	-
Penyimpanan penuh	2867	11.478.542	68.590.509,06

KESIMPULAN

- Hasil menunjukkan bahwa kapasitas *chiller* yang diperlukan untuk penyimpanan *chilled water* pada variasi penyimpanan penuh sebesar 2867 kWh memiliki nilai kapasitas *chiller* yang sama dengan mode konvensional tanpa tangki penyimpanan 1803 kWh tetapi dengan mode penyimpanan penuh yang

beroperasi ketika tarif luar waktu beban puncak.

- Diamati bahwa, total konsumsi energi peralatan penyimpanan penuh adalah 10082,03 kWh sementara konsumsi energi pendingin gedung tanpa menggunakan tangki penyimpanan 9462,79 kWh. Dengan adanya variasi dan penyimpanan pada sistem pendinginan gedung maka dapat mengurangi konsumsi listrik dan mengurangi efek rumah kaca.
- Hasil harga harian konsumsi energi listrik pada sistem pendinginan langsung atau pendinginan konvensional adalah Rp 13.764.892 dengan menggunakan teknologi CTES, penyimpanan penuh adalah Rp. 11.478.542. Tarif listrik harian dengan menggunakan CTES dapat menghemat 16,6 %.

DAFTAR RUJUKAN

- X. Li, Y. Zhou, S. Yu, G. Jia, H. Li, and W. Li, "Urban heat island impacts on building energy consumption: A review of approaches and findings," *Energy*, vol. 174. Elsevier Ltd, pp. 407–419, May 01, 2019. doi: 10.1016/j.energy.2019.02.183.
- "The Canada Green Buildings Strategy (Government of Canada, 2022)", Accessed: Feb. 25, 2023. [Online]. Available: <https://www.rncanengagenrcan.ca/en/collectio ns/canada-green-buildings-strategy>
- "Ministry of Energy and Resources Republik of Indonesia, 2021."
- P. Catrini, M. Cellura, F. Guarino, D. Panno, and A. Piacentino, "An integrated approach based on Life Cycle Assessment and Thermoeconomics: Application to a water-cooled chiller for an air conditioning plant," *Energy*, vol. 160, pp. 72–86, Oct. 2018, doi: 10.1016/j.energy.2018.06.223.
- L. Yang *et al.*, "A comprehensive review on sub-zero temperature cold thermal energy storage materials, technologies, and applications: State of the art and recent developments," *Applied Energy*, vol. 288. Elsevier Ltd, Apr. 15, 2021. doi: 10.1016/j.apenergy.2021.116555.
- D. Andriyan, A. Suseno, F. Tri Aji, and I. Firmansyah, "Optimasi Produksi Ready Mix Concrete Menggunakan Pemrograman Linier Metode Simplex Pada PT. XYZ," vol. VIII, no. 2, 2023.

- [7] G. Comodi, F. Carducci, B. Nagarajan, and A. Romagnoli, "Application of cold thermal energy storage (CTES) for building demand management in hot climates," *Appl Therm Eng*, vol. 103, pp. 1186–1195, Jun. 2016, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2016.02.035.
- [8] W. J. Cole, K. M. Powell, and T. F. Edgar, "Optimization and advanced control of thermal energy storage systems," *Reviews in Chemical Engineering*, vol. 28, no. 2–3, pp. 81–99, Jul. 2012. doi: 10.1515/revce-2011-0018.
- [9] I. Sarbu and C. Sebarchievici, "A comprehensive review of thermal energy storage," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 10, no. 1. MDPI, Jan. 14, 2018. doi: 10.3390/su10010191.
- [10] R. Safytri, A. Suryatman Margana, and A. P. E. Sukanto, "Prosiding The 11 th Industrial Research Workshop and National Seminar Bandung," 2020.
- [11] "Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT. PLN (PERSERO) 2021-2023."