

## Kajian Pemanfaatan Tenaga Surya Sebagai Teknologi Sistem Pendingin Bangunan

Saripa Amali<sup>1\*</sup>, Mohammad Azis Mahardika<sup>2</sup>  
Email corresponding author: Saripaamali@gmail.com

<sup>1</sup>Prodi Magister Teknik Mesin, Institut Teknologi Nasional Bandung Jl. Phh. Mustofa No. 23  
Neglasari, Cibeunying Kaler, Kota Bandung, Jawa Barat, Indonesia

<sup>2</sup>Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Bandung Jl. Phh. Mustofa No. 23  
Neglasari, Cibeunying Kaler, Kota Bandung, Jawa Barat, Indonesia

Article history: Received: 14 Januari 2026 | Revised: 25 April 2026 | Accepted: 28 April 2026

**Abstract.** *Solar energy is one of the renewable energy sources with great potential, especially when applied to cooling systems in buildings. It not only reduces dependence on fossil energy but also lowers greenhouse gas emissions. Various solar-based cooling technologies have been studied, including thermal cooling, photovoltaic (PV), hybrid PV/T, combined cooling, heating, and power (CCHP), as well as radiative cooling and phase change materials (PCM). Through a comprehensive literature review, the development of these technologies, their energy efficiency, implementation challenges, and future research directions are identified. The results indicate that hybrid and CCHP systems offer the highest efficiency; however, they require high initial investment costs. Challenges such as weather uncertainty, cost, and infrastructure integration can be addressed through material innovation and sustainable energy policies.*

**Keywords -** *Solar Energy, Renewable Energy, Thermal Cooling, Energy Conversion.*

**Abstrak.** *Energi surya adalah salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi besar terutama jika diaplikasikan dalam sistem pendingin pada bangunan. Tidak hanya dapat mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil tetapi pemanfaatan energi tenaga surya ini juga dapat menurunkan emisi gas rumah kaca. Berbagai teknologi pendingin berbasis tenaga surya telah dilakukan penelitian seperti pendingin termal, fotovoltaik, hibrida PV/T, CCHP serta teknologi radiative dan material perubahan fasa (PCM). Dengan berbagai tinjauan literatur, diidentifikasi perkembangan teknologi, efisiensi energi, tantangan implementasi, juga arah pengembangan di masa depan. Hasil kajian menunjukkan bahwa sistem hybrid dan CCHP merupakan sistem yang memiliki efisiensi tertinggi, namun memiliki kekurangan karena memerlukan investasi awal yang tinggi. Tantangan ketidakpastian cuaca, biaya serta integrasi infrastruktur mampu diatasi dengan inovasi bahan dan kebijakan energi berkelanjutan.*

**Kata Kunci -** *Energi Surya, Energi Terbarukan, Pendingin Termal, Konversi Energi*

### PENDAHULUAN

Ketergantungan terhadap sistem pendingin udara konvensional yang digerakkan oleh listrik semakin meningkat, sistem pendingin meningkat seiring dengan peningkatan aktivitas sektor industri, pertumbuhan jumlah bangunan serta kenyamanan termal yang menjadi kebutuhan manusia. Pada umumnya sistem pendingin udara konvensional menggunakan energi Listrik yang tidak terbarukan yaitu fosil, sehingga hal ini menyebabkan meningkatnya emisi karbon dioksida CO<sub>2</sub> dan memperparah pemanasan global [1].

Oleh karena itu, teknologi alternatif yang ramah terhadap lingkungan serta berkelanjutan dalam mengatasi tantangan tersebut sangat diperlukan. Berdasarkan beberapa penelitian pemanfaatan energi matahari sebagai sistem pendingin mampu meningkatkan efisiensi energi dan menurunkan konsumsi pemakaian Listrik secara signifikan. Contohnya, sistem desikan berbasis PV/T yang mampu bekerja secara efisien dengan penghematan energi dan mengurangi emisi karbon [2]. Sistem *multi-cooling source* yang mengintegrasikan energi surya dan panas buang juga terbukti dapat meningkatkan efisiensi energi secara keseluruhan [3].

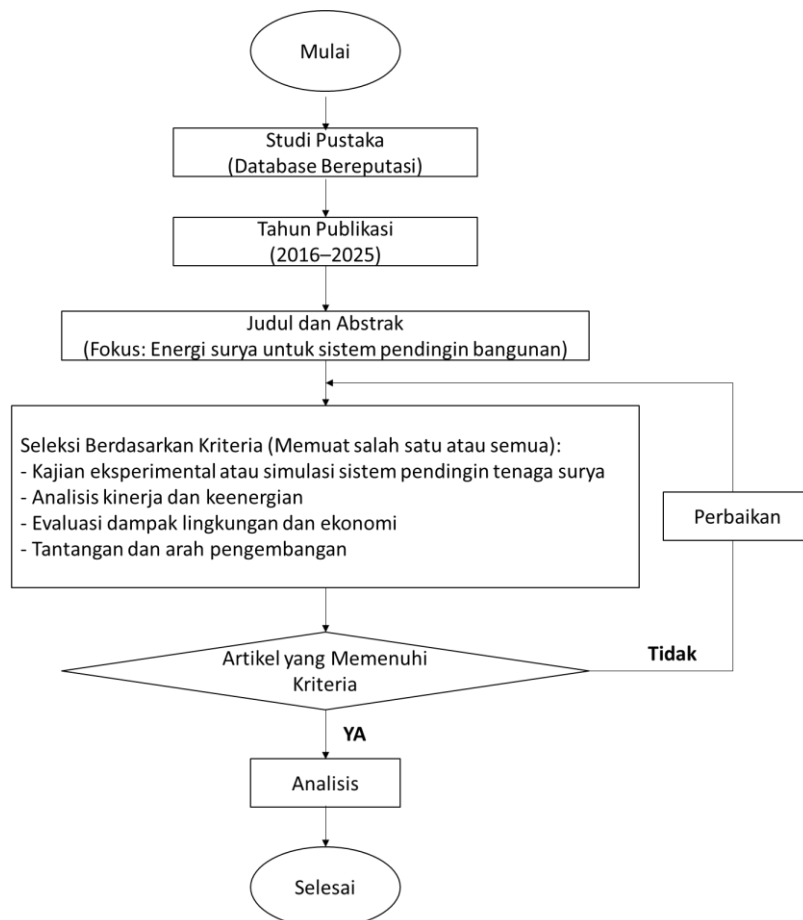
Tidak hanya efisien secara energi sistem pendingin tenaga surya juga memiliki potensi ekonomi jangka panjang dengan pengurangan biaya operasional [4], Integrasi sistem PV/T dengan pendinginan radiasi siang matahari mampu menghemat energi bangunan sepanjang tahun serta meningkatkan efisiensi panel surya [5]. Teknologi sistem pendingin berbasis tenaga surya adalah salah satu alternatif Solusi yang ramah lingkungan untuk dapat menggantikan sistem pendingin udara konvensional, Dengan memanfaatkan energi panas matahari untuk proses pendinginan melalui berbagai metode sistem seperti absorpsi, adsorpsi, desikan maupun PV/T [6]. Studi lain juga memberikan penekanan terhadap pentingnya integrasi *phase change materials* (PCM) dan campuran *zeotropic* untuk meningkatkan koefisien kinerja pada sistem pendingin tenaga surya [7].

Dalam penerapan sistem pendingin tenaga surya ini tentu terdapat sejumlah tantangan, Sebagian besar penelitian yang telah dilakukan dengan berbagai pendekatan simulasi serta studi kasus di berbagai wilayah yang memiliki iklim kering dan subtropik, sedangkan studi penerapan nyata pada wilayah yang memiliki iklim tropis seperti Indonesia masih sangat terbatas. Kendala lain juga yaitu efisiensi termal yang masih relatif rendah, investasi awal yang tinggi dan ketergantungan pada intensitas radiasi matahari serta iklim [4]. Kajian mengenai pemanfaatan tenaga surya untuk sistem pendingin bangunan telah berkembang namun terdapat beberapa penelitian yang masih perlu disempurnakan. Sebagian besar penelitian yang telah dilakukan hanya berfokus pada analisis teknik serta ekonomi yang terpisah, tanpa mengintegrasikan aspek lingkungan secara berkelanjutan [8]. Integrasi teknologi pada sistem penyimpanan energi dengan sistem pendingin tenaga surya pada bangunan belum dieksplorasi secara mendalam [3]. Analisis dampak lingkungan terhadap penggunaan sistem pendingin belum dibahas menggunakan data yang empiris [7].

Dari permasalahan tersebut maka diperlukan literatur yang menyeluruh mengenai perkembangan serta tantangan terhadap teknologi pendingin tenaga surya, sehingga mampu mengidentifikasi kemajuan penelitian, membahas berbagai pendekatan teknologi yang telah dikembangkan dan mampu menjelaskan implementasi yang dihadapi. Artikel ini berkontribusi dengan menyajikan kajian komprehensif yang mengintegrasikan aspek teknis, ekonomis serta lingkungan, dengan kontribusi utama meliputi pemetaan terhadap teknologi pendingin dengan memanfaatkan tenaga surya dengan menganalisis perbandingan efisiensi energi serta biaya sistem. Dengan adanya *review* ini diharapkan dapat diperoleh arah pengembangan teknologi pendingin tenaga surya yang efisien, ekonomis serta berkelanjutan. Sehingga, mampu menjadi referensi bagi praktisi serta acuan pengambilan kebijakan dalam upaya mengurangi ketergantungan pada sistem pendingin berbasis listrik konvensional.

## METODE

Metode penelitian yang akan dibahas untuk mengevaluasi pendekatan pemanfaatan dari berbagai perspektif, tahapan penelitian dilakukan secara terstruktur, sesuai dengan rencana yang disajikan pada diagram alir berikut:



Gambar 1. Diagram alir

### a. Jenis Penelitian

Pada penelitian ini digunakan metode tinjauan literatur sistesis (*Systematic Literature Review*) dengan tujuan mengkaji perkembangan, efisiensi serta tantangan penerapan teknologi sistem pendingin ruangan berbasis tenaga surya pada bangunan. Sehingga mampu memberikan pemahaman yang menyeluruh terhadap penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dan mampu mengidentifikasi celah penelitian yang masih ada.

### b. Sumber Data dan Tahapan analisis

Data bersumber dari berbagai artikel ilmiah internasional maupun nasional yang memiliki reputasi seperti *ScienceDirect*, *Scopus* dan *ResearchGate*. Jurnal ilmiah yang diambil sebagai literatur adalah jurnal yang terbit pada tahun 2016~2025, dengan fokus penelitian pada pemanfaatan energi surya untuk sistem pendingin pada bangunan. Jurnal yang dipilih harus memuat salah satu atau semua sebagai berikut: Kajian eksperimental maupun simulasi sistem pendingin ruangan dengan memanfaatkan tenaga surya, analisis kinerja dan keenergian, evaluasi terhadap dampak lingkungan dan ekonomi, serta tantangan dan arah pengembangan

### c. Teknik Analisis

Dilakukan analisis dengan metode kualitatif dengan meninjau jurnal sebelumnya berdasarkan : Jenis sistem pendingin, metode analisis, simulasi yang digunakan, parameter kinerja, aspek ekonomi, serta tantangan penerapan.

### d. Output yang Diharapkan

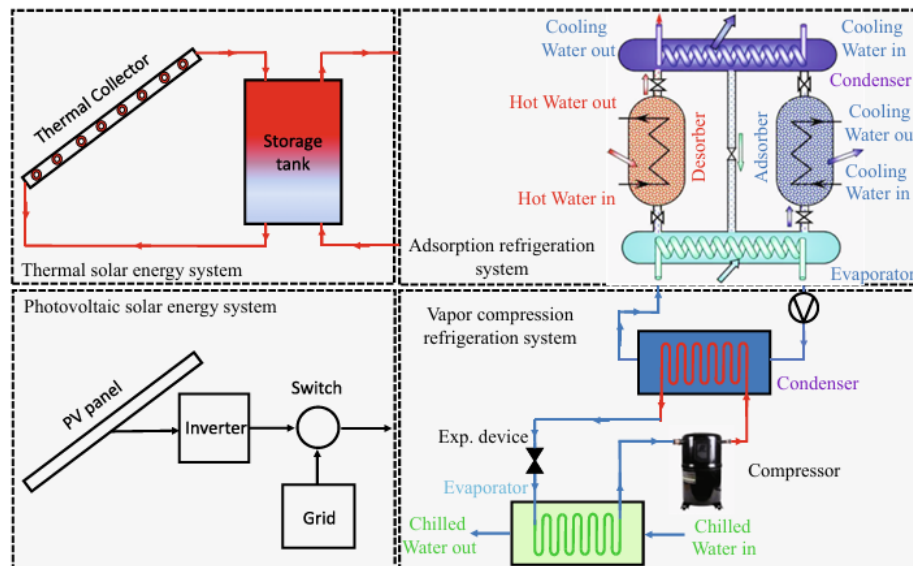
Dilakukan evaluasi terhadap seluruh literatur terdahulu yang relevan untuk dianalisis, dengan melakukan penilaian terhadap perkembangan teknologi, efisiensi energi serta tantangan penerapan sistem pendingin tenaga surya. Berdasarkan hasil sintesis kemudian disimpulkan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemanfaatan energi surya sebagai sistem pendingin ruangan memiliki perkembangan yang sangat pesat pada satu dekade terakhir, hal ini merupakan salah satu Solusi untuk mengurangi Tingkat konsumsi energi Listrik konvensional dan emisi karbon yang dihasilkan [1]. Beberapa penelitian menggunakan metode simulasi, analisis serta keekonomian sebagai bentuk penilaian kinerja pada sistem pendingin ruangan berbasis tenaga surya.

Teknologi yang banyak dikaji dalam pemanfaatan sistem pendingin tenaga surya adalah pendinginan termal, *system fotovoltaik* (PV), *system hybrid PV/T*, *system terintegrasi CCHP*, teknologi *radiative cooling* serta *phase change materials*. Penelitian menunjukkan teknologi pendingin berbasis tenaga surya mampu menurunkan Tingkat konsumsi energi Listrik hingga mencapai 20% serta mengurangi emisi karbon jika dibandingkan dengan sistem pendingin konvensional [5].

### a. Analisis Kinerja

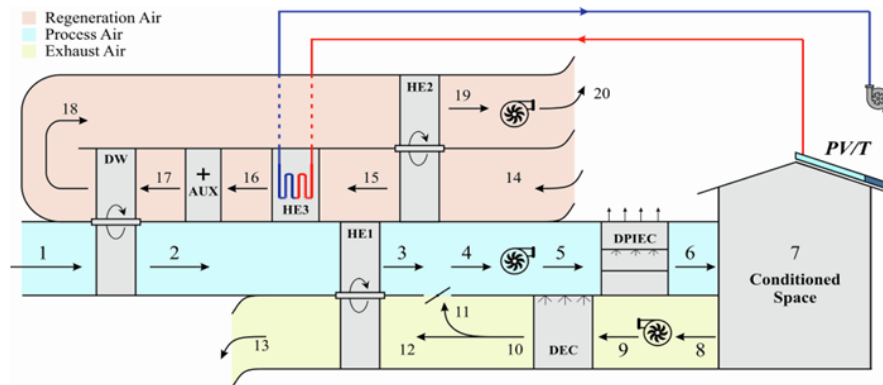


Gambar 2. Sistem Pendingin Adsorpsi Terintegrasi Energi Surya Termal [4]

Sistem pendingin termal menggunakan prinsip kerja yang memanfaatkan energi panas dari radiasi sinar matahari untuk proses absorpsi ataupun adsorpsi. Sistem adsorpsi *hybrid* tenaga surya dapat menghemat Listrik hingga 40-60% serta menunjukkan potensi keekonomian jangka Panjang [4]. Gambar 1 menunjukkan bahwa sistem pendingin *hybrid adsorption* yang terhubung dengan *system on-grid* yang dimanfaatkan untuk menggerakkan kompresor sehingga dapat menguntungkan dikarenakan dapat menjual produksi Listrik berlebih dan dapat digunakan jika terjadi kekurangan Listrik yang dihasilkan sendiri oleh energi surya.

Pada daerah panas dan lembab sistem *desiccant* memiliki nilai COP hingga 0.8, dengan pengurangan beban pendingin hingga 50% dibandingkan dengan AC konvensional [8]. Ditinjau pada berbagai iklim aplikasi sistem *desiccant* ini menunjukkan penghematan energi sebesar 25% namun terdapat tantangan dalam regenerasi desikan pada kelembaban tinggi [9].

*Heat exchanger* berbasis MOF, jika dibandingkan dengan *silica gel* konvensional menunjukkan penyerapan kelembaban yang lebih tinggi [10]. Sistem pendingin termal ini menunjukkan dampak lingkungan, yaitu pengurangan emisi CO<sub>2</sub> hingga 50% per tahun pada bangunan institusional [11]. Tantangan sistem pendingin termal ini yaitu ketergantungan sistem pada iklim panas yang harus konsisten dan juga investasi bahan desikan yang tidak murah. Namun, sistem ini dapat di aplikasikan pada bangunan tropis dengan potensi integrasi yang besar untuk pendingin distrik [12].

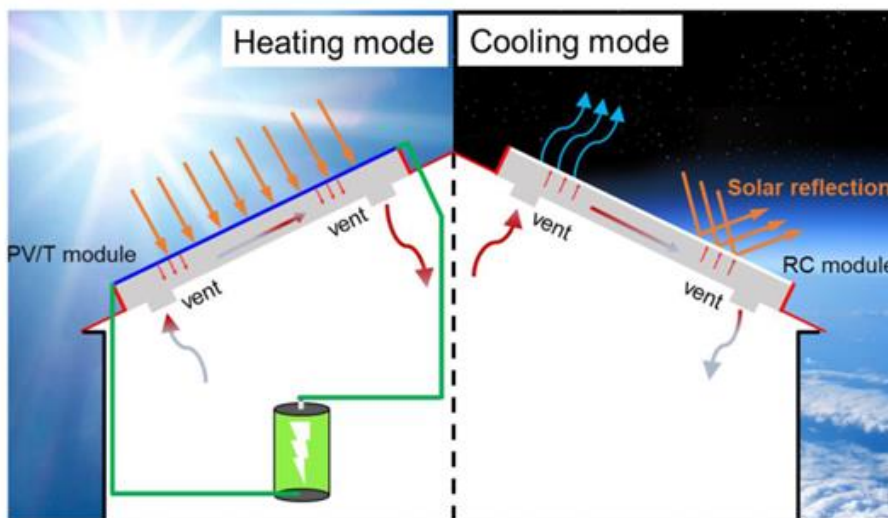


Gambar 3. Skema Sistem Pendinginan Udara Fotovoltaik [2]

Sistem pendingin *fotovoltaik* merupakan sistem yang menggunakan Listrik yang bersumber dari panel surya untuk mengoperasikan sistem kompresi uap konvensional. Sistem *hybrid PV/T* di optimasi menggunakan algoritma *hyperplane*, dihasilkan pengurangan konsumsi energi hingga 58.1% dan penurunan emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) 61% jika dibandingkan dengan sistem konvensional [13]. Gambar 2 merupakan sistem PV/T yang memiliki efisiensi termal maksimal di 0,43 dengan konsumsi energi primer bernilai negatif sebesar 102,83 kWh yang menunjukkan bahwa sistem yang didukung PV/T merupakan sistem yang mandiri [2]. Evaluasi *exergoeconomic* telah menunjukkan bahwa *system polygenerasi* telah menghebat biaya hingga 15-20% [14].

Tantangan sistem ini adalah kompleksitas integrasi serta efisiensi termal yang hilang akibat dari *overheating* panel dapat diatasi dengan pendingin aktif. Sistem ini menawarkan aplikasi potensial di distrik *heating/cooling* untuk Solusi bangunan modern [15].

Sistem *combined cooling, heating and power (CCHP)* merupakan sistem yang mengintegrasikan antara tenaga surya dengan produksi daya, panas serta dingin dengan cara yang simultan. Sistem ini memiliki keandalan dan biaya *redundan*, dengan menunjukkan penghematan energi sebesar 35% [16]. Tantangan sistem ini adalah optimasi beban *variable* dan risiko terhadap kegagalan komponen yang memerlukan desain *redundan*. Sistem CCHP sangat cocok untuk bangunan komersial besar, seperti pusat data dengan potensi pengurangan emisi karbon hingga 60% [3].



Gambar 4. Sistem PV/T-RC [5]

Gambar 3 merupakan sistem PV/T-RC terdiri dari modul PV/T yang terintegrasi pada atap bangunan serta model RC, matahari diserap oleh modul PV kemudian diubah menjadi Listrik dan panas dari sel PV dimanfaatkan sebagai pemanasan ataupun pendingin ruangan [5].

Dengan memanfaatkan emisi panas ke luar angkasa, sistem *radiative cooling* ini sering diintegrasikan dengan PCM (*Phase-Change Materials*) sebagai tempat menyimpan energi. Kemajuan komersialisasi telah menunjukkan bahwa sistem pendingin pada siang hari tanpa energi eksternal telah mengonsumsi hingga 100W/m<sup>2</sup> [17]. Sistem *radiative cooling* jika diintegrasikan dengan PV/T, menghasilkan *refleksitas* matahari sebesar 94.9% dan emisivitas termal inframerah *broadband* sebesar 0.93 [5]. Tantangan utama dari sistem ini adalah keterbatasan aplikasi pada iklim lembab serta biaya investasi yang tinggi.

#### b. Analisis Keenergian

Dibandingkan AC konvensional sistem pemanfaatan energi surya mampu mengurangi konsumsi energi primer hingga 50% [18]. Dengan integrasi penyimpanan panas meningkatkan stabilitas, sistem *desiccant* dan absorpsi menunjukkan tingginya efisiensi termal [19]. Sistem *hybrid* PV/T juga mampu mengoptimalkan energi limbah serta mengurangi beban puncak jaringan [15]. Sistem berbasis pemanfaatan tenaga surya ini sangat tergantung terhadap fluktuasi radiasi matahari, namun hal ini dapat diatasi dengan baterai [20].

#### c. Analisis Dampak Lingkungan

Sistem pendingin yang memanfaatkan tenaga surya ini mampu berkontribusi untuk mengurangi emisi CO<sub>2</sub> hingga 50% serta mendukung keberlanjutan bangunan [11]. Meskipun siklus hidup menunjukkan net positif namun produksi panel PV mampu menghasilkan emisi awal [21]. Meningkatnya dampak lingkungan positif merupakan integrasi dari sistem *multigenerasi* seperti produksi hidrogen[22].

#### d. Analisis Keekonomian

Sistem pendingin yang memanfaatkan tenaga surya menunjukkan bahwa kinerja ekonomi sistem pendingin PV lebih baik dibandingkan dengan sistem absorpsi dan sistem kompresi uap [23] sementara sistem CCHP memberikan *payback* hingga 8-10 tahun [16]. Fluktuasi harga bahan merupakan tantangan utama, namun insentif kebijakan energi terbarukan diharapkan mampu mempercepat implementasi teknologi.

#### e. Tantangan Penerapan Teknologi

Tantangan penerapan teknologi sistem pendingin yang memanfaatkan tenaga surya meliputi ketidakpastian cuaca, biaya investasi yang tinggi serta integrasi dengan infrastruktur bangunan yang semakin berkembang. Sistem *radiative cooling* terbatas hanya untuk iklim lembab [17], sementara itu PCM terbatas dikarenakan stabilitas bahan [20]. *Skalabilitas* oleh lahan serta regulasi yang belum matang juga dapat menghambat adopsi. Penelitian selanjutnya diperlukan untuk mengatasi fluktuasi *output* dan meningkatkan keandalan.

#### f. Arah Pengembangan Teknologi

Untuk arah pengembangan teknologi diperlukan adanya integrasi antara sistem dengan AI dengan tujuan optimasi secara *real-time*, pengembangan sistem skala besar untuk distrik *cooling* [12] serta aplikasi ruangan [11] akan meningkatkan efisiensi. Fokus berkelanjutan seperti pengurangan emisi serta kolaborasi internasional untuk standarisasi teknologi. Selain itu, pengembangan material foto termal dan *radiatif* dengan efisiensi tinggi juga merupakan salah satu kunci untuk menuju sistem pendingin yang berkelanjutan .

**Tabel 1.** Ringkasan Artikel Sistem Pendingin Tenaga Surya

No.	Judul	Kelebihan	Kekurangan	Kesimpulan
1	Seasonal analysis of a desiccant air-conditioning system supported by water-cooled PV/T units [2]	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ Memanfaatkan energi matahari sebagai sistem pendingin</li> <li>➢ penghematan energi dan pengurangan emisi karbon</li> <li>➢ Memberikan rancangan sistem yang dapat diterapkan di berbagai musim</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ Analisis secara musiman,</li> <li>➢ Investasi awal system PV/T cukup tinggi</li> <li>➢ Perawatan system water-cooled lebih kompleks</li> <li>➢ Simulasi mewakili kondisi (perubahan cuaca mendadak)</li> </ul>	Penelitian ini menunjukkan bahwa system desikan yang memanfaatkan PV/T ini memberikan manfaat pengematan energi walaupun hanya di analisis dengan satu musim namun dapat memberikan pengaruh yang berkelanjutan.
2	A review on solar-powered cooling and air-conditioning system for building applications [1]	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ Menggabungkan berbagai jenis teknologi dalam satu kajian</li> <li>➢ Memiliki berbagai jenis perbandingan sistem</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ Hasil belum dapat digeneralisasi karena berasal dari berbagai sumber</li> <li>➢ Tidak dilakukan pengujian secara langsung</li> </ul>	Penelitian ini memiliki potensi untuk menghemat energi namun masih memerlukan penelitian lanjutan seperti pengujian langsung.

No.	Judul	Kelebihan	Kekurangan	Kesimpulan
		<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Mendukung pengembangan sistem hemat energi</li> </ul>		
3	Performance of a multi-cooling sources cooling system with photovoltaics and waste heat recovery in data center [3]	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Meningkatkan efisiensi energi</li> <li>➤ Memanfaatkan energi surya dan panas buangan sehingga lebih ramah lingkungan</li> <li>➤ Menurunkan beban pendinginan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Sistem kompleks</li> <li>➤ Investasi tinggi</li> <li>➤ Kinerja tergantung pada kondisi cuaca dan variasi beban</li> <li>➤ Diperlukan adanya sistem kontrol</li> </ul>	Sistem pendingin dengan multi-cooling yang menggabungkan pemanfaatan FV dan panas buangan menunjukkan efisiensi yang baik namun sistem ini kompleks.
4	Transient analysis and thermal design of a solar-powered cooling system for an office building: Enhancements using phase change materials and zeotropic mixtures in ejector refrigeration cycle [7]	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Analisis transient</li> <li>➤ Mengurangi fluktuasi beban</li> <li>➤ Menunjukkan peningkatan COP hingga &gt;15%</li> <li>➤ Bangunan hemat energi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Kompleksitas tinggi, karena simulasi membutuhkan data input yang detail</li> <li>➤ Investasi tinggi</li> </ul>	Penelitian ini mampu menunjukkan meningkatnya efisiensi termal dengan konsumsi energi listrik yang rendah serta memanfaatkan energi matahari secara optimal, meskipun kompleksitas dan investasi yang tinggi.
5	Unveiling the potential of solar cooling technologies for sustainable energy and environmental solutions [6]	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Menjelaskan secara menyeluruh mengenai berbagai teknologi pendingin tenaga surya</li> <li>➤ Menjelaskan potensi besar dalam mengurangi konsumsi energi listrik</li> <li>➤ Dasar pengembangan dan meningkatkan efisiensi total energi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Tidak melakukan uji eksperimental secara langsung</li> <li>➤ Hasil analisis bergantung pada kualitas pustaka yang dikaji</li> <li>➤ Kurangnya pembahasan mengenai kajian ekonomi</li> </ul>	Penelitian ini menunjukkan besarnya potensi meningkatkan efisiensi energi dengan memanfaatkan matahari, namun diperlukan optimalisasi dalam kajian ekonomi.
6	Performance and economic analysis of solar-powered adsorption-based hybrid cooling systems [4]	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Menggabungkan analisis performa dan ekonomi</li> <li>➤ Menghemat listrik hingga &gt;40%</li> <li>➤ Menampilkan data untuk kelayakan finansial</li> <li>➤ Menerapkan konsep energi ramah lingkungan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Biaya investasi tinggi</li> <li>➤ Kinerja sistem dipengaruhi oleh cuaca</li> <li>➤ Komponen adsorpsi memiliki batas pakai</li> </ul>	Penelitian menunjukkan efisiensi energi tinggi dan penghematan biaya jangka panjang namun memiliki investasi yang besar.
7	Heat-pump-coupled sorbent system toward efficient atmospheric water production and indoor air conditioning [24]	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Menggabungkan fungsi pendingin ruangan dan produksi air bersih udara</li> <li>➤ Memanfaatkan panas buangan dari heat pump</li> <li>➤ Dapat bekerja pada daerah kering maupun semi kering</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Kompleksibilitas tinggi, karena memerlukan kontrol suhu dan kelembapan</li> <li>➤ Investasi awal cukup tinggi</li> <li>➤ Kinerja bergantung pada kondisi abien</li> <li>➤ Belum banyak uji kelayakan jangka panjang</li> </ul>	Penelitian ini mengkombinasikan heat pump dengan system sorbent yang menghasilkan pendingin udara dan air bersih secara bersamaan namun kompleksibilitas sistem dan investasi cukup tinggi.
8	A transient	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Menggabungkan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Simulasi kompleks</li> </ul>	Analisis dapat

No.	Judul	Kelebihan	Kekurangan	Kesimpulan
	optimization and techno-economic assessment of a building integrated combined cooling, heating and power system in Tehran [25]	<ul style="list-style-type: none"> <li>analisis transien dengan optimasi teknis dan ekonomi</li> <li>➤ Dapat menyesuaikan kinerja sistem</li> <li>➤ Memberikan data realistis untuk perencanaan system energi bangunan di iklim panas-kering</li> <li>➤ Penghematan energi dan penurunan emisi CO2</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Hasil hanya berfokus pada kondisi iklim di Teheran</li> <li>➤ Investasi tinggi</li> </ul>	meningkatkan efisiensi hingga >25% dan mengurangi emisi karbon namun smulasi dan investasi cukup tinggi.
9	Combined daytime radiative cooling and solar photovoltaic/thermal hybrid system for year-round energy saving in buildings [5]	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Menggabungkan PV/T dan pendinginan radiasi</li> <li>➤ Menghemat energi sepanjang tahun</li> <li>➤ Meningkatkan efisiensi PV</li> <li>➤ Bangunan hemat energi dan ramah lingkungan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Efektivitas sistem tergantung pada cuaca</li> <li>➤ Belum banyak uji laangan</li> </ul>	Penelitian mampu menghemat energi tahunan dan meningkatkan efisiensi thhermal namun efektivitas sistem tergantung pada kondisi cuaca.
10	Design of a Solar Absorption Cooling System: Case Study [26]	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Menggunakan energi surya sebagai sumber panas</li> <li>➤ Ramah lingkungan</li> <li>➤ Membuktikan aplikasi nyata</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Efisiensi COP relatif rendah dibanding system kompresi uap</li> <li>➤ Investasi tinggi</li> <li>➤ Kinerja system tergantung cuaca</li> </ul>	Penelitian menunhukkan ramah lingkungan agar menghemat energi namun efisiensi termal masih lebih rendah dibanding sistem konvensional

## KESIMPULAN

Pemanfaatan tenaga surya untuk sistem pendingin menawarkan Solusi yang ramah lingkungan serta efisien untuk mengatasi fluktuasi kebutuhan energi. Berbagai sistem teknologi memberikan potensi tersendiri untuk meningkatkan efisiensi termal serta mengurangi karbon. Analisis kerja menunjukkan bahwa sistem *hybrid* dan CCHP merupakan sistem yang memiliki efisiensi tertinggi, namun memiliki kekurangan karena memerlukan investasi awal yang tinggi. Tantangan ketidakpastian cuaca, biaya serta integrasi infrastruktur mampu diatasi dengan inovasi bahan dan kebijakan energi berkelanjutan. Penelitian selanjutnya diharapkan mampu berfokus terhadap simulasi skala besar serta studi kasus praktis untuk meningkatkan adopsi..

## REFERENSI

- [1] Q. Al-Yasiri, M. Szabó, and M. Arıcı, "A review on solar-powered cooling and air-conditioning systems for building applications," Nov. 01, 2022, *Elsevier Ltd.* doi: 10.1016/j.egy.2022.01.172.
- [2] U. Olmuş, Y. E. Güzelel, and O. Büyükalaca, "Seasonal analysis of a desiccant air-conditioning system supported by water-cooled PV/T units," *Energy Build.*, vol. 291, Jul. 2023, doi: 10.1016/j.enbuild.2023.113101.
- [3] S. Zou, J. Liu, and Y. Dai, "Performance of a multi-cooling sources cooling system with photovoltaics and waste heat recovery in data center," *Energy Convers. Manag.*, vol. 324, Jan. 2025, doi: 10.1016/j.enconman.2024.119319.
- [4] M. G. Gado, T. F. Megahed, S. Ookawara, S. Nada, and I. I. El-Sharkawy, "Performance and economic analysis of solar-powered adsorption-based hybrid cooling systems," *Energy Convers. Manag.*, vol. 238, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.enconman.2021.114134.
- [5] Q. Xuan *et al.*, "Combined daytime radiative cooling and solar photovoltaic/thermal hybrid system for year-round energy saving in buildings," *Energy*, vol. 304, Sep. 2024, doi: 10.1016/j.energy.2024.132178.
- [6] F. H. Ali, Q. R. Al-Amir, H. K. Hamzah, and A. Alahmer, "Unveiling the potential of solar cooling technologies for sustainable energy and environmental solutions," Dec. 01, 2024, *Elsevier Ltd.* doi:

- 10.1016/j.enconman.2024.119034.
- [7] S. Afzal and B. M. Ziapour, "Transient analysis and thermal design of a solar-powered cooling system for an office building: Enhancements using phase change materials and zeotropic mixtures in ejector refrigeration cycle," *Energy*, vol. 309, Nov. 2024, doi: 10.1016/j.energy.2024.133126.
- [8] K. F. Fong and C. K. Lee, "Solar desiccant cooling system for hot and humid region – A new perspective and investigation," *Sol. Energy*, vol. 195, pp. 677–684, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.solener.2019.12.009.
- [9] F. L. Rashid, M. A. Eleiwi, H. I. Mohammed, A. Ameen, and S. Ahmad, "A Review of Using Solar Energy for Cooling Systems: Applications, Challenges, and Effects," Dec. 01, 2023, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/en16248075.
- [10] F. Xu, Z. F. Bian, T. S. Ge, Y. J. Dai, C. H. Wang, and S. Kawi, "Analysis on solar energy powered cooling system based on desiccant coated heat exchanger using metal-organic framework," *Energy*, vol. 177, pp. 211–221, Jun. 2019, doi: 10.1016/j.energy.2019.04.090.
- [11] M. Bozorgi, S. H. Tasnim, and S. Mahmud, "Enhancing indoor thermal comfort and sustainability: A solar-driven desiccant cooling and adsorption chiller system with environmental impact assessment," *Sol. Energy*, vol. 271, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.solener.2024.112440.
- [12] A. Inayat *et al.*, "Integration and simulation of solar energy with hot flue gas system for the district cooling application," *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 19, Jun. 2020, doi: 10.1016/j.csite.2020.100620.
- [13] Y. Zhang, Y. Chen, H. Yang, H. Zhang, and C. W. Leung, "Multivariate hyperplane optimization of integrated photovoltaic/thermal – Assisted desiccant evaporative cooling system," *Energy Convers. Manag.*, vol. 325, Feb. 2025, doi: 10.1016/j.enconman.2024.119334.
- [14] F. Khalid and U. Akbulut, "Exergoeconomic evaluation and optimization of a solar-powered polygeneration system producing freshwater, electricity, hydrogen, and cooling," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 140, pp. 931–940, Jun. 2025, doi: 10.1016/j.ijhydene.2024.06.047.
- [15] K. Lepiksaar, G. M. Kajandi, S. Sukumaran, I. Krupenski, T. Kirs, and A. Volkova, "Optimizing solar energy integration in Tallinn's district heating and cooling systems," *Smart Energy*, vol. 17, Feb. 2025, doi: 10.1016/j.segy.2024.100166.
- [16] J. Jiang, W. Gao, X. Wei, Y. Li, and S. Kuroki, "Reliability and cost analysis of the redundant design of a combined cooling, heating and power (CCHP) system," *Energy Convers. Manag.*, vol. 199, Nov. 2019, doi: 10.1016/j.enconman.2019.111988.
- [17] J. Liu *et al.*, "Research on the performance of radiative cooling and solar heating coupling module to direct control indoor temperature," *Energy Convers. Manag.*, vol. 205, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.enconman.2019.112395.
- [18] D. Üрге-Vorsatz, L. F. Cabeza, S. Serrano, C. Barreneche, and K. Petrichenko, "Heating and cooling energy trends and drivers in buildings," 2015, *Elsevier Ltd*. doi: 10.1016/j.rser.2014.08.039.
- [19] S. Mehmood, J. Lizana, and D. Friedrich, "Solar-driven absorption cooling system with latent heat storage for extremely hot climates," *Energy Convers. Manag.*, vol. 297, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.enconman.2023.117737.
- [20] Y. Guo, C. Liang, H. Liu, L. Gong, M. Bao, and S. Shen, "A Review on Phase-Change Materials (PCMs) in Solar-Powered Refrigeration Systems," Mar. 01, 2025, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/en18061547.
- [21] A. S. Alsaman, M. Ghazy, E. S. Ali, A. A. Askalany, A. M. Farid, and M. H. M. Tawfik, "Solar-powered adsorption desalination utilizing composite silica gel with a humidification-dehumidification desalination system," *Desalination*, vol. 582, Aug. 2024, doi: 10.1016/j.desal.2024.117663.
- [22] T. E. Boukelia, R. Bessaïh, and A. Laouafi, "A novel concentrating solar power plant design for power, cooling, and hydrogen production through integrated waste heat recovery system," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 106, pp. 295–304, Mar. 2025, doi: 10.1016/j.ijhydene.2025.01.376.
- [23] Y. Gao, J. Ji, Z. Guo, and P. Su, "Comparison of the solar PV cooling system and other cooling systems," *Int. J. Low-Carbon Technol.*, vol. 13, no. 4, pp. 353–363, Dec. 2018, doi: 10.1093/ijlct/cty035.
- [24] X. Yang, Z. Chen, F. Deng, and R. Wang, "Heat-pump-coupled sorbent system toward efficient atmospheric water production and indoor air conditioning," Jan. 15, 2025, *Cell Press*. doi: 10.1016/j.xcrp.2024.102391.
- [25] E. Gholamian, P. Hanafizadeh, P. Ahmadi, and L. Mazzarella, "A transient optimization and techno-economic assessment of a building integrated combined cooling, heating and power system in Tehran," *Energy Convers. Manag.*, vol. 217, Aug. 2020, doi: 10.1016/j.enconman.2020.112962.
- [26] P. Jenkins, M. Elmnifi, A. Younis, A. Emhamed, and M. Alshilmany, "Design of a Solar Absorption Cooling System: Case Study," *J. Power Energy Eng.*, vol. 08, no. 01, pp. 1–15, 2020, doi: 10.4236/jpee.2020.81001.